

Limfjordstunnelens klimaundersøgelse

Dansk Brodag 2022

Niels Gustav Jørgensen

Jan Stæhr



COWI

Klimaundersøgelse - Hvorfor?

ING/

NYHEDER BLOGS DEBAT AVIS SEKTIONER ▾ MERE ▾ VERSION2 PRO EVENT JOB

VORES FOKUS

SLUT MED RUSSISK GAS

KRIGENS TEKNOLOGI

GIFTIGE FLUORSTOFFER

POWER-TO-X

TECH WEEKLY - ING IN ENGL

FLERE >

Tunneler med munding ved havet klimasikres mod stormflod



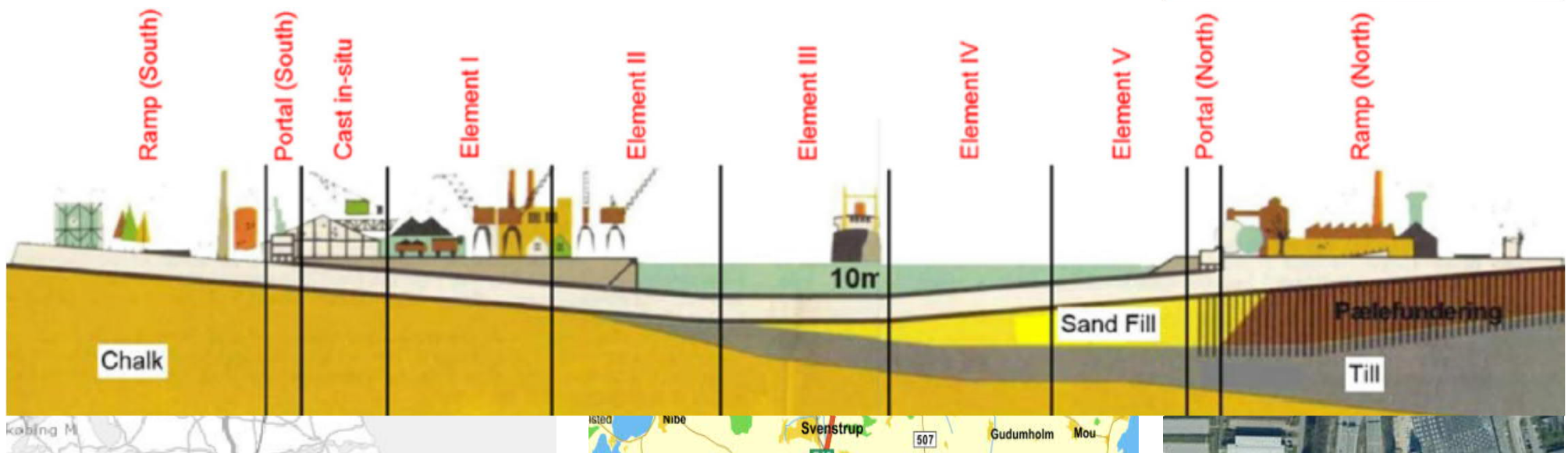
I 2019 blev digerne på nordsiden af Sprogø hævet med 1,5 meter. Det krævede 100.000 ton granitsten og kostede 30 millioner kroner. (Illustration: Sund & Bælt)

Klimasikringen af landets store tunneler bliver for tiden opgraderet.

Af [Hjalte Josefsen](#) 31. mar 2022 kl. 02:00

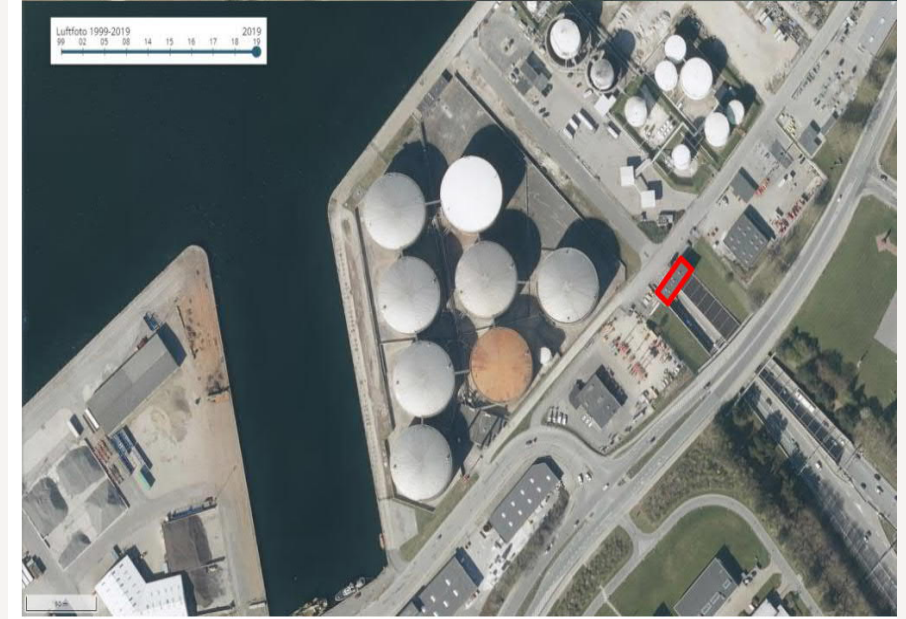
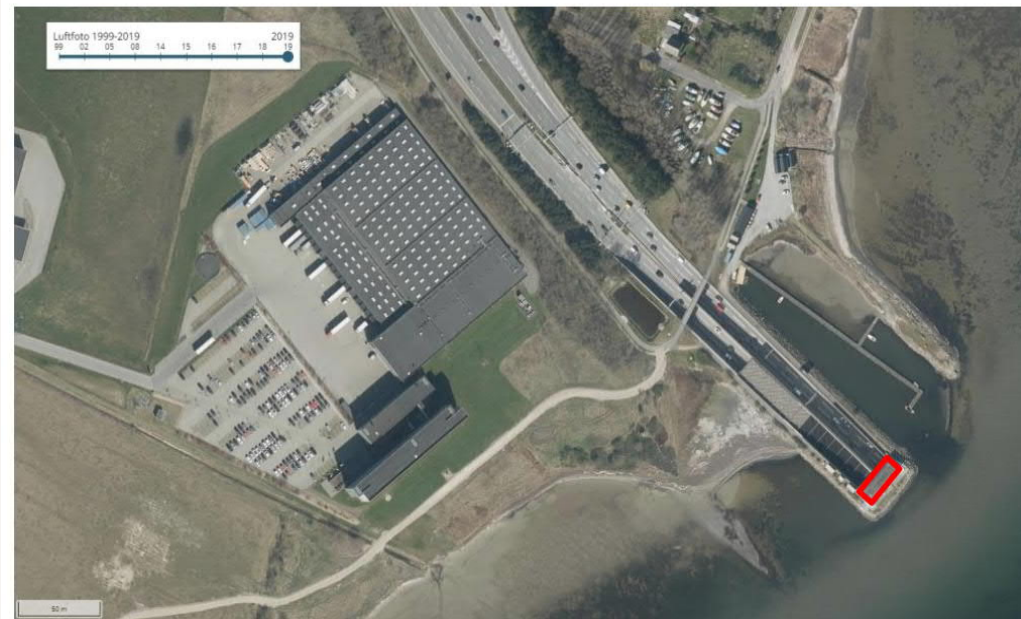
Limfjordstunnelen

