

MARTS 2020
VEJDIREKTORATET, SUND & BÆLT, TRAFIK-, BYGGE- OG BOLIGSTYRELSEN

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER FOR EN KATTEGATFORBINDELSE

SKIBSKOLLISION - SUPPLERENDE OVERVEJELSER

FAGNOTAT

INDHOLD

1	Indledning	1
2	Risiko estimat for en broløsning på KKØ	2
3	Sandsynlighedsmodel for kategori II kollisioner	7
3.1	Model og resultater	7
3.2	Perspektivering	9
4	Grundstødning mod rev eller naturlig grunde	11
5	Referencer	15

1 Indledning

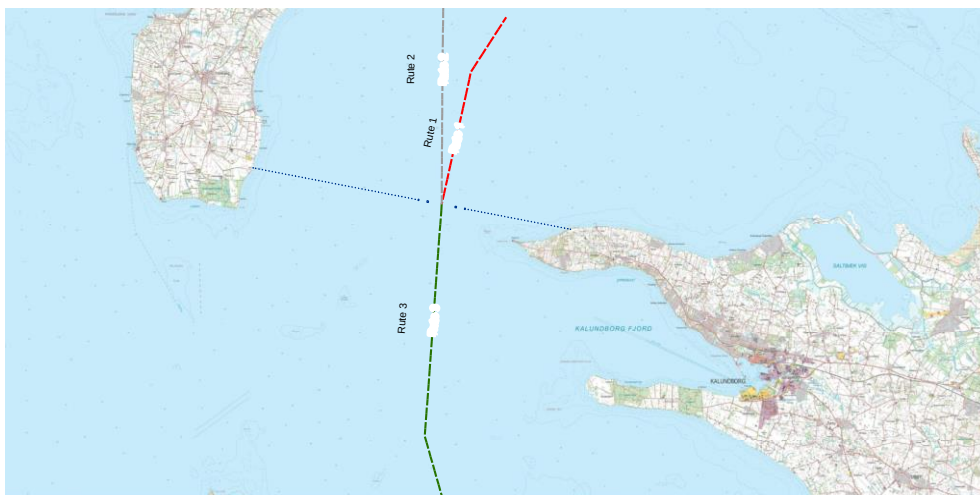
Dette notat er et supplement til Delrapporten ref. [1], som forudsættes bekendt.

Med de forudsætninger der er lagt til grund for analyserne i nærværende fagnotat, er den beregnede risiko for skibsstød mod en bro i KKØ fundet at ligge over det niveau, der sædvanligvis betragtes som acceptabelt. I den kommende fase af forundersøgelserne bør emnet derfor nøjere analyseres i tilfælde af valg af en broløsning. Herunder bør det undersøges hvilke afværgende tiltag der er mulige, og som bør indregnes i en broløsning.

Risikoen domineres af kategori II kollisioner (skibe der ikke ændrer kurs ved T-rutens knæk) mod den vestlige del af KKØ. Nærværende fagnotat diskuterer specifikke forhold og faktorer, der er bestemmende for størrelsen af dette risikobidrag. I afsnit 2 præsenteres og diskuteres en illustrativ risikoberegning for en broløsning over KKØ. Afsnit 3 diskuterer sandsynlighedsmodellen for kategori II kollisioner og modellens egnethed for de aktuelt betragtede linjeføringer for KKØ, og berører muligheden for at modellen er konservativ og kan justeres til at give et mere acceptabelt risikoniveau. Endelig estimeres i afsnit 4 effekten på risikoen ved en reduceret vanddybde imellem T-rutens knæk og brolinjen. En begrænset vanddybde kan enten skyldes naturlig forekommende grunde ("Bolsaks" og "Falske Bolsaks" sydøst for Samsø) eller et kunstigt rev, som kunne etableres nord for KKØ for at reducere risikobidraget.

2 Risiko estimat for en broløsning på KKØ

Der er foretaget en indikativ beregning af risikoen for skibsstød for en broløsning i KKØ-2 hvor alene trafikken på Rute T er modelleret – se Figur 2-1. Ruterne 1 og 3 repræsenterer Rute T nord og syd for brolinjen, mens rute 2 repræsenterer dybvandsdelen af Rute T i nord ved Hatter Barn og Hatter Rev.



Figur 2-1 Hovedruter brugt i risikoberegningen vist sammen med omrids af pillerne til en broløsning i KKØ-2

Modelberegningen opdeler risikoen i tre forskellige bidrag:

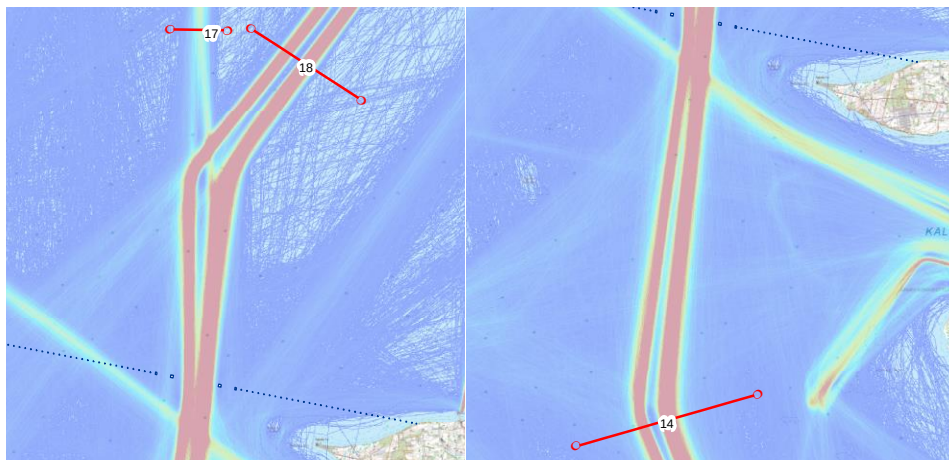
- > **Kategori I:** risiko fra skibe, der på grund af tekniske og/eller menneskelige fejl afviger fra ruten i selve passagen af broen. Risiko for kollisioner vil være lokaliseret omkring gennemsejlingsåbningen.
- > **Kategori II:** risiko fra skibe, der ikke ændrer kurs, hvor ruten knækker, men fortsætter med uændret kurs frem mod brolinjen. Risiko for kollisioner vil være lokaliseret der, hvor rutens forlængelse inden knækket rammer brolinjen.
- > **Kategori IV:** risiko fra skibe, der pga. vedvarende menneskelige og/eller tekniske fejl navigerer med meget stor afvigelse fra ruterne. Risiko for kollisioner vil være fordelt langs hele broen.

