

Vedlegg 1 - Stabilitets- og forankringsanalyse

Lars-Petter Solvang Johnsen
Melissa Nicole Glory Vestvik

Bacheloroppgave i Marinteknikk

Bergen, Norge [2021]



**Høgskulen
på Vestlandet**

Vedleggsliste 1

A	Structure reduction	1
B	Tankkonfigurasjon	3
C	Intakt stabilitet	4
D	Skade stabilitet	6
E	Forankring resultat	9
	E.1 Resultat intakt tilstand	9
	E.2 Resultat skadet tilstand	25
	Referanser	41
	Liste over tabeller	41
	Liste over figurer	42

A Structure reduction

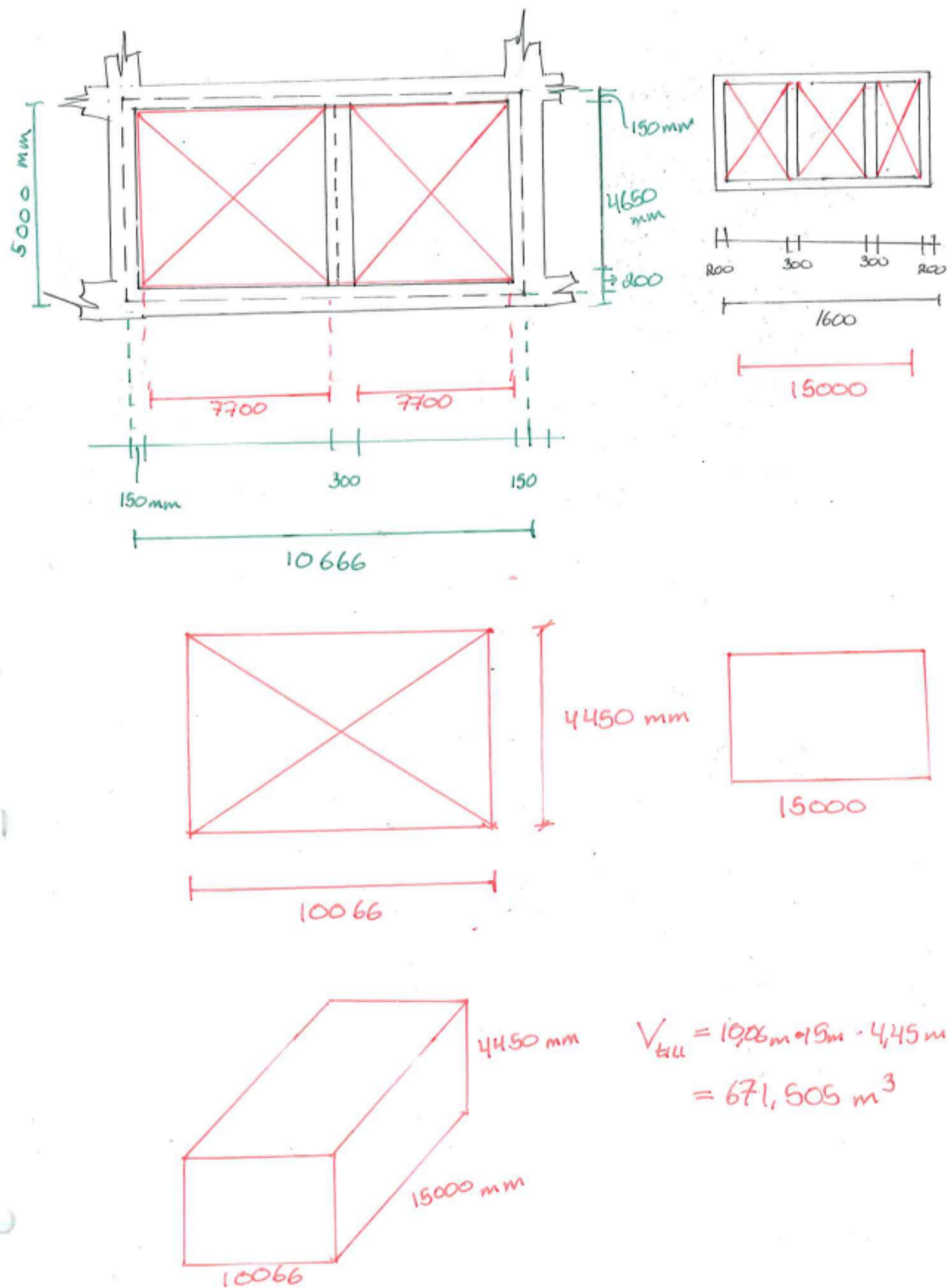


Figure 1: Skott inndeling med tilhørende vegger.

SR

$$V_{modell} = \frac{m_{sjø}}{\rho_{sjø}} = \frac{8,0644 \times 10^5 \text{ kg}}{1025 \text{ kg/m}^3} = 786,771 \text{ m}^3$$

$$\underline{\underline{SR}} = 1 - \frac{V_{togning}}{V_{modell}} = 1 - \frac{671,505 \text{ m}^3}{786,771 \text{ m}^3}$$

$$= 0,147 \rightarrow \underline{\underline{14,7\%}}$$

Figure 2: Structure reduction utregning.

B Tankkonfigurasjon

CompartmentContents1									
Selected	Name	Fluid	Fluid density	Filling property	Filling fraction	Intact fluid mass	Damaged	FreeSurface	Group
<input type="checkbox"/>	LC2	IronOre	3600 kg/m ³		10 %	5,1681E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC2
<input type="checkbox"/>	LC3		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC3
<input type="checkbox"/>	LC4		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC4
<input type="checkbox"/>	LC5	Concrete	2500 kg/m ³		13 %	1,3023E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC5
<input type="checkbox"/>	LC6		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC6
<input type="checkbox"/>	LC7		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC7
<input type="checkbox"/>	LC8	Concrete	2500 kg/m ³		13 %	1,3023E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC8
<input type="checkbox"/>	LC9	Concrete	2500 kg/m ³		13 %	1,3023E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC9
<input type="checkbox"/>	LC10		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC10
<input type="checkbox"/>	LC11		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC11
<input type="checkbox"/>	LC12		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC12
<input type="checkbox"/>	LC13		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC13
<input type="checkbox"/>	LC14	Concrete	2500 kg/m ³	FULL	100 %	1,0418E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC14
<input type="checkbox"/>	LC15		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC15
<input type="checkbox"/>	LC16		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC16
<input type="checkbox"/>	LC17		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC17
<input type="checkbox"/>	LC18		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC18
<input type="checkbox"/>	LC19	Concrete	2500 kg/m ³	FULL	100 %	1,0418E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC19
<input type="checkbox"/>	LC20	Concrete	2500 kg/m ³	FULL	100 %	1,0418E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC20
<input type="checkbox"/>	LC21		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC21
<input type="checkbox"/>	LC22	Concrete	2500 kg/m ³	FULL	100 %	1,0418E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC22
<input type="checkbox"/>	LC23		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC23
<input type="checkbox"/>	LC24		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC24
<input type="checkbox"/>	LC25		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC25
<input type="checkbox"/>	LC26	Concrete	2500 kg/m ³	FULL	100 %	1,0418E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC26
<input type="checkbox"/>	LC27		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC27
<input type="checkbox"/>	LC28		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC28
<input type="checkbox"/>	LC29		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC29
<input type="checkbox"/>	LC30	Concrete	2500 kg/m ³	FULL	100 %	1,0418E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC30
<input type="checkbox"/>	LC31		2500 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC31
<input type="checkbox"/>	LC32	IronOre	3600 kg/m ³		50 %	1,3367E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC32
<input type="checkbox"/>	LC33	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC33
<input type="checkbox"/>	LC34	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC34
<input type="checkbox"/>	LC35	SeaWater	1025 kg/m ³		84,716 %	6,3206E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC35
<input type="checkbox"/>	LC36	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC36
<input type="checkbox"/>	LC37	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC37
<input type="checkbox"/>	LC38		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC38
<input type="checkbox"/>	LC39	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC39
<input type="checkbox"/>	LC40	IronOre	3600 kg/m ³		45 %	1,1792E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC40
<input type="checkbox"/>	LC41	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC41
<input type="checkbox"/>	LC42	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC42
<input type="checkbox"/>	LC43	IronOre	3600 kg/m ³		50 %	1,3367E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC43
<input type="checkbox"/>	LC44	SeaWater	1025 kg/m ³		0,51793 %	3942,2 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC44
<input type="checkbox"/>	LC45	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC45
<input type="checkbox"/>	LC46	SeaWater	1025 kg/m ³		100 %	7,4609E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC46
<input type="checkbox"/>	LC47		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC47
<input type="checkbox"/>	LC48	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC48
<input type="checkbox"/>	LC49	SeaWater	1025 kg/m ³		93,4 %	6,9685E+05 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC49
<input type="checkbox"/>	LC50	IronOre	3600 kg/m ³		50 %	1,3367E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC50
<input type="checkbox"/>	LC51		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC51
<input type="checkbox"/>	LC52	IronOre	3600 kg/m ³		40 %	1,0482E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC52
<input type="checkbox"/>	LC53	IronOre	3600 kg/m ³		40 %	1,0482E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC53
<input type="checkbox"/>	LC54		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC54
<input type="checkbox"/>	LC55	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC55
<input type="checkbox"/>	LC56	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC56
<input type="checkbox"/>	LC57		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC57
<input type="checkbox"/>	LC58	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC58
<input type="checkbox"/>	LC59	IronOre	3600 kg/m ³		55 %	1,5822E+06 kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LC59
<input type="checkbox"/>	LC60		0 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC60
<input type="checkbox"/>	LC61	SeaWater	1025 kg/m ³		0 %	0 kg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LC61