- Trafik: ÅDT ca. 90.000
- Længde: ca. 1,0 km
- Dybde: ca. 10,0 sejlrende



Baggrund, udfordringer, klima

- Generelt stigende fokus på risiko/behov for øget klimasikring, herunder mht. større B/A-projekter (eksisterende, nye)
- Ny viden samt erfaring. Nødvendig at revurdere sikkerhed på eks. større infrastrukturanlæg forhold til klimasikring
- Limfjordstunnelen. Et centralt og vigtigt infrastrukturanlæg !!!



Klimabetingede udfordringer generelt...

- > Permanent stigende havvandstande
- > Stormflod
- > Stuvning og bølger
- > Ekstrem regn
- > Stigende grundvandstryk
- > Risici - Materielle skader, økonomiske, samfund, individer mv. Kontra ønsket/mulig sikkerhed/økonomi
- > Sikringstiltag, hvis nødvendigt, permanente og/eller midlertidige

Alle nævnte dele indgår mht.
Limfjordstunnelen

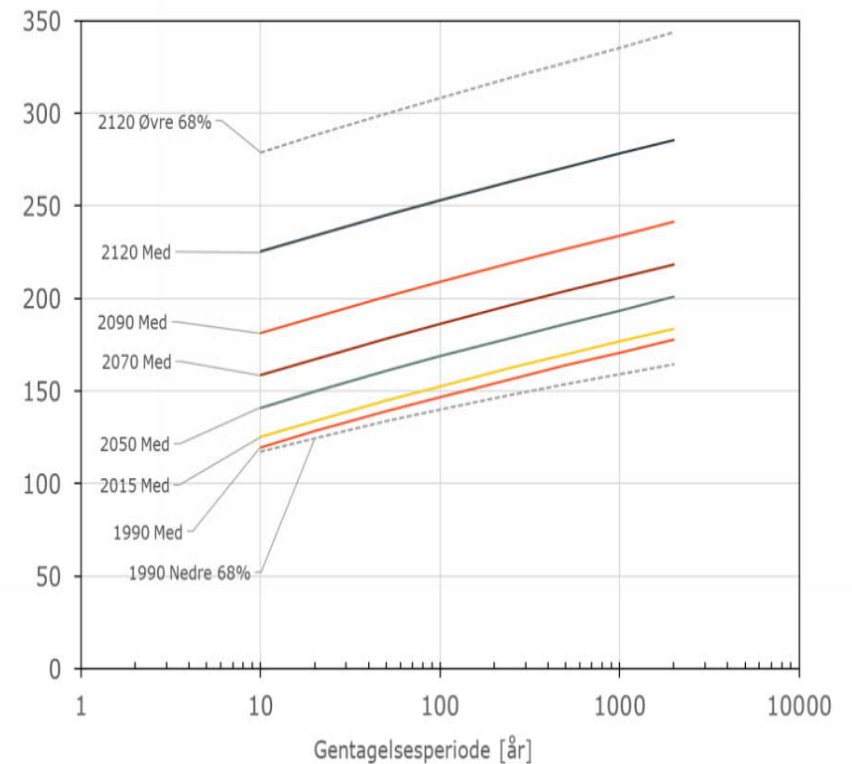
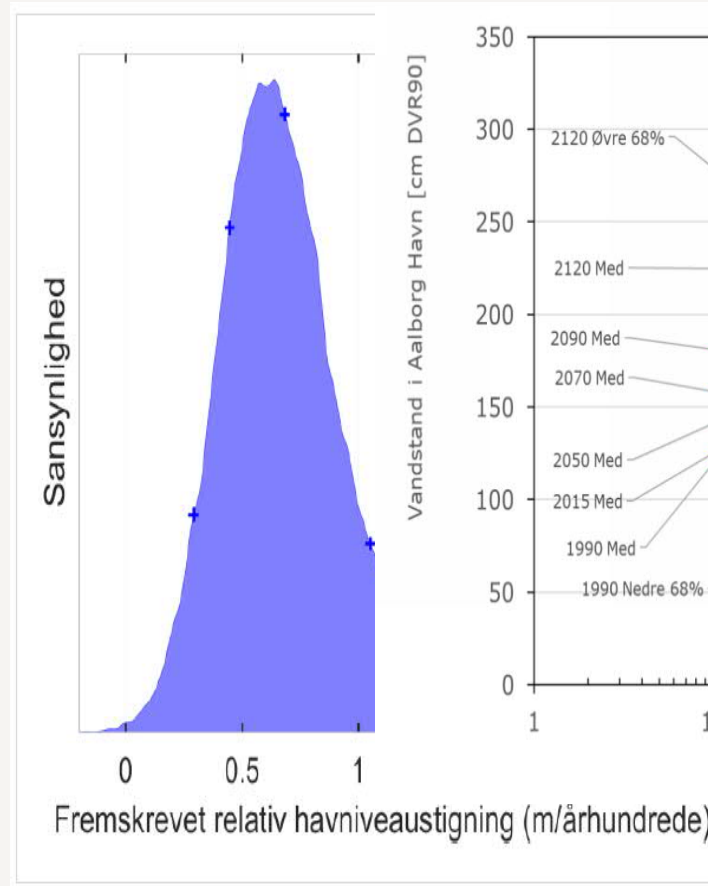
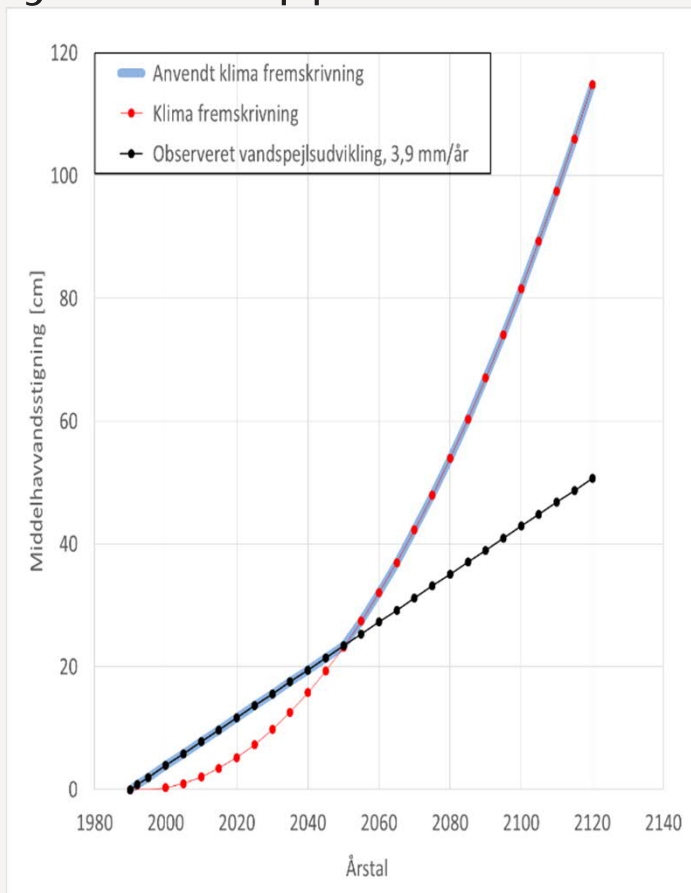


Udført arbejde. Stormflod/statistik