Trafikken på alle tre ruter bidrager til risiko for kategori I og IV kollisioner, mens det kun er rute 1 og 3, der bidrager til kategori II kollisioner. Knækket på den dybe del af Rute T (rute 2) ligger for nordligt til at kategori II kollisioner fra denne rute udgør en risiko for broen.

Beregningen er foretaget med modellen udviklet for Østbroen over Storebælt. Den seneste gennemgang af risikoanalysen for Østbroen har medført nogle parameterjusteringer i modellen – se ref [1] og [3] – og disse parameterjusteringer er – hvor det har betydning – medtaget i nærværende beregning.

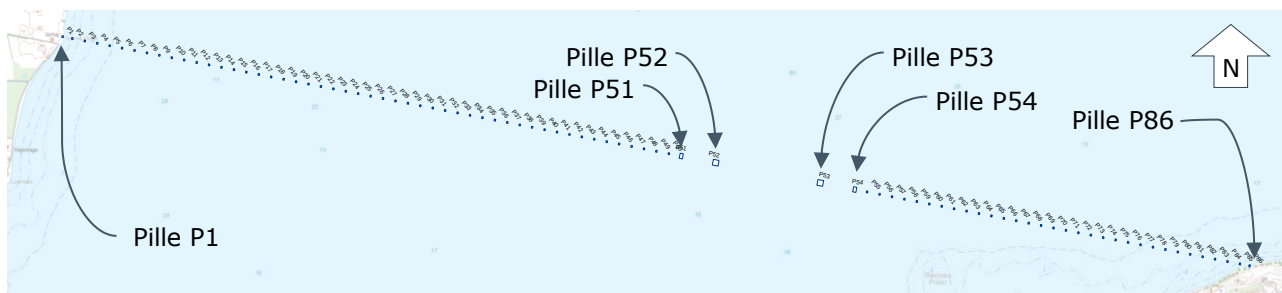
Brogeometri, pille-dimensioner, overbygningens højde og kollisionskapaciteter samt vanddybden i brolinjen svarer til den indikerede broløsning for KKØ-2. Skibstrafikken på ruterne er modelleret med udgangspunkt i optælling og geometrisk fordeling af faktiske passager af linje 18, 17 og 14 – se Figur 2-2 – i

kalenderåret 2018. Sydgående trafik er talt ved linje 17 og 18, mens nordgående trafik er talt ved linje 14.



Figur 2-2 Krydsningslinjer anvendt ved bestemmelse af skibstrafikken.
(linje 18: rute 1, linje 17: rute 2, linje 14: rute 3)

I beregningen er pillerne nummereret fortløbende fra vest mod øst – se Figur 2-3. Den vestlige tilkørselsbro omfatter således pillerne 1-50, hovedbroens ankerblokke er pille 51 og 54 og dens pyloner er 52 og 53, og den østlige tilkørselsbro strækker sig over pille 55 til 86.

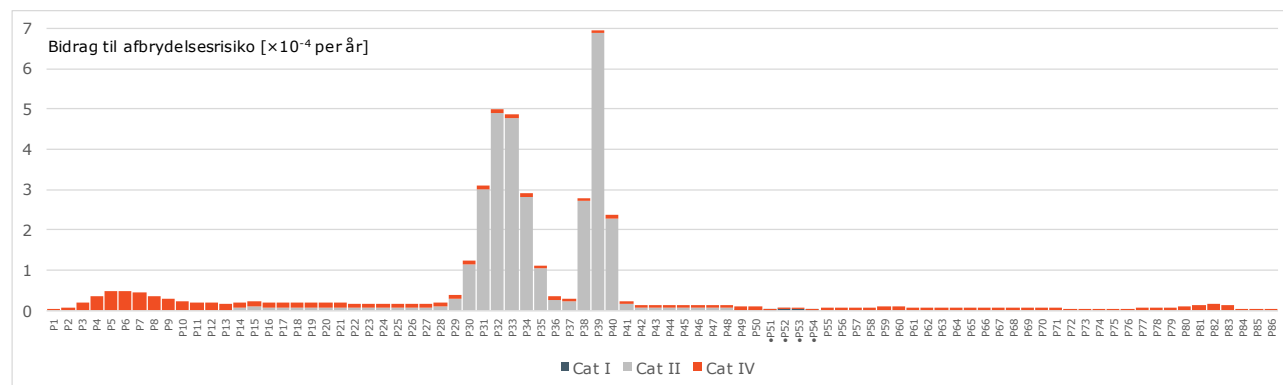


Figur 2-3 Broens piller i risikoberegningen.

Risikoestimerterne for basisscenariet – dvs. med en broløsning som foreslået for KKØ-2 – er summeret i Tabel 2-1. Den samlede hyppighed af afbrydelse som følge af skibskollision bliver 42 per 10.000 år svarende til en årlig frekvens på 42×10^{-4} . Det er mere end en dekade højere end hvad der normalt betragtes som acceptabelt for en vital broforbindelse ($1-4 \times 10^{-4}$ per år). Det dominerende bidrag kommer fra kategori II kollisioner mod den vestlige tilkørselsbro og fordelingen af risikoen langs med broen i Figur 2-4 viser to dominerende bidrag – et centreret omkring pille 32-33 og et centreret omkring pille 39. Det første og største bidrag udspringer fra den nordgående trafik på rute 3, og det andet bidrag fra den sydgående trafik på rute 1. Kategori II kollisionerne vil følge forløbet af rute 3 hhv. 1 før knækket – let forskudt svarende afstanden imellem det nord- og sydgående spor på ruterne. Forlængelsen af disse forskudte linjer krydser brolinjen mellem pille 32 & 33 for skibe sydfra, og ved pille 39 for skibe nordfra – se Figur 2-5. Dette ses at stemme overens med tyngdepunkterne for risikobidragene fra kategori II i Figur 2-4.