Figure 3: Illustrasjon over tankkonfigurasjon og fylte tanker

C Intakt stabilitet

Forfra (270°)

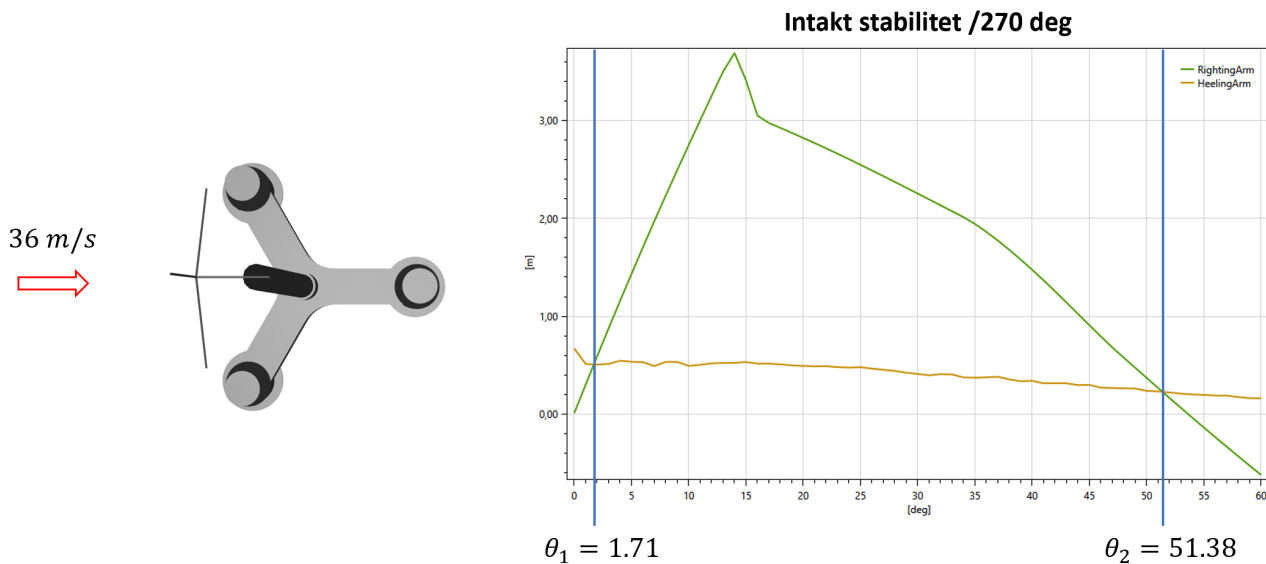


Figure 4: Situasjonsbilde og stabilitet resultat ved 270°.

Fra siden (180°)

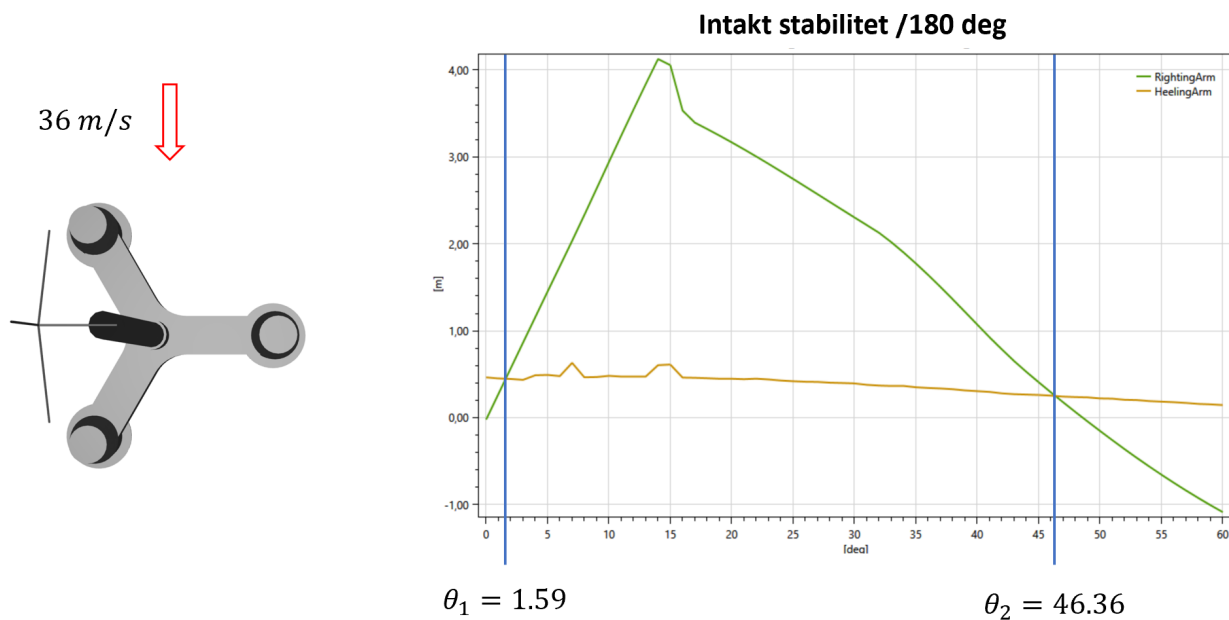


Figure 5: Situasjonsbilde og stabilitet resultat ved 180°.

Bakfra (90°)

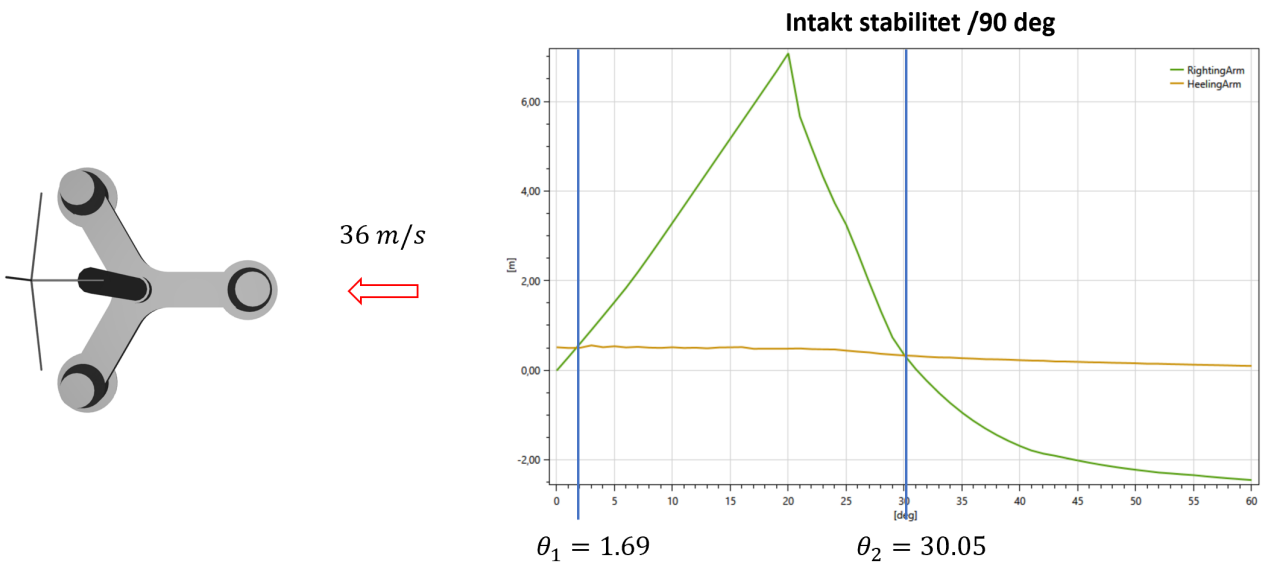


Figure 6: Situasjonsbilde og stabilitet resultat ved 90°.

D Skade stabilitet

Skadetilfelle 1

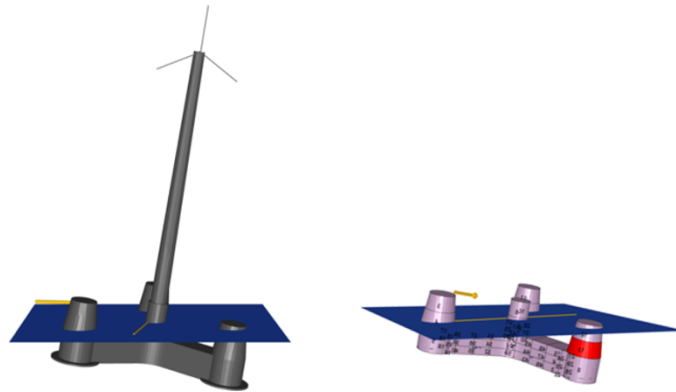


Figure 7: Illustrasjon over skadetilfelle 1.

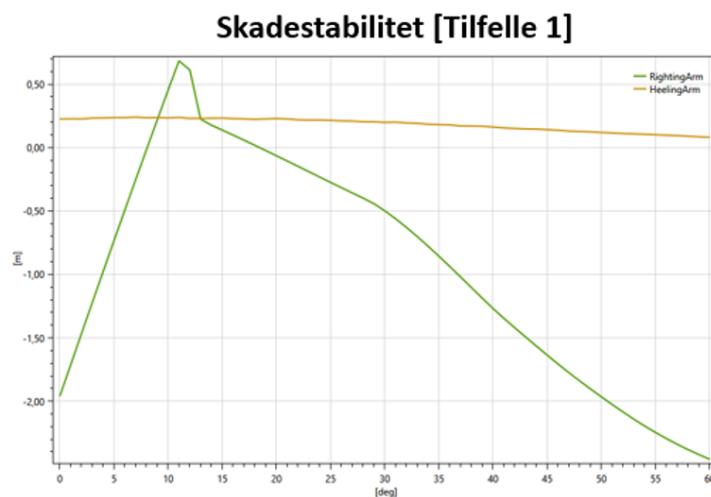


Figure 8: Grafen viser forholdet mellom righting og heeling arm ved skadetilfelle 1.

