

Sikring mod stormflod i Skælskør

Højvandssikring - beskrivelse af mulige løsninger

NOTAT

ADRESSE COWI A/S
 Parallevej 2
 2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Baggrund	1
2	Resume	2
3	Forudsætninger	2
3.1	Vandstand, strøm og bølger	2
3.2	Adgangsforhold og besejling	4
4	Højvandslukke	5
4.1	Placering af Højvandslukkekonstruktion	5
4.2	Placering A - "kyst"	6
4.3	Placering B - "Slagternæse"	7
4.4	Topografi	8
4.5	Højvandslukkesystemer	8
4.6	Anlægsomkostninger	14
5	Lukningsprocessen	13

1 Baggrund

Med udgangspunkt i klimatilpasningsplanen for Slagelse Kommune er arbejdet ift. implementering af løsninger til nedbringelse af oversvømmelses-risikoen initieret. Skælskør er således udsat i forhold til stormflod som blot forværres over tid i takt med klimaforandringerne indtog og påvirkning af middelvandstanden i havet. Det ønskes derfor belyst hvorledes det er muligt at sikre Skælskør mod stormflodshændelser via opførelse af en strategisk placeret højvandslukke i Fjorden.

PROJEKTNR.

A090463

DOKUMENTNR.

002

VERSION

1.0

UDGIVELSES DATO

23. maj 2017

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

AOEL, LAFN

KONTROLLERET

OJJ

GODKENDT

LAFN

2 Resume

Højvands sikring af Skælskør og omegn ved hjælp af en højvandslukning i yderfjorden kan udføres med forskellige konstruktionstyper. Dimensionsgivende er, ud over de naturlige og fysiske forudsætninger i området, den ønskede besejlingsbredde og dybden. Disse vil være bestemmende for anlægsbudgettet. Skibstrafikken er ikke af kommercielt karakter, og skibene er begrænset i størrelse da dybden i sejlrenden er begrænset, hvorfor det tilrådes at indsnævre sejlrenden ved selve højvandslukket. Dette vil nedbringe anlægsbudgettet betragteligt og også give mulighed for at vælge et portsystem, som er mere enkelt i drift og vedligeholdelse.

3 Forudsætninger

3.1 Vandstand, strøm og bølger

Vandstand

Daglig vandstande i Skælskør Fjord varierer med ca. 0,5m mellem middelhøjvande og middellavvande. Vinde fra NW og NE kan give indtil 1,0 m højvande og vinde fra SE og SW indtil 0,6m lavvande. Højvandsstatistikken (*Kystdirektoratet 2012*) viser målinger fra Korsør i nord og Karrebæksminde i syd, med et 100 årig vandstand på ca. 1,55m. Højeste vandstand er målet under novemberstormen i 2006 med +1,73m i Karrebæksminde og +1,70m i Korsør. Til sammenligning gav novemberstormen i 1872 en vandstand på +1,70m i Karrebæksminde.

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Spredning (cm)
100 år	153	13
50 år	141	9
20 år	126	6

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til: $VS_1 = 87$ cm.

Figur 3-1 Højvandsstatistik Korsør, (*Kystdirektoratet 2012*)

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Spredning (cm)
100 år	155	18
50 år	146	15
20 år	134	12

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til: $VS_1 = 92$ cm.

Figur 3-2 Højvandsstatistik Karrebæksminde, (Kystdirektoratet 2012)

Herudfra vurderes et års vandstanden i Skælskør til ca. +90 cm.

Det anbefales, at en konstruktion til højvandsslukning af fjorden dimensioneres for en 1.000 års hændelse og at vandstandsstigningen pga. klimaændringer tages i betragtning for en levetid af ca. 75 år, og dermed dimensioneres der for en potentiel vandstand i år 2100.

Ud fra overslagsberegninger og ekstrapolation af kystdirektoratets højvandsstatistik vil en vandstand ved en 1.000 års hændelse ca. være +1,96m. Kombineret med en forventet vandstandsstigning og statistisk usikkerhed anbefales det at dimensionere for +3,0m vandstand.