- Omfatter både tunnel, ramper, anlæg, rørføringer, kystbeskyttelse mv
- Perm. havstigning, stormflod, stuvning, bølger

Klimabetinget risiko for permanent stigning af havvandstand:

IPC5/lokale farvande DK. Ny statistik lokalt, længere historik/tidsserier nødvendig v. sjældne hændelser (1000/2000/10000 års), landhævning inkl. Ny IPC6-rapport.



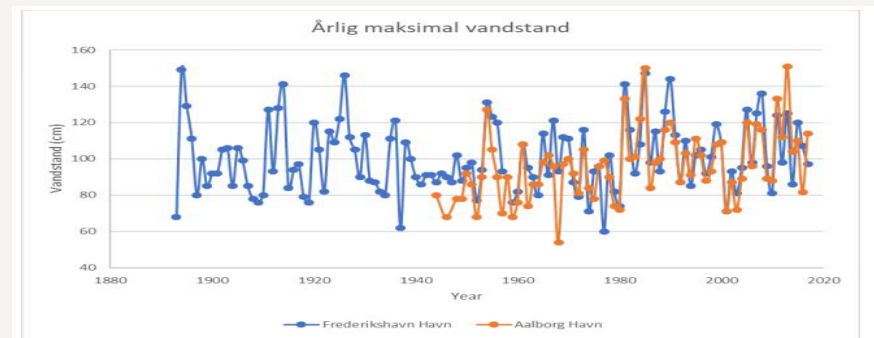
Klimasikring af Limfjordstunnelen

Stormflod. Vurderinger, resultater og anbefalinger:

- Permanent havstigning/stormflod/bølger/stuvning
- Tidsperspektiv analyser: "i dag" samt 50-(100) år frem
- Nuværende sikkerhed (se nedenfor)
- Vurdering af relevant sikringsniveau for et sådant vital infrastrukturanlæg

Resultat af analyser mht. stormflod: Nuværende sikringsniveauer (vil reduceres yderligere med tid):

- > Nordlig rampe: Kote +1.5 m
- > Nordlig portalbygning: Kote +1.95 m
- > Sydlig portalbygning: Ej problem



Figur 4-8 Årlige maksimale vandstande ved Frederikshavn og Aalborg.