Tabel 2-1 Sammenfatning af risiko fra skibskollisioner (basisscenarie)

	Foreløbigt estimeret risiko for afbrydelse [pr 10.000 år]			
	Kat I	Kat II	Kat IV	Total
Tilkørselsbro, Vest	-	32,051	7,040	39,092
Ankerblok, Vest	-	-	0,011	0,011
Pylon, Vest	0,044	-	0,001	0,045
Pylon, Øst	0,044	-	0,001	0,045
Ankerblok, Øst	-	-	0,011	0,011
Tilkørselsbro, Øst	-	-	2,271	2,271
Total	0,1	32,1	9,3	41,5



Figur 2-4 Fordeling af risikoen for skibsstød langs broen

Tabel 2-2 Sammenfatning af risiko fra skibskollisioner med fordoblet kollisionskapacitet (260 MN) for pillerne på tilkørselsbroerne

	Foreløbigt estimeret risiko for afbrydelse [pr 10.000 år]			
	Kat I	Kat II	Kat IV	Total
Tilkørselsbro, Vest	-	16,045	5,673	21,718
Ankerblok, Vest	-	-	0,011	0,011
Pylon, Vest	0,044	-	0,001	0,045
Pylon, Øst	0,044	-	0,001	0,045
Ankerblok, Øst	-	-	0,011	0,011
Tilkørselsbro, Øst	-	-	1,658	1,658
Total	0,1	16,0	7,4	23,5

Risikoen bliver reduceret til det halve ved denne meget store – og ikke særligt realistiske – forøgelse af kollisionskapaciteten for tilkørselsbroens piller. Da den reducerede risiko fortsat er væsentlig over det niveau, der sædvanligvis accepteres for en broforbindelse, kan det konkluderes at strukturel forstærkning ikke alene vil være tilstrækkelig til at bringe den estimerede risiko ned på et acceptabelt niveau, hvorfor yderligere afværgende tiltag bør undersøges.

Det største bidrag til risikoen kommer fortsat fra kategori II kollisioner og beregningsmodellen for dette bidrag indbefatter, som tidligere bemærket, de seneste modeljusteringer baseret på erfaringer fra overvågningen af trafikken igennem Østbroen over Storebælt. De to komponenter i modellen er: 1) sandsynligheden for at et skib ikke drejer ved rutens knæk, og 2) sandsynligheden for at et skib, der ikke er drejet ved rutens knæk, fortsætter med (stort set) uændret kurs helt hen til broen. (Se afsnit 3 for detaljer). For den betragtede broløsning for KKØ ses der ingen grund til, at den første komponent – sandsynligheden for at glemme at dreje – skulle at være anderledes end ved Rute Ts passage igennem Østbroen over Storebælt. Sandsynligheden for at skibet fastholder kursen helt hen til broen er formuleret som en funktion af den tid, det tager skibet at nå fra rutens knæk hen til broen. En bro i KKØ-2 adskiller sig fra Østbroen ved en væsentlig større afstand fra rutens knæk hen til broen og modellen kunne vise sig at være for enkel og dermed konservativ for disse større afstande. Erfaringerne fra Østbroen har ikke givet datagrundlag for at vurdere sandsynligheden for, at skibene opdager fejlen ved større afstande fra knækket, og det vides dermed ikke om modellen fra Østbroen uden videre kan ekstrapoleres til de større afstande for en bro i KKØ-2.

Følsomheden af kategori II bidraget overfor justeringer af modellen er undersøgt ved at justere på sandsynligheden for at skibet genvinder kontrollen og undgår kollision. I modellen tilpasset Østbroen antages det, at en vis brøkdelt (20% for skibe uden lods og 2% for skibe med lods) af de skibe, der glemmer at dreje, aldrig genvinder kontrollen. Den større afstand til den aktuelle bro giver længere tid til at genvinde kontrollen, og modellen er justeret så en del af disse

uopmærksomme skibe gives mulighed for at genvinde kontrollen. Se afsnit 3 for detaljer. Modeljustering vurderes at være et optimistisk bud på effekten af en større afstand, som ikke umiddelbart kan retfærdiggøres af det nuværende operationelle datagrundlag fra Østbroen. Resultatet af denne beregning præsenteret i Tabel 2-3 viser en reduktion af risikobidraget fra kategori II på ca. 18%, men det er stadig langt fra nok til at nå et acceptabelt risikoniveau, hvorfor yderligere undersøgelser bør gennemføres i næste fase af forundersøgelserne, herunder identifikation af mulige afværgende tiltag.

Tabel 2-3 Sammenfatning af risiko fra skibskollisioner ved øget kollisionskapacitet (260 MN) og en lempeligere model for kategori II.

	Foreløbigt estimeret risiko for afbrydelse [pr 10.000 år]			
	Kat I	Kat II	Kat IV	Total
Tilkørselsbro, Vest	-	13,046	5,673	18,720
Ankerblok, Vest	-	-	0,011	0,011
Pylon, Vest	0,044	-	0,001	0,045
Pylon, Øst	0,044	-	0,001	0,045
Ankerblok, Øst	-	-	0,011	0,011
Tilkørselsbro, Øst	-	-	1,658	1,658
Total	0,1	13,0	7,4	20,5

Yderligere overvejelser og tiltag for at gøre risikoen fra skibskollisioner i kategori II acceptabel diskuteres i afsnit 3.

3 Sandsynlighedsmodel for kategori II kollisioner

3.1 Model og resultater

Den etablerede sandsynlighedsmodel for kategori II kollisioner består af to dele:

- 1 Sandsynligheden for at skibet ikke ændrer kurs ved rutens knæk. Denne kaldes også for *causation probability* eller på dansk *årsagssandsynlighed*.
- 2 Sandsynligheden for at skibet opdager og korrigerer sin fejl undervejs hen mod broen. Denne kaldes for *recovery probability* eller *korrektionssandsynlighed*.

