



FISKERIDIREKTORATET

Veileder

Dynamiske laster på oppdrettskar

Livet i havet - vårt felles ansvar

Veileder

Dynamiske laster på oppdrettskar/Dynamic loads on fish tanks

Årstall
2019

Ansvarlig avdeling:
KHM

Emneord:
Landbasert
akvakultur, kar

Arkivsaksnummer:
19/3374

Dato utgitt/sist oppdatert:
05.06.2019
03.07.2019

Totalt antall sider:
17

Saksansvarlig:
Jon Eide Pettersen

Dynamiske laster på oppdrettskar

Sammendrag

Denne veilederen omhandler dynamiske laster som virker på landbaserte oppdrettskar, og hvordan disse kan ivaretas ved dimensjonering av kar. Veilederen er ment for foretak som utfører design, sertifisering, beregning, tilstandsanalyser eller lignende aktiviteter tilknyttet oppdrettskar.

Summary:

This report is concerned with dynamic loads acting on fish tanks during use, and how such loads can be accounted for in the design of fish tanks. It is intended for providers of design services, certification, calculation, condition surveys or similar activities related to land based fish tanks.



Veileder

Dynamiske laster på oppdrettskar

1. Om veiledningen	3
1.1. Formål	3
1.2. Krav til dimensjonering	3
1.3. Hva veilederen omfatter	4
1.4. Begrensninger og forutsetninger	4
1.5. Krav om produktsertifikat for kar fra 01.01.2018	4
2. Grunnlag	5
2.1. Konstruksjon og materialer	5
2.2. Masse	6
2.3. Geografisk plassering	6
2.4. Grensebetingelser	6
2.5. Modellering og forenklinger	6
3. Lasttilfeller	7
3.1. Bruddgrensekontroll	7
3.2. Ulykkesgrensekontroll	7
4. Seismiske laster	10
4.1. Eksitasjon	10
4.2. Horisontal akselerasjon	11
4.3. Horisontal seismisk skjærkraft	13
4.4. Horisontal seismisk trykkfordeling	13
4.5. Vanntrykk mot vegg fra vertikal akselerasjon	14
4.6. Sloshing på grunn av jordskjelv	15
5. Laster på fundament	16
6. Dimensjonering mot roterende bølger	17

Tabeller

Tabell 1: Dimensjoneringsstandarder for ulike materialer	4
Tabell 2: Veggtykkelser i kar	6
Tabell 3: Laster og lastfordeling	8
Tabell 4: Parametere for eksitasjon	11



Figurer

Figur 1: Oppdrettskar som blir benyttet i eksempelet.

5

Figur 2: Dimensjonerende elastisk responspekter for beregning av konvektivt og impulsivt trykk i karet.

12

1. Om veiledningen

I 2013 ble standarden NS 9416:2013 *Landbaserte akvakulturanlegg for fisk* fastsatt. Standarden angir krav til risikoanalyse, prosjektering, utførelse, drift, brukerhåndbok og produktdatablad for landbaserte akvakulturanlegg, herunder krav til dimensjonering av oppdrettskar. Fra 01.01.2018 må alle nye kar ha produktsertifikat utstedt av akkreditert sertifiseringsorgan som bekrefter at karet er dimensjonert og utført i samsvar med standarden og forskrift om krav til teknisk standard for landbaserte akvakulturanlegg for fisk.

Fiskeridirektoratet erfarer at enkelte punkter for dimensjonering av kar i standarden, spesielt knyttet til dimensjonering mot dynamiske laster, i liten grad har blitt fulgt av næringen. Dette har ført til utfordringer når kar skal produktsertifiseres, og avdekket et behov for veiledning til hvordan kravene i NS 9416:2013 kan innfris.

Denne veilederen beskriver dynamiske laster som beskrevet i NS 9416:2013 som virker på et generisk oppdrettskar. Veilederen er utarbeidet av Fiskeridirektoratet våren 2019.

1.1. Formål

Veilederen skal bidra til å belyse hvordan kravene til dimensjonering av oppdrettskar mot dynamiske laster kan innfris.

Veilederen er ment for foretak som utfører design, sertifisering, beregning, tilstandsanalyser eller lignende aktiviteter tilknyttet oppdrettskar. Veilederen har ikke som hensikt å gi en fullstendig oppskrift på hvordan oppdrettskar skal dimensjoneres for dynamiske laster, men skal veilede brukeren til hvordan det kan gjøres.

1.2. Krav til dimensjonering

Dimensjonering av oppdrettskar skal følge bestemmelser i forskrift om krav til teknisk standard for landbaserte akvakulturanlegg for fisk. Forskriften angir at kar skal være prosjektert og utført i samsvar med krav i NS 9416:2013 *Landbaserte akvakulturanlegg for fisk*.

Standarden angir hvilke laster/påvirkninger som det skal tas hensyn til ved dimensjonering av landbaserte anlegg, herunder også kar. Lastene deles inn i permanente laster, nyttelaster, miljølaster, seismisk påvirkning og ulykkeslaster. Med hensyn til dynamiske laster, som er tema i denne veilederen, er det følgende laster som vil bli dekket:

- Virkning av seismisk påvirkning
- Roterende bølger i produksjonsenhet
- Laster på fundament fra seismisk påvirkning

Det kan være andre dynamiske laster enn de som nevnes i denne veilederen som må kontrolleres i dimensjonering, for eksempel vindlaster.

Overordnede krav til dimensjonering mot seismiske laster er angitt i NS-EN 1998-1. Bestemmelse av seismiske laster på kar er nærmere beskrevet i NS-EN 1998-4 *Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 4: Siloer, beholdere og rørledninger*. Det er NS-EN 1998-4 som vil bli brukt som grunnlag for eksempelet i denne veilederen. Denne standarden angir flere ulike metoder for å bestemme laster på grunn av seismisk påvirkning, både for stive og fleksible sirkulære og kvadratiske tanker.