Strøm

Strømmen i fjorden er meget kraftig, til dels bevirket af det indenfor liggende nor. Strømmen er ved roligt vejr regelmæssigt skiftende hver 6. time og kan undertiden løbe med indtil 5 knob (2,5 m/s). Under uroligt vejr kan strømmen løbe samme vej i længere tid. Strømforholdene skal tages i betragtning ved dimensionering af et højvandsslukke, men på nuværende tidspunkt antages det at strømmen ved en stormflod vil være indadgående.

Bølger

Udover vandstand og strøm er bølger af betydning for dimensionering af nye konstruktioner. For en placering helt ude ved molerne ved indsejlingen er der ca. 20 km frit stræk mod NV og bølgerne kan teoretisk under en orkan med vind på ca. 33 m/s opnå en højde på ca. $H_s=3,0$ m hvor vanddybden er 6 til 7 m. Inde ved indsejlingen er der meget grundt vand med ca. 0,5-1 m dybde. Så selv med en designvandstand på + 3,0m kan bølgehøjden ikke overstige $H_s=1,5$ -1,8 m. Hvis en portkonstruktion placeres inde i fjorden, på position A eller B, se senere, er bølgerne mere begrænsede, og med et frit stræk på under 1 km, vil bølgehøjden ikke overstige, $H_s=1,0$ m.

Hvis der i tilslutning til højvandsslukkekonstruktionen skal bygges diger på land er det nødvendigt at vurdere de lokale bølger på digerne yderside under den dimensionsgivende stormflod, så digerne dimensioneres for kombinationen af høj vandstand og bølger.

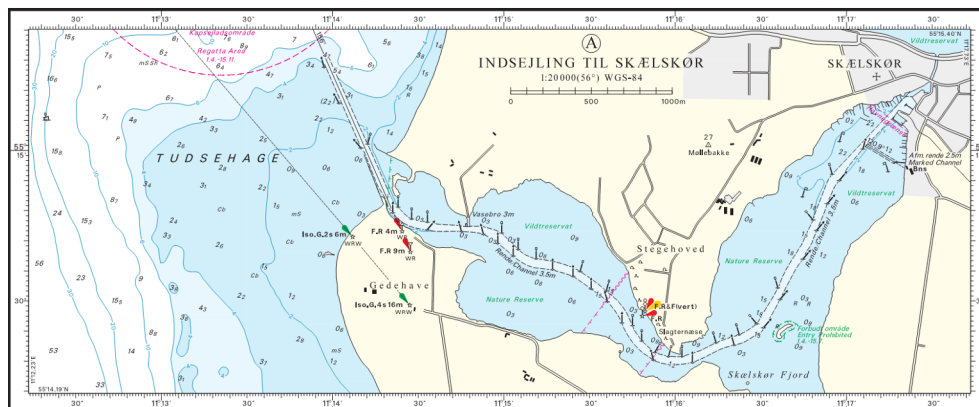
3.2 Adgangsforhold og besejling

En højvandssikring af Skælskør og omegn bør ikke indskrænke besejlingsmulighederne af Skælskør Fjord og Havn. Skælskør Havn ligger i bunden af den 2,4 sømil lange Skælskør Fjord. Fra Skælskør Red fører en gravet rende over Tudsehage til Skælskør Fjord. Gennem fjorden fører et smalt, uddybet sejløb videre til havnen.