Kote +1.5 m svarer til kun en 100-års hændelse i dag, hvilket er kritisk lavt sikringsniveau for et sådant vigtigt infrastrukturanlæg

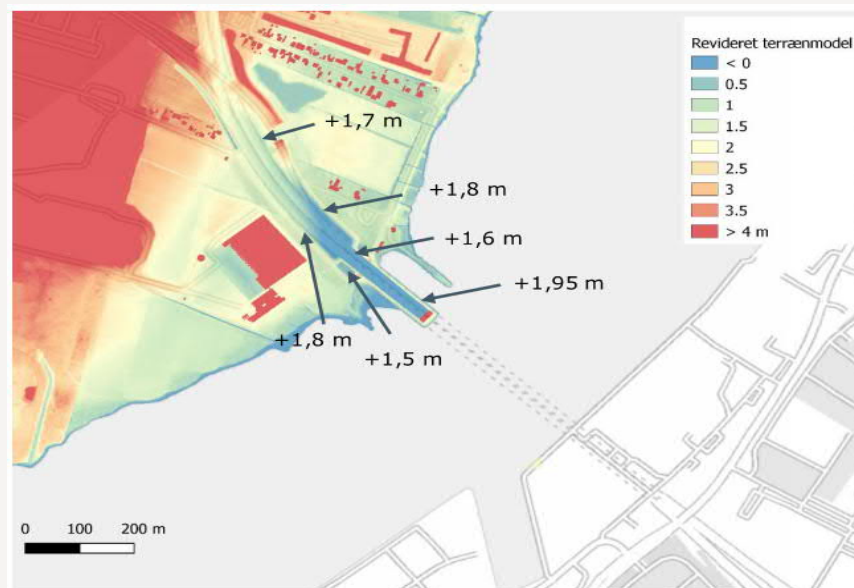
Konsekvens: Stor risiko for oversvømmelse og vand i tunnelen ved stormflod. Risiko for længerevarende afbrydelse samt økonomi

Stormflod. Vurderinger, resultater og anbefalinger fortsat:

- > N rampe. Stormflodssikring op til min. kote +2.5 m, gerne **kote +3.0 m**
- > En sikring op til kote +3.0 m vil betyde, at tunnelen sikres til min. en 2000 års hændelse 2070, inkl. bølgepåvirkning mv, hvilket anses for et hensigtsmæssigt niveau
- > Evt stormflodssikring til en højere kote, vil betyde semiregionale tiltag, ej nødvendigt. Sikring til kote +3.0 m, risiko/sikkerhedsmæssigt og teknisk/økonomisk fornuftig. Kan håndteres med lokale tiltag. Særligt tiltag nødvendig umiddelbart syd for N-portal bygning



Figur 5-1 Vandstandskote på +2,5 m (blå kurve) og strækninger, der skal sikres langs motorvejen nord for Limfjorden.

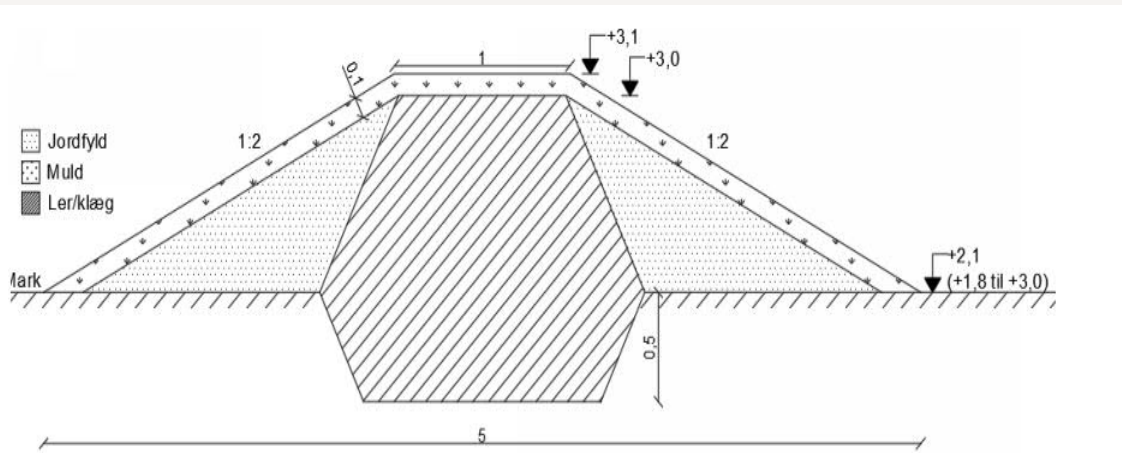


Stormflod. Vurderinger, resultater og anbefalinger fortsat

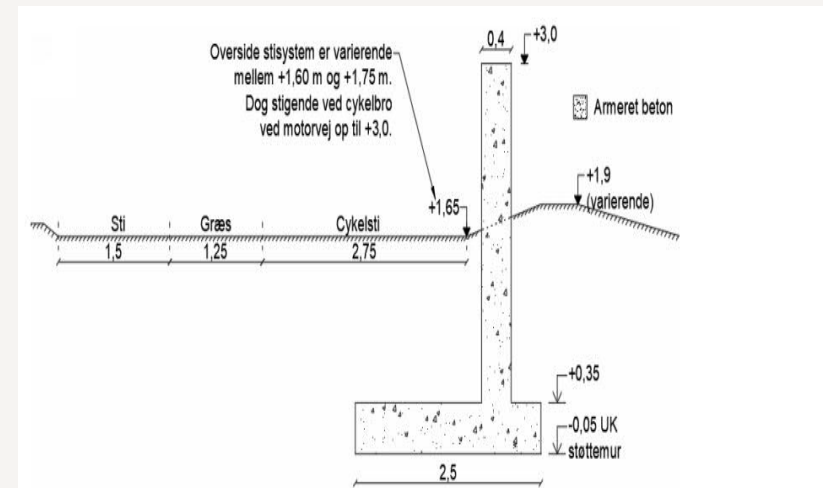
Oversigtskort over løsningsforslag på nordlig rampe for sikring til kote +3.0 m. På sydlig rampe ingen nødvendige tiltag