Dimensjonering skal gjøres i henhold til standarden som gjelder for det aktuelle materialet karet er laget av. I NS 9416:2013 er dette:

Tabell 1: Dimensjoneringsstandarder for ulike materialer

Materiale	Standard
Stål	NS-EN 1993-1-1
Aluminium	NS-EN 1999-1-1
Betong	NS-EN 1992-1-1
Glassfiberarmert plast	NS-EN 13121-3

I tillegg gjelder generelle krav til prosjektering angitt i NS-EN 1990 med nasjonalt tillegg. Krav til dimensjonering i de ulike standardene kan også oppfylles ved å benytte internasjonale eller europeiske standarder med tilsvarende sikkerhetsnivå.

1.3. Hva veilederen omfatter

Veilederen omfatter et beregningseksempel av lastene på et generisk oppdrettskar fra jordskjelv og indre bølger i karet, med utfyllende beskrivelser. Kapasitetskontroll av karet mot de aktuelle lastene er ikke inkludert i beregningseksempelet, men det henvises til de ulike standardene hvor dette er beskrevet.

Veilederen omfatter ikke dimensjonering mot statiske laster, miljølaste, ulykkeslaste eller andre laste som kan være relevante for dimensjonering av oppdrettskar. Disse temaene er også dekket i standarder som det henvises til i NS 9416.

1.4. Begrensninger og forutsetninger

Veilederen forutsetter at brukeren er kjent med NS 9416, dimensjonering etter eurokodene og har grunnleggende kunnskap og erfaring med elementanalyse for strukturberegninger (Finite Element Analysis).

Veilederen er ikke ment å erstatte bruk av de relevante standardene, og det forutsettes at brukeren også setter seg inn i det underliggende materialet. Det presiseres også at karet i eksempelet i denne veilederen er fiktivt, og ikke nødvendigvis i samsvar med gjeldende krav.

1.5. Krav om produktsertifikat for kar fra 01.01.2018

Kar som tas i bruk ved landbaserte akvakulturanlegg for fisk etter 01.01.2018 skal ha produktsertifikat utstedt av akkreditert sertifiseringsorgan. Krav til sertifiseringen er

angitt i forskrift om krav til teknisk standard for landbaserte akvakulturanlegg for fisk kapittel 5. Forskriftens § 18 angir hvilke opplysninger produktsertifikatet skal inneholde. Her fremgår det at produktsertifikatet skal inneholde kriterier for gyldighet av sertifisering. De seismiske laster som et kar må dimensjoneres for å tåle vil være avhengig av hvor i landet karet er plassert og hvilken grunntype det står på. Grunntype og plassering benyttet i dimensjoneringen av karet vil være en viktig forutsetning for gyldigheten til sertifisering, og må derfor fremgå i produktsertifikatet til karet.

I noen tilfeller vil det ikke være nødvendig å dimensjonere mot seismiske laster, jf. NS-EN 1998-1 NA.3.2.1 (5) P.

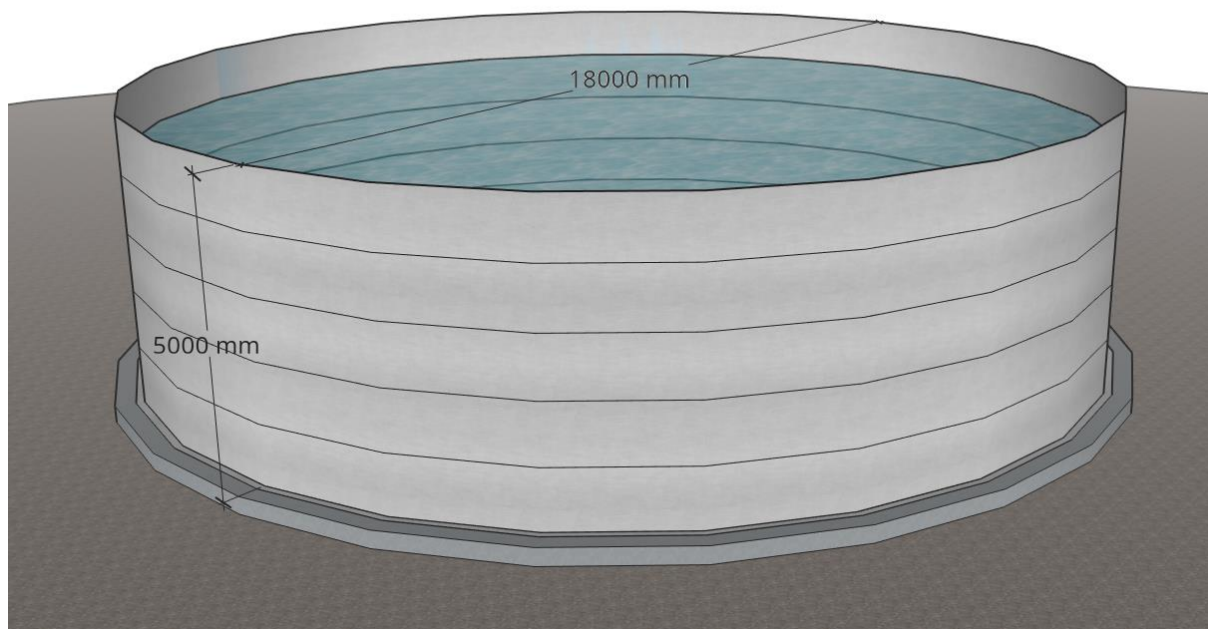
2. Grunnlag

Eksempelet tar for seg et generisk oppdrettskar i stål, hvor karet består av stålplater i forskjellige tykkelser som er montert sammen til et kar. Under ordinær drift vil vanddybden i karet være 4 meter.

Gjennomføringer i karveggen for innløp- eller avløpsrør er ikke inkludert i modellen. Det er heller ikke montert ekstraustyr på karet i beregningseksempelet. For et reelt kar må dette inkluderes i modellen.

I eksemplet belyses dynamiske trykk mot veggen i karet. Vanntrykk mot bunnplate er ikke behandlet i eksemplet, men er generelt beskrevet i NS-EN 1998-4.

2.1. Konstruksjon og materialer



Figur 1: Oppdrettskar som blir benyttet i eksempelet.

