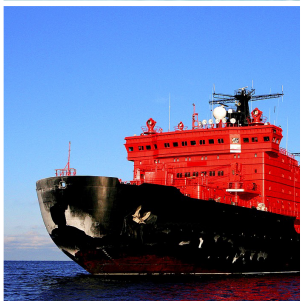
ESBEN RUBECK STAGSTED
KARSTEN GARBORG

8 UDFORDRINGER

FOR DE DANSKE HAVNE FREM TIL 2050



KANDIDATAFHANDLING
AALBORG UNIVERSITET
13. JUNI 2013

Forord

Vi er to studerende, der læser Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet, som siden introduktionen i starten af 8. semester har haft stor interesse for vandbygning og især havne. Den store adspredelse i faget er tiltalende, da der er mulighed for at arbejde med alle de discipliner, der undervises i på instituttet. Vores projekter og arbejdsopgaver har derfor siden omhandlet havnerelaterede emner.

På 8. semester arbejdede vi tæt sammen med Frederikshavn Havn om en eventuel udvidelse af indsejlingen og konsekvenserne heraf. Projektets produkt var baseret på en 1:125 skaleret model af havnen bygget i universitetets bølgelaboratorium, samt 2D-computersimuleringer af bølgeuroen inde i havnen for at vurdere, om en sådan udvidelse kunne gennemføres uden komplikationer. Projektet afledte, at sommerferien mellem 8. og 9. semester blev brugt på laboratorieforsøg af en mole, bestående af en stenkastning og sænkekasser, for en spansk havn ud for Afrikas kyst. 2D og 3D modeller af bølgebryderen udsattes for forskellige bølgeperioder med stigende bølgehøjde, for at validere om totalstabiliteten ved direkte og medløbende bølger var tilstrækkelig.

Denne rapport er produktet af en kandidatafhandling, hvor seks måneders virksomhedsophold, dels i Aarhus og Dubai, har givet erfaring inden for den strukturelle og geotekniske del af havnebyggeriet. I disse seks måneder har vi beskæftiget os med dimensionering af konstruktioner såsom kajer, moler og kunstige øer. De resterende fire måneder er brugt på interviews af de danske havne, og der forinden nedsunket i bøger for at have tilstrækkelig baggrundsviden til at kunne vurdere, de udsagn vi har modtaget.

Der rettes en særlig tak til vores vejleder, Peter Bak Frigaard, der ansporede vores interesse for vandbygning.

Kildehenvisninger: Projektrapporten anvender Harvard referencemetoden, med efternavnet på forfatteren af kilden, samt årstal for publikation i hårde klammer efterfølgende, eksempelvis Sørensen et al. [2013]. En oversigt over alle referencer og kilder kan findes i bibliografien i slutningen af rapporten.

Esben Rubeck Stagsted

Karsten Garborg

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Indledning **1**

Kapitel 2 Skærpede miljøkrav **3**

Kapitel 3 Klimamæssige forandringer **5**

Kapitel 4 Lokalområdets bevidsthed **15**

Kapitel 5 Indbyrdes konkurrence og samarbejde **17**

Kapitel 6 Bæredygtig udvidelse **19**

Kapitel 7 Infrastruktur og lokalplan **21**

Kapitel 8 Opfyldning af bagland **23**

Kapitel 9 Større skibe og havne med vokseværk **27**

Kapitel 10 Konklusion: Planlæg langt frem i tiden **31**

Referencer og kildehenvisninger **33**

Indledning 1

Af Danske Havne [2010] fremgår det, at 25 havne på daværende tidspunkt, var i gang med at udvide. Behovet for disse udvidelser er skabt af en stigning i den globale søtransport, som er fortsat stigende jf. Mortensen et al. [2012]. Havne med udvidelsesplaner har derfor fra begyndelsen været i fokus i dette projekt, da nye havnearealer er en stor investering for havnen og giver anledning til en masse spændende udfordringer.

Disse udfordringer afhænger naturligvis af de lokale forhold ved den enkelte havn, men nogle af dem kan anvendes som inspiration fremadrettet. Havne- og vandbygning er en traditionsrig disciplin med meget erfarne aktører og gammelkendte løsningsmodeller, hvilket kan give en kontrast ift. vores begrænsede erfaring på området.

Formålet med projektet er, at undersøge hvilke udfordringer de danske havne står overfor nu og i fremtiden, og om muligt komme med løsningsforslag til disse. For at identificere disse udfordringer, søges det at opklare, hvor fokus ligger hos havnene, og hvor fokus ikke ligger - enten fordi det ikke vurderes relevant, eller fordi udfordringen ikke er kendt/anerkendt af havnen.

Gennem interviews af havnedirektører og havneingeniører, samt besøg på havnene, søges det at opbygge tilstrækkelig kendskab af havnene, for at kunne svare på projektets formål, og om muligt, se fælles tendenser og udfordringer, således at konklusionerne bliver anvendelig for havnene. 18 havne har deltaget i undersøgelsen, som vist på Figur 1.1.

Figur 1.1. Danmarkskort over havnene der har deltaget i undersøgelse.

Et litteraturstudie af andre lignende projekter, der har vedrørt havnene generelt, bliver brugt som baggrundsstof for at forstå udviklingen i havnene op til nu.

Der vil undervejs blive brugt nogle eksempler, for at illustrere bestemte problemstillinger så realistisk som muligt. Enkelte tal kan dog være ændret for eksemplets skyld. Navnet på lokaliteten, der er anvendt, vil visse steder ikke blive vist på grund af fortrolighed.

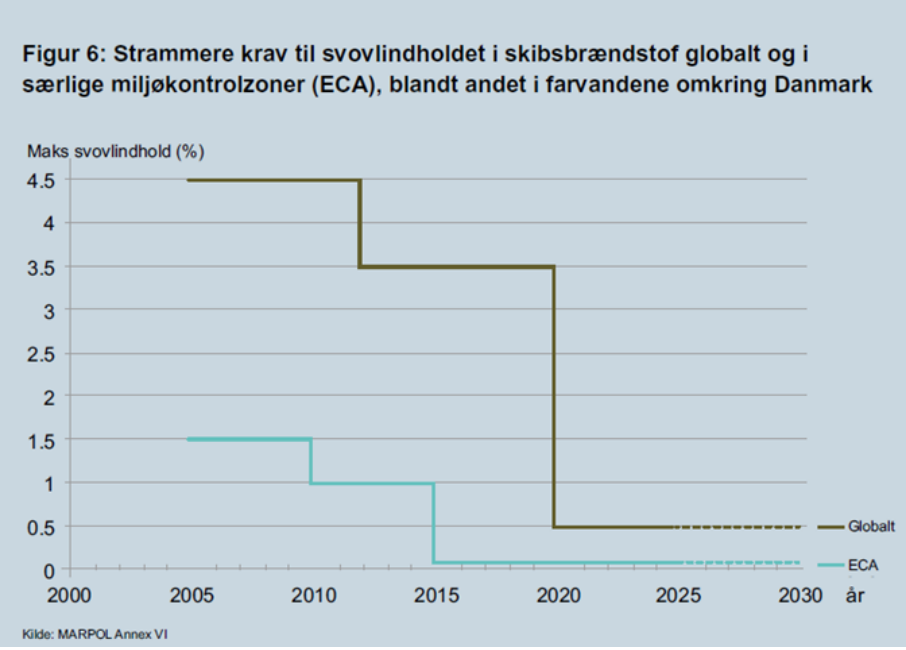
Produktet af projektet er denne rapport, der på baggrund af de identificerede udfordringer, kommer med en række råd til de danske havne frem til 2050. Disse råd vil fremgå af en infoboks i begyndelsen af hvert afsnit.

Skærpede miljøkrav 2

Havnene skal:

- Være på forkant med fremtidige skærpede miljøkrav, men samtidig være påpasselig med at indføre for mange restriktioner for havnens interessenter.

Det Blå Danmark står overfor en grøn omstilling, hvilket skaber både udfordringer, muligheder og problemstillinger. Udfordringen ligger i, at en masse ældre skibe skal retrofittes med ny teknologi, for at overholde kommende miljøkrav til eksempelvis svovludledning, se Figur 2.1. Mulighederne kommer til dels fra netop denne udfordring, da det kræver en masse know-how og faciliteter til at udføre arbejdet med retrofitting, hvilket kan medføre flere specialiserede arbejdspladser og anlæg, som senere kan servicere offshore sektoren. Offshore sektoren står nemlig i øjeblikket overfor en større opgave i levetidsforlængelse af ældre boreplatforme og relaterede rigge, samt på længere sigt dekommissionering af disse, når de enten ikke kan levetidsforlænges yderligere eller der kommer krav om demontering fra myndighederne.



Figur 2.1. Kommende krav til svovlindholdet i skibenes brændstof. Kilde: IMO, MARPOL Annex VI, The Protocol of 1997. Figur: Erhvervs- og Vækstministeriet [2012].

Problemstillingen opstår, da stadigt flere og strammere miljøkrav, opleves som en tung byrde for skibsfartens interessenter. Det er vigtigt, at disse byrder mindskes, såfremt det er muligt. Konsekvensen af, at byrderne bliver for store er, at industrien fravælger Danmark,

til fordel for andre lande med mere lempelige miljøkrav.

Det skal dog understreges, at miljøkravene som oftest er vedtaget udenfor havnens regi, men det er vigtigt med et stærkt fokus på at efterleve kravene, på en sådan måde, at byrden mindskes for havnens interessenter.

Af Mortensen et al. [2012] fremgår andre eksempler på fremtidige miljøkrav; *klimaenergi-effektivitet, rensning af ballastvand og sikker ophugning.*

Kravet om rensning af ballastvand er for at sikre plante- og dyrelivet, hvorfor der ikke må udledes i dansk farvand, uden forudgående dokumentation om, at udledningen er uden risiko for ikke-hjemmehørende invasive arter. Der er uklarhed om reglerne på området i øjeblikket, jf. Danske Havne [2013], men det er stadig vigtigt at indtænke eventuelle krav på et tidligt tidspunkt. Såfremt kravene bliver nedlagt, kan eventuelle tiltag på baggrund af forventningen til kravene, fortsat anvendes som en servicemulighed for skibene.

Et eksempel på behovet for retrofitting af skibe med ny teknologi, er omstillingen til LNG, der i de kommende år kommer til at kræve stor kapacitet hos havnene, hvor arbejdet med retrofittingen kunne tænkes at foregå. Retrofittede skibe får desuden behov for bunkering af brændstof, hvilket kan være en stor mulighed for visse havne, der er placeret optimalt ift. de normale sejlruter.

I Erhvervs- og Vækstministeriet [2012] nævnes det, at krav om klimaenergieffektivitet, kan medføre behov for skibsbygning i letvægtsmaterialer, hvilket skal dækkes ved at styrke Danmarks position ift. disse nye grønne teknologier.