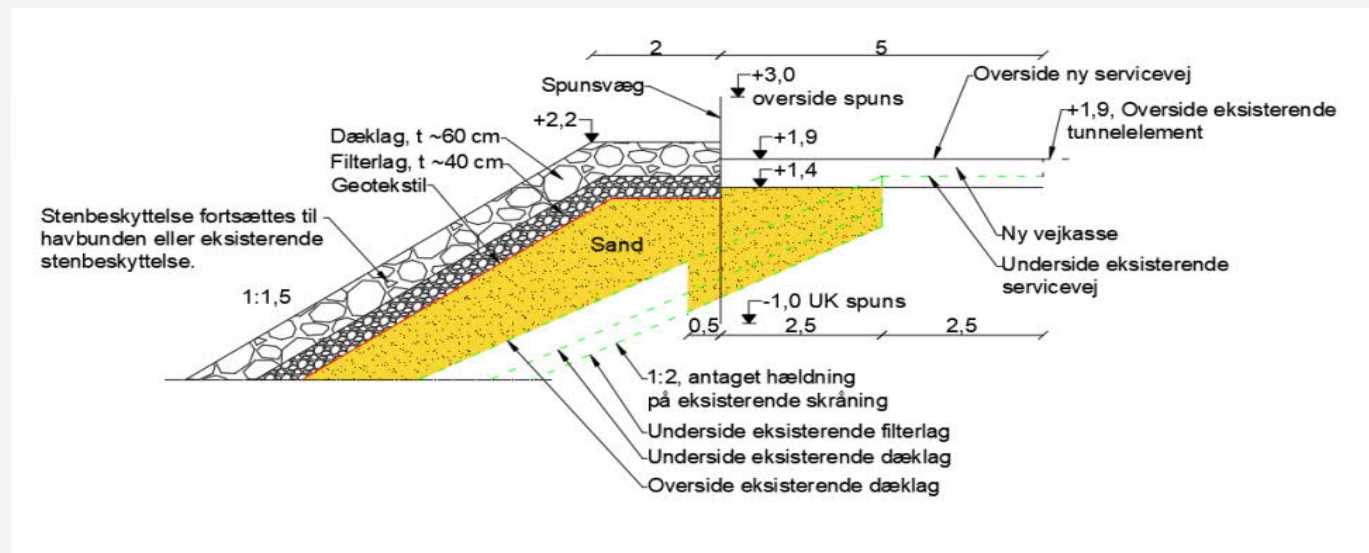
Stormflod, mulige tiltag, N-rampe. Udvalgte eks. på mulige lokale sikringstiltag til kote +3.0. Placering se forrige slide



Figur 7-3 Principskitse for Snit A-A for sikring til kote +3,0 m, se Figur 7-1.



Figur 7-6 Principskitse for Snit C-C for sikring til kote +3,0 m, se Figur 7-1.



Figur 7-10 Principskitse for Snit G-G for sikring til kote +3,0 m, se Figur 7-1.

Skybrud

Undersøgt sandsynligheder for oversvømmelse i tunnelen pga. skybrud på områderne ved op- og nedkørsler samt rampestrækninger ved Limfjordstunnelen

Omfanget af oversvømmelser er beregnet vha. en hydraulisk model over det offentlige kloaksystem, samt model over Limfjordstunnelens eget afvandingssystem, koblet med en terrænmodel over området.

Der er udført beregninger med gentagelsesperioder på hhv. 25 år i år 2020, 100 år i 2020 og 2120, samt for 1000 år i år 2020.

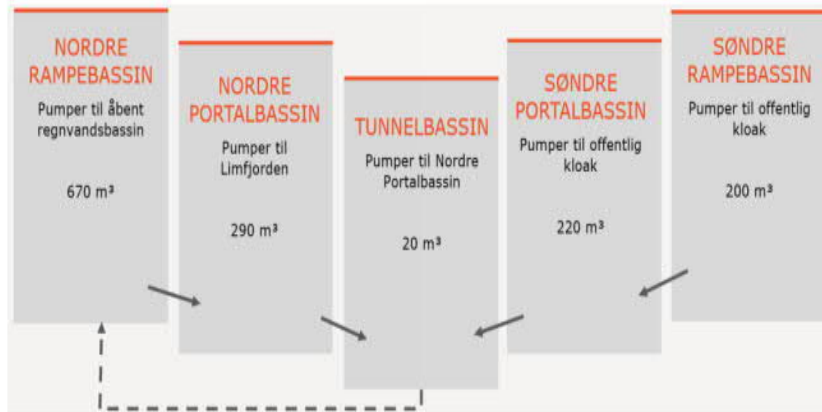
Bassin	Bassinvolumen, omtrentligt (m ³)	Samlet pumpekapa- citet (l/s)	Bemærkning
Søndre Rampe- bassin	200	61	Pumper til offentlig kloak
Søndre Portalbassin	220	72	Pumper til offentlig kloak
Tunnelbassin	20	56	Pumper til Nordre portalbassin
Nordre Portalbassin	290	58	Pumper til Limfjor- den
Nordre Rampebas- sin	670	325	Pumper til åbent regnvandsbassin
Åbent regnvands- bassin	450	-	Tømmes ved for- dæmning/nedsiv- ning, samt overløb til Limfjorden i kote 0,95

Tabel 1 Bassinvolumener og pumpekapa- citeter.

Skybrud. Bassiner og ledninger



Figur 9 Åbent regnvandsbassin ved Nordre Portal.



Figur 7 Oversigt over bassiner.



Figur 8 Placering af bassiner (uddrag fra hydraulisk model).