Karet er konstruert av stålplater som er boltet sammen til å forme et kar. Diameteren til karet er 18 m, og høyden er 5 m. Det er 5 segmenter i karet, og disse varierer i tykkelse med vanddybden. Den nederste platen har en flens som er boltet til et betongfundament. Oversikt over veggtykkelser er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: Veggtykkelser i kar

Segment	Veggtykkelse	Materiale
1 (topp)	3 mm	S355 konstruksjonsstål
2	3 mm	S355 konstruksjonsstål
3	3 mm	S355 konstruksjonsstål
4	4 mm	S355 konstruksjonsstål
5 (nederst)	5 mm	S355 konstruksjonsstål
Bunnplate	–	Betong

2.2. Masse

Karet er fylt med vann til 4 meter vanddybde. Vannet er ferskvann med en massetetthet $\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$. Massetettheten til stålet er $\rho_s = 7800 \frac{kg}{m^3}$.

2.3. Geografisk plassering

Karets plassering, både geografisk i landet og lokale grunnforhold, har innvirkning på hvilke laster karet må dimensjoneres for i tilfelle seismisk påvirkning.

I dette eksempelet er karet plassert på Nord-Vestlandet på grunntype E, jf. NS-EN 1998-1 tabell NA.3.1 og figur NA.3(901). Dette tilsvarer den høyeste bergakselerasjonen i Norge, kombinert med de mest forsterkende grunnforholdene som NS-EN 1998-1 tar høyde for. Spissverdi for berggrunnens akselerasjon for jordskjelv med 475 års returperiode, $a_{g,40Hz}$, tas ut av kartet lik $1,0 \frac{m}{s^2}$. Referansespissverdien for berggrunnens akselerasjon, a_{gR} blir dermed $0,8 \frac{m}{s^2}$. Ved bløtere grunntyper enn grunntype E, må det gjøres spesielle undersøkelser for å fastslå forsterkning gjennom jord.

2.4. Grensebetingelser

Karet har en flens nederst som er boltet til et betongfundament. For randbetingelser i kapasitetsanalysen for knekking henvises det til NS-EN 1993-1-6 punkt 8.3, figur 8.1 d) og tabell 5.1, hvor rotasjonsfri randbetingelse mot betongplaten er angitt.

2.5. Modellering og forenklinger

Modellering av karet for å finne lastvirkning og kontroll av kapasitet er ikke inkludert i denne veilederen. Dette er fordi det vil være stor forskjell på hvordan det er mest hensiktsmessig å modellere lastvirkningen, for eksempel etter hvilket analyseprogram som benyttes, geometri, produksjonsmetode for karet og grensebetingelser mot fundamentet. Modellering og kapasitetskontroll av karet må gjøres i tråd med de gjeldende standarder.

Krav til modellering og kapasitetskontroll er angitt i standardene som gjelder for ulike materialer, se Tabell 1.

Eksempel

For stålkaret i dette eksempelet skal bestemmelsene i NS-EN 1993-1 legges til grunn. Siden det aktuelle karet er en skallkonstruksjon, må NS-EN 1993-1-6 *Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-6: Skallkonstruksjoner* følges. Denne standarden angir krav til modellering, hvilke grensetilstander som skal kontrolleres og hvordan dette skal gjøres. NS-EN 1993-1-6 stiller krav om at fire grensetilstander skal kontrolleres:

- Plastisk grensetilstand (LS1)
- Syklisk plastisk grensetilstand (LS2)
- Knekkning (LS3)
- Utmatting (LS4)

Det skal blant annet gjøres spenningskontroll mot dimensjonerende fasthet for aktuell stålkvalitet, og det kan fra modellen tas ut i form av von Mises spenninger som er tilgjengelig fra de aller fleste programmer. Denne kontrollen er betegnet LS1 i NS-EN 1993-1-6, punkt 6. Det skal gjøres kontroll både på veggens inner- og ytterside for å få med effekt av bøyning av skallveggen.

I tillegg skal det gjøres en knekkingskontroll betegnet som LS3. For denne kontroll benyttes den ideelle elastiske knekkspenning, se NS-EN 1993-1-6 punkt 1.3.7.1. Den kan finnes ved en LBA-analyse («Linear elastic Bifurcation Analysis») hvor det antas lineært elastisk materiale, ingen formfeil og ingen restspenning fra fabrikasjon. Disse effektene tas inn i neste omgang for å komme frem til dimensjonerende knekkspenning for kapasitetskontroll, se NS-EN 1993-1-6 punkt 8.5.2(4).

3. Lasttilfeller

3.1. Bruddgrensekontroll

Under normal drift vil karet være utsatt for hydrostatisk trykk fra innholdet i karet. Denne lasten må kombineres med de dynamiske lastene som kan oppstå under normal drift. I dette eksempelet er disse begrenset til laster på grunn av indre bølger i karet som følge av fiskebevegelser.

For bruddgrensekontroll generelt, skal permanente laster, nyttelaster og miljølaste i NS 9416:2013 kontrolleres i samsvar med krav til bruddgrensekontroll i NS-EN 1990.

3.2. Ulykkesgrensekontroll

Horisontal og vertikal seismisk påvirkning

For ulykkesgrensekontroll skal seismisk påvirkning og ulykkeslaste i NS 9416:2013 kontrolleres. Dette eksempelet tar for seg seismisk påvirkning.

De seismiske lastene kan deles i to bidrag, et som virker i horisontal retning og et som virker i vertikal retning. For kar som ikke er aksesymmetriske, må i tillegg effekten av seismisk påvirkning i de ulike horisontale retningene kontrolleres. For den vertikale og horisontale påvirkningen er det flere effekter som bidrar til den totale påvirkningen.