Asimut utregning ved skadetilfelle 1

Trim = 4,9436

Heel = - 8,6413

Bruker formel (7) og formel (8) for å finne asimut:

$$\alpha = \tan^{-1} = \left[\frac{\tan(4,9436)}{\tan(-8,6413)} \right] = 29,6467$$

$$\psi = \tan^{-1} = \left[\frac{\tan(4,9436)}{\sin(29,6467)} \right] = -9,9187$$

$$\psi = -9,9187 + 180 = 170,0813 \quad (1)$$

Skadetilfelle 2

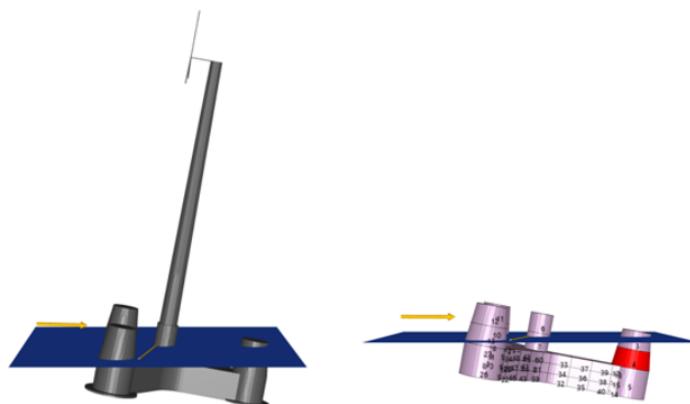


Figure 9: Illustrasjon over skadetilfelle 2.

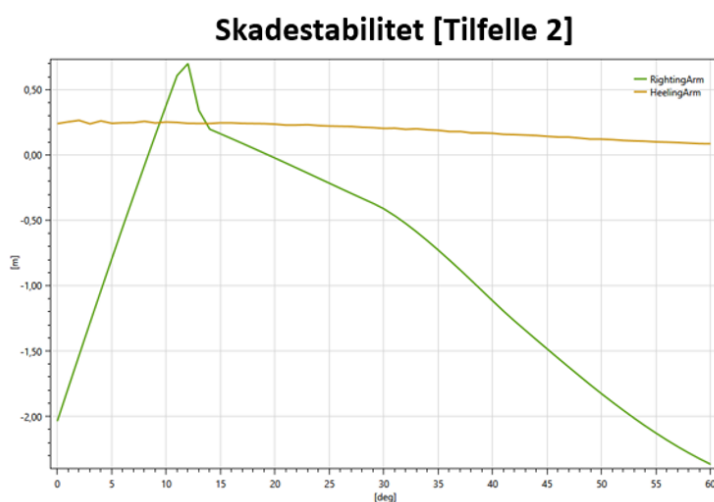


Figure 10: Grafen viser forholdet mellom righting og heeling arm ved skadetilfelle 2.

Asimut utregning ved skadetilfelle 2

Trim = - 10,5460

Heel = - 3,6612

Bruker formel (7) og formel (8) for å finne asimut:

$$\alpha = \tan^{-1} = \left[\frac{\tan(-10,5460)}{\tan(-3,6612)} \right] = 71,03$$

$$\psi = \tan^{-1} = \left[\frac{\tan(-10,5460)}{\sin(71,03)} \right] = -11,1369$$

$$\psi = -11,1369 + 180 = 168,86 \quad (2)$$

Skadetilfelle 3

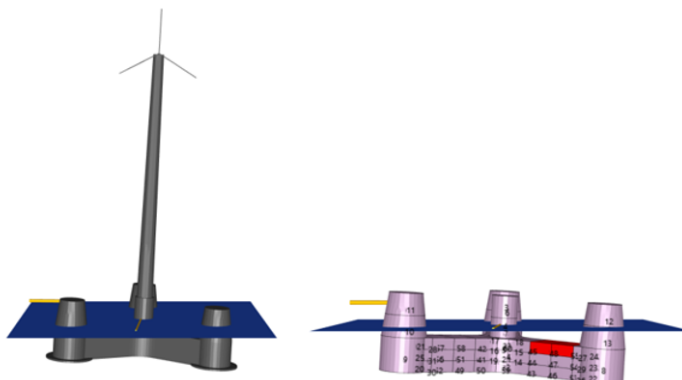


Figure 11: Illustrasjon over skadetilfelle 3.

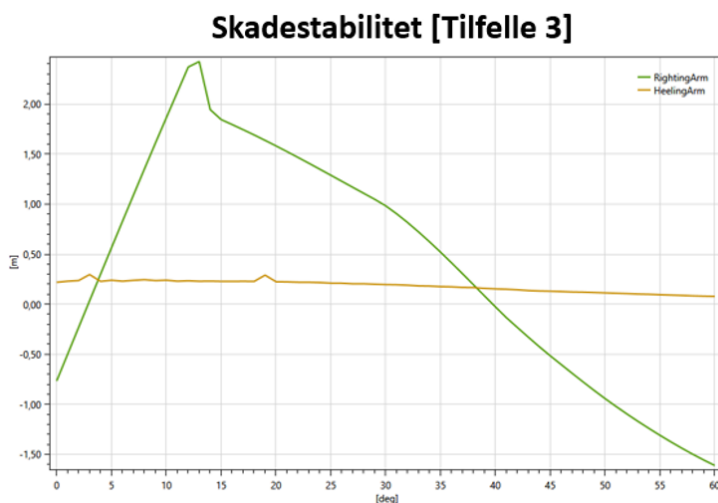


Figure 12: Grafen viser forholdet mellom righting og heeling arm ved skadetilfelle 3.

Asimut utregning ved skadetilfelle 3

Trim = 1,9624

Heel = -3,2821

Bruker formel (7) og formel (8) for å finne asimut:

$$\alpha = \tan^{-1} = \left[\frac{\tan(1,9624)}{\tan(-3,2821)} \right] = -30,858$$

$$\psi = \tan^{-1} = \left[\frac{\tan(41,9624)}{\sin(-30,858)} \right] = -9,9187$$

$$\psi = -9,9187 + 180 = 170,0813 \quad (3)$$

E Forankring resultat

Under blir det lagt frem forankring resultat fra både intakt og skadet tilstand.

Ved intakt legges frem resultat for hvilke line som har størst kraft og forskyvning til vindturbinen ved de ulike miljøpåkjenningene. Ved skadet tilstand vil en line gå i brudd og resultat for påkjenningene til de andre linene legges frem ved de ulike miljøpåkjenningene.

Miljøkrefter som settes på er bølger, strøm og vind. Bølgene er satt til å ha en signifikant bølgehøyde på 6,5 m og en gjennomsnittlig bølgeperiode på 10,5 s. Strømmen er satt til 1,04 m/s og vinden har en hastighet på 36 m/s. Disse kreftene blir satt på konstruksjonen ved 0°, 45°, 90°, 135° og 180°, både ved intakt og skadet tilstand.

E.1 Resultat intakt tilstand

Her presenteres resultat fra analyser som er utført ved intakt tilstand. Analysene tar for seg fordelinger av miljøkrefter som overføres til linene, forskyvningene som oppstår i x- og y-retning, samt resultantbevegelsene til vindturbinen.

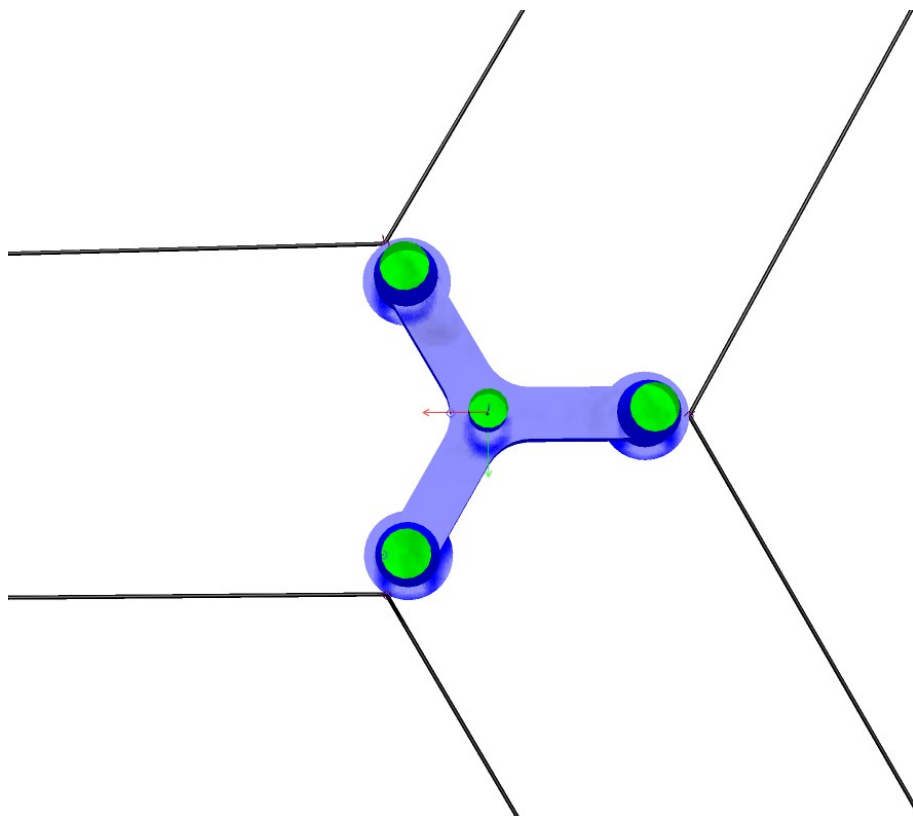


Figure 13: Illustrasjon av påsatt liner på vindturbinen, sett ovenfra.