Nedbør, undersøgelser af forskellige events,
 -sikringsniveau, kriterie kritisk vanddybde i tunnel max 20 cm (100 cm),
 -ekstrem regn vil være uvarslet lokalt, risiko for vand i tunnel.
 Konsekvens: risiko for personskader, afbrydelser, teknisk-økonomiske konsekvenser mv

Gentagelsesperiode	Årstal	Klimafaktor	Regndybde (mm)	10-min. regnintensitet (um/s)
T25	2020	1	64	26,5
T100	2020	1	85	36,2
T100	2120	1,4	120	50,7
T1000	2020	1	132	57,8

Tabel 2 Gentagelsesperioder og tilhørende klimafaktorer i nuværende og fremtidigt klima, som anvendt til oversvømmelsesberegningerne.

Gentagelsesperiode	Kritisk vanddybde (cm)	Ekstra kritisk vanddybde (cm)
T25	0	100
T100	20	100
T1000	20	100

Tabel 3 anbefalede kritiske vanddybder ved de anbefalede gentagelsesperioder.



Figur 13 Oversigt over hydraulisk model,

Skybrud. Resultater og anbefalinger

- > For alle de nævnte beregnede gentagelsesperioder, vil der stå **mere end 30 cm** i bunden af tunnelen. For 1000-års hændelsen i 2020 er der beregnet en oversvømmelse på **mere end 1 meters dybde** i bunden af tunnelen
- > En nedbørshændelse af betydelig størrelse kan forekomme lokalt relativt uvarslet, og det vurderes derfor at nævnte hændelser ikke er acceptable for et anlæg af så vital betydning
- > Det er vurderet, at det vil være hensigtsmæssigt at arbejde med sikringsniver mht. klimabetinget skybrud op til en 1000 års hændelse i 2020. Der er derfor vurderet og skitseret afværgetiltag og løsningsforslag i forhold hertil.

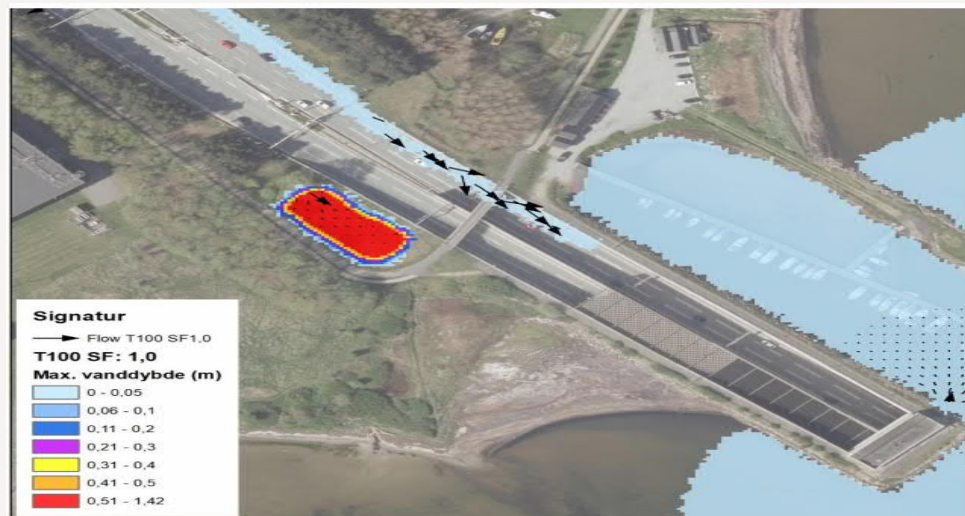
Skybrud. Resultater og anbefalinger fortsat

Nordlig rampe

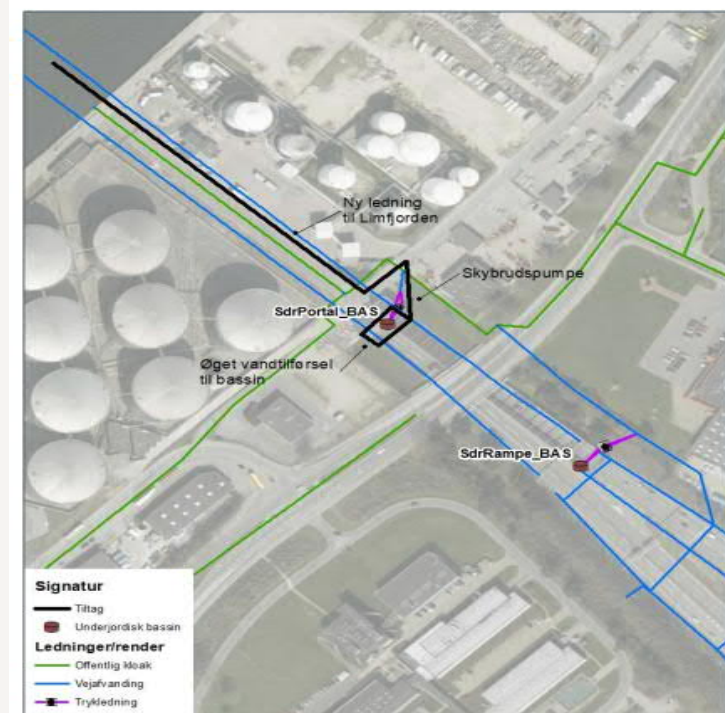
- > Etablere skybrudsriste ved N-rampebassin for at udnytte bassinets kapacitet bedst muligt.
- > Forebygge tilbageløb fra det åbne regnvandsbassin til tunnelen ved etablering af en ekstra overløbsmulighed til Limfjorden

Sydlig rampe

- > Etablere mulighed for at pumpe fra sydlige portalbassin direkte til fjorden ved kraftige skybrud, udenom Aalborg Forsynings kloaksystem.
- > Evt. kombinere dette med en afkobling fra det offentlige kloaksystem



Figur 20 Nordre portal. 100-års regn i år 2020. Maksimale vanddybder og flowretninger.