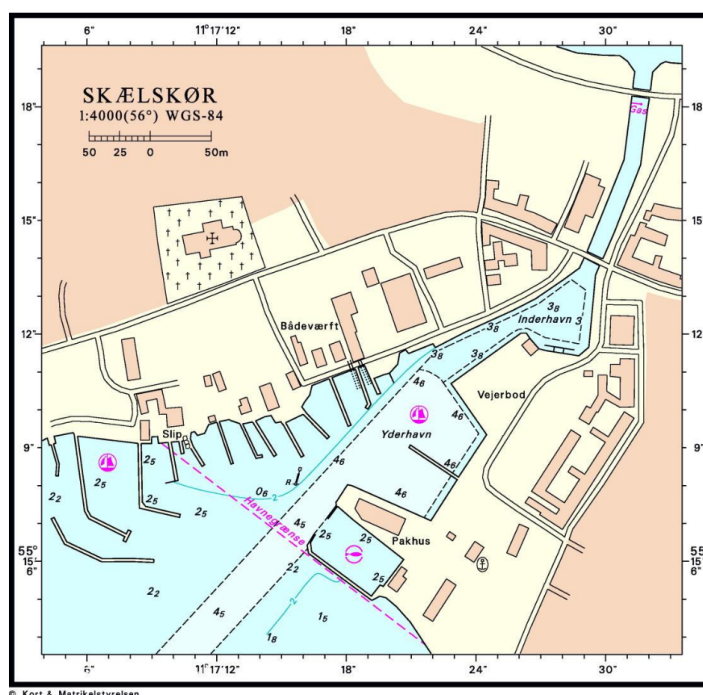


Figur 3-3 Visualisering af sejlrenden igennem Skælskør Fjord.

Sejlrenden er ca. 40-50m bred og vedligeholdes med en dybde af 3,5m. Vanddybden er i hele Skælskør Fjord begrænset til under 2m og i størstedelen meget lavvandet med omkring 0,5m.



Figur 3-4 Indsejling til Skælskør fra Søkort 160 Smålandsfarvandet

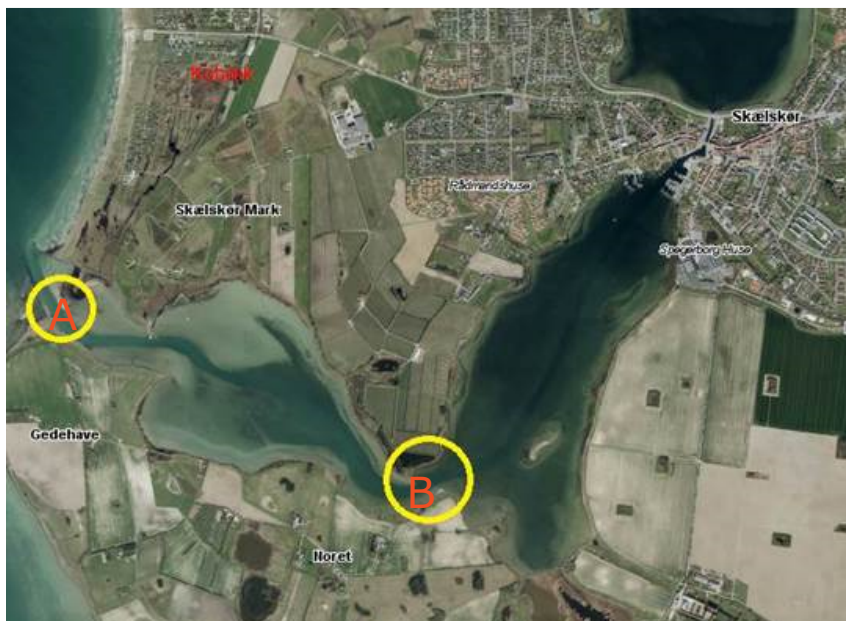


Figur 3-5 Skælskør Havn

4 Højvandslukke

4.1 Placering af Højvandslukkekonstruktion

Slagelse Kommune foreslår to mulige placeringer for en højvandsport, en ud ved kysten (A) og en ved Slagternæs (B), som begge er indikeret på Figur 4-1.



Figur 4-1 Mulige placeringer af højvandslukke, A) kyst, B

4.2 Placering A – "kyst"

En placering nær kysten vil give muligheden for at sikre hele Skælskør Fjord og omegn for ekstremt højvande under en stormflod. En placering ved overgangen fra Skælskør Fjord og Smålandsfarvandets betyder dog også andre designforudsætninger i forhold til bølger, som redegjort for ovenfor. En mulig lukning kunne placeres i selve indsejlingsområdet mellem de eksisterende bølgebrydere eller ca. 300m inde i fjordindsejlingen, hvor den naturlige bredde af fjorden kun er omkring 70-80m.



Figur 4-2 Mulig placering af højvandslukke i fjordindsejling

En alternativ kystnær placering af en højvandslukke vil være ved Lodsbroen. Her er afstand mellem bredderne ca. 170m og sejlrenden er ca. 44m bred.