Intakt ved 180°

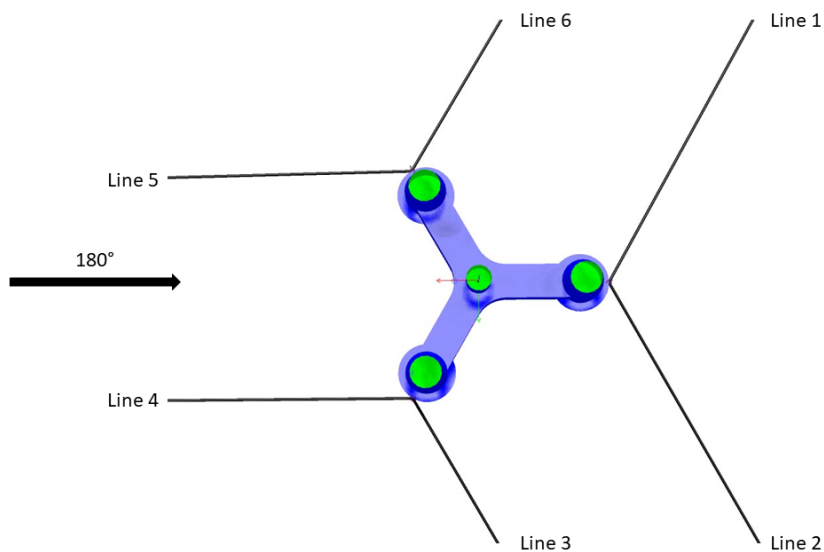


Figure 14: Lineoversikt for 180°.

Figur 15 viser fordelingen av kreftene som forankringslinen tar opp når miljøkreftene kommer inn fra 180°, som i dette tilfelle er forfra mot nacellen. Fra de registrerte dataene, opptrer den største kraften i line 4 og 5, noe som er forventet da miljøkreftene virker i samme retning som linene.

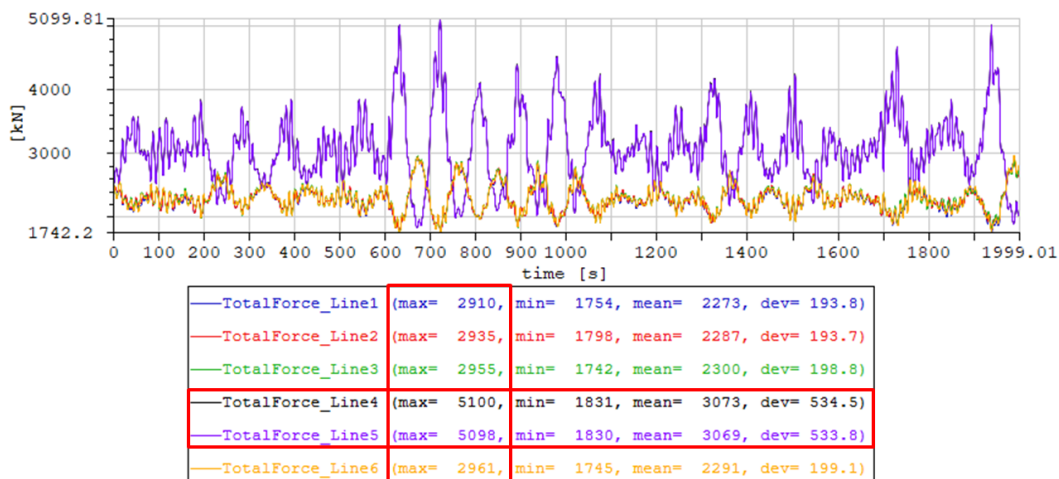


Figure 15: Fordeling av linekrefter ved 180°.

Ved miljøpåvirkning fra 180° er det forventet at de største bevegelsene oppstår i x-retning og minst bevegelse ved y-retning. Dette er fordi miljøkreftene kommer inn fra 180° , som er langs x-aksen. Dette kan observeres i figur 16 og ser da at bevegelsene i y-retning er tilnærmet lik null. Verdiene for x-aksen er negative på grunn av at den er motsatt rettet av miljøpåvirkningen, og har en maks forflyttelse på 5,23 m.

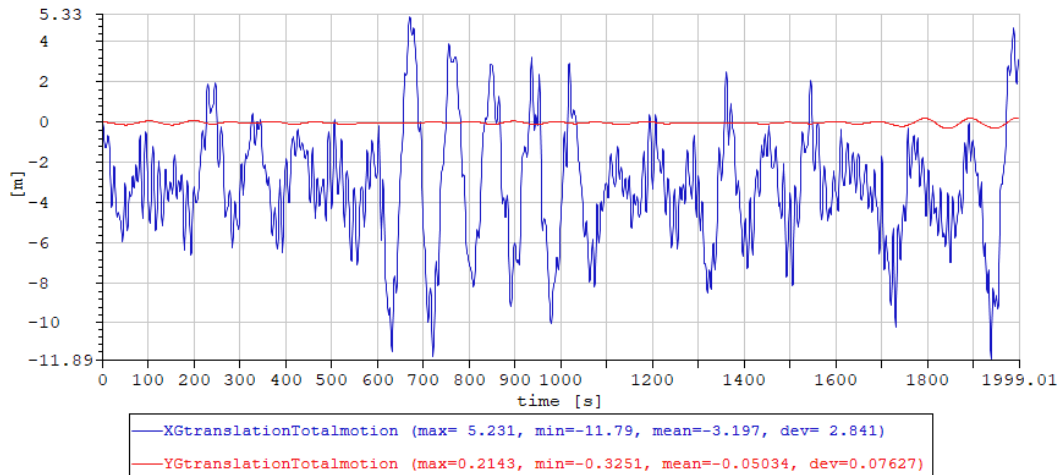


Figure 16: Forskyvning x- og y-retning ved 180° .

Figur 17 viser resulterende utsving i forhold til likevektsposisjonen i origo, når miljøkreftene angriper fra 180° . Det observeres at bevegelsen i y-retning ikke fordeler seg symmetrisk om x-aksen og gir vindturbinen en ny likevektsposisjon rundt -3,20 m, der utstikkerene i grafen er et produkt av bølgenes innvirkning på konstruksjonen.

Intakt x- og y-forskyvning. 180°

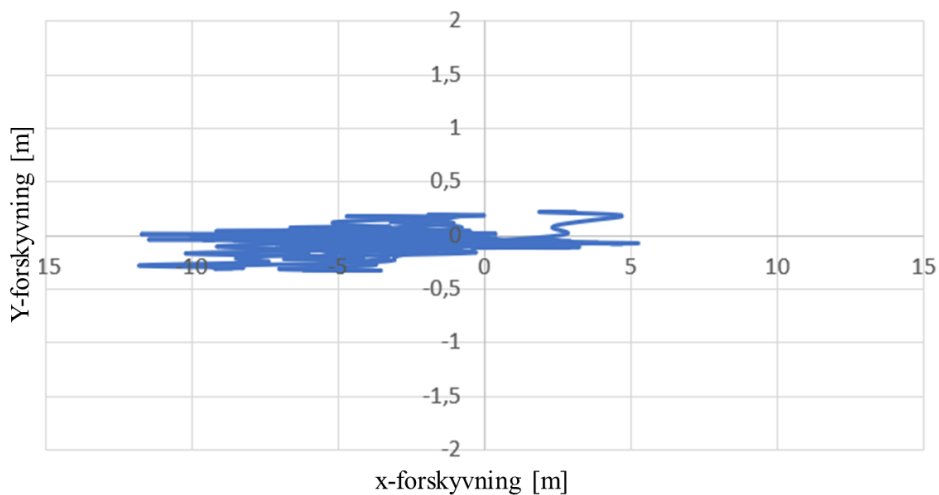


Figure 17: Resulterende utsving ved 180° .

Under vises det i figur 18 gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 180° .

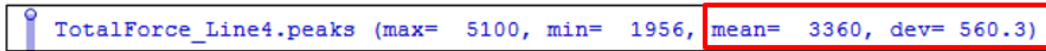


Figure 18: Maks linekrefter i line 4 ved 180° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 1 er hentet fra figur 28a, figur 29 og figur 36. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for intakt tilstand (ULS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,20	1,90	3360 kN	560,3 kN	7596 kN	2500 kN

Table 1: Tabell over spenningsverdier for designformelen 180° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 3360 - 0,45 \cdot 560,3 = 3107,865 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 3107,865 - 2500 = 607,865 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,20 - 607,865 \cdot 1,90 > 0$$

$$3541,0565 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for intakt tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i intakt tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 19:

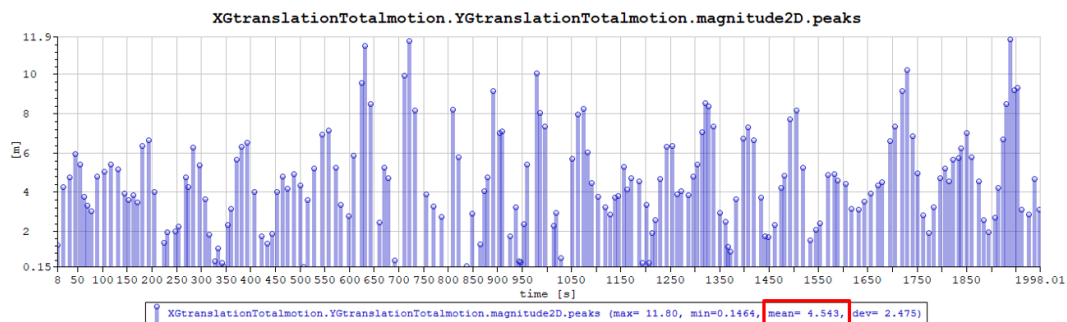


Figure 19: Resulterende utsving xy-retning ved 180° .

$$4,543 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 180° .