Klimamæssige forandringer 3

Havnene skal:

- Indtænke de eksisterende konstruktioner, i arbejdet med at forberede sig til de klimamæssige forandringer.

Klimamæssige forandringer har forskellig indvirkning på havnene, hvoraf evt. vandstandsstigninger og forandrede vindforhold har størst effekt på konstruktionerne på selve havnen. Der er bred enighed om, at vandstanden generelt stiger, men der er stor usikkerhed om hvor meget. Se bl.a. Sørensen et al. [2013] og DMI/GEUS [2012].

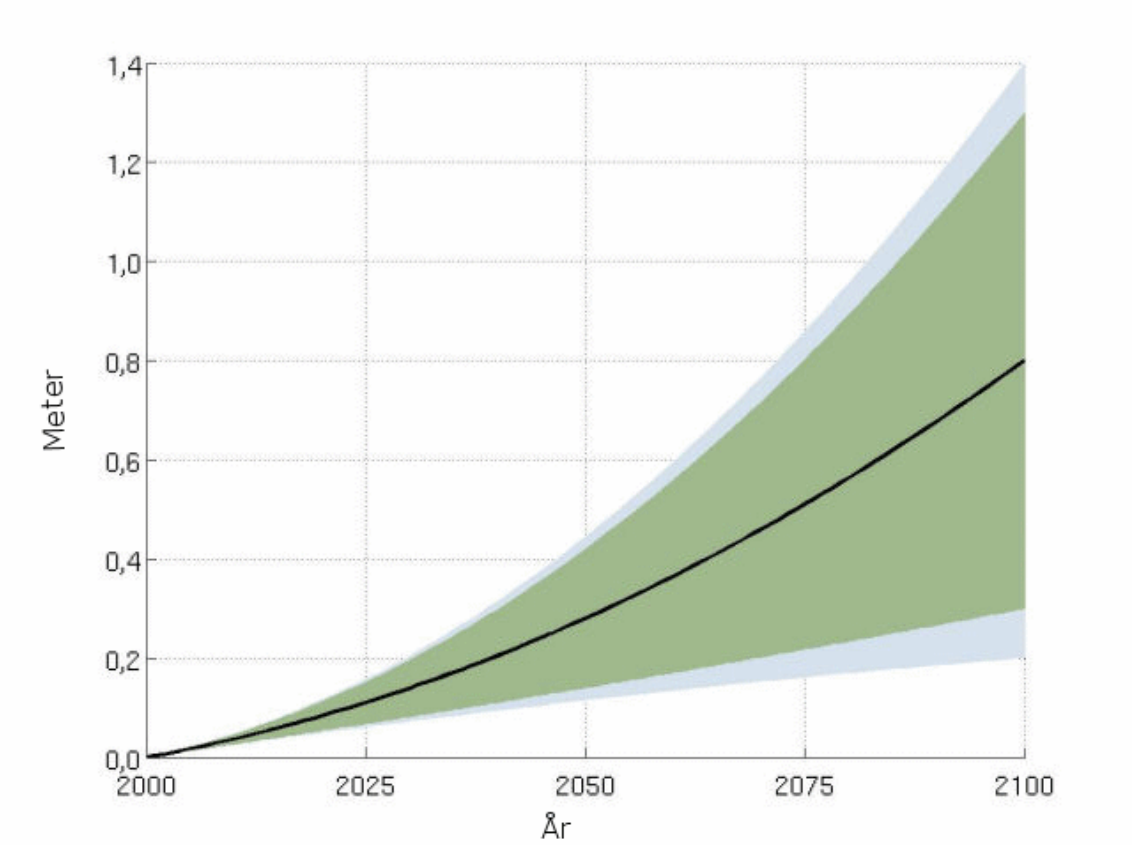
Tre konstruktionsmæssige udfordringer for havnene kan identificeres i forbindelse med disse klimamæssige forandringer; større overskyl, hyppigere forekomst af vand på terræn og et ændret bølgeklima.

En øget vandstand reducerer frihøjden på moler og kajer, og vil i den anledning resultere i hhv. større overskyl og hyppigere forekomst af vand på terræn. De øgede vindforhold vil forstærke denne udfordring, men de øgede vindforhold giver også anledning til større bølger, hvilket er dimensionsgivende for eksempelvis havnens yderværker.

3.1 Forventet stigning i vandstand

I følge Danmarks Meteorologiske Institut [2013], forventes vandstanden at stige med mellem 20 og 140 cm frem til år 2100. For havnenes vedkommende er der flere faktorer, der spiller ind på ændringen af vandstanden i havnen.

Globalt set stiger havspejlet omkring Danmark, som følge af afsmeltning af gletsjere og iskapper, samt udvidelse af verdenshavene forårsaget af temperaturstigninger. Dette bidrag er vist på Figur 3.1.

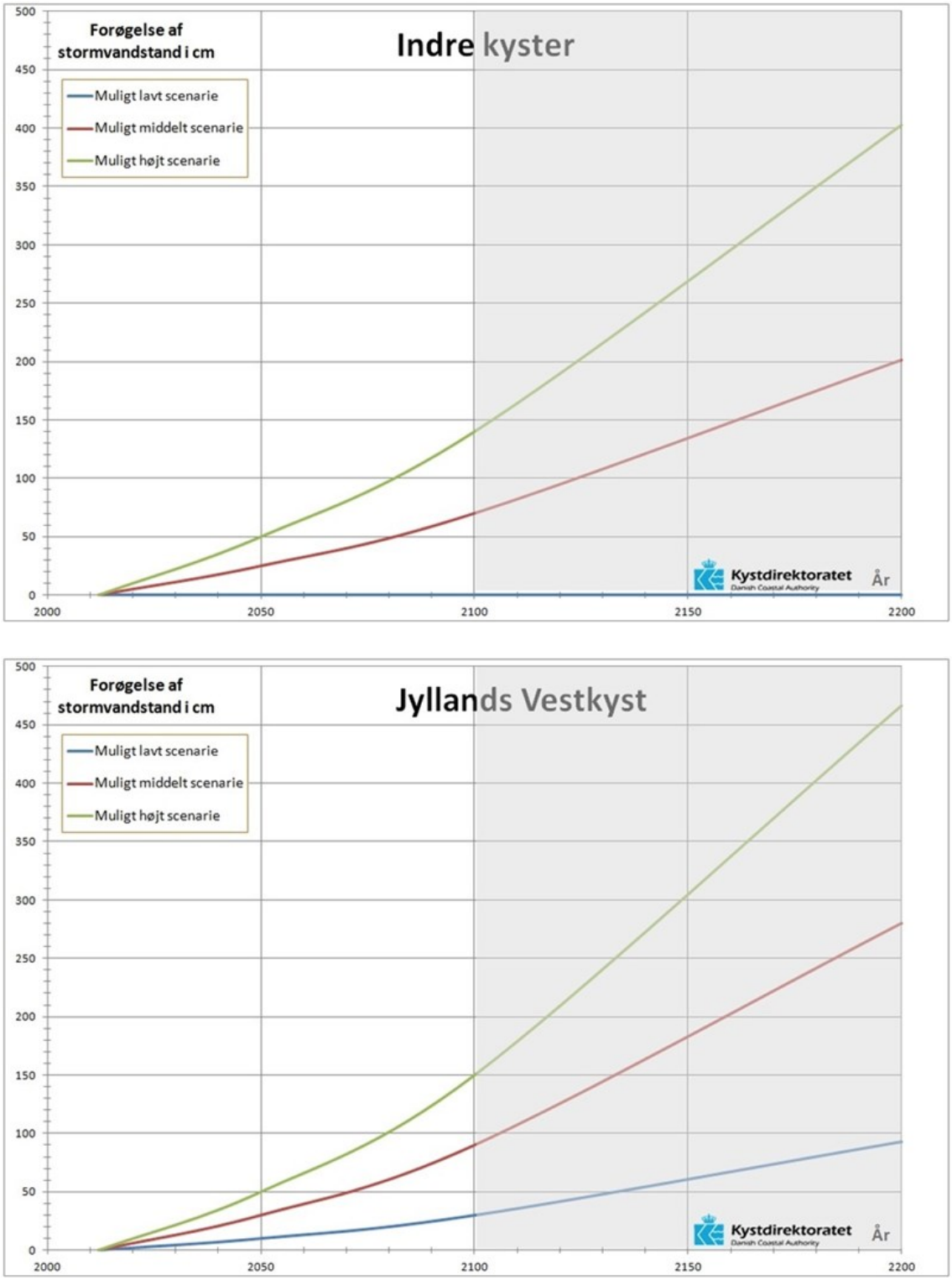


Figur 3.1. Forventede stigninger i havspejlet omkring Danmark, når der ses bort fra lokale effekter og landhævning. Den sorte kurve viser middelværdien, mens det grønne og blå område markerer usikkerheden hhv. globalt og omkring Danmark. Kilde: Danmarks Meteorologiske Institut [2013]. Figuren er ændret ift. kilden.

Lokalt kan ændrede vindforhold forårsage hyppigere og kraftigere stormfloder, hvilket har en udpræget effekt på vestvendte havne, da vinden generelt er stærkere på Vestkysten. Andre lokale og dynamiske forhold kan også have en effekt på vandstandsstigningen, bl.a. kan fjordhavne ved pålandsvind opleve wave setup[1].

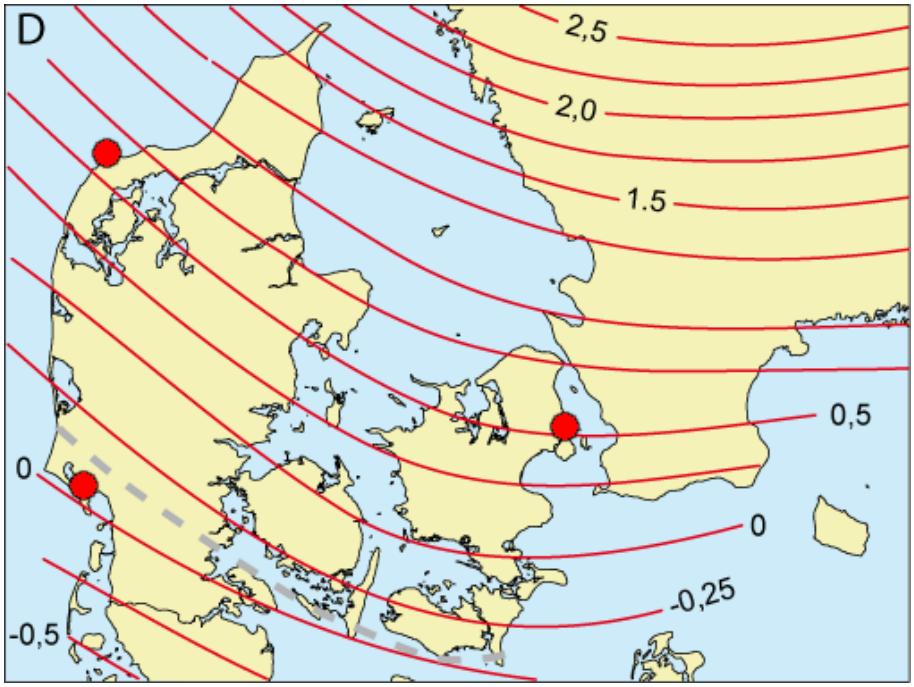
[1]Stigning i vandstanden forårsaget af vindens tryk på vandet inde i fjorden.