Figur 4-3 Mulig placering af højvandslukke ved Lodsbroen

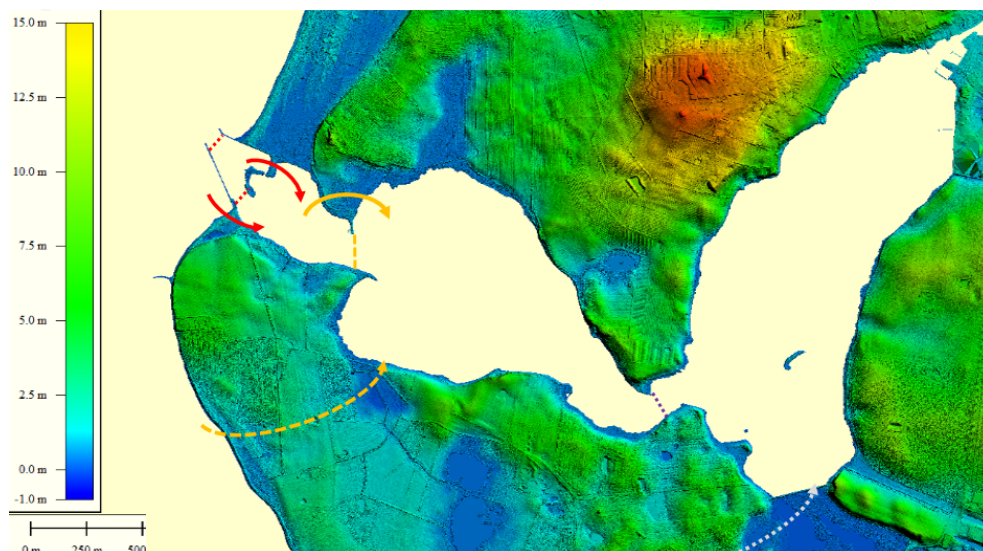
4.3 Placering B – "Slagternæse"

Som anden placering er indsnævringen ved Slagternæse udpeget, som er det punkt hvor Skælskør Fjord er delt op i inderfjord og yderfjord. En placering ved denne lokalitet betyder, at udelukkende inderfjorden vil blive beskyttet af en fremtidig højvandssikring. Afstand mellem bredderne er ca. 125m og sejlrenden har her en bredde af ca. 44m.



4.4 Topografi

Ud over, at fjorden og sejlrenden er smal på det valgte sted, er det vigtigt at sikre, at det omkringliggende areal ikke har lavere landkoter end selve højvandslukket, da vandet derved ville kunne løbe udenom. I de udpegede placeringer er det omliggende land forholdsvis lavtliggende, og en sikring mod oversvømmelse skal højst sandsynlig kombineres med diger eller lignende foranstaltninger, for at forhindre at vandet løber bagom. Potentielle oversvømmelsesveje, som skal vurderes nærmere er indikeret på Figur 4-4.



Figur 4-4 Pot. højvandslukke og pot. oversvømmelsesvej udenom konstruktionerne

4.5 Højvandslukkesystemer

Der findes adskillige systemer og konstruktionstyper til større sluseporte og højvandssikring på tværs af sejlrender, der er installeret eller ved at blive udført forskellige steder i Europa og USA. En analyse på basis af disse systemer og de lokale forhold for det aktuelle projekt i Skælskør har peget på enkelte udvalgte løsninger, som vil være mulige.

Disse systemer omfatter:

1. **Vandret bevægelige porte** udført som stålkassetter, som lukker for åbninger/indløb ved en vandret forskydning af portene. Disse anvendes ved åbninger op til ca. 70 m bredde.

Eksempel: Berendrecht Lock i Antwerpen Havn, Belgien.