Intakt ved 135°

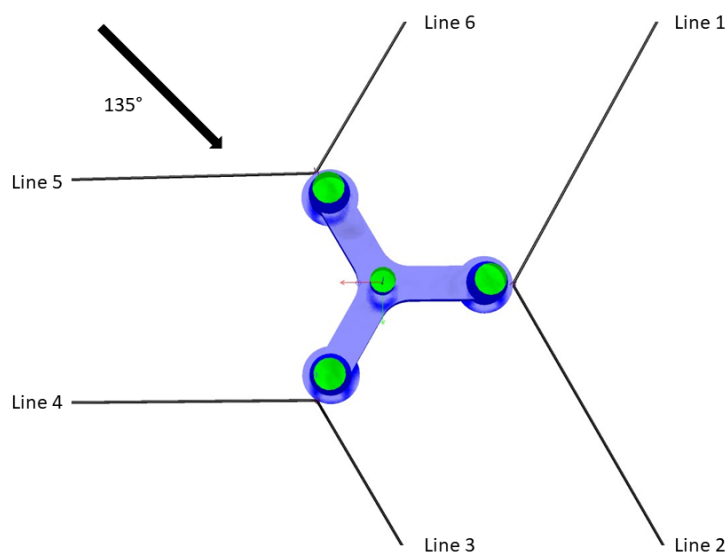


Figure 20: Lineoversikt for 135°.

Figuren 21 viser fordelingen av kreftene som forankringslinen tar opp når miljøkreftene kommer inn fra 135°. Fra de registrerte dataene, opptrer den største kraften i line 4 og 5.

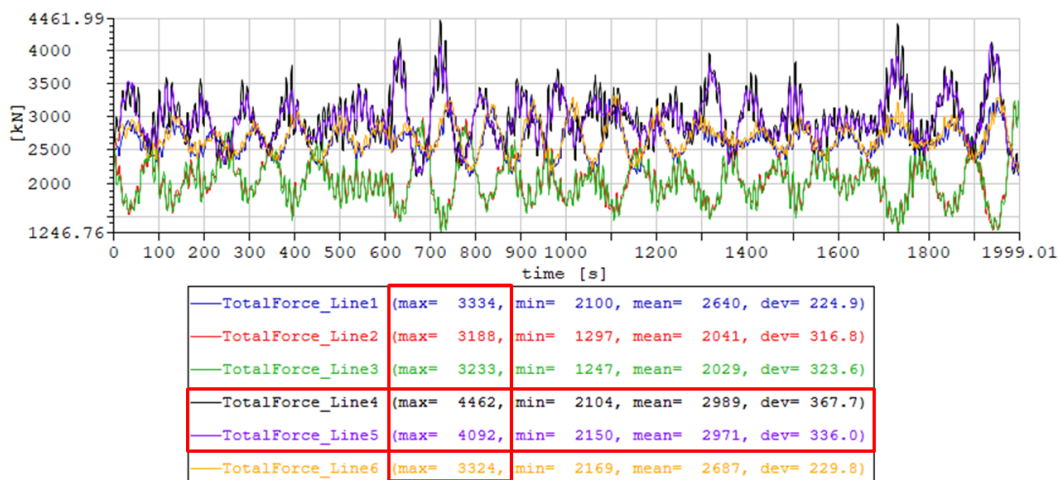


Figure 21: Fordeling av linekrefter ved 135°.

Ved miljøpåvirkning fra 135° , er det forventet en jevn fordeling av forflytteren i x- og y-retning. Legg merke til at forflyttelsen i x-retning er lik som i y-retning bare speilet om null. Dette skyldes hvordan koordinatsystemet er satt på vindturbinen. Den største forflyttelsen er i y-retning på 9 m.

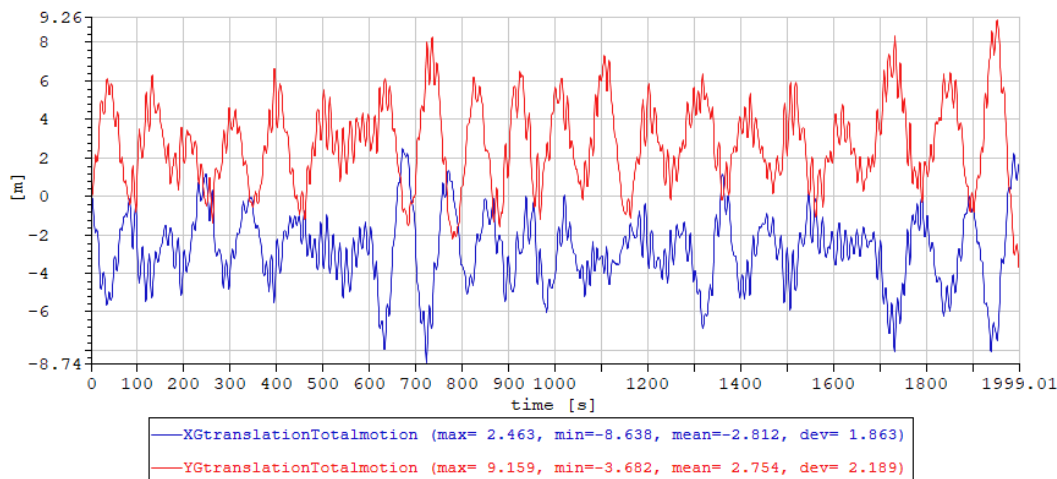


Figure 22: Forskyvning x- og y-retning ved 135° .

I figur 22 er bevegelsen i x- og y-retning nokså like, som igjen vises i figur 23. Det er heller ingen symmetri om aksene, noe som kan begrunnes med at miljøpåvirkningen forflytter vindturbinen tilnærmet lik 135° ut av likevekts posisjon.

Intakt x- og y-forskyvning. 135°

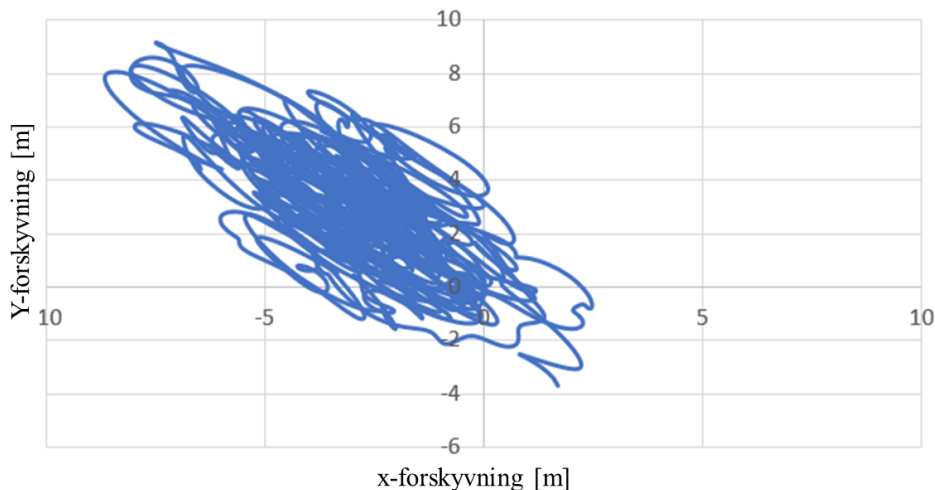


Figure 23: Resulterende utsving ved 135° .

Under vises det i figur 24 gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 135° .

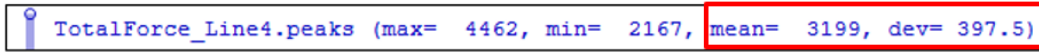


Figure 24: Maks linekrefter i line 4 ved 135° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 2 er hentet fra figur 28a, figur 29 og figur 24. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstillere kravene for intakt tilstand (ULS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,20	1,90	3199 kN	397,5 kN	7596 kN	2500 kN

Table 2: Tabell over spenningsverdier for designformelen 135° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 3199 - 0,45 \cdot 397,5 = 3020,125 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 3020,125 - 2500 = 520,125 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,20 - 529,125 \cdot 1,90 > 0$$

$$3690,6625 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for intakt tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i intakt tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 25:

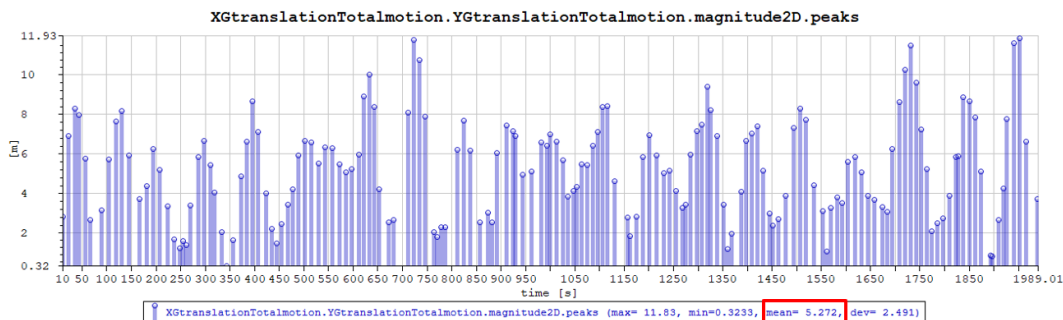


Figure 25: Resulterende utsving xy-retning ved 135° .

$$5,272 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 135° .