I ekstrem-analyser anvendes stormvandstanden, hvor forøgelsen af denne er vist på Figur 3.2.



Figur 3.2. Forøgelse i stormvandstand i cm. Kilde: Kystdirektoratet [2013].

Landhævningen, der har stået på siden forrige istid, er dog gavnligt for den oplevede vandstandsstigning og skal modregnes den forventede middelvandstandsstigning. Figur 3.3 viser hvordan Danmark bevæger sig vertikalt.



Figur 3.3. Landhævning i mm/år. Kilde: DMI/GEUS [2012].

Som et groft overslag kan de tre nævnte bidrag; global stigning, stormflodsstigning og landhævning, aflæses for 2050 og lægges sammen som vist i Tabel 3.1.

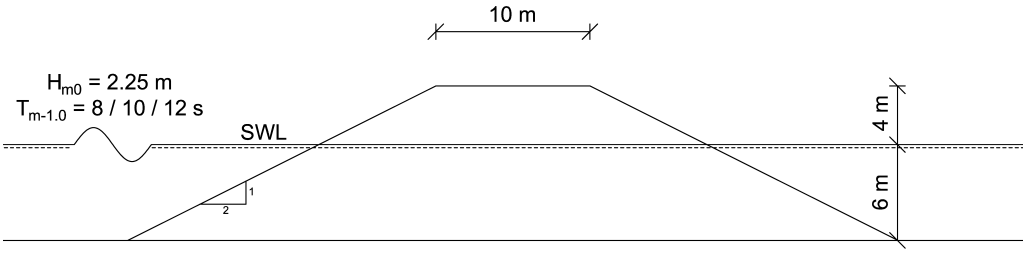
	Global stigning			**Stormflod**			**Land-**	**Total**		
	Lav	Middel	Høj	Lav	Middel	Høj	**hævning**	Lav	Middel	Høj
Vestkysten				10	30	50	-3,75	18	54	91
Vadehavet	12	28	45	20	40	60	0,00	32	68	105
Indre farvand				0	25	50	-2,50	10	51	93

Tabel 3.1. Vandstandsstigninger i cm ved lavt, middel og højt scenarie for tre interessante cases. Havne brugt som eksempler er hhv. Hanstholm, Esbjerg og København, hvilket er markeret på Figur 3.3.

For at illustrere effekten af disse vandstandsstigninger frem til 2050, anvendes en stigning på 0-100 cm i de følgende afsnit.

3.2 Overskyl på mole

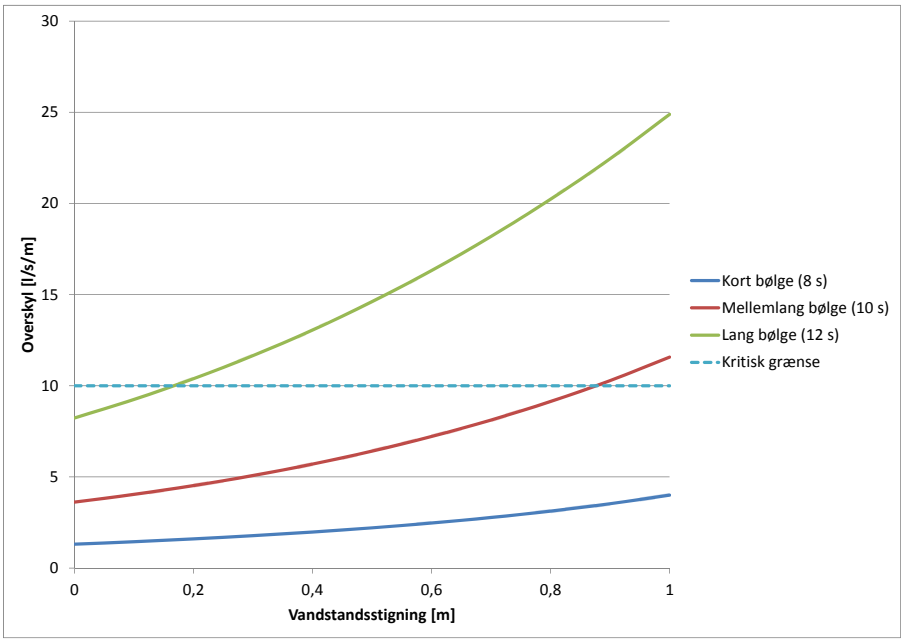
For at anskueliggøre effekten af øget vandstand i forhold til overskyl, opstilles et praktisk eksempel på en stenkastningsmole, med dimensionerne som vist på Figur 3.4.



Figur 3.4. Dimensioner for stenkastningsmole.

Til at beregne overskyl anvendes CLASH Neural Network (Delft Hydraulics)[2]. En bølgehøjde og tre bølgeperioder anvendes som vist på Figur 3.4, samt en vandstandsstigning mellem 0-1 m, hvilket påvirker vanddybden og frihøjden hhv. stigende og faldende. En kritisk grænse på 10 l/s pr. meter er valgt på baggrund af Coastal Engineering Manual [2008, Table VI-5-6, Critical Values of Average Overtopping Discharges].

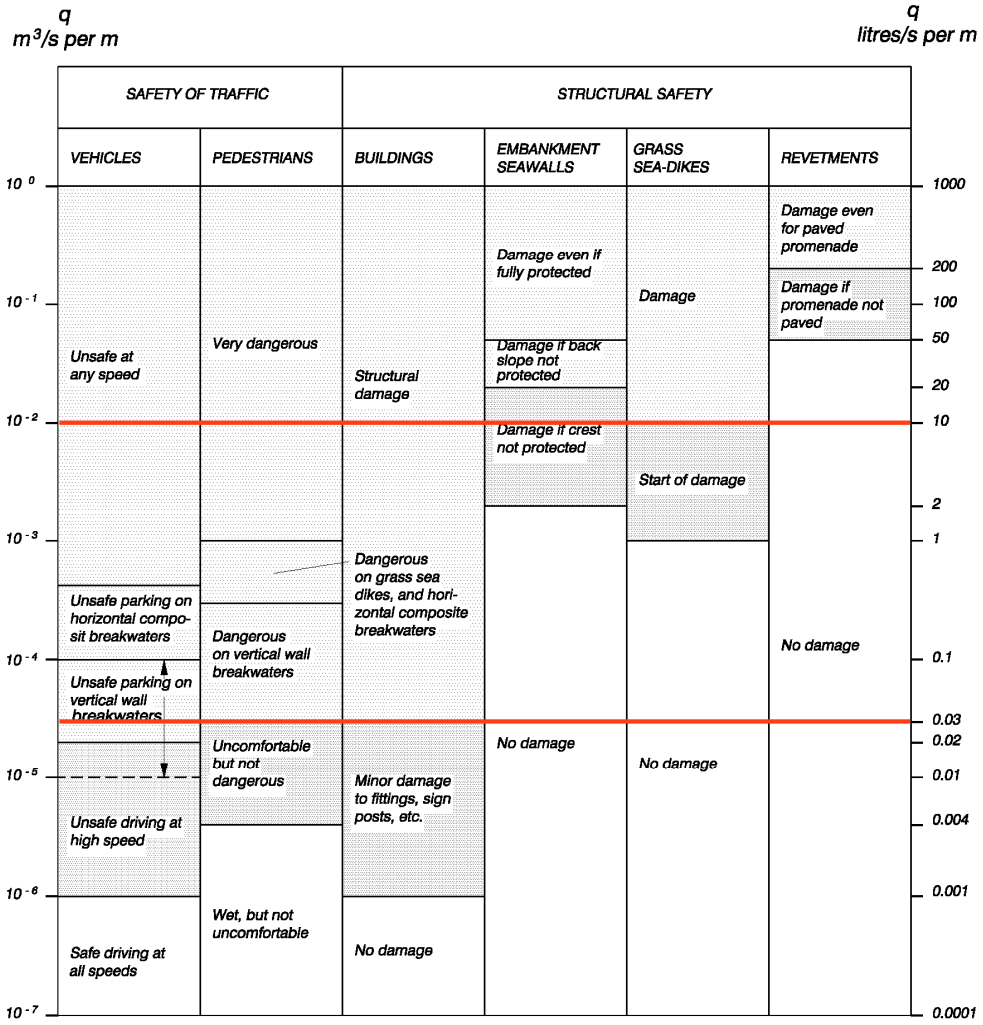
Figur 3.5 viser hvordan en mole med tilstrækkelig sikkerhed mod overskyl, bliver påvirket af en vandstandsstigning. For den dimensionsgivende lange bølge er der en sikkerhed på omkring 1,2 før vandstandsstigningen (målt på overskylsmængden og ikke bølgehøjden), men en stigning i vandspejlet på 17 cm giver en sikkerhed under 1.



Figur 3.5. Gennemsnitligt overskyl på baggrund af CLASH Neural Network.

[2]CLASH Neural Network anvender data fra 8.372 skalaforsøg med overskyl, til at forudsige overskylsmængderne for en given stenkastning [Deltares, 2013].

På Figur 3.6 er effekten af den gennemsnitlige overskylsmængde illustreret, hvor to ofte kritiske niveauer er markeret. Niveauerne er farlige for konstruktioner hhv. med og uden bagvedliggende færdsel (eksempelvis kajer hhv. bølgebrydere). Det skal understreges, at gennemsnitlige overskyl beskriver mængden af overskyl over en længere periode, hvorfor overskyl fra enkelte bølger giver store pludselig mængder vand.



Figur 3.6. Oversigt over effekten af gennemsnitligt overskyl pr. løbende meter. Kilde: Coastal Engineering Manual [2008].