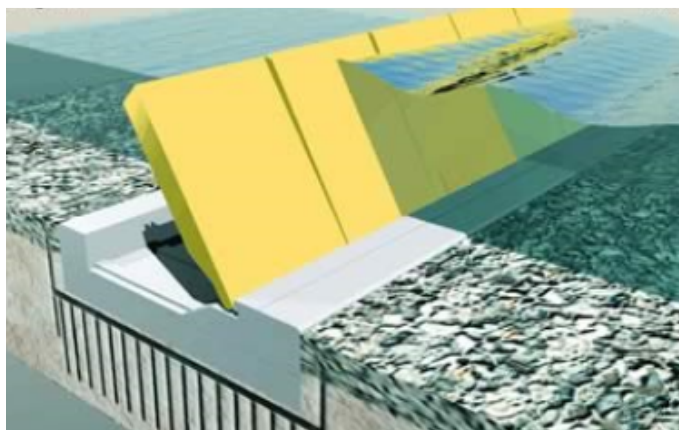
2. **Stålkonstruktioner med flydende kvart-cirkulære vægge**, som understøttes af trykdragere forbundet til centrale støttepunkter. Åbningerne lukkes ved drejning af systemet således at væggene lukker åbningen og derefter sænkes ved udpumpning af vand fra ballasttankene. Dette system er anvendt bl.a. i Holland og USA.

Eksempel: Maeslantkering flood gate i Holland



3. **Portklapper der er nedfældet i havbunden** og rejses ved tømning af de hule stålporte, som derved ved opdriften drejer omkring vandrette aksler. Herefter stiger den øverste portdel over vandlinjen og spærrer for højvandet.

Eksempel: "Moses" Projektet ved Venedig. Dette system har den ulempe, at alle de mekaniske ståldele befinder sig under vandet.



Alle de nævnte systemer vil principielt kunne anvendes til højvandlukningen ved Skælskør Fjord. Her er dog tale om store konstruktioner som medfører betragtelige byggeomkostninger, og fremtidige vedligeholdelsesomkostninger og selve styringen kan være omfangsrig.

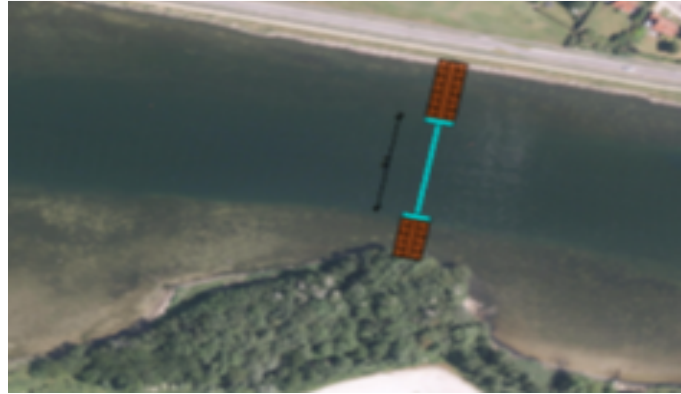
Hvis der ikke er behov for at opretholde den fulde bredde af sejlrenden i området af selve højvandslukket, så kan en mindre højvandslukkekonstruktion anvendes. Her er det afgørende at fastlægge en minimumsbredde for besejling baseret på de skibe som fremover skal passere fjordindsejlingen og anløbe Skælskør Havn. For at fastlægge en endelig dimensioneringsbredde skal brugere og havnen tages i dialog, men til første oplæg vurderes det overslagsmæssigt, at en besejlingsbredde på 20m vil være tilstrækkelig.

For portkonstruktion med ca. 20m bredde kan følgende systemer anvendes:

1. **Vandret bevægelige porte** udført som stålkassetter, som lukker for åbninger/indløb ved en vandret forskydning af portene. Eksempel, Royers Lock i Antwerpen fra 1900.



Lignende konstruktion er i et skitseforslag udarbejdet til Nakskov havn.