Den anvendte model anvender forskellige årsags- og korrektionssandsynligheder afhængig af skibets type (f.eks. om det er en færge eller et lokalt fartøj) og afhængigt af om skibet har lods ombord. Modelleringen er baseret på en logisk nedbrydning i faktorer, og disse er kalibreret/verificeret i forhold til observationer og generel erfaring. Modelberegningerne i afsnit 2 er i udgangspunktet baseret på følgende modelparametre:

- > *årsagssandsynlighed, P_c :*
- | | | |
|--|----------------------|------------------------------|
| | $0,6 \times 10^{-4}$ | for skibe uden lods |
| | $0,1 \times 10^{-4}$ | for skibe med lods og færger |
- > *korrektionsandsynlighed:*
- | | | |
|------------|-------------------|------------------------|
| Med lods: | 0 | i 2% af situationerne |
| | $1 - e^{-t/180s}$ | i 98% af situationerne |
| Uden lods: | 0 | i 20% af situationerne |
| | $1 - e^{-t/180s}$ | i 80% af situationerne |

hvor t er sejladstiden fra knæpunktet til broen.

De 2% af situationerne med lods og 20% af situationerne uden lods, hvor korrektionsandsynligheden er 0, betyder at der ikke foretages ændringer i skibets kurs eller fart, og at VTS opkald ikke vil være i stand til ændre denne situation.

Den ovenfor anvendte modellering af korrektionsandsynligheden er ækvivalent med en nylig opdatering af modellen for Østbroen baseret på 10 års observationer – se ref. [3]. Men pga. af de større afstande fra knækkene på Rute T til broen i KKØ-2, er det alene de 2% hhv. 20% af situationerne, hvor skibet slet ikke genvinder kontrollen, der bestemmer den beregnede risiko fra kategori II.

Resultaterne i Tabel 2-3 er baseret på en justering af denne del af korrektionsandsynligheden, så "0" i modellen ovenfor ændres til:

$$1 - 0.95^{(t/360s-1)}$$

hvor t er tiden det tager skibet at tilbagelægge afstanden fra knækket til broen. Modellen svarer til en 5% sandsynlighed for at uopmærksomheden ophører, for hver 6 minutter skibet er undervejs mod broen. Ændring betyder, at hvor der før var 20% hhv. 2%, der forblev uopmærksomme helt hen til broen, er der for sydgående skibe nu 17% hhv. 1,7% uopmærksomme skibe tilbage henne ved broen, mens tallene er 14,5% hhv. 1,5% for nordgående skibe. Dette svarer til en (approksimativ) gennemsnitlig reduktion i andelen af skibe, der ikke genvinder kontrollen, til:

$$\frac{17\% + 14,5\%}{20\% + 20\%} = 78\%$$

Sammenholdes resultaterne for kategori II kollisioner i Tabel 2-2 og Tabel 2-3, findes samme reduktion for den samlede risiko fra kategori II kollisioner:

$$\frac{13 \times 10^{-4}}{16 \times 10^{-4}} = 81\%$$

Selv med denne gunstige justering af modellen – der måske giver mening, men ikke er understøttet af tilgængelige data/observationer – og en deraf følgende reduktion af det dominerende bidrag med 20%, er den beregnede risiko fortsat ikke nær et sædvanligt accepteret niveau, hvorfor yderligere undersøgelser bør gennemføres i næste fase af forundersøgelserne, herunder identifikation af mulige afværgende tiltag.

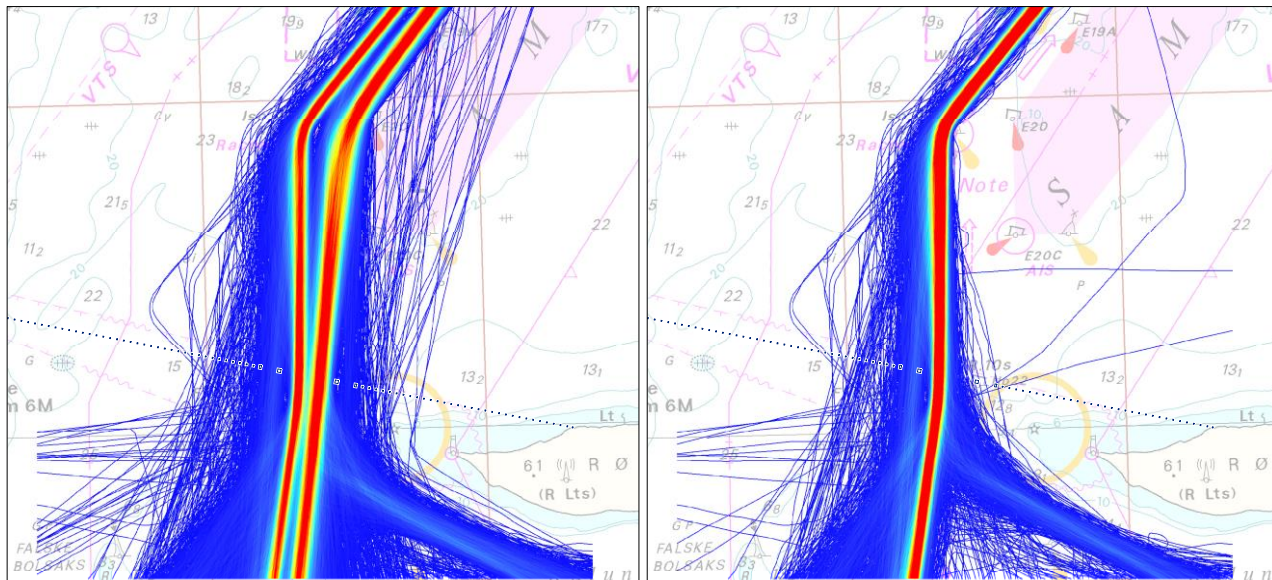
3.2 Perspektivering

Forholdene ved Østbroen og ved en broløsning for KKØ-2 er generelt sammenlignelige med hensyn til knækkene på Rute T nord og syd for broerne. Det er samme trafik, samme snævre farvand og rutelægning, og de samme kursændringer ved rutens knæk. De forskelle, der eventuelt kunne have betydning for risikoen, er:

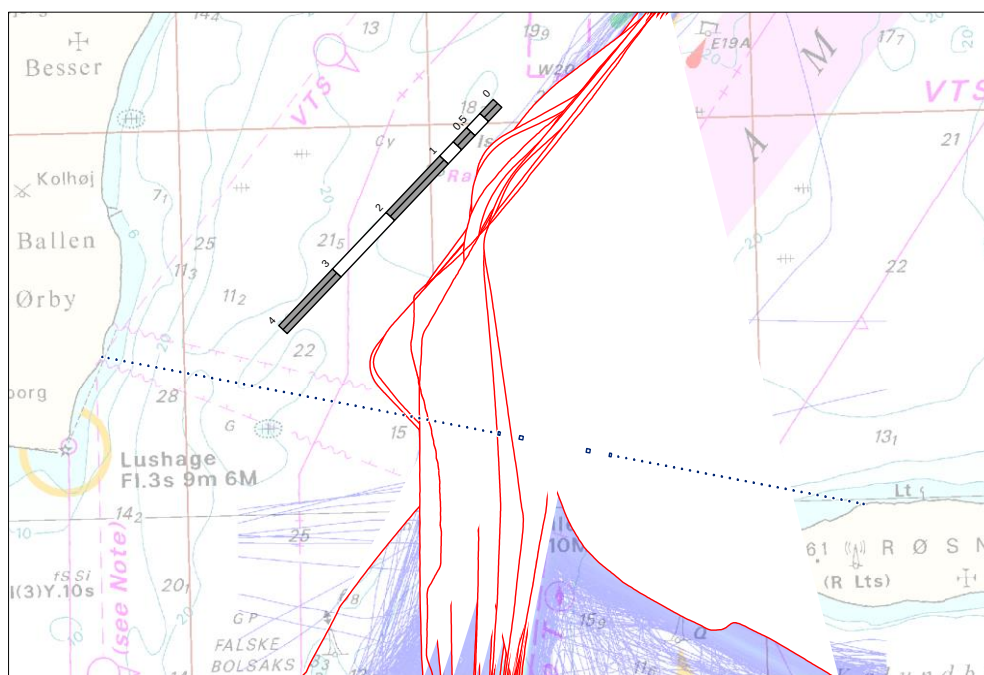
- > at vanddybderne udenfor Rute T er mindre ved Østbroen, så faren for grundstødning er mere oplagt hvis Rute T ikke følges;
- > at Østbroen skal passeres kort efter knækket på Rute T, hvilket kunne foranledige en generelt større opmærksomhed i navigationen;
- > at farvandet mellem Røsnæs og Samsø er mere åbent (15 km imellem kysterne) end ved Østbroen (6 km imellem Halsskov og Sprogø)
- > at skibenes navigation ved Østbroen kan have større fokus for VTS Storebælt end navigationen ved KKØ. (Dette forhold gælder for den nuværende praksis; opføres en bro i KKØ-2 vil VTS Storebælt have samme fokus på begge broer)

Alle disse forhold vil dog give grundlag for at sandsynligheden for kollisioner skulle blive større ved KKØ-2 end for Østbroen. Og dermed være indikator for at risikoen for kategori II kollisioner på en bro i KKØ-2 kunne undervurderes ved at bruge modellen for Østbroen.

Potentialet for kategori II kollisioner kan belyses ved at undersøge i hvilken udstrækning skibe, der følger Rute T, udviser afvigelser ved rutens knæk nord og syd for KKØ-2. Tætheden af trafikken, der helt eller delvis følger Rute T i farvandet mellem Sjælland og Samsø, er vist i Figur 3-1. Rute T's nord- og sydgående spor er tydeligt markeret med en særlig høj intensitet og der noteres en del irregularitet omkring disse hovedspor ved Rute T's knæk. Dette er yderligere understreget til højre i Figur 3-1, hvor intensiteten af den nordgående trafik er fjernet. Den tilbageværende sydgående trafik, af skibe i alle størrelser udgør 6.430 årlige passager. Heraf er der identificeret 26 spor, der har karakter af en kategori II afvigelse fra ruten. Disse er vist i Figur 3-3.



Figur 3-1 Trafik på Rute T igennem KKØ-2. Trafik i begge retninger er vist til venstre og alene den sydgående trafik er vist til højre.



Figur 3-2 Spor fra sydgående skibe med et forløb, hvor skibet drejer sent i forhold til knækket på Rute T. (Målestokken vist i figuren angiver nautiske mil)

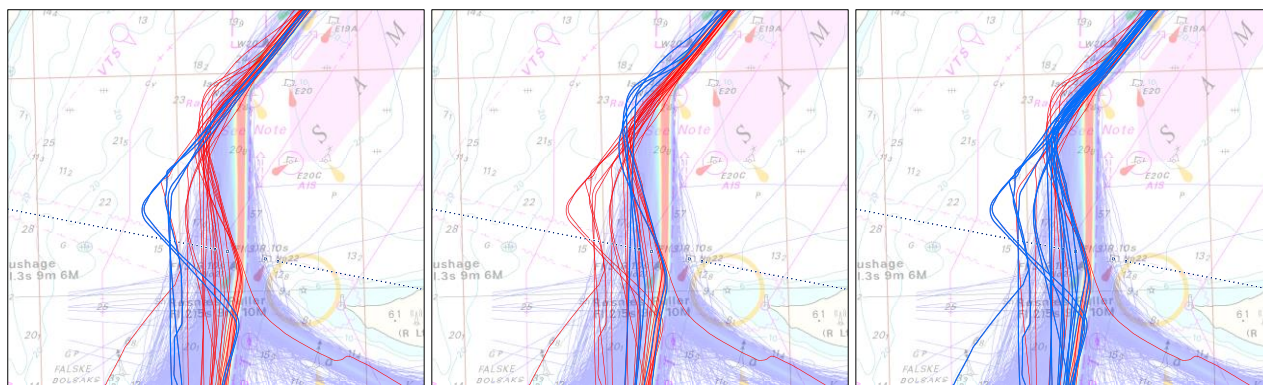
Med udgangspunkt i antallet af sydgående skibspassager, skulle der ifølge modellen i middel være:

$$6.430 \cdot 0,6 \times 10^{-4} = 0,40$$

kategori II hændelser.