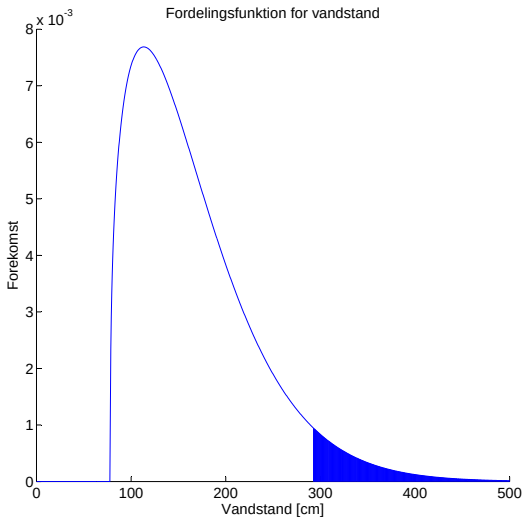
3.3 Vand på terræn

Vand på terræn forekommer ofte i forbindelse med en storm, hvilket medfører stormflodsvandstand og øget bølgehøjde. Bølger kan medføre overskyl på kajen, selvom vandstanden ikke er over kajkoten, men ses der bort fra bølgerne, kan hyppigheden af vand på terræn findes vha. højvandsstatistikker fra Kystdirektoratet, jf. Sørensen et al. [2013].

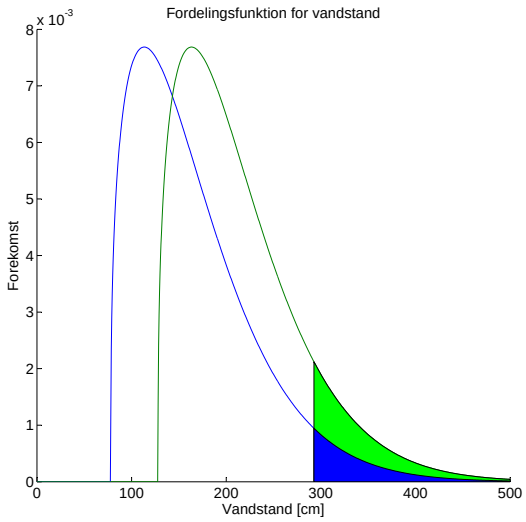
Ekstremvandstande er registreret og analyseret, hvilket giver en fordelingsfunktion[3] for vandstandene på bestemte lokationer. Fra Kystdirektoratets rapport er Rønne Havn

[3]En fordelingsfunktion viser den relative sandsynlighed for forekomsten af en bestemt hændelse, i dette tilfælde en ekstremvandstand. En optegning af arealet under kurven mellem to værdier, giver den samlede sandsynlighed for en hændelse mellem de to værdier.

valgt som eksempel, med fordelingsfunktionen som vist på Figur 3.7. Såfremt kajen er dimensioneret til at være i niveau med stormflodsvandstanden ved en 100-årshændelse, kan effekten af en stigning i middelvandspejlet illustreres ved at forskyde fordelingsfunktionen med denne stigning, eksempelvis 50 cm.

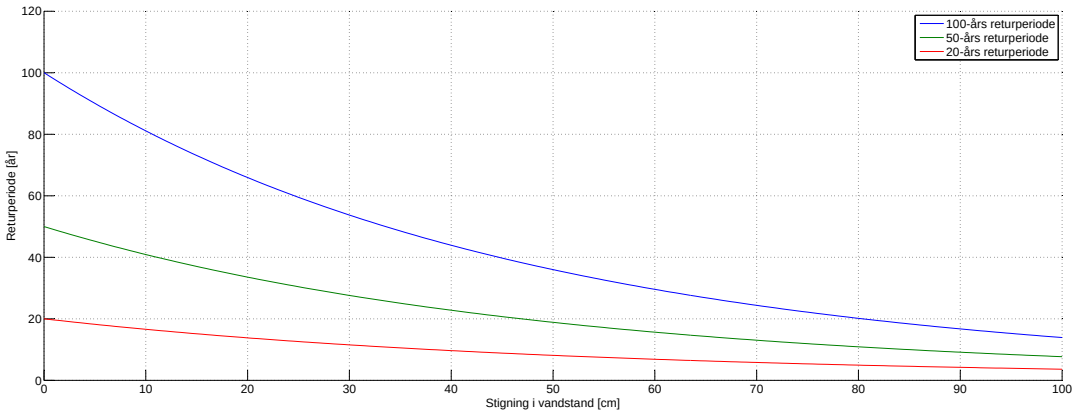


Figur 3.7. Fordelingsfunktion for højvande på baggrund af Sørensen et al. [2013]. Det skraverede område markerer 100-årshændelsen.



Figur 3.8. Forskudt fordelingsfunktion (grøn) ved en stigning i middelvandspejlet på 50 cm.

Efter forskydningen vil den samme vandstand have en anden gentagelsesperiode, hvilket vil sige at en ekstrem hændelse, sker oftere. På Figur 3.8 er dette illustreret. Med en vandstandsstigning på 50 cm bliver gentagelsesperioderne for 100, 50 og 20-årshændelsen reduceret til en 36, 19 og 8-årshændelse. Figur 3.9 viser hvordan gentagelses perioderne 100, 50 og 20 år reduceres med vandstandsstigningen.



Figur 3.9. Reduktion i returperioderne for en 100-, 50- og 20-årshændelse.

3.4 Ændrede bølgeforhold

En ændring i vindforholdene kan også give anledning til anderledes bølger i form af ændrede bølgeperioder, retning af bølger og bølgespektrum, der selv ved samme bølgehøjde kan have stor indvirkning på stabiliteten af konstruktionerne.

For at illustrere effekten af et ændret bølgeklima, vises her et udsnit af resultaterne fra et projekt udført i Aalborg Universitets 2D- og 3D-bølgebassin.

Formålet med projektet var at eftervise totalstabiliteten af en ny mole, bestående af en sektion med sænkekasser og en sektion med traditionel stenkastning. Eftervisningen blev udført ved høj- og lavvande, samt med korte og lange bølger, og varierende bølgehøjde.

Vanddybden ved høj- og lavvande var hhv. kote +0.09 og +3.50. Bølgeperioderne for korte og lange bølger var 7 hhv. 16 s.

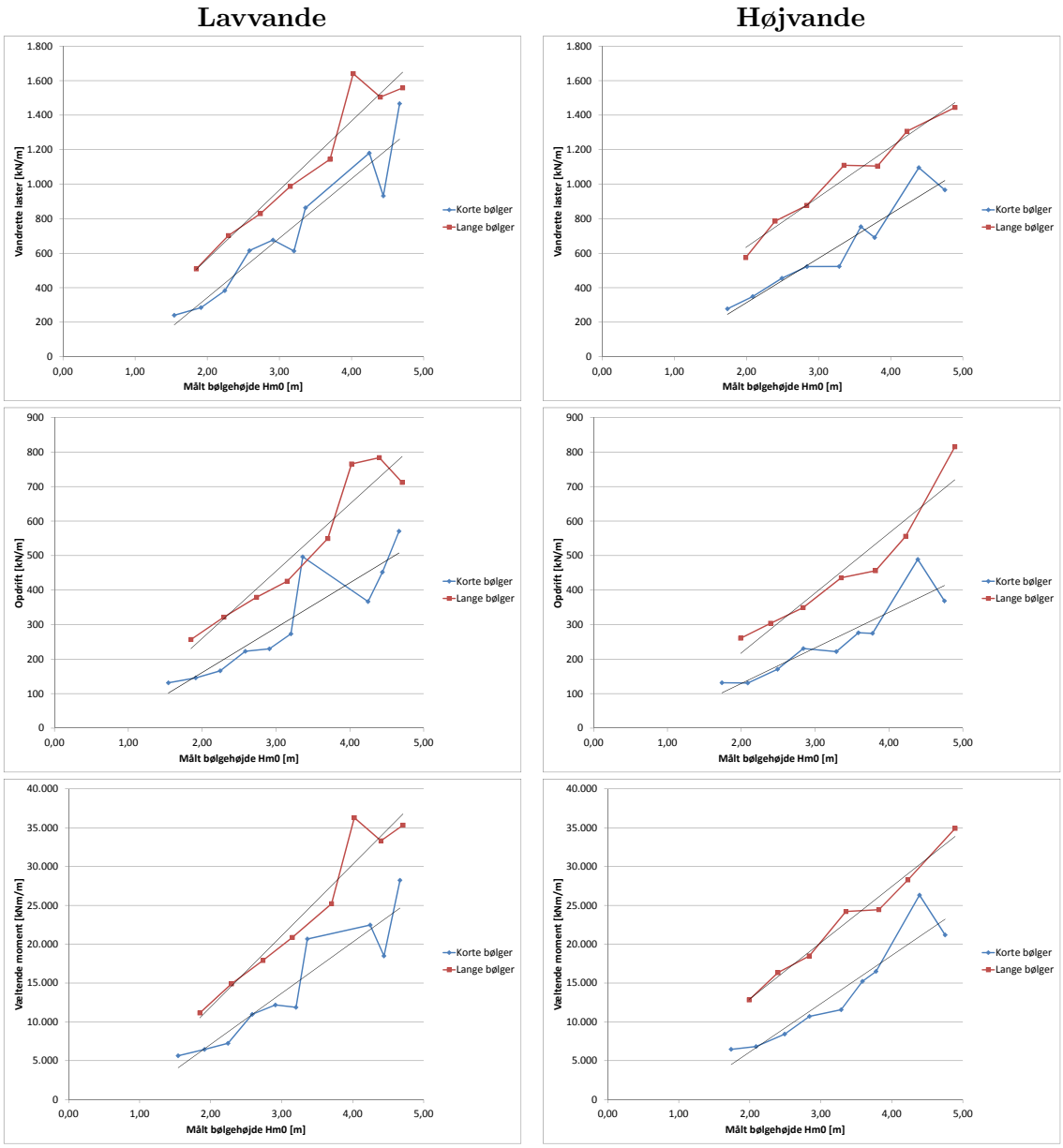
Figur 3.10. Forsøgsopsætningen i Aalborg Universitets 2D-bølgerende. Kilde: Lykke Andersen et al. [2012].

Forsøgsopsætningen for sænkekassen i 2D er vist på Figur 3.10. Ved hjælp af trykceller blev trykket på molesektionen målt kontinuerligt under hele testen, hvorved de maksimale bølgelaster på molen kunne beregnes. De maksimalt målte laster er en stokastisk variabel, der bl.a. afhænger af observationstiden. Hver test blev udført med 1.500 bølger, hvilket vurderes at være tilstrækkeligt for at sikre en korrekt fordeling af bølgehøjder, og dermed brugbare resultater.

Lasterne blev opdelt i horisontal og vertikal (opdrift) kraft, samt væltende moment, hvilket er vist på Figur 3.11. Visse afvigelser, der er naturlige for denne type forsøg, er til stede, men generelt ses der en tydelig trend mellem laster og bølgehøjde, hvilket er at forvente. Ydermere er bølgelasterne generelt større ved lange bølger, mens vandstanden har ringe eller ingen effekt på bølgelasterne, med de anvendte parametre.

Bemærk at tendenserne ikke kan generaliseres ud fra dette, da der ikke er udført tilstrækkeligt parametervariation i eksperimentet, til at kunne bekræfte tendenserne.