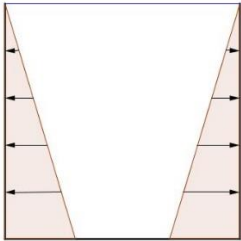
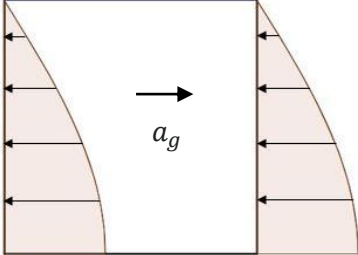
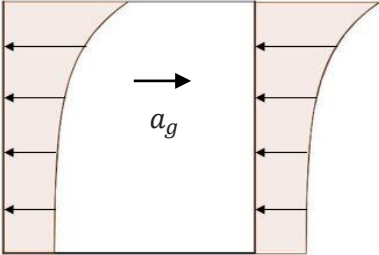
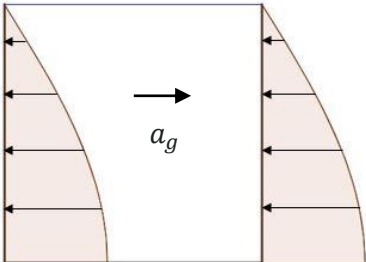
Det horisontale bidraget kan for et fleksibelt kar deles i tre komponenter; et rigid impulsivt trykk, et konvektivt trykk og et fleksibelt impulsivt trykk. Det rigid impulsive trykket er trykket som oppstår på karveggen ved en brå akselerasjon av væske i en stiv beholder. Det konvektive trykket kommer fra bølgene som oppstår i karet, mens det fleksible trykket er

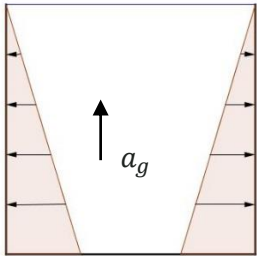
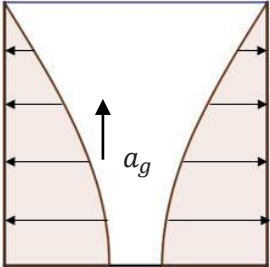
på grunn av at karveggen deformeres ved den brå akselerasjonen. I denne veilederen kombineres det rigid impulsive og det fleksibelt impulsive trykket etter metoden i NS-EN 1998-4 kapittel A.3.2.2, og det antas at disse har samme trykkfordeling.

Det vertikale bidraget kan deles i to komponenter; et rigid impulsivt trykk som er bidraget på grunn av vertikal akselerasjon av væske i en beholder, og et fleksibelt trykk som oppstår på grunn av at karveggen deformeres utover ved den brå trykkøkningen. Trykkfordelingen fra de ulike bidragene er skissert i Tabell 3.

I tillegg til de ulike trykkfordelingene nevnt over, vil treghetskraftene til karveggen og eventuelt ekstrautstyr på grunn av den seismiske akselerasjonen måtte inkluderes, se NS-EN 1998-4 kapittel A.2.1.5.

Tabell 3: Laster og lastfordeling

Lasttilfelle	Last	Trykkfordeling for sirkulær, fleksibel tank	Referanse
Vanntrykk	Hydrostatisk trykk		
Horisontal seismisk påvirkning	Rigid impulsivt trykk		NS-EN 1998-4 kapittel A.2.1.2
	Konvektivt trykk		NS-EN 1998-4 kapittel A.2.1.3
	Fleksibelt impulsivt trykk		NS-EN 1998-4 kapittel A.3.1

Vertikal seismisk påvirkning	Rigid trykk		NS-EN 1998-4 kapittel A.2.2
	Fleksibelt trykk		NS-EN 1998-4 kapittel A.3.3

Forenklet lastrepresentasjon av horisontale seismiske laster

Den totale horisontale seismiske påvirkning fås ved å kombinere trykkbidragene fra det rigid impulsive trykket, det konvektive trykket og det fleksible trykket. Uttrykkene for disse bidragene er kompliserte og krever en del beregning for å fastslå. En forenklet metode for å representere det rigid impulsive og fleksible trykket kan utledes ved å benytte den forenklede metoden for å beregne laster i NS-EN 1998-4 kapittel A.3.2.2. Dette kapittelet gir uttrykk for å beregne den totale skjærkraften og momentet fra de impulsive og konvektive bidragene. Skjærkraften fra den impulsive delen angis som Q_i , og momentet mot bunnen $M_i = h_i * Q_i$. En forenklet trykkfordeling basert på disse verdiene er:

$$p_i(z, \theta) = \left[A \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) + B \cos\left(\frac{3\pi z}{2H}\right) \right] \cos(\theta)$$

Dette tilsvarer de to første modene fra den rigid impulsive trykkfordelingen i uttrykk A.1 i NS-EN 1998-4. Z er høyde over bunn og H er høyde av vannfylling. θ er vinkel rundt omkrets av karet.

Ved å løse ligningene:

$$Q_i = \int_0^H \int_0^{2\pi} p_i(z, \theta) \cos(\theta) R d\theta dz$$

$$M_i = \int_0^H \int_0^{2\pi} z p_i(z, \theta) \cos(\theta) R d\theta dz$$

fås verdiene for A og B . Ved å løse ligningene og benytte $M_i = Q_i h_i$ får en uttrykket for A og B :

$$A = \frac{Q_i}{HR} \frac{9\pi}{16} \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{9\pi} - \frac{1}{3} \frac{h_i}{H} \right),$$

$$B = \frac{Q_i}{HR} \frac{9\pi}{16} \left(1 - \frac{2}{\pi} - \frac{h_i}{H} \right).$$

Gyldigheten for dette uttrykket må sjekkes i hvert enkelte tilfelle. Ved slanke tanker ($\frac{H}{R} > 0,7$) må flere moder inkluderes for å få en korrekt trykkfordeling.

Det konvekktive trykket kan representeres ved å benytte den første moden fra uttrykk A.7 i NS-EN 1998-4:

$$p_c(z, \theta) = C \cosh\left(\lambda_1 \gamma \frac{z}{H}\right) \cos(\theta)$$

Hvor C fås ved å løse ligningen

$$Q_c = \int_0^H \int_0^{2\pi} p_c(z, \theta) \cos(\theta) R \, d\theta dz.$$

$Q_c = m_c S_e(T_{con})$ er det konvekktive bidraget til den totale skjærkraften på tanken (A.37), $\lambda_1 = 1,841$ og $\gamma = \frac{H}{R}$.