Med 26 identificerede spor, der kandiderer som kategori II hændelser, er det observerede potentiale for kategori II situationer altså mere end en dekade større end modellens estimat. Det ses, at en del af de udvalgte spor (5 stk) faktisk har påbegyndt en manøvre inden de når bøjen ved rutens knæk, men de drejer

indledningsvis mod styrbord (nordover) inden der drejes bagbord (sydover) ned i Rute T – se Figur 3-3 midtfor. Denne manøvre gør at deres passage kommer til at ligge 1- 1½ sømil vest for knækket på Rute T. At de tydeligvis har observeret, at en manøvre er nødvendig, allerede inden de når knækket, gør disse spor til mindre oplagte kategori II kandidater, selvom de afviger fra rutens forløb i knækket. Skibe, der fastholder deres kurs forbi knækket, antyder at rutens knæk ikke er observeret/registreret og disse udgør mere oplagte kategori II kandidater. Der er identificeret alt 17 passager af denne type (Figur 3-3 til højre) og dette antal af fuldgældige kategori II kandidater er fortsat en dekade højere end estimeret med modellen.



Figur 3-3 Forløbet af sydgående passager, der indikerer et kategori II scenarie. Venstre: 5 spor der går særligt langt mod vest, Midt: 5 spor der går styrbord (op) inden drejet, Højre: 17 skibe, der ikke ændrer kurs ved bøjen.

Den observerede navigation omkring knækket på Rute T giver således ikke belæg for, at den anvendte risikomodell for kategori II skulle være konservativ. Og den observerede navigation giver dermed heller ikke belæg for, at det med modellen beregnede risikobidrag fra kategori II skulle være for stort.

Der skal således helt grundlæggende, gunstige ændringer til i modellen for kategori II, for at den estimerede risiko kan forventes at nærme sig et acceptabelt niveau. Siden de eksisterende modeller repræsenterer mere end 20 års erfaring med skibstrafikken igennem Østbroen over Storebælt, er udsigten til at kunne identificere og retfærdiggøre sådanne radikale ændringer i modelleringen for en broforbindelse blot 50 km nordvest for Østbroen meget lille, hvorfor yderligere undersøgelser af mulige afværgende tiltag bør gennemføres i næste fase af forundersøgelserne.

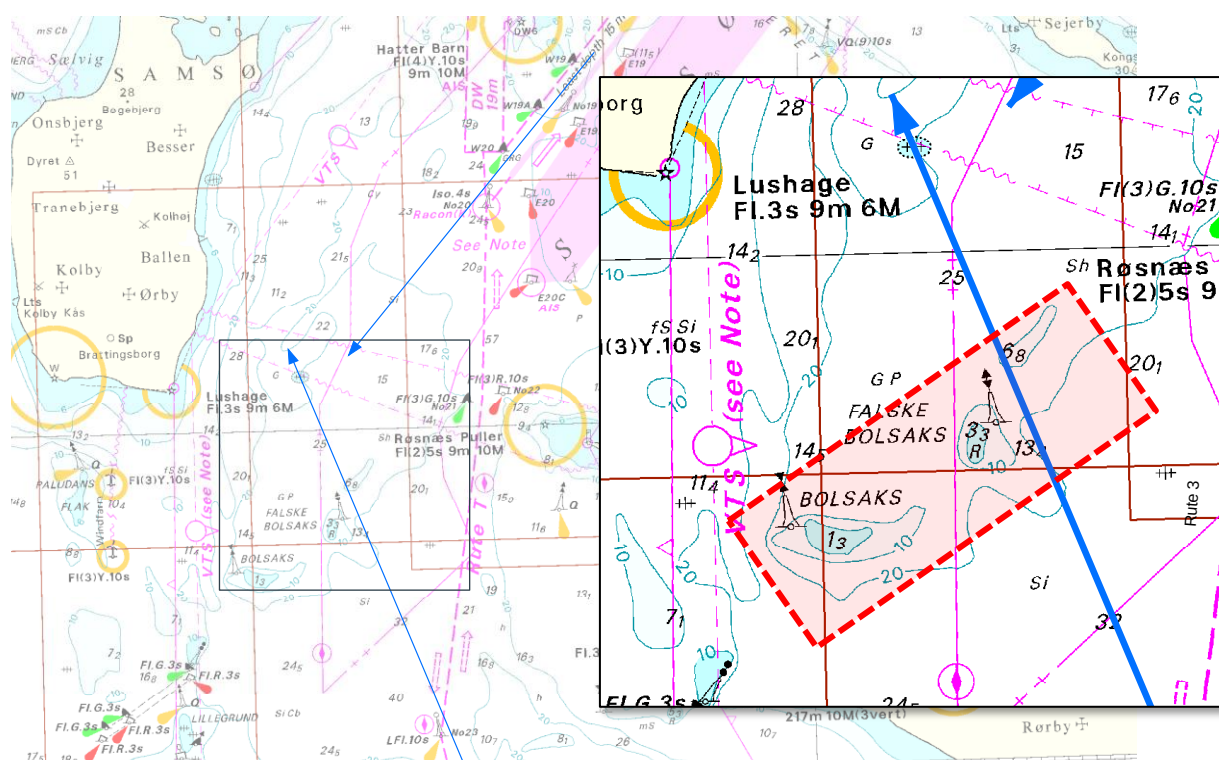
4 Grundstødning mod rev eller naturlig grunde

Modelberegningerne præsenteret i afsnit 2 tager vanddybden i regning på den enkleste og mest forsigtige vis ved alene at anvende vanddybden ved pillen eller under brodrageren, som filter for dybgangen af de skibe, der kan nå frem til en kollision. Uanset hvordan vanddybden varierer på skibets vej hen til pillen/drageren, vil en begrænset vanddybde ved pillen/drageren altid være en sidste forhindring imod kollision af skibe med større dybgang.