Konstruktionen har desuden stor indvirkning på lasten.



Figur 3.11. Målte peak bølgelaster.

Lokalområdets bevidsthed 4

Havnene skal:

- Sælge sig selv til lokalpolitikerne så havnen bliver prioriteret højt i kommunen.
- Være borgernes havn ved hjælp af reklame, og ved at invitere borgerne ned på havnen.
- Promovere sig for lokalområdets virksomheder, og vise at virksomheder på havnen vækster.

Mange af de danske erhvervshavne blev lavet ud fra en fordelagtig placering ved en fjord, bugt, å eller vig, hvorefter arbejdspladser gjorde det attraktivt at bosætte sig nær havnen. Havnens tilstedeværelse har dog ændret sig, og fra at alle indbyggere havde en form for relation til havnen, så har den fortsatte udvidelse af byerne omkring havnene gjort, at størstedelen af indbyggerne i flere byer ikke har anden relation til havnen, end et kendskab som et tungt industriområde. Denne mangel på kendskab gør imidlertid arbejdsvilkårene svære for de danske havne.

Byernes udvidelse gør at mange havnes eneste udvidelsesmuligheder ligger i at flytte havnens aktiviteter ud af byen, eller at opfylde til nye kajarealer ud for eksisterende havnearealer. Denne omfavnelse betyder, at de danske havne lever på byernes vilkår. Udfordringen forstørres ved, at havnenes arealer langs vandet er særdeles eftertragtede i forbindelse med byudvikling, og med lokalpolitikerne som havnens arbejdsgivere, bliver politikernes opbakning af havnens aktiviteter vital. Problemet med denne udvikling er, at havnearealer til beboelse og liberalt erhverv sjældent går i spænd med den støj, støv og lugt, der er at finde på havnen, og med regler, hvor den forulempede altid har ret, vil havnen ofte tabe denne kamp.

Derfor har havnene en stor udfordring i at få lokalpolitikerne til at forstå værdien af en havn, og få dem til at kæmpe for den. Der ligger også en udfordring i, at få byens borgere til at føle, at det er deres havn, da et sådant tilhørsforhold vil vise borgerne, at havnen er andet end støv, støj og lugt.

Havnen bør tage initiativer til at vinde lokalpolitikernes opmærksomhed, og under denne reklame vise lokalpolitikerne havnens vigtighed for kommunen, hvad angår arbejdspladser og skatteindtægter i kraft af virksomhederne på havnen. Denne opbakning fra lokalpolitikerne vil hjælpe havnene i, at bibeholde positionen som ren erhvervshavn, eller få beboelsesarealerne placeret hensigtsmæssigt, så de begrænser havnenes udfoldelse mindst muligt. Opbakningen er også vigtig i forhold til havnens virksomheder og kommende virksomheder, da fokus på en blivende erhvervshavn giver en klar linie og en tryghed for virksomhederne om, at de ikke vil blive begrænset af beboelsesområder i fremtiden.

Byens borgere skal også bringes ind i bevidstheden om, hvilke opgaver havnen varetager,

og hvor vigtig havnen er for kommunen. I takt med at havnene indhegnes pga. oprettelse af ISPS-faciliteter, er det vigtigt, at borgerne stadig kan besøge andre dele af havnen, måske med indblik på havnens ellers lukkede dele. Dette skaber et positivt indtryk af en dynamisk havn og giver et indblik i hvad der foregår på havnen. Derfor har havnene en udfordring i, at skabe områder, hvor civile kan komme til vandet og opleve, at havnen er fuld af liv. Havnene kan oprette informationsstationer, hvor plancher med information og nyheder omkring havnen er listet, men rundvisninger og sponsorater er også en måde at promovere havnen som noget positivt overfor borgerne.

Når havnen udvider sine arealer markant, er det også vigtigt at kende sine potentielle kunder, således at de nye arealer kan tilpasses kundens behov bedst muligt.

Dette bør samlet give havnene mulighed for at forblive i nærområdets bevidsthed som en vigtig industripark, som er uundværlig på trods af mindre gener.

Indbyrdes konkurrence og samarbejde 5

Havnene skal:

- Sænke paraderne og være mere samarbejdsvillige.
- Udnytte de danske universiteter, ved at lade studerende beregne og vurdere fremtidige planer og ad den vej spare penge på skitseprojekter.

Danmark er et land med et relativt højt antal erhvervshavne i forhold til areal og indbyggere og der er derfor en skarp konkurrence mellem havnene. Denne konkurrence skærper havnene, men i mange tilfælde bestemmer destinationen af godset, hvor det bliver losset. Det er derfor hovedsageligt virksomhederne på havnen, der står for det gods der sendes over kajen.

Ud fra de interviews, der er udført, har indtrykket af havnene været, at det direkte samarbejde mellem havnene har været meget sparsomt, nogle gange fordi det ikke er overvejet, men også fordi den indbyrdes konkurrence mellem havnene er så skarp, at samarbejde vil afsløre fremtidige beslutninger, som kunne svække deres position. Det vurderes dog, at der er en række opgaver, som specielt for de mindre erhvervshavne, ville kunne håndteres billigere og mere effektivt hvis havnene samarbejdede.

Et par eksempler kunne være:

- Reklame og oplysning
- Organisering af virksomhederne
- ISPS-overvågning
- ISPS-portsystemer
- Ingeniør rådgivning
- Universiteters viden

Generelt er indbyrdes konkurrence den største hindring for havnenes samarbejde, men et samarbejde behøver ikke være mellem to konkurrerende havne. Et samarbejde kunne sagtens være blandt fire havne placeret i hvert hjørne af Danmark, hvor et ingeniør team ville kunne varetage opgaver for de enkelte havne. Et sådan team vil have den fordel at det hurtigt får opbygget en stor specifik havneerfaring, mens selv mindre havne ville opnå fordelen af arbejdet uden om mellemmanden. Der kan dog være en begrænsende faktor i mulighederne for samarbejde på tværs af havnene i kraft af, at havneloven begrænser evt. konkurrenceforvridende aktiviteter.

Det er desuden vigtigt, at havnens virksomheder er organiserede i brancheforeninger, som eksempelvis DJURS Wind Power og ErhvervsNetværk 9220, både for at tiltrække opgaver til virksomhederne, men også for at kunne varetage deres fælles interesser på havnene.

Angående ISPS reglerne forventes det at være en fordel for havnene at benytte de samme systemer inden for portåbning, så lastbilchauffører der bevæger sig mellem forskellige havne har adgang med det samme system. Med hensyn til overvågning vil dette i

nattetimerne kunne varetages af en havn lokaliseret andetsteds, der er døgnbemandet, og så oprette en aftale med et vagtfirma, der kan tilse havnen, hvis en situation skulle opstå.

Et samarbejde med universiteter og andre uddannelsesinstitutioner, giver mulighed for at undersøge noget, der ellers normalt ikke ville have været ressourcer til. En vision, der ikke fordrer en egentlig projektering, kan forundersøges for at se om ideen skal videreudvikles. Samarbejde med uddannelsesinstitutionerne giver desuden et øget fokus på havnen og er godt for de studerende, der får et sjældent praktisk indblik i havnene.

Bæredygtig udvidelse 6

Havnene skal:

- Være fremsynende i forbindelse med deres udviklingsplaner, særligt med fokus på VVM-redegørelser.

For at bevare naturen og sikre en bæredygtig udvikling, er en række områder udlagt som beskyttede naturområder (Natura 2000, RAMSAR, fredet skov, særlige ynglepladser osv.), hvilket forbyder eller begrænser mulighederne for bebyggelse. Der kan gives dispensation for visse fredede områder, men ofte med krav om genoprettelse eller reetablering andetsteds. For at kortlægge effekten af større infrastrukturanlæg, såsom en havneudvidelse, skal der udformes en Vurdering af Virkninger på Miljøet (VVM).

Selve processen kan tage lang tid, fra arbejdet er påbegyndt, til der foreligger en byggetilladelse på baggrund af undersøgelsen. Hvis et anlægsprojekt kendes VVM-pligtigt, vil bygherren blive bedt om at indsende oplysninger, der er relevante for udarbejdelsen af VVM-undersøgelsen. Når undersøgelsen er færdig sendes den i offentlig høring. Sammenlagt kan undersøgelsen vare mellem 2-3 år for større udvidelsesprojekter, såfremt der ikke er større indvendinger fra eksempelvis borgere, der ønsker at modarbejde udvidelsen.

Når behovet for en udvidelse af havnen opstår, er det ofte her og nu, men hvis arbejdet med at projektere udvidelsen begynder for sent, kan udvidelsesplanerne nå at blive forældet eller overhalet indenom af efterspørgslen. Det er derfor vigtigt at være på forkant med udviklingen, således at der kan rykkes på et evt. behov, så snart det opstår.

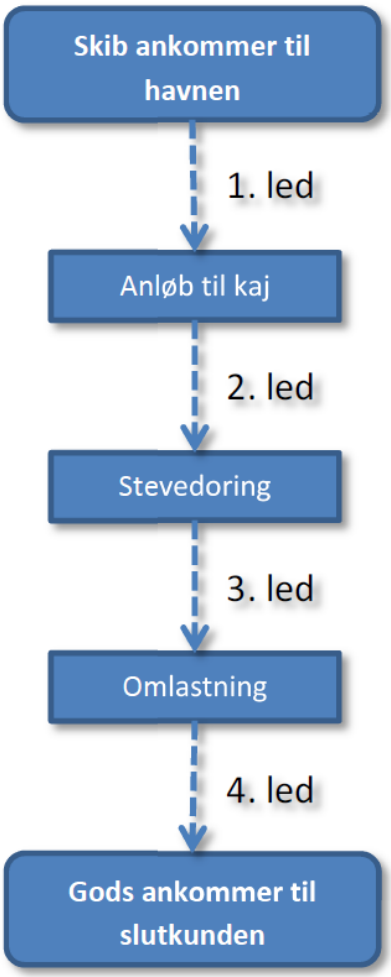
Da en byggetilladelse på baggrund af en VVM-redegørelse bliver forældet efter 3 år, såfremt den ikke bliver taget i brug, kan det dog være svært at planlægge for. Arbejdet med at kortlægge de oplysninger, der kræves for at udarbejde en VVM-redegørelse, kan dog indledes tidligt, således at der ikke opstår nogle overraskelser senere. Eksempelvis kan eventuelle ynglepladser og andre naturområder kortlægges, da disse informationer ofte er påkrævet i redegørelsen.

Infrastruktur og lokalplan 7

Havnene skal:

- Sikre rammerne for fremtidige udvidelser på et meget tidligt tidspunkt.
- Tænke udenfor havnens område, således der ikke opstår en flaskehals i transportkæden fra vand til land.