Figur 34 Skitse af de foreslåede afværgeforanstaltninger for en 1000-års hændelse (i 2020) på den sydlige rampe til Limfjordstunnelen.

Grundvand. Risiko for øget grundvandstryk

Stigende havvand, kortvarig stormflod og nedbør kan resultere i stigende grundvandstryk/opdrift under de kystnære konstruktioner, bl.a. pga. den delvise hydrauliske forbindelse imellem Limfjorden og grundvandsmagasinerne.

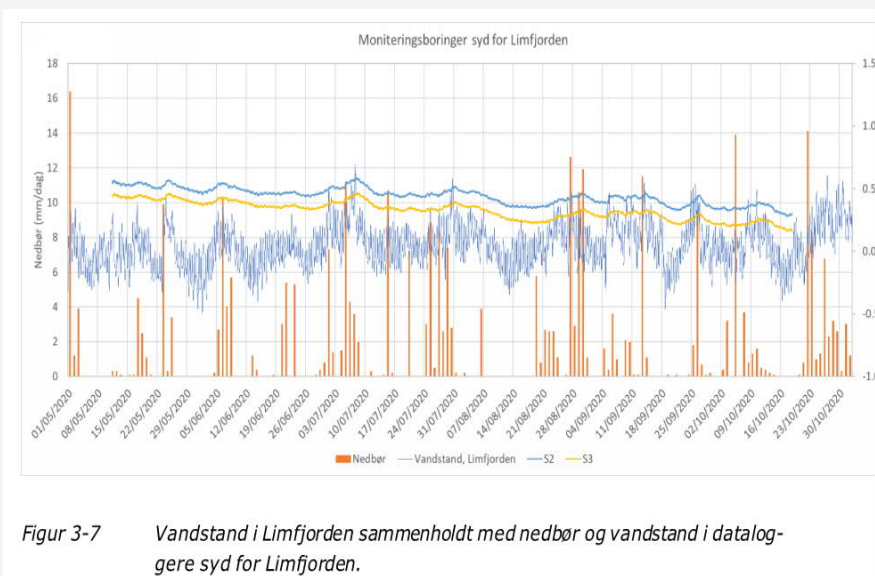
Valgte sikkerhedsniveauer og løsninger mht. risiko i forhold til stormflod indgår. Eks. diger i større afstand øger også sikkerhed mht. opdrift

Der er installeret dataloggere for bl.a. at sammenligne grundvandsstand og variationer heri omkring de to ramper med vandstandene i Limfjorden.

Efterfølgende indgår data i dynamisk 3D-grundvandsmodel.

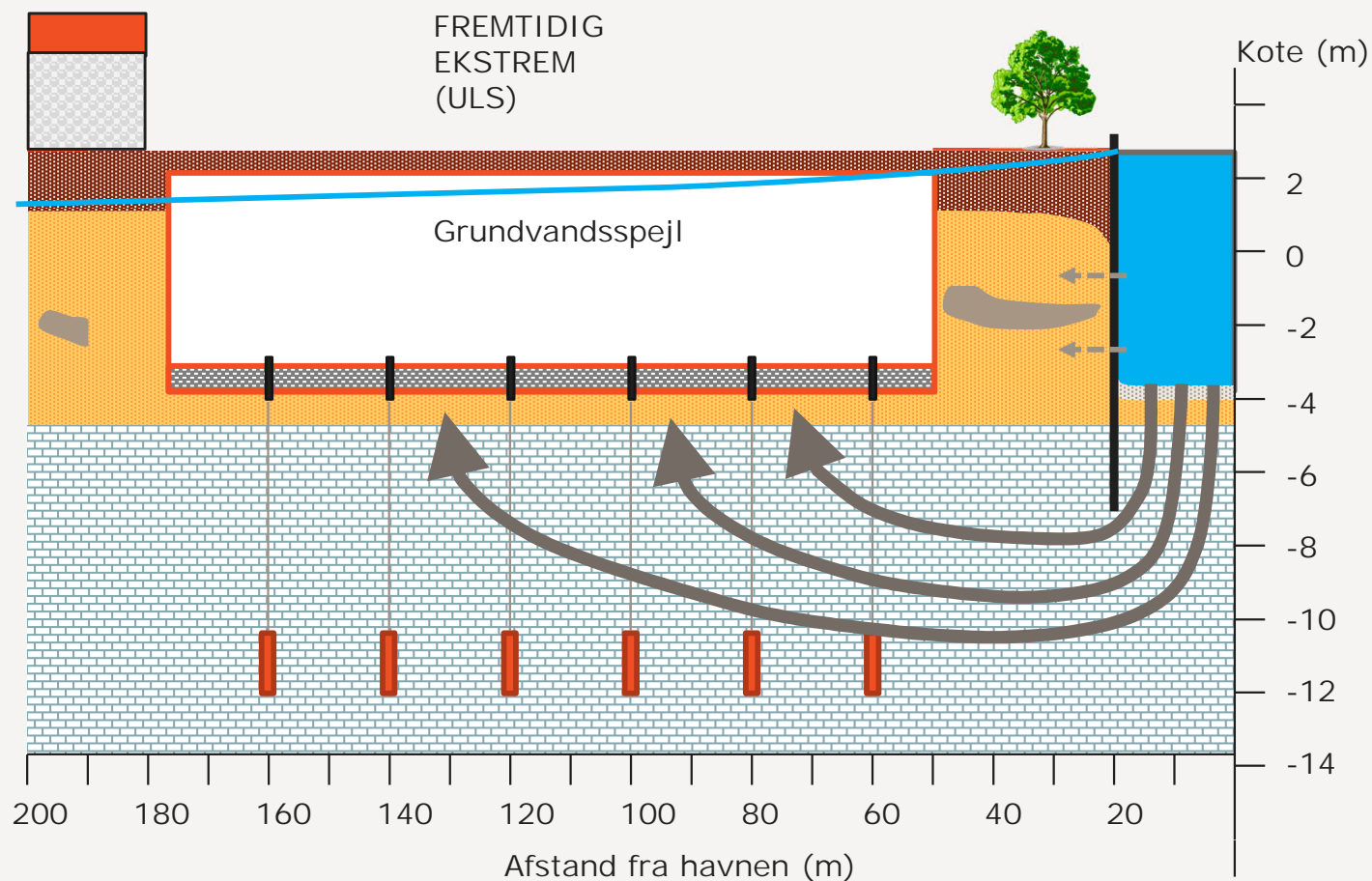
Tabel 5-1 Maksimal tryk på konstruktionen og procentvis andel af stormflodskoten ved forskellige scenarier.