Ved å løse ligningen over, fås uttrykket for C:

$$C = \frac{Q_c \lambda_1}{\pi R^2 \sinh(\lambda_1 \gamma)}$$

Kombinasjon av seismiske laster

Kombinasjon av seismiske laster skal gjøres i samsvar med NS-EN 1998-4 kapittel 3.2. Når horisontal og vertikal seismisk påvirkning evalueres separat, kan disse kombineres ved å benytte NS-EN 1998-1 kapittel 4.3.3.5.2(4). For et aksesymmetrisk kar medfører dette at følgende kombinasjoner må sjekkes i ulykkesgrensetilstand:

- a) $E_{Edx} + 0,30E_{Edz}$
- b) $0,30E_{Edx} + E_{Edz}$

Hvor E_{Edx} og E_{Edz} representerer seismisk lastvirkning i hhv. horisontal og vertikal retning, og "+" betyr «kombineres med». Det hydrostatiske trykket må inkluderes i tillegg.

4. Seismiske laster

4.1. Eksitasjon

Dette kapittelet gir dimensjonerende nivå på skjelvet, avhengig av beliggenhet av anlegget, grunnforhold og seismisk klasse.

Seismisk sonekart for Norge basert på returperiode 475 år er gitt i NS-EN 1998-1 punkt NA.3.2.1. Spissverdi i kartet for akselerasjon i berggrunnen skal multipliseres med 0.8 for å oppnå referanseverdien a_{gR} som skal benyttes i videre dimensjonering.

Forsterkningsfaktor S gjennom løsmasse er gitt for ulike grunnforhold i NS-EN 1998-1 punkt NA.3.2.2.2. I Tabell NA.3.3 er videre gitt parametere for beregning av elastisk responspekter i hht. NS-EN 1998-1 punkt 3.2.2.2(1)P.

For den impulsive lastvirkningen, som svinger i takt med konstruksjonen, skal det benyttes dempingsforhold lik 5%, se NS-EN 1998-4 punkt 2.3.3.1. Det betyr at eksitasjonen som leses ut av NS-EN 1998-1 ikke skal korrigeres for demping da denne allerede tar høyde for 5 % demping.

Den konvektive lastvirkningen, som angir vannets svingning, skal baseres på dempingsforholdet 0.5%, se NS-EN 1998-4 punkt 2.3.3.2. Eksitasjonen fra NS-EN 1998-1 skal dermed økes med faktor 1.35 i hht. NS-EN 1998-1 ligning (3.6).

NS-EN 1998-1 punkt NA.4.2.5 plasserer hoveddelen av landbaserte akvakulturanlegg i seismisk klasse II med opsjon på klasse III for spesielt store anlegg. Seismisk klasse II gir seismisk faktor $\gamma_1 = 1,0$ som skal legges på eksitasjonen.

Eksempel

Tabell 4: Parametere for eksitasjon

Parameter	Verdi
Grunntype	E
$a_{g,40\text{ Hz}}$	1,0 m/s ²
Seismisk klasse	II
γ_1	1,0
η_{imp} ($\xi = 5\%$)	1,0
η_{con} ($\xi = 0,5\%$)	1,35
S (grunntype E)	1,65

Dimensjonerende verdi for berggrunnens akselerasjon er gitt ved

$$a_g = a_{g40\text{Hz}} * 0,8 * \gamma_1 = 1,0 \frac{m}{s^2} * 0,8 * 1,0 = 0,8 \frac{m}{s^2}$$

4.2. Horisontal akselerasjon

I dette avsnittet skal den horisontale påvirkningen på karet fastsettes. NS-EN 1998-4 gir formler for egenperioder, med-svingende masser og trykkfordeling.

Egenperiode for den impulsive (med-svingende) lastvirkningen kan beregnes ut fra ligning (A.35) i NS-EN 1998-4. Koeffisient C_i tas ut av Tabell A.2 med interpolasjon på aktuell H/R. Radius R regnes til middelplan av sylindervegg til karet. Formelen gjelder for et sylindrisk kar som er boltet til fast fundament. Dersom en elementmodell av kar og innhold er tilgjengelig, kan egenperioden beregnes ut av modellen. Man skal da foreta en utvelgelse blant aktuelle moder, og denne vurderingen skal dokumenteres.

Eksempel

For eksempelet er $H/R = 4,0/9,0 = 0,44$.

Interpolasjon i tabell A.2 i NS-EN 1998-4 gir da: $C_i = 8,171$.

Det horisontale elastiske responsspekteret er gitt ved uttrykk (3.2)-(3.5) i NS-EN 1998-1. Parametere som beskriver det elastiske responsspekteret er gitt i tabell NA.3.3 i NS-EN 1998-1. For grunntype E fås $T_B = 0,10$ s, $T_C = 0,30$ s, $T_D = 1,4$ s.

Egenperiode for horisontal impulsiv seismisk lastvirkning kommer dermed ut av NS-EN 1998-4 ligning (A.35): $T_{imp} = 0,107$ s. Her er det benyttet en ekvivalent tykkelse $s \approx 4$ mm.