Intakt ved 90°

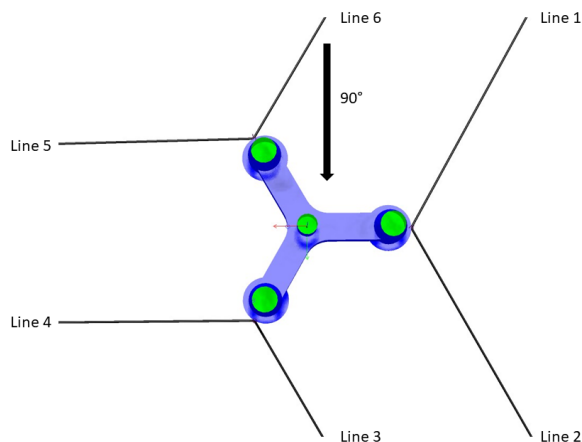


Figure 26: Lineoversikt for 90°.

Figuren 27 viser fordelingen av kreftene som forankringslinen tar opp når miljøkreftene kommer inn fra 90°. Fra de registrerte dataene, opptrer den største kraften i line 1 og 6.

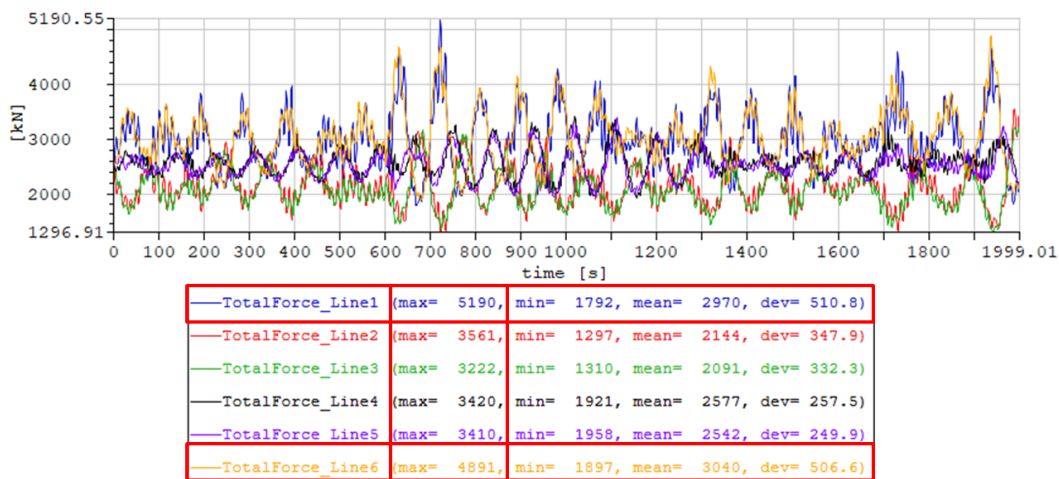


Figure 27: Fordeling av linekrefter ved 90°.

Ved miljøpåvirkning fra 90° er det forventet en noe ujevn fordeling av forflytteren i x- og y-retning, på grunn av fundamentets utforming. Det kan observeres i figur 28 at bevegelsen i x-retning holder seg gjennomsnittlig på 0, mens i y-retning har vindturbinen en maksimal bevegelse på 12 m.

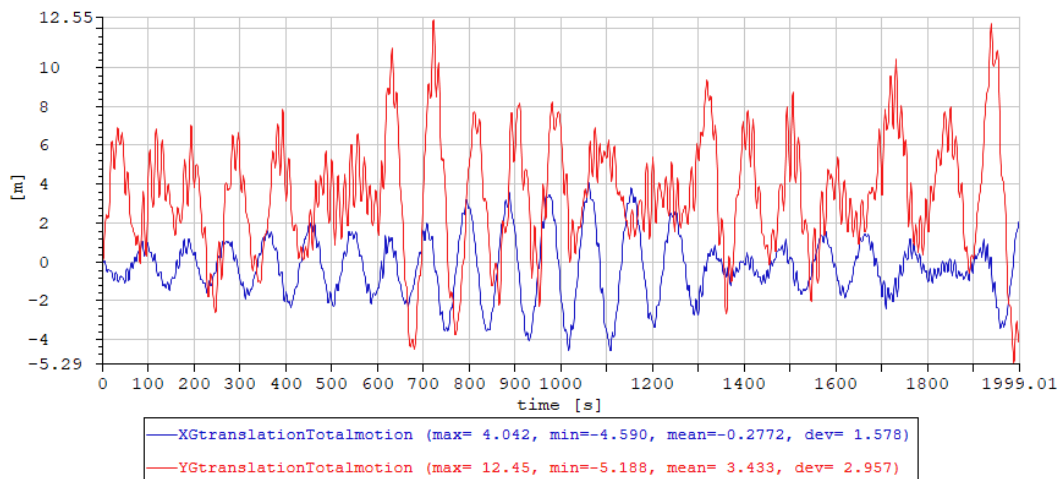


Figure 28: Forskyvning x- og y-retning ved 90° .

Figur 29 viser resulterende utsving i forhold til likevektsposisjonen i origo, når miljøkreftene angriper fra 90° . Det observeres at bevegelsen i y-retning ikke fordeler seg symmetrisk om x-aksen, og gir vindturbinen en likevektsposisjon rundt -0,3 m i x-retning og 3,4 m i y-retning.

Intakt x- og y-forskyvning. 90°

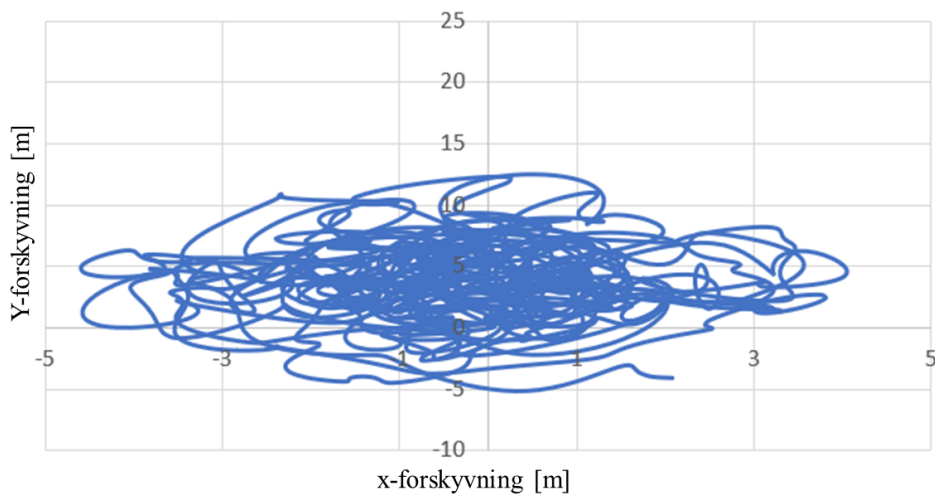


Figure 29: Resulterende utsving ved 90° .

Under vises det i figur 30 gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 90° .

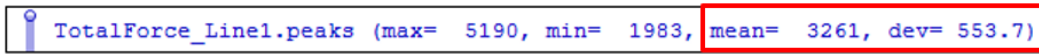


Figure 30: Maks linekrefter i line 1 ved 90° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 3 er hentet fra figur 28a, figur 29 og figur 24. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for intakt tilstand (ULS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,20	1,90	3261 kN	553,7 kN	7596 kN	2500 kN

Table 3: Tabell over spenningsverdier for designformelen 90° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 3261 - 0,45 \cdot 553,7 = 3011,835 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 3011,835 - 2500 = 511,835 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,20 - 511,835 \cdot 1,90 > 0$$

$$3723,5135 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for intakt tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i intakt tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 31:

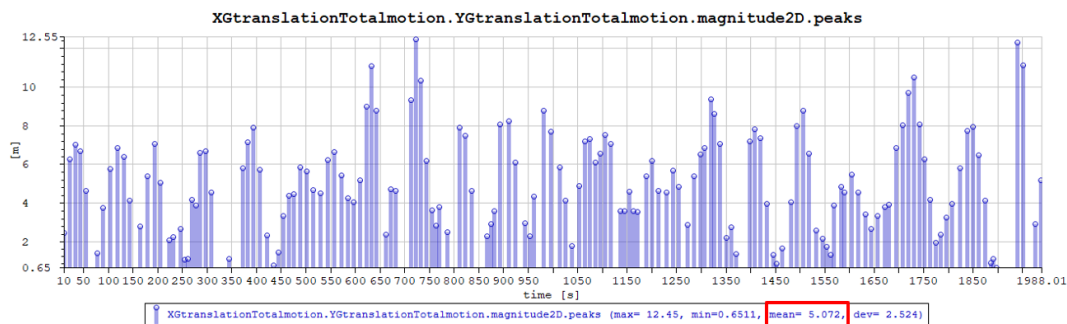


Figure 31: Resulterende utsving xy-retning ved 90° .

$$5,072 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 90° .

Intakt ved 45°

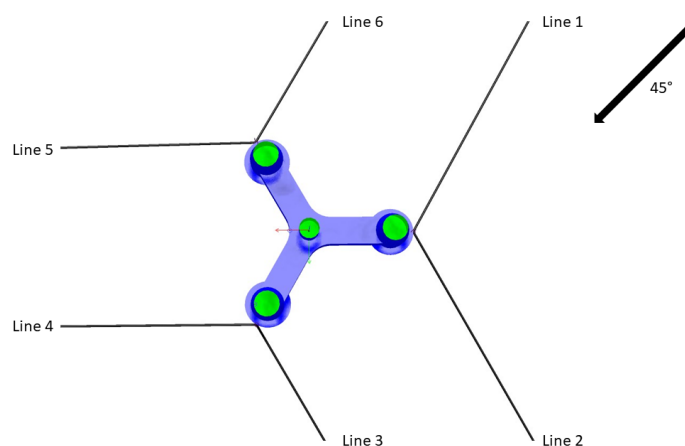


Figure 32: Lineoversikt for 45°.