Den store risiko for kategori II kollisioner mod den vestlige tilkørselsbro opfordrer imidlertid til genovervejelse af denne simple og konservative fremgangsmåde. Kategori II kollisioner er netop betinget af, at skibet fastholder sin kurs

selvom ruten fordrer en kursændring, og for denne type kollision bliver det derfor relevant at forudsætte, at skibet følger en ret kurs helt hen til broen, og at skibet grundstøder eller standses, hvis det møder utilstrækkelig vanddybde undervejs.

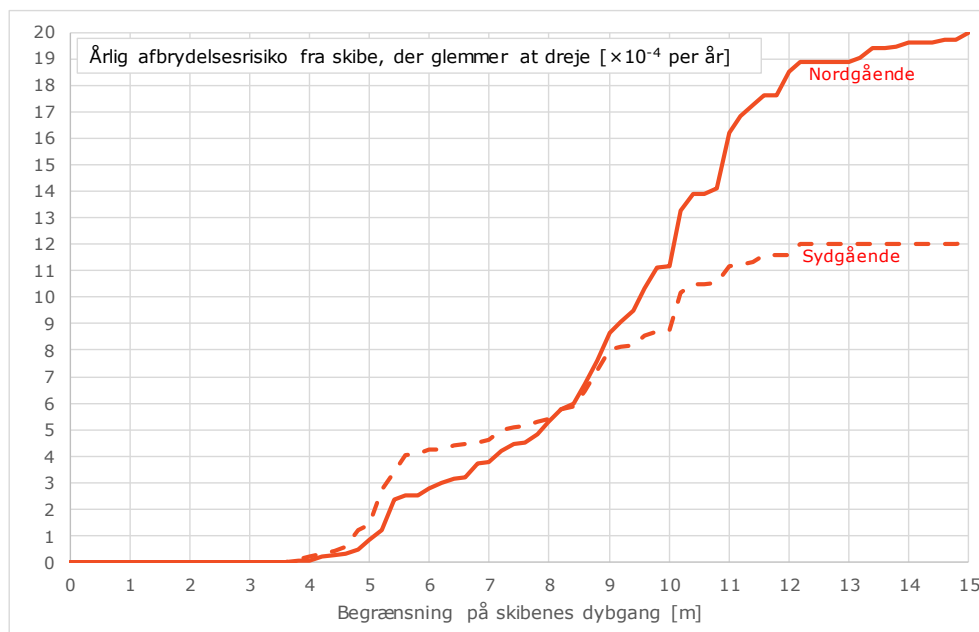
Som illustreret i Figur 4-1 vil sydgående skibe i en kategori II kollision ikke møde begrænsninger i vanddybden, som kunne forhindre kollision mod broen. Nordgående skibe vil passere henover grunde, som på søkortet er markeret med vanddybder helt ned til 6-7m, og en begrænsning af kollisionskandidater til skibe med en dybgang mindre end 7m vil gøre stor forskel i risikobidraget fra kategori II.



Figur 4-1 Forløbet for kategori II kollisioner fra knækket på Rute T hen mod broen, samt markering af grundene "Bolsaks" og "Falske bolsaks" (til højre).

Effekten af en sådan dybde-filtrering er systematisk undersøgt i en risikoberegning, der indfører begrænsning af dybgangen for kategori II kandidater. Dybgangen kan være forskellig forrest og bagerst på skibet, hvis det er i uens trim, men for den aktuelle vurdering anvendes den gennemsnitlige dybgang som grundlag for dybde-filtreringer.

Figur 4-2 viser variationen af risikobidraget for syd- og nordgående kategori II kollisioner, som funktion af begrænsningen på skibenes dybgang. En mindste dybgang på 15 m giver reelt ingen begrænsning, og resultaterne for syd- og nordgående trafik ved 15 m ($12 \times 10^{-4} + 20 \times 10^{-4} = 32 \times 10^{-4}$) passer med resultatet i Tabel 2-1.



Figur 4-2 Reduktionen af risiko fra kategori II kollisioner når vanddybden hen til broen bliver begrænset (basisscenarie).

Som bemærket i relation til Figur 2-4 giver den nordgående trafik et større bidrag til risikoen end den sydgående trafik, og denne forskel noteres også i Figur 4-2. Forskellen skyldes dels, at der er flere nordgående end sydgående passager, og dels at de nordgående passager er tungere lastet. Dette skyldes at især større skibe med fordel kan passere igennem Øresund ind til Østersøen, når de er i ballast, men er tvunget igennem Storebælt, når de i lastet tilstand skal ud af Østersøen. Det medfører at der er flere nordgående passager i Storebælt, og at især de store skibe vil være tungere lastet ved nordgående passager. Det større displacement giver større energi og kræfter i en kollision, og sandsynligheden for afbrydelse ved en kollision er derfor større med et lastet skib.