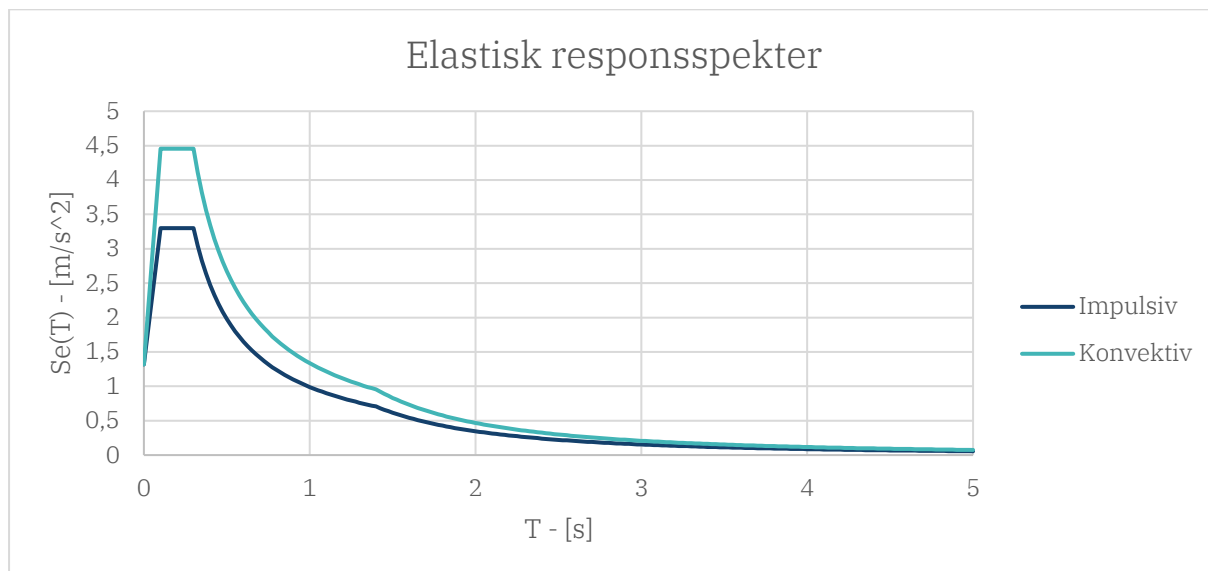
Dimensjonerende akselerasjon for horisontal impulsiv lastvirkning blir dermed fra NS-EN 1998-1 ligning (3.2): $S_e(T_{imp} = 0,107 \text{ s}) = 3,3 \frac{m}{s^2}$.

For den konvekktive lastvirkningen som angir svingning av innhold (vann sloshing) kan egenperiode tas ut av ligning (A.36) i NS-EN 1998-4. Koeffisient C_c tas ut av tabell A.2 ved interpolasjon på aktuell H/R.

Interpolasjon i tabell A.2 i NS-EN 1998-4 gir da for konvektiv lastvirkning: $C_c = 1,838$. Konvektiv egenperiode fås da av NS-EN 1998-4 ligning (A.36) $T_{con} = 5,51$ sek.

For konvekktive egenperioden over 4,0 s må man gå via forskyvningsspekter i NS-EN 1998-1 tillegg A. Herav fremgår at vi kan bruke formel (3.5) opp til $T_E = 6$ s. Dermed fås for den konvekktive lastvirkning dimensjonerende akselerasjon: $S_e(T_{con} = 5,51 \text{ s}) = 0,0616 \frac{m}{s^2}$. Her er det innført korreksjonsfaktor 1,35 for demping 0,5 % på den konvekktive lastvirkningen i skjelvet.

Det dimensjonerende elastiske responsspekteret for impulsiv og konvektiv lastvirkning som funksjon av egenperiode er vist i *Figur 2* basert på NS-EN 1998-1 ligning (3.2)-(3.5). Forskjellen mellom de to er faktor 1,35 for dempingsforholdet 0,5 % på den konvekktive kurven.



Figur 2: Dimensjonerende elastisk responsspekter for beregning av konvektivt og impulsivt trykk i karet.

4.3. Horisontal seismisk skjærkraft

Den impulsive masse m_i tas ut av Tabell A.2 i NS-EN 1998-4 i forhold til den totale vannmasse i karet. Tilsvarende finnes den konvektive massen m_c i samme tabell. Tyngdepunktene h_i og h_c finnes i samme tabell ved interpolasjon på H/R.

Eksempel

For eksemplet fås $m_i/m_{\text{vann}} = 0,265$ basert på interpolasjon på H/R. Vannmasse er $m_{\text{vann}} = 1018$ tonn. Dermed er impulsiv vannmasse $0,265 \times 1018 = 270$ tonn. Tyngdepunkt for denne massen ligger $0,4 \times H = 1,60$ m over bunn i tank.

For konvektiv masse fås $m_c/m_{\text{vann}} = 0,735$. Konvektiv masse $m_c = 748$ tonn. Tyngdepunkt for den konvektive masse ligger $0,537 \times H = 2,15$ m over bunn i tank. Dermed fås impulsiv skjærkraft mellom tank og fundament fra NS-EN 1998-4 ligning (A.3): $Q_i = m_i S_{ei} = 270 \text{ tonn} \times 3,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 891 \text{ kN}$.

Tilsvarende fås den konvektive skjærkraft fra NS-EN 1998-4 ligning (A.37): $Q_c = m_c S_{ec} = 748 \text{ tonn} \times 0,0616 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 46,1 \text{ kN}$.

Høydene h_i og h_c i Tabell A.2 gir momentarm for hhv. impulsiv og konvektiv skjærkraft i forhold til resulterende moment på overside av betongfundament, se ligning (A.38) i NS-EN 1998-4. Tilsvarende gir h_i' og h_c' momentarmer til resulterende moment like under bunnplate, se ligning (A.39). Her er da tatt med effekt av vanntrykk mot bunnen. Interpolasjon i tabell A.2 gir impulsiv høyde over fundament: $h_i = 0,400 \times H = 1,6$ m og $h_c = 0,537 \times H = 2,15$ m.

Både skjærkreftene Q og høydene h for momentarm benyttes for å fastsette den vertikale fordeling av hhv. impulsivt og konvektivt vanntrykk mot vegg i tank.