Gode rammer for havnens virksomheder er vigtigt, for at tiltrække nye virksomheder, samt holde på de eksisterende. En havn, der er truet af usikre udviklingsmuligheder, kan have svært ved at tiltrække nye kunder, da en potentiel vækstende virksomhed ønsker mulighed for at udvide, hvis behovet viser sig.



Figur 7.1. Eksempel på transportkæde.

Ligeledes er det vigtigt, at godsvirksomhederne effektivt kan få flyttet deres produkter til og fra havnen, hvilket kræver en optimeret transportkæde. Der er mange forhold, der påvirker denne kæde, hvor der i eksemplet vist på Figur 7.1, kan identificeres fire led i kæden; havneindløb og -bassin, kajgaden, havnens bagland og det offentlige vejnet. De første tre led er direkte relateret til havnen og bliver derfor automatisk tænkt ind i udviklingsplanlægningen, men hvis der ikke er fokus på det offentlige vejnet, der leder den havnerelaterede trafik til og fra havnen, kan dette led blive en flaskehals for resten af kæden.

Havne er ofte indesluttet helt eller delvist af den tilstødende by, hvilket kan skabe kø visse steder på vejnettet. Kødannelse forsinker godstransporten, men skaber også et dårligt indtryk af havnen hos borgerne, der hurtigt forbinder kø med anløb af et containerskib.

Selvom en lastbil ikke er skyld i en trafikprop, kan den nemt associeres med kødannelsen, hvis billisterne holder bag en lastbil gentagne gange. En dobbeltsporet vej, såsom motorvejsnettet, er derfor optimalt for lastvognstrafik, set fra borgernes synspunkt.

Mange havne tilstøder også motorvejsnettet, men er forbundet dertil via en forbindelse igennem byen, med forholdsvis lav kapacitet. Selvom denne forbindelse ofte er kort, kan den være til stor gene for havnen og borgerne, og det kan være en stor opgave at øge kapaciteten, pga. pladsproblemer og tæt bebyggelse.

En omfartsvej, eksempelvis forbundet til en evt. havneudvidelse, kan derfor være en god løsning på ovenstående problem. En sådan omfartsvej kræver tilladelse i lokalplanlægningen og kunne tænkes at blive en del af selve havnen i fremtiden, hvorfor det er vigtigt at sikre rammerne for det valgte område, også selvom problemet ikke er her og nu. Særligt mht. lokalplanlægningen er det vigtigt at tænke havnens fremtidige rammer ind, på et meget tidligt tidspunkt, da andre aktører kan ændre nærområdet, hvis det ikke allerede er tænkt ind i lokalplanlægningen.

Der peges desuden på et samarbejde mellem de forskellige transportformer i Mortensen et al. [2012], således at transportkæden på tværs af transportformer som jernbaner, lastbiler og søtransport understøtter hinanden.

Foruden redere og speditører, bør der også være et skarpt fokus på at tiltrække logistik- og servicevirksomheder til havnen, således de kan understøtte virksomhederne på havnen. Når en industrivirksomhed, eksempelvis fiskeri, har etableret sig på havnen og der er en stærk infrastruktur, der kan håndtere, bearbejde og distribuere de varer, som bliver landet i havnen, er det mindre sandsynligt at den pågældende virksomhed flytter deres industri fra havnen igen. Eksempelvis blev Frederikshavn Havn og Hirtshals Havn i slutningen af 2012 en del af TEN-T Core Network. Dette er med til at tiltrække trafik til havnene, hvormed relevante virksomheder kunne finde på at etablere sig på og omkring havnen, for at servicere denne trafik.

Opfyldning af bagland 8

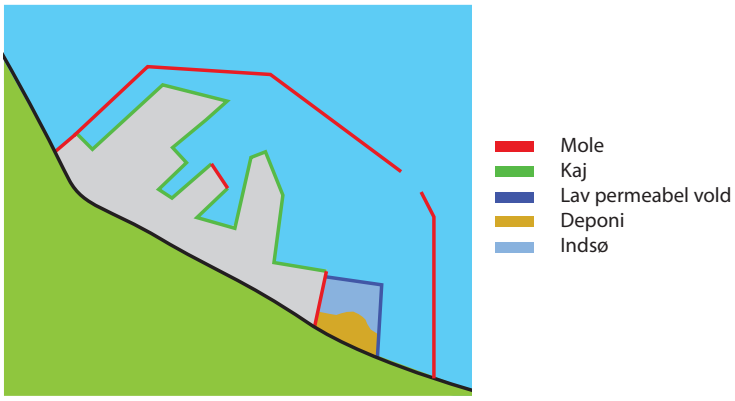
Havnene skal:

- Lave langsigtede planer, så opfyldningen af jord kan blive en indtægt i stedet for en udgift.
- Oprette jorddeponiet under én matrikel, så den forurenede jord kan flyttes indenfor matriklen ved fremtidigt byggeri.

Alle havnene, der har deltaget i undersøgelsen, har planer om udvidelse af havnen, og nogle af disse udvidelser kræver store mængder jord til opfyldning af bagareal. Derfor har mange havne oprettet et jorddeponi, hvor de opfylder med rent og lettere forurenet jord. Disse jorddeponier kræver dog, at jorddeponiet har en impermeabel afgrænsning så forureningen ikke udvaskes i havet, hvilket ofte konstrueres ved at ramme den spuns som senere benyttes som kaj. Havnene står dog over for det dilemma at de kan have en indkomst ved jorddeponi, men at denne opfyldning sker i sit eget tempo, hvilket kan være frustrerende for den havn, der har stort behov for en udvidelse.

Det antages derfor at hvis havnene er fremsynede, og har et roligt bølgemiljø inde i havnen, kunne drage fordel af, at lave en vold af mindre permeabelt materiale indenfor den forventede spunsvæg. Denne løsning vil kræve, at havnen planlægger langt ud i fremtiden, men havnene vil på denne måde opnå et havneareal, hvor den totale opfyldning vil være bestående af jorddeponi, og udgifterne til spunsning vil kunne udskydes til bagarealet er fyldt.

Eksemplet beregnet forventes at kunne udføres som anvist på skitsen i Figur 8.1, hvor et fremtidigt udvidelses areal etableres øst for eksisterende havn.



Figur 8.1. Eksempel på placering af lav permeabel vold, samt jorddeponi.

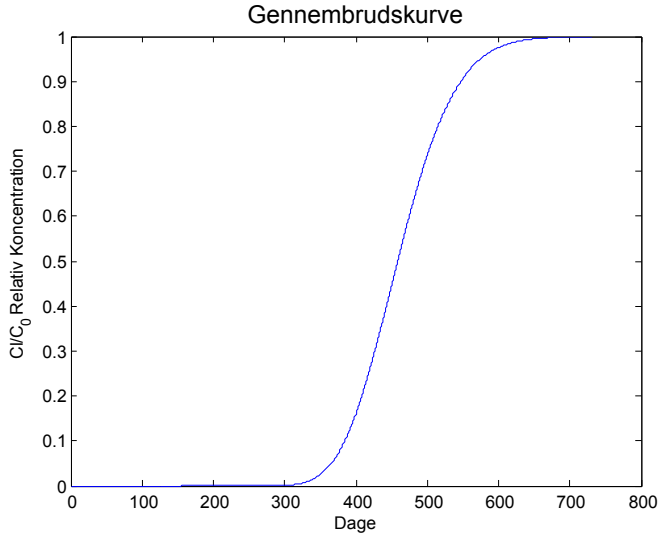
En vold, der skal kunne tilbageholde forureningen, skal være lavet af et materiale med en tilstrækkelig lav permeabilitet, for at regnvand og det stigende vandspejl ved opfyldning af deponiet, ikke skaber en strømning af vand ud af deponiet, som leder forureningen ud i havet.

Beregningen anvendt i dette eksempel bygger på den analytiske løsning af Konvektion-Dispersions Formlen beskrevet i Loll og Moldrup [2000]. Formlen anvendes da den beskriver flytningen af forurening i jord, og beskriver både den konvektive del (transport ved strømning af vand), og den diffusive del (transport fra høj koncentration til lav koncentration).

For at opnå en fornemmelse af størrelsesordnen af forureningens vandren, opstilles figurer med kurver hvor permeabiliteten af jord materialet og bredden af volden varieres. Beregningsværdier der ikke kan ses ud fra figurerne er antaget konservativt, og løsningen anses derfor at være på den sikre side. Det skal dog bemærkes, at direkte benyttelse af værdierne ikke er muligt da typen af forurening har stor indflydelse på spredningsgraden.

Den forurenede jord i dette eksempel indeholder 500 mg kulbrinter pr. kg, og det antages at den totale mængde opløses i porevand og indsø. Vandstanden inde i depotet antages beliggende 0.25 m over havvandet, grundet opfyldningen. Diffusionskoefficienten for kulbrinter er fundet i GSI Enviromental [2013], og den hydrodynamiske dispersionskoefficient for siltet ler er fundet i Loll og Moldrup [2000]. Jordvolden står på 10 m vanddybde og voldens bredde antages som bredden af volden i middelvandstand.

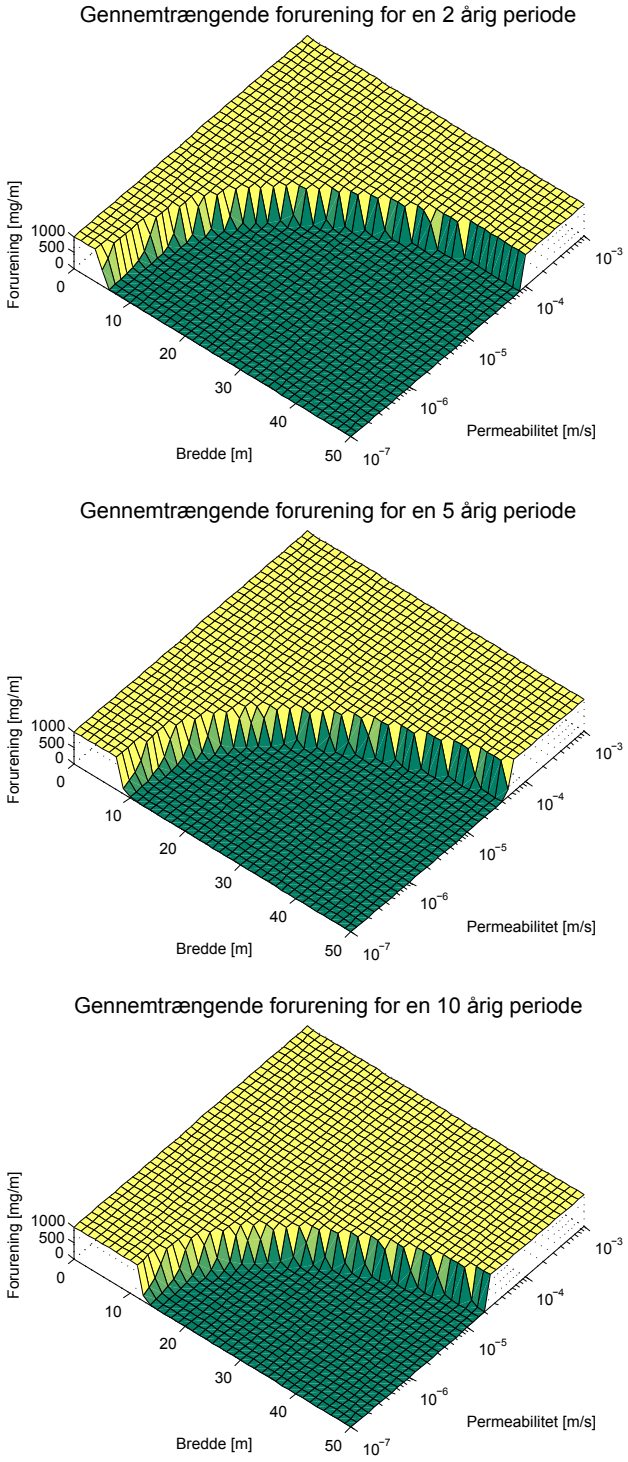
Gennembrudskurven vist i Figur 8.2 viser, hvor stor den relative koncentration forurening af porevandet på ydersiden af molen er, i forhold til vandet på indersiden af molen. Det kan ses, at porevandet på ydersiden af volden ikke bliver berørt af forureningen de første 300 dage, efter forureningen tilføres på indersiden.