Figuren under viser fordelingen av kreftene som forankringslinene tar opp når miljøkreftene kommer inn fra 45°. Fra de registrerte dataene, opptrer den største kraften i line 1 og 6.

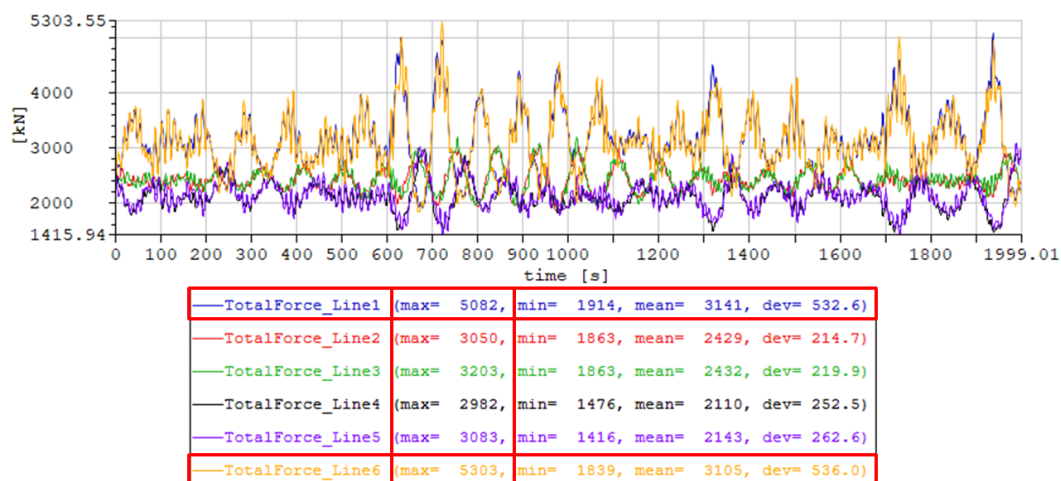


Figure 33: Fordeling av linekrefter ved 45°.

Ved miljøpåvirkning fra 45° er det forventet en jevn fordeling av forflytning i x- og y-retning, grunnet forskyvning i positiv x- og y-retning. Dette kan bekreftes i figur 34.

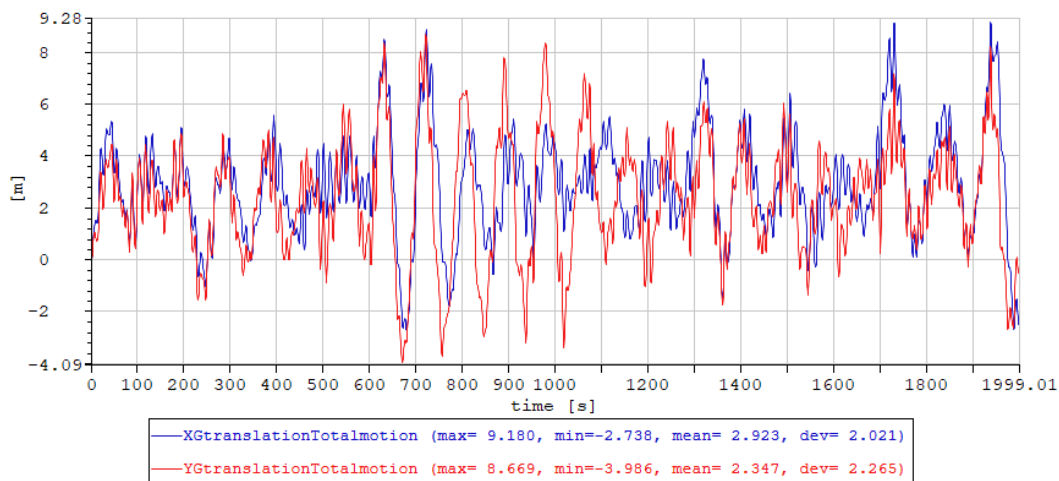


Figure 34: Forskyvning i x- og y-retning ved 45° .

I figur 34 observeres det at bevegelsene i x- og y-retning er tilnærmet lik hverandre, som igjen bevises i figur 35. Det er heller ingen symmetri om noen av aksene, dette er fordi miljøpåvirkningene forflytter plattformen 45° ut av likevekts posisjonen.

Intakt x- og y-forskyvning. 45°

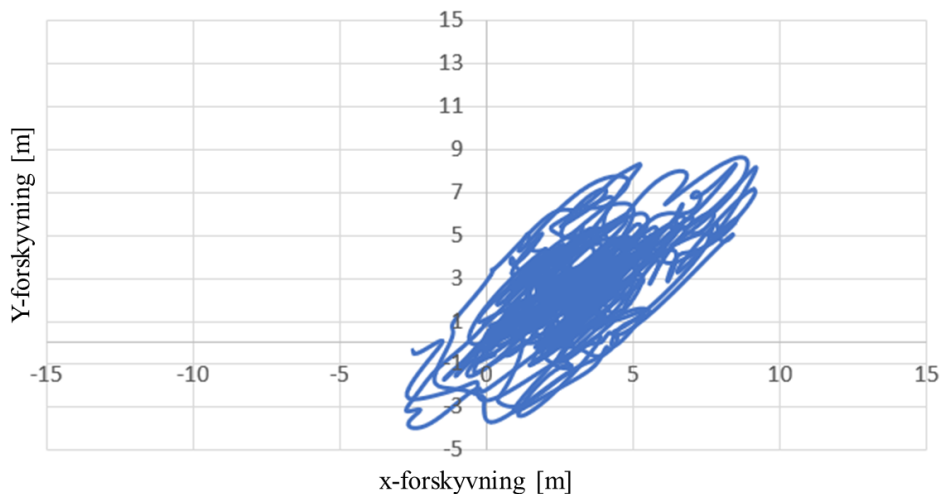


Figure 35: Resulterende utsving ved 45° .

Under vises det i figur 36 gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 45° .

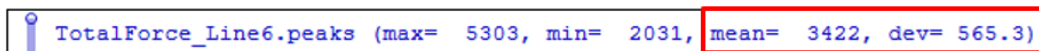


Figure 36: Maks linekrefter i line 6 ved 45° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 4 er hentet fra figur 28a, figur 29 og figur 36. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for intakt tilstand (ULS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,20	1,90	3422 kN	565,3 kN	7596 kN	2500 kN

Table 4: Tabell over spenningsverdier for designformelen 45° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 3422 - 0,45 \cdot 565,3 = 3167,615 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 3167,615 - 2500 = 667,615 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,20 - 667,615 \cdot 1,90 > 0$$

$$3427,5315 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for intakt tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i intakt tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 37:

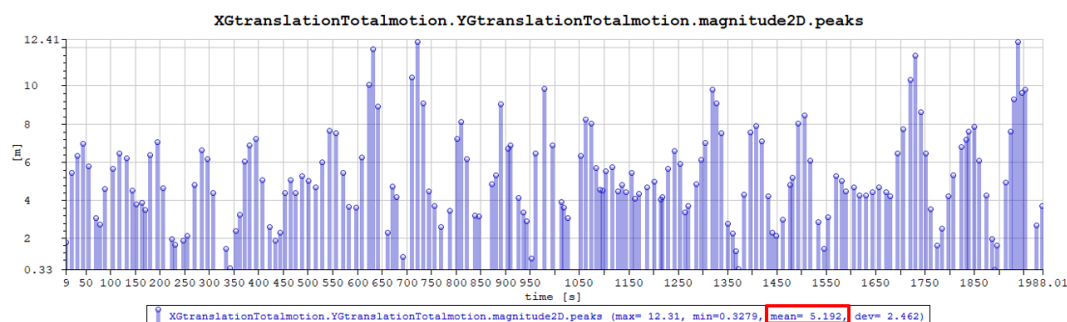


Figure 37: Resulterende utsving xy-retning ved 45° .

$$5,192 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 45° .

Intakt ved 0°

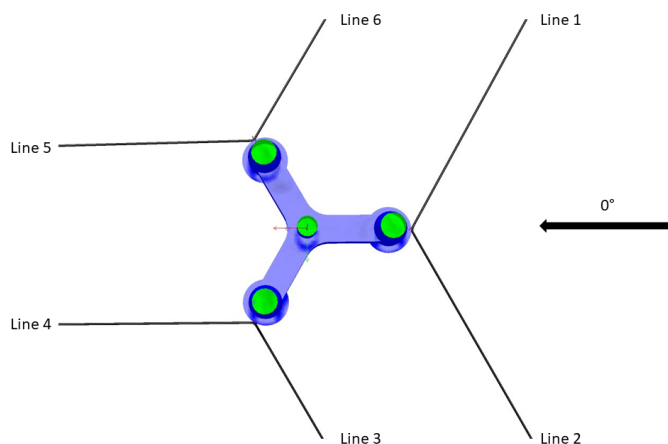


Figure 38: Lineoversikt for 0°.

Figuren under viser fordelingen av kreftene som forankringslinen tar opp når miljøkreftene kommer inn fra 0°. Fra de registrerte dataene, opptrer de største kreftene i line 3 og 6.