4.4. Horisontal seismisk trykkfordeling

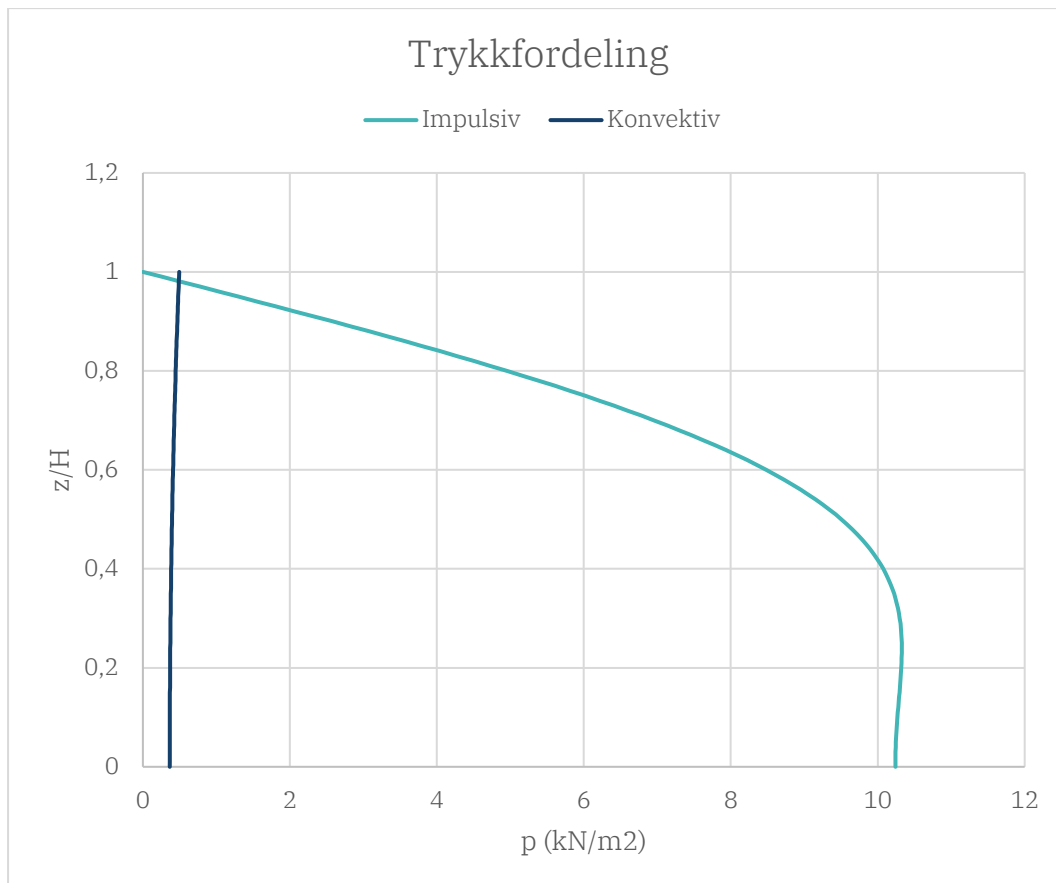
Den med-svingende massen m_i fra innhold påfører ved jordskjelveysitasjon tankveggen et normaltrykk p_i i hht. ligning (A.1) i NS-EN 1998-4, og et diametralt motsatt sug. Fordelingen vertikalt langs tankveggen er vist i Figur A.1(a) i NS-EN 1998-4, og den radielle mot bunnen i Figur A.1(b). Ved påføring av trykket er det viktig at tyngdepunktet faller sammen med høyden h_i fra Tabell A.2.

Tilsvarende er det konvektive trykket mot tankvegg gitt under punkt A.2.1.3 av ligning (A.7) i NS-EN 1998-4.

Uttrykk for trykkfordelingen er gitt i kapittel 3.2. De to trykkbidragene virker normalt på tankveggen. De to fordelingene av horisontalt normaltrykk påføres veggene i elementmodellen.

Eksempel

Impulsiv og konvektiv trykkfordeling regnes ut som forklart over. Med $Q_i = 891$ kN og $Q_c = 46,1$ kN blir trykkfordelingen:



Impulsivt trykk ved bunnen: $p_{i, \text{maks}} = 10,2 \text{ kPa}$

Konvektivt trykk ved bunnen: $p_{c, \text{bunn}} = 0,37 \text{ kPa}$.

4.5. Vanntrykk mot vegg fra vertikal akselerasjon

Den vertikale akselerasjon fra jordskjelv påfører vegg en aksesymmetrisk trykkfelt, i likhet med det hydrostatiske trykket. To bidrag skal tas med:

- Stivt trykk hvor tanken antas uendelig stiv og følger bevegelsen av fundamentet
- Fleksibelt trykk på grunn av aksesymmetrisk fleksibilitet (pumping) av tankveggen

Det fleksible trykk er gitt i NS-EN 1998-4 ligning (A.40). Variasjon over høyde er en cosinus kvart-bølge. Responsspekteret A_{vf} regnes ut på grunnlag av egenfrekvensen for «pumping» av tankveggen, gitt i ligning (A.42). Det benyttes dempingsforhold lik 5%.

Eksempel

Ligning (A.42) gir for eksemplet egenfrekvens $f_{vd} = 9,77 \text{ Hz}$ og periode $T_{vd} = 1/f_{vd} = 0,10 \text{ sek}$ som grunnlag for det fleksible trykket. I beregningen benyttes veggtykkelsen en tredjedel opp fra bunnen av tanken, som er 4 mm.

Etter NS-EN 1998-1 tabell NA.3.4 ligger vi mellom $T_B = 0,05 \text{ s}$ og $T_C = 0,20 \text{ s}$.

NS-EN 1998-1 ligning (3.9) gir da vertikal akselerasjon $S_{ve} = 0,48 * 1,0 * 3,0 = 1,44 \frac{m}{s^2}$.

NS-EN 1998-4 gir dermed maksimalt fleksibelt vanntrykk ved bunnen $p_{vf} = 0,815 * 1,0 * 1,0 * 4,0 * 1,44 = 4,69 \text{ kPa}$ og med en cosinus kvart fordeling opp til vannspeilet. Det fleksible trykket er konstant rundt omkretsen (aksesymmetrisk).

Uttrykk for stivt trykk er gitt i NS-EN 1998-4 ligning (A.17). Trykket varierer lineært med dypet og er konstant langs omkrets av tanken (aksesymmetrisk). Forenklet velges samme akselerasjon som for det fleksible trykket $A_v = 1,44 \text{ m/s}^2$.

Maksimalt stivt trykk fås da av (A.17) som $p_{vr,max} = 1,0 * 4,0 * 1,44 = 5,76 \text{ kPa}$. Trykket er konstant over omkrets og lineært over høyde.