Figur 8.2. Relativ koncentration forureningen på forside og bagside i forhold til eksponeringstiden. Permeabilitet: 10^{-5} m/s, Bredde: 10 m.

På Figur 8.3 kan det aflæses, hvilken bredde volden behøver, for at opfylde et krav om mindre end 1.000 mg kulbrinter pr. meter vold udledt til havet, ved en given permeabilitet af jorden. Den stejle stigning fra 0 til +1.000 mg forureningsgennemtrængning fortæller, at hvis forureningen først gennemtrænger volden, vil udledningen blive stor over perioden for anvendelsen.

Er jord med tilfredsstillende permeabilitet ikke er tilgængelig, kan løsningen enten være at indbygge en impermeabel membran, eller at sænke vandspejlet vha. pumper inde i deponiet og dermed lade den konvektive indadgående strøm holde forureningen inde.



Figur 8.3. Mængde af gennemtrængende forurening for en 2-, 5- og 10-årig periode, i forhold til bredde og permeabilitet. Figuren er afskåret til 1.000 mg/m, da det ikke forventes at en større forurening kan tillades.

Større skibe og havne med vokseværk 9

Havnene skal:

- Forberede sig på stadigt større skibe og tænke det ind i planlægningen på lang sigt.

Sammen med generel mangel på baglandsareal, er behovet for længere kajpladser, mere plads til manøvrering og større vanddybde, de største årsager til udvidelse af de danske havne i øjeblikket. Behovet kommer af stadigt større skibe, der er længere, bredere og har større dybgang. Af Danske Havne [2011] fremgår det, at der er behov for et fokus på mere end blot baglandsareal, men også *længere og stærkere kajer til tunge konstruktioner, bredere og dybere sejlrender og havnebassiner, flere og større kraner og bedre baglandsinfrastruktur*. I notatet nævnes det også, at større skibe kan *besværliggøre lodsning, skabe behov for flere slæbebåde og nødvendiggøre hyppigere oprensninger*.

En udvidelse af havnen, lavet på baggrund af ønske om modtagelse af større skibe, kan være økonomisk omfattende. Det kræver ofte etablering af helt nye havnearealer ude i vandet, i stedet for ind mod land, da de eksisterende havnearealer ikke kan udvides til formålet.

Større skibe kan også medføre, at bassiner har begrænset anvendelse, pga. deres naturlige begrænsninger. I kombination med behovet for baglandsareal, kan disse bassiner sommetider lukkes helt, så bassinet og kajgaden indgår som en del af havnen, eksempelvis til etablering af pakhuse eller bulklagerplads.

9.1 Tidshorisont for vanddybde

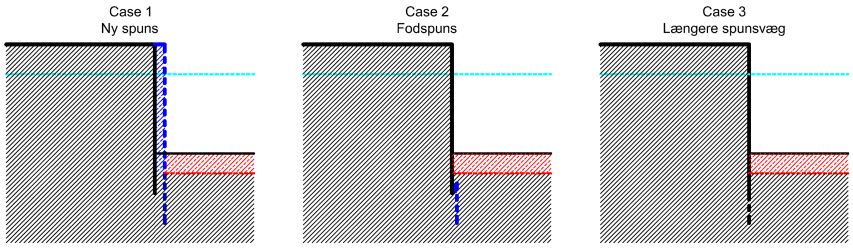
Én af årsagerne til, at eksisterende bassiner ikke kan udvides til at efterkomme behovet er, at spunsvæggen er rammet og tilpasset eksisterende vanddybde. Der er generelt to alternative løsninger på dette problem, hvis et bassin skal uddybes yderligere;

- en ny spuns ca. 1 m foran den gamle eller
- en fodspuns i forlængelse af den eksisterende spuns.

Ved etablering af et nyt bassin, vælges en optimal vanddybde bl.a. ud fra hvilke skibe, der ønskes at kunne modtages, samtidig med, at investeringen ikke bliver for stor ift. den potentielle indtjening. På længere sigt, når skibene generelt bliver større, opstår problemstillingen som beskrevet ovenfor, og der må til den tid vælges mellem én af de to alternativer, eller et helt nyt bassin.

Vælges der i stedet en langsigtet løsning, hvor spunsvæggen forlænges, således at det er muligt at uddybe yderligere, når behovet viser sig, opnås en langt større fleksibilitet. Fordelen ved denne løsning er, at investeringen i selve uddybningen udskydes, indtil indtjeningspotentialet viser sig. Ulempen er, at det kræver en længere spunsvæg og derved en større investering.

Tre cases er illustreret på Figur 9.1, hvilket herefter benævnes som "Ny spuns", "Fodspuns"og "Længere spunsvæg".



Figur 9.1. Mulige cases i forbindelse med behovet for yderligere vanddybde.

9.2 Forudsætninger

Som forudsætning for sammenligningen er der antaget en række udgifter, der forventes at forekomme i forbindelse med de tre cases vist i Tabel 9.1. Betalingsdatoerne er vigtige, da investeringerne falder på forskellige tidspunkter og der er antaget en forrentning på 9% p.a. Der er anvendt betalingsår, da nøjagtigheden på betalingsdatoerne ikke fordrer bedre opløsning på beregningen. Udregningerne er baseret på skøn pr. løbende meter spunsvæg/kaj.

Der er antaget en levetid af spunsvæggen på 50 år og at behovet for yderligere vanddybde opstår efter 10 år, samt at der til den tid er behov for 2 m ekstra vanddybde. Levetiden af kajen antages at blive nulstillet ved etablering af en ny spuns foran den eksisterende spuns.

Efter endt levetid, forventes problemstillingen at starte forfra, hvorfor sammenligningen slutter her. I case 1 udskydes reinvesteringen en smule pga. levetidsforlængelsen, hvilket medtages ved at gange rentefaktoren på etableringsomkostningen.

Indtjeningsgrundlaget for de tre investeringer antages at være det samme, da vanddybden er den samme. Dette behøves derfor ikke, at medtages i beregningen. Dog vil der være en forskel i nedetiden for kajen, ved de tre cases, hvor case 1 og case 2 eksempelvis kunne tænkes at kræve en længere tidsplan.

Udgift	**Betalingsår**	**Beløb**	**Ny spuns**	**Fodspuns**	**Længere spuns**
Etablering af original spuns	År 0	70.000 kr/m	×	×	×
Etablering af ny spuns [1]	År 20	72.500 kr/m	×		
Etablering af fodspuns [2]	År 20	36.250 kr/m		×	
Meromkostninger for længere spuns [3]	År 0	10.500 kr/m			×
Udgravning til ny vanddybde [4]	År 20	3.500 kr/m	×	×	×
Eftersyn og vedligeholdelsesomkostninger [5]		10.000 kr/m	×	×	×

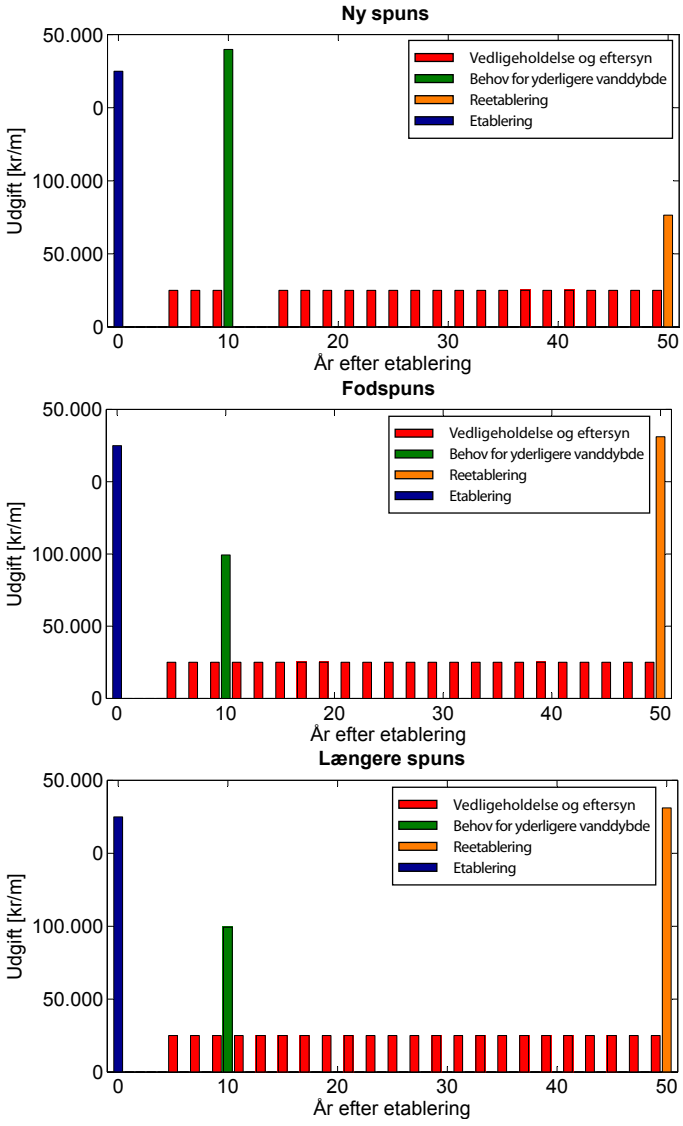
Tabel 9.1. Udgifter og forventede betalingsår i forbindelse beregningen.