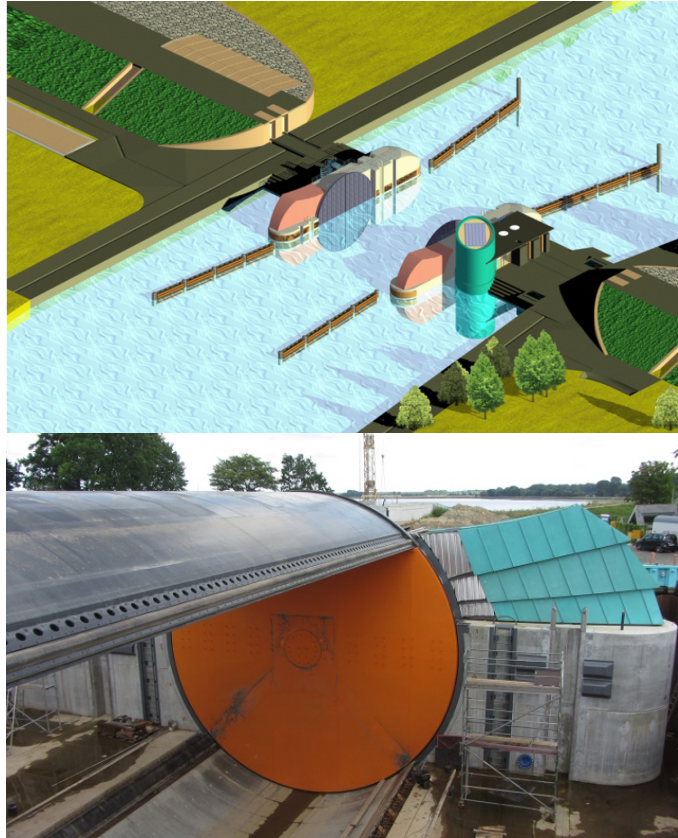
2. **Sidehægtede port** udført som stålporte, som lukker for åbninger/indløb ved at to porte lukkes mod hinanden ved en vandret forskydning af portene.
Eksempel: Sluseport Kattendijk, Belgium



3. **Sidehægtede port** udført lige som stålporte, men i azobetræ eller lignende.
Eksempel: Sluseporte i Willemsvaart, Holland.



4. **Radialporte** Kernen i systemet er hovedporten designet som en radialport med et spændvidde på ca.20-25m m. De laterale åbninger er beskyttet af glidende porte på hver side. Ingen af portene vil være synlige i den åbne position. Den radiale port er anbragt i et hulrum på karmen, de glidende porte er skjult i kamre inde i dæmningen; De nødvendige nød- og inspektions stoplogs er indbygget i hulrum på og inde i dæmningen.



5 Lukningsprocessen

Ved varsel af forventet højvandsstand på over en bestemt kote, og ifølge fastlagte kriterier, klargøres alle lukkesystemer for lukning, som besluttes og startes 3 -5 timer før den kritiske højvandstand forventes. Skibsfarten og privat sejlads adviseres og advarselslys og systemer aktiveres.

Det påregnes at selve lukningsprocessen vil tage op til ½ time, afhængig af systemet. Lukningen af de vandrette portklapper (Venedig kan reguleres i højden ved portklappernes vinkelstilling medens skydeportene i syd har en fast højde svarende til en topkote på ca. + 3,5 m.

Bemanding og operation af systemerne skønnes mest naturligt at være placeret i organisationen for havnen. Herved sikres bedste koordinering af skibstrafik, varslingsystemer, vedligehold og assistance ved lukninger, også ved prøvelukninger som mindst foreslås gennemført årligt for at sikre at systemet er operativt når det behøves under fremtidige stormfloder.

6 Anlægsomkostninger

Bredden og vanddybden af højvandssikringsanlægget er den altafgørende faktor for anlægsomkostninger.

En løsning hvor hele sejlrendens bredde holdes åben kræver en konstruktion af ca 40m. Her vil kun nogle af de store konstruktioner være effektive.

En vandret bevægelige port løsning udført som stål-kassetter vil over en sådan brede og en vanddybde af 3,5m koste i størrelsesorden af 100 millioner kr.

Indskrænkes sejlrendens bredde lokalt, vil sidehægtede port udført i træ eller som stålporte over en kanalbrede af ca. 12-18m være en mulighed. Dette klassiske system som er benyttet ved utallige kanaler og vandveje over hele Europa vil formentlig være det bedste valg både teknisk og økonomisk. Afhængig af udformning og bredden vil en sådan løsning koste omkring 20-30 millioner kr.

Til alle løsningsforslag skal der tillægges anlægsomkostninger til diger på land, for at forhindre at vandet kan løbe bagom/udenom konstruktionen. Dette er ikke taget med i overslaget.

Dertil kommer evt. omkostninger til pumpeanlægget, adgangsvej mm.