For eksemplet har vi nå følgende enkeltbidrag til maksimalt trykk i bunn av tanken:

Hydrostatisk vanntrykk:	39,24 kPa
Impulsivt vanntrykk:	10,2 kPa
Konvektivt vanntrykk:	0,37 kPa
Stiv vertikal:	5,76 kPa
Fleksibel vertikal:	4,69 kPa.

MERKNAD Trykkene som oppstår på grunn av horisontal seismisk påvirkning gir opphav til et moment i karet. Dette momentet gir trykkspenninger i aksialretningen til karet som må kontrolleres for knekking.

4.6. Sloshing på grunn av jordskjelv

NS-EN 1998-4 ligning (A.15) gir bølgehøyde fra sloshing hvor responsspekteret for den konvektive lastvirkning inngår.

Karet bør ha fribord eller oversvømmingssperre som hindrer at fisk kommer ut av karet ved en slik bølgehøyde. Alternativt skal det være et system som ivaretar at fisk og vann skilles på en kontrollert måte ved oversvømming, jf. NS 9416:2013 kapittel 7.6.

Eksempel

Sloshingfrekvensen kan beregnes fra A.9 i NS-EN 1998-4:

$$\omega_{c1} = \sqrt{9,81 \frac{m}{s^2} * \frac{1,814}{9 m} * \tanh\left(1,814 * \frac{4}{9}\right)} = 1,16 \frac{1}{s}$$

T_{c1} blir da 5,42 s.

Bølgehøyden blir da:

$$d_{max} = 0,84 * 9,0 m * \frac{S_c(5,42 s)}{g} = 0,84 * 9,0 m * \frac{0,064}{9,81} = 0,049 m$$

5. Laster på fundament

Fundamentet til karet må dimensjoneres for å tåle lastene som oppstår ved et jordskjelv.

For stive fundamenter kan dimensjonerende moment og skjærkraft beregnes fra metoden i NS-EN 1998-4 kapittel A.3.2.2. Merk at her benyttes en modifisert konvektiv og impulsiv høyde h'_i, h'_c for å beregne det effektive momentet.

For fleksible fundamenter vil den seismiske responsen bli påvirket. Dette kan tas hensyn til ved å benytte modifiserte uttrykk for egenperiodene til karet, se NS-EN 1998-4 kapittel A.7.

Dimensjonering av fundamentet er ikke del av denne veilederen. Fundamenter er behandlet i NS-EN 1997-1 og spesielt for tanker i NS-EN 1998-5.

Eksempel

Det antas at fundamentet er stivt, og at massen til veggen av karet kan neglisjeres. Den totale skjærkraften er

$$Q_{tot} = Q_i + Q_c = 891 \text{ kN} + 46,1 \text{ kN} = 937,1 \text{ kN}.$$

De modifiserte høydene for beregning av moment er:

$$h'_i = 1,814 * 4\text{m} = 7,26\text{m}, h'_c = 2,09 * 4 \text{ m} = 8,3 \text{ m} \text{ (NS-EN 1998-4 tabell A.2)}$$

Momentet som virker under bunnplaten er dermed

$$M' = Q_i h'_i + Q_c h'_c = 891 \text{ kN} * 7,3\text{m} + 46,1 \text{ kN} * 8,3 \text{ m} = 6887 \text{ kNm} \text{ (NS-EN 1998-4 A.39)}$$

Dette er resulterende globale krefter fra kar og bunnplate ned på fundamentet. Bidrag er fra horisontalt skjelv i form av asymmetriske laster fra impulsivt og konvektivt vanntrykk.

Forbindelsen mellom tankvegg og bunnplate skal også sjekkes for fordelt vertikalkraft, fordelt bøyeskjær og fordelt moment langs innfestingen av tanken. Her kommer bidrag inn fra alle typer vanntrykk, hydrostatisk, impulsivt, konvektivt, stivt vertikalt og fleksibelt vertikalt trykk. I tillegg kommer hydrostatisk og dynamiske vanntrykk direkte på bunnplaten.

6. Dimensjonering mot roterende bølger

Ved dimensjonering av kar skal det tas hensyn til roterende og radielle stående bølger i karet. En aktuell last innenfor denne kategorien er roterende bølger. For noen fisketyper *kan* det være aktuelt å ta hensyn til at fisken kan danne bølger i karet i en panikksituasjon. Dette fenomenet er kun sparsommelig beskrevet, og det er ingen etablert beregningsmetodikk for dette lasttilfellet. I det følgende foreslås en metode for å estimere påvirkningen på karet fra fisk som lager roterende bølger.

Det antas at fisken ved en panikksituasjon vil svømme i sirkel rundt i karet med en maksimal svømmehastighet v_f på 10 kroppslengder per sekund. Dette gir opphav til en roterende bølge som kan antas å ha en maksimal heving h_f . Hevingen h_f må vurderes i det enkelte tilfelle. Den roterende bølgen vil i tillegg eksitere karet med en frekvens $f_f < \frac{v_f}{\pi D}$.

Følgende sjekker kan da utføres for å kontrollere om karet vil bli uheldig påvirket roterende bølger fra fisk:

1. Statisk kontroll av spenninger som oppstår ved usymmetrisk trykk. Trykket kan modelleres ved uttrykket $p_f(z, \theta) = \rho_w g \left[\left(1 - \frac{z}{H}\right) H + h_f \cos \theta \right]$, $0 < z < H + h_f \cos \theta$, hvor z er høyde over bunn og θ er vinkel langs omkretsen til tanken.
2. Kontroll av egensvingeperiodene til karet mot f_f . Dersom laveste egenfrekvens til karet er mye høyere enn f_f vil karet ikke bli eksitert av den roterende bølgen.

MERKNAD Hevingen h_f kan bestemmes fra erfaring med den aktuelle fisketypen. Ved mangel på anslag foreslås $h_f = 0,5 \text{ m}$ eller fribordet til karet.



FISKERIDIREKTORATET

Telefon: 55 23 80 00

E-post: postmottak@fiskedir.no

Internett: www.fiskerdir.no

Livet i havet - vårt felles ansvar