[1] Udgiften til den længere spuns, minus 10% for genbrug af forankring.
[2] Fra en enhedspris på 35 kr/m^3, 200 m bredt bassin.
[3] 15 % af prisen for etablering af original spuns.
[4] Halvdelen af udgiften for en ny spuns.
[5] Efter 5 år, derefter hvert 2. år.

9.3 Resultater

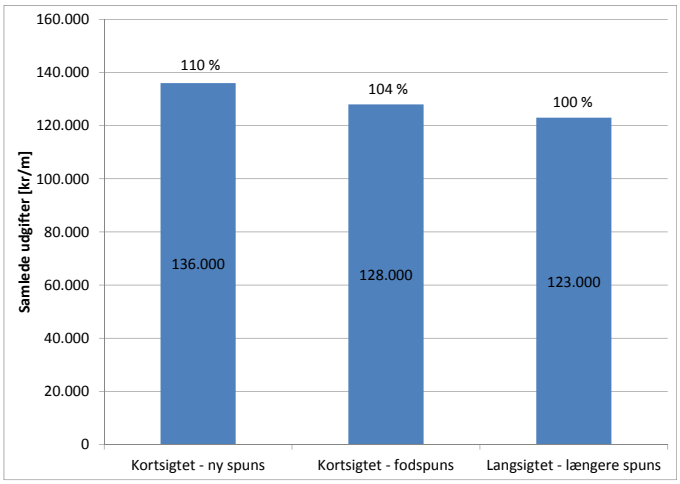
Udgiftsposterne falder som vist på Figur 9.2. Samlet set, indregnet forrentningen, ser de totale udgifter for udvidet vanddybde efter 10 år, ud som vist på Figur 9.3. Med de anvendte forudsætninger, er case 3 fordelagtig, men kræver at man kan forudsige behovene med en rimelig nøjagtighed.

Case 3 giver en fleksibilitet senere og kræver en større indledende investering, men giver en besparelse og mulighed for hurtigere at rykke på et pludseligt opstået behov.



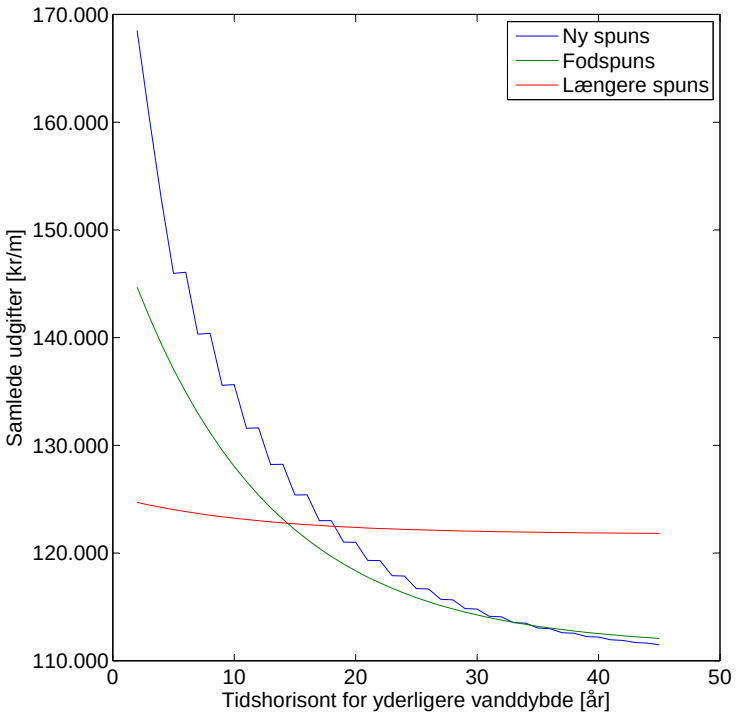
Figur 9.2. Udgifter og forventede betalingsår for de tre cases.

Den valgte tidshorisont viser altså, at Case 3 er fordelagtig, men havde behovet flyttet sig, eksempelvis pga. ændringer i den globale økonomi, ser resultatet anderledes ud.



Figur 9.3. Samlede udgifter for de tre cases.

En ændret tidshorisont er vist på Figur 9.4, hvoraf det ses at hver løsning er fordelagtig på forskellige tidspunkter, dog meget begrænset forskel i de to alternative løsninger i case 1 og 2.



Figur 9.4. Samlede udgifter for alle cases, ved forskellige tidshorisonter. Den ujævne kurve i case 1 er grundet "nulstillingen"af vedligeholdelsesmodellen, der er anvendt i beregningen.

Konklusion: Planlæg langt frem i tiden 10

Mange af de problemstillinger vi har mødt, skyldes begrænsede muligheder eller forsinket planlægning, hvilket formentlig ikke kan undgås i så driftig en branche som havneindustrien er. Det er dog stadig vigtigt, at sikre brede rammer for havnens fremtid.

Planerne for havnenes udvidelser er omkring 10 år gamle, hvilket omtrent er den tid, det har taget fra ide til realisering. Særligt mht. lokalplanlægningen er det vigtigt at tænke havnens fremtidige rammer ind, på et meget tidligt tidspunkt, da andre aktører kan ændre nærområdet, hvis det ikke allerede er tænkt ind i lokalplanlægningen.

Jo længere frem i tiden der planlægges, desto mere usikre bliver planerne. Derfor er det også vigtigt, at planlægningen går fra bløde visioner til realisering af byggeprojektet, som illustreret i nedenstående tabel.

Tidshorisont	**Planlægningsstadie**
1-3 år	Realisering
3-5 år	Projektering
5-10 år	Masterplan
10-20 år	Idéudvikling
20-50 år	Visioner

Lokalplanlægningen og sikring af havnens rammer bør allerede tænkes ind i planlægningen under idéudviklingen. Det er derfor også vigtigt med et stærkt politisk fokus på havnen og dens værdi, da det kræver en stor velvilje fra politikernes side af, at "afgive" arealer til havnen på så lang sigt.

Referencer og kildehenvisninger

Coastal Engineering Manual, **2008**. *Coastal Engineering Manual*, 2008.

Danmarks Meteorologiske Institut, **Juni 2013**. Danmarks Meteorologiske Institut. *DMI tema: Fremtidens vandstand*, 2013. URL `www.dmi.dk/dmi/index/klima/temaer/tema_fremtidens_vandstand.htm`.

Danske Havne, **Juni 2013**. Danske Havne. *Artikel: Ballastvand - hvad gælder nu*, 2013. URL `www.danskehavne.dk/menu/Nyheder/nyheder/ballastvand-hvad-galder-nu`.

Danske Havne, **November 2010**. Danske Havne. *Her udvider havnene Danske erhvervshavnes udvidelser og planer 2010*, 2010.

Danske Havne, **Marts 2011**. Danske Havne. *Notat: Fremtidens havnekapacitet - udbud og efterspørgsel*, 2011.

Deltares, **2013**. Deltares. *Deltares' hjemmeside*, 2013. URL `www.deltares.nl/en/software/630304/overtopping-neural-network`.

DMI/GEUS, **Marts 2012**. DMI/GEUS. *Ændringer af havniveauet i Danmark de næste 100-200 år*, 2012.

Erhvervs- og Vækstministeriet, **December 2012**. Erhvervs- og Vækstministeriet. *Danmark i arbejde - Vækstplan for Det Blå Danmark*, 2012.

GSI Enviromental, **2013**. GSI Enviromental. *GSI Enviromentals hjemmeside*, 2013. URL `www.gsi-net.com/en/publications/gsi-chemical-database`.

IMO. IMO. *International Maritime Organization*.

Kystdirektoratet, **Juni 2013**. Kystdirektoratet. *Artikel: Vandstande*, 2013. URL `omkystdirektoratet.kyst.dk/vandstande.html`.

Loll og Moldrup, **September 2000**. Per Loll og Per Moldrup. *Soil Characterization and Polluted Soil Assessment*, 2000.

Lykke Andersen, Stagsted, og Garborg, **2012**. *Thomas Lykke Andersen, Esben Rubeck Stagsted, og Karsten Garborg*, 2012.

Mortensen, Knudsen, Sørensen, Jensen, Thrane, Thomsen, Gammelgaard, og Nordseth, **Oktober 2012**. Carsten Mortensen, Thomas Knudsen, Henrik Sørensen, Claus Jensen, Lars Thrane, Søren Nørgaard Thomsen, Britta Gammelgaard, og Andreas Nordseth. *Anbefalinger fra vækstteamet for Det Blå Danmark*, 2012.

Sørensen, Madsen, og Knudsen, **April 2013**. Carlo Sørensen, Holger Toxvig Madsen, og Søren Bjerre Knudsen. *Højvandsstatistikker 2012*, 2013. Kystdirektoratet.

Denne rapport opstiller otte langsigtede udfordringer for de danske havne, på baggrund af en række interviews foretaget med de danske havnedirektører og -ingeniører, samt et litteraturstudie af relevant materiale, der har vedrørt havnene. Udfordringerne er bredt formulerede, således de er målrettet de danske erhvervshavne.

Der tages udgangspunkt i problemstillingerne, som havnene har stået over for eller forventer at stå overfor i fremtiden, med fokus på tekniske ingeniørfagligheder.

Der rettes en stor tak til folk, der har deltaget i undersøgelsen:

- Claus Holm Christensen, Kolding Havn
- Günther Hansen, NIRAS, Kalundborg Havn
- Hans Vasehus Madsen, By & Havn
- Henning Laursen, Grenaa Havn
- Henrik Thykjær, Aabenraa Havn
- Jens Kirketerp Jensen, Hirtshals Havn
- Jesper Jørgensen, Esbjerg Havn
- Jimmi Jørgensen, Associated Danish Ports
- John Morgen, Randers Havn
- Jørgen Buhl, Thyborøn Havn
- Jørn Juhl, Aarhus Havn
- Jørn Pedersen, Odense Havn
- Kim Meilstrup, Aarhus Havn
- Kjeld Dahl Sørensen, Esbjerg Havn
- Knud Erik Simonsen, Odense Havn
- KP Mehlsen, Grenaa Havn
- Mette Schmidt, Aalborg Havn
- Paul B. Lauridsen, Aabenraa Havn
- Per Conradsen, Skagen Havn
- Peter Nymann, Hanstholm Havn
- Preben Reinholdt, Frederikshavn Havn
- Simon Brückner, By & Havn
- Susanne Thilqvist, Køge Havn
- Thomas Gierlevsen, COWI
- Ulrik Jørgensen, A1 Consult, Horsens Havn

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet
Afdelingen for Byggeri og Anlæg
Sohngaardsholmsvej 57, 9000 Aalborg
http:/civil.aau.dk