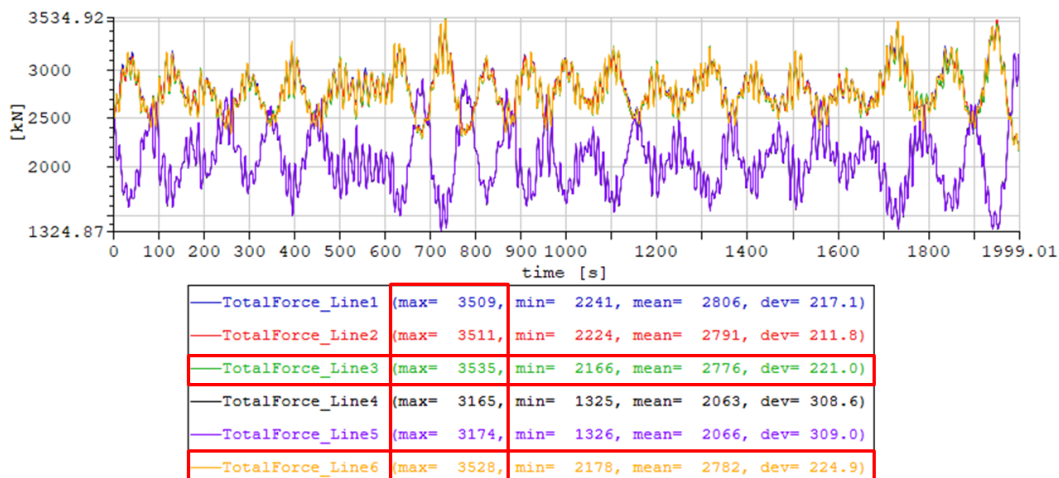


Figure 39: Fordeling av linekrefter ved 0°.

Siden miljøkreftene virker langs x-aksen, er det forventet at de største bevegelsene er i x-retning og tilnærmet lik null bevegelse ved y-retning. Dette kan figur 40 bekrefte med størst forskyvning i x-retning på nesten 11 m, mens i y-retning er den største forskyvningen på nesten 0,28 m \approx 0 m.

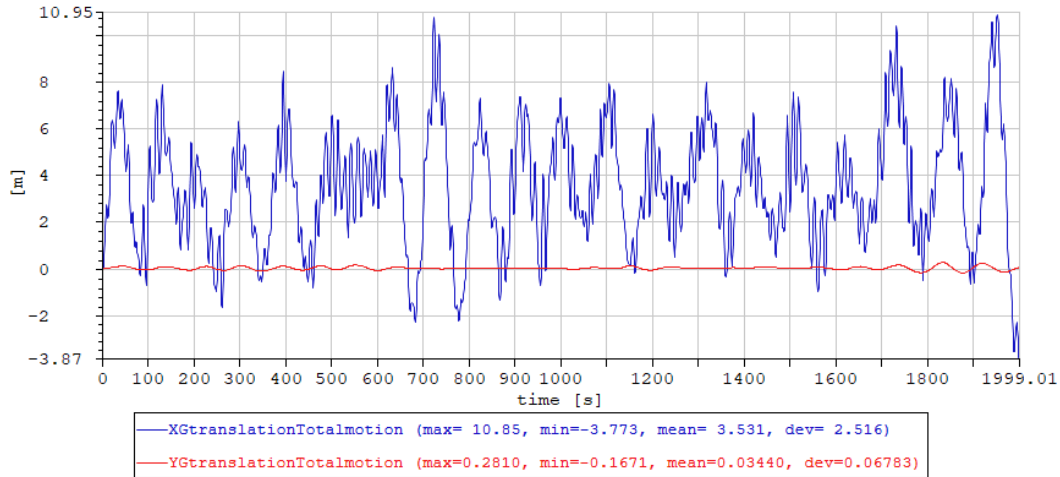


Figure 40: Forskyvning i x- og y-retning ved 0° .

Figuren under viser resulterende utsving i forhold til likevektposisjonen i origo, når miljøkreftene angriper fra 0° . Bevegelsen i x-retning fordeler seg ikke symmetrisk om y-aksen og gir derfor vindturbinen en ny likevektsposisjon rundt 3,5 m, der utstikkerne i grafen er et produkt av bølgenes sin innvirkning på konstruksjonen.

Intakt x- og y-forskyvning. 0°

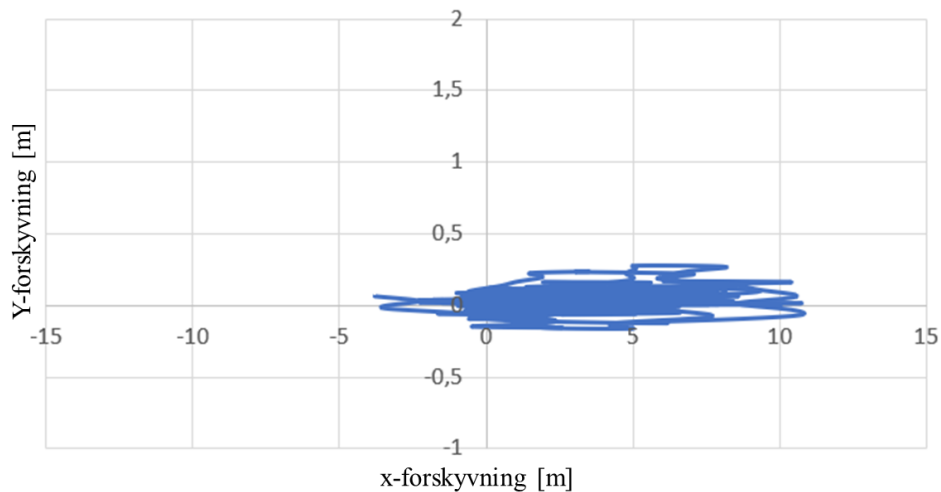


Figure 41: Resulterende utsving ved 0° .

Under vises det i figur 42 gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 0° .

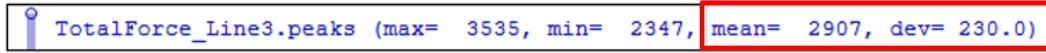


Figure 42: Maks linekrefter i line 3 ved 0° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 5 er hentet fra figur 28a, figur 29 og figur 42. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for intakt tilstand (ULS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,20	1,90	2907 kN	230 kN	7596 kN	2500 kN

Table 5: Tabell over spenningsverdier for designformelen 0° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 2907 - 0,45 \cdot 230 = 2803,5 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 2803,5 - 2500 = 303,5 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,20 - 303,5 \cdot 1,90 > 0$$

$$4119,35 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for intakt tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i intakt tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 43:

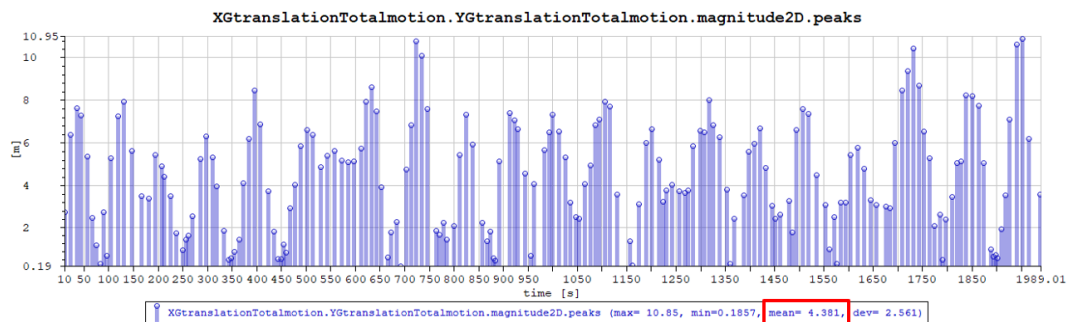


Figure 43: Resulterende utsving xy-retning ved 0° .

$$4,381 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 0° .

E.2 Resultat skadet tilstand

Det vil her bli presentert resultat fra analysen ved linebrudd, der den mest belastede linen vil gå i brudd i henhold til DNVG-OS-E301: Position mooring [1]. Under i tabell 6 er verdiene for den mest belastede linen oppført for hver innfallsvinkel av miljøkreftene. Brudd er satt til å inntreffe 50 s etter analysestart. Det vil også bli sett nærmere på hvordan resterende liner vil absorbere kreften fra bruddlinen, og hvor mye vindturbinen beveger seg ut fra likevekts posisjonen.

Innfallsvinkel	Utsatt line	Størst kraft [kN]	Utnyttelsegrad i prosent
0°	Line 3	3535	46,5 %
45°	Line 6	5303	69,8 %
90°	Line 1	5190	68,3 %
135°	Line 4	4462	58,7 %
180°	Line 4	5100	67,1 %

Table 6: De største linekreftene for hver miljøpåvirkning.

Brudd ved 180°

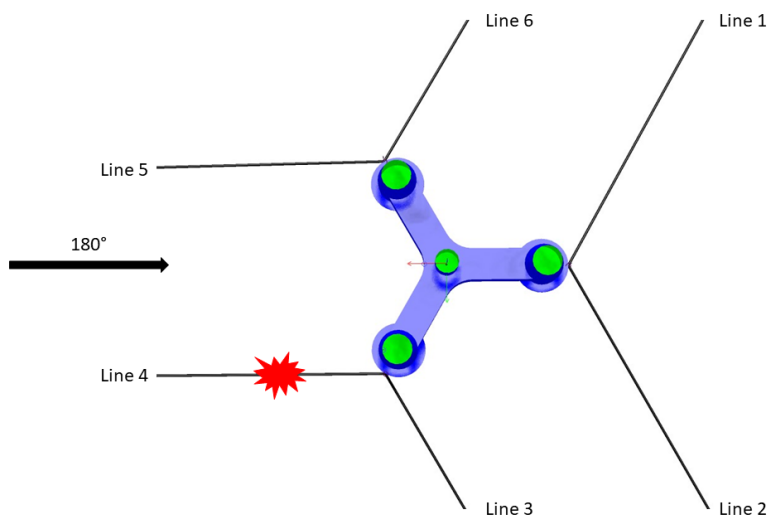


Figure 44: Brudd i line 4 for 180°.

Når det går brudd i line 4 etter 50 s, vil line 5 bli utsatt for de største kreftene. Dette er ikke uventet da miljøkreftene angriper langs lineretningen.