Stormflodskote	Uden klimasikring	Med klimasikring for stormflod
+1,84 m	1,67 m (91%)	-
+2,50 m	2,15 m (86%)	1,17 m (47%)
+3,00 m	2,47 m (82%)	1,43 m (48%)



Figur 3-7 Vandstand i Limfjorden sammenholdt med nedbør og vandstand i dataloggere syd for Limfjorden.

Risiko for klimabetinget øget grundvandstryk.
Eksempel på resulterende øget grundvandstryk under/omkring en konstruktion pga. permanent højere havvandstand, stormflod, (nedbør).
(Skematisk konstruktion/bassin)



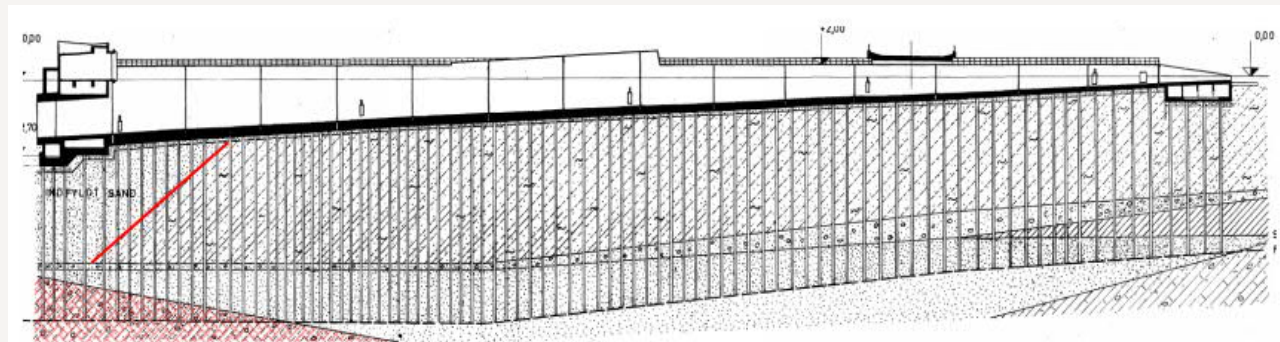
Grundvand. Risiko for øget grundvandstryk. Resultater og anbefalinger

Nordlig rampe:

- › Hvis rampekonstruktion skal kunne modstå beregnet øget grundvandstryk, skal trækbæreevne af pæle udnyttes.
- › Detaljeret analyse viser at trækbæreevne er "ok".
- › Rampevæggens strukturelle stabilitet er ok i forhold til øget grundvandstryk
- › Særlig højvandssikring syd for nordlig portalbygning
- › Stor betydning hvor stormflodssikring placeres mht. øget/mindre opdrift

Sydlig rampe:

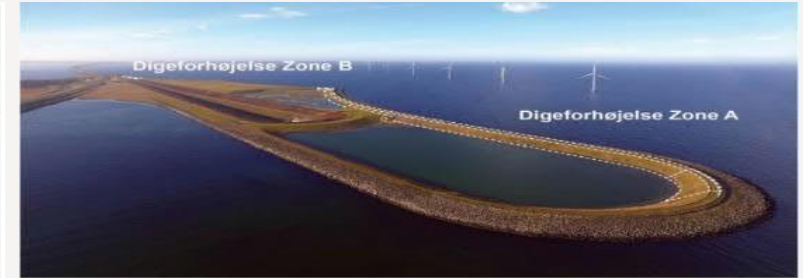
- › Ingen opdriftsproblemer. Dog ved evt. grundvandstryk til tærren behov for lidt yderligere forankring eller ballast i enkelte sektioner



Figur 6-2

Længdesnit i nordre rampe. Den røde linje markeret overgang ml. indbygget sand mod venstre og naturligt aflejret dynd/gytje på højre side. Den røde skravering angiver moræneaflejringer.

Anlæg generelt. Perspektiver/strategier klima.



- > Erfaringerne viser der kan være/er mange andre anlæg, som er tilsvarende "udsatte".
- > Kystnære anlæg og bygninger generelt (stormflod, regn, stigende grundvand), indenlands (regn, stigende grundvand)
- > Nødvendig at kikke på/sikre de vigtige infrastrukturanlæg i Danmark
- > Dette så ansvarlige infrastruktur-ejere, brugere, myndigheder, befolkning mv kan "sove roligt"
- > Screene (og evt. implementere hvis relevant) tiltag, permanente/beredskab
- > Investeringer i klimatilpasning, risiko-cost-benefit, udgift hvis det går galt i forhold til investering, lokalt/samfund/menneskeliv, kort eller længere sigt.

Klimasikring - Hvad gør vi nu?

- Valg af sikkerhedsniveauer og omfang af sikringstiltag
 - Myndighedsdialog, myndighedsplan mv.
 - Forundersøgelser – herunder geoteknik/Miljø mv
 - VVM-screening
 - Eventuelle lodsejeraftaler
 - Projektering



Spørgsmål ?

Dansk Brodag 2022

Niels Gustav Jørgensen

Jan Stæhr



COWI