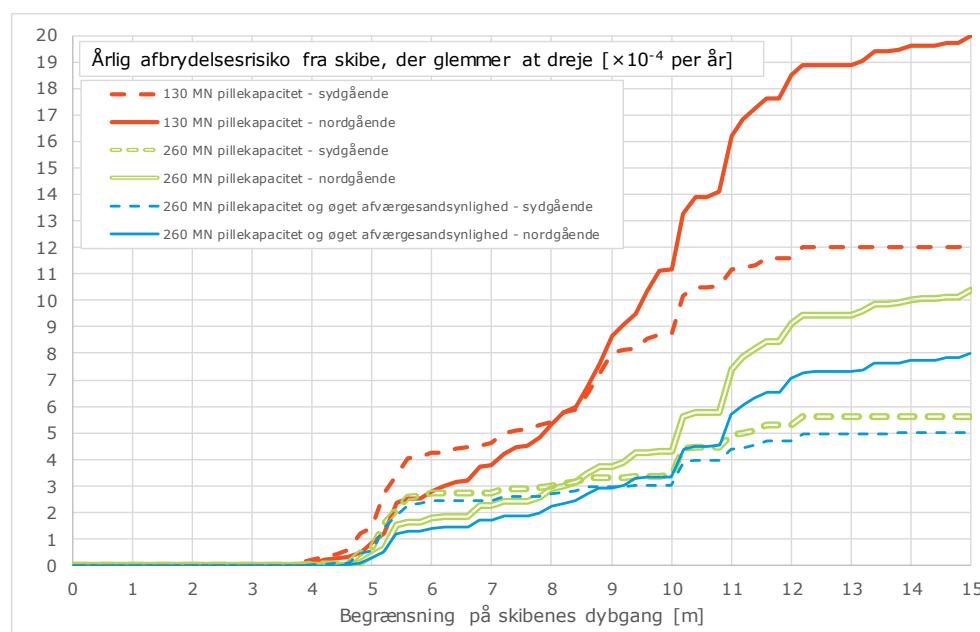
I Figur 4-2 viser det sig ved, at risikoen fra nordgående trafik er større end risikoen fra sydgående trafik, når der ikke er begrænsning på dybgangen. Til gengæld aftager risikoen hurtigere for den nordgående trafik, når vanddybden forudsættes begrænset. Det fortæller at den større risiko ved den nordgående trafik er knyttet til passager med større dybgang – helt i overensstemmelse med den antydede forskel på den nord- og sydgående trafik. Det betyder også, at en begrænsning af dybgangen for kategori II kollisionskandidater, vil være mere effektiv overfor den nordgående trafik.

For at risikoen for kategori II kollisioner skal nærme sig et acceptabelt niveau, skal dybgangen for skibe, der kan nå frem til broen, begrænses til 4-5 m. Vanddybderne henover grundene *Bolsaks* og *Falske Bolsaks* og området nordøst for disse (se Figur 4-1) er ikke helt små nok til at give en sådan fuld beskyttelse. Men hvis disse grunde begrænser vanddybden til 6-7 m, har det jævnfør Figur 4-2 stor betydning for risikoen fra nordgående trafik.

Der er ikke en tilsvarende naturlig begrænsning af vanddybden hen til broen for sydgående kategori II kandidater, men den kunne arrangeres ved at installere et kunstigt rev imellem knækket på Rute T og den eksponerede del af broen. For at

give tilstrækkelig begrænsning af risikoen, skal vanddybden over et sådant rev ikke være mere end 4-5 m.

Risikoberegningerne for de øvrige to scenarier, der er beregnet i afsnit 2 er tilføjet i Figur 4-3 for at give indtryk af den samlede risiko reduktion ved alle de foreslåede tiltag. Det er alene en begrænsning af skibenes dybgang, der gør det muligt at reducere den samlede risiko ned til et niveau, der kunne være acceptabelt – dvs. af størrelsesordenen $1-5 \times 10^{-4}$ per år. Sammenholdt med den ganske voldsomme omkostning det vil være at udføre alle pillerne med en kollisionskapacitet på 230 MN, vurderes et kunstigt rev at være den mest kost-effektive reduktion af den store risiko, der er forbundet med kategori II kollisioner.



Figur 4-3 Reduktionen af risiko fra kategori II kollisioner når vanddybden hen til broen begrænses (alle betragtede scenarier)

Som det fremgår af Tabel 2-1 udgør kategori II kollisioner det dominerende bidrag til risikoen. Men hvis dette bidrag reduceres – f.eks. ved at etablere kunstige rev – vil risikoen fra kategori IV kollisioner fortsat udgøre en uacceptabel høj risiko. Og da denne risiko – pga. af sin diffuse karakter – ikke lige så oplagt lader sig begrænse med lokaliserede rev eller øer, vil det være en endnu større udfordring at bringe dette risikobidrag ned til et acceptabelt niveau ved hjælp af risikoreducerende foranstaltninger, hvilket derfor anbefales nøjere analyseret i den næste fase af forundersøgelserne.

Det bemærkes, at der kan være en mulighed for at reducere det beregnede estimat af risikoen fra kategori IV ved en opdatering baseret på re-analyse af erfaringerne fra Storebæltsforbindelsen. I afsnit 5.2.5 i ref. [4] er der konkluderet følgende om dette scenario baseret på erfaringen frem til 1. juli 2014:

"Det konkluderes, at der på baggrund af de rapporterede hændelser ikke er grundlag for at ændre modelleringen af dette scenario. Ved projekteringen af Storebæltsforbindelsen var der ikke noget erfaringsgrundlag til at fastsætte den ovenfor anførte værdi for P_C . Nu er erfaringen så stor, at det kan

konkluderes, at værdien ikke forventes at medføre en undervurdering af risikoen."

Den i citatet nævnte P_C er årsagssandsynligheden for kategori IV hændelser, som er en generel faktor for risikobidraget fra kategori IV.

Nøjere analyse af data og erfaringer siden 1. juli 2014 kunne gøre det muligt at reducere den beregnede risiko. Men faktoren skal reduceres med mere end 50% for at komme ned på en samlet risiko, der nærmer sig et acceptabelt niveau. Yderligere 6 års data og registreringer giver en mulighed for at nå dertil, men der er ingen garanti for at dette bliver udfaldet af en re-analyse, hvorfor det må forudses at næste fase af forundersøgelserne også vil skulle fokusere på at identificere mulige afværgende tiltag.

5 Referencer

- [1] "Indledende Linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport", COWI for Vejdirektoratet, Sund & Bælt, Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, marts 2020.
- [2] "Skibskollisioner, Grundlag og Beregninger", A/S Storebælt, COWI rapport, Dok. Nr. A054212-007, 2016-05-27
- [3] "Opdatering af model for Skibe der glemmer at dreje", A/S Storebælt, COWI notat, Dok. Nr. A054212-067, 2019-07-30
- [4] "Skibskollisionsundersøgelser. Vurdering af indtrufne hændelser", A/S Storebælt, COWI rapport, Dok. Nr. A054212-030, 2016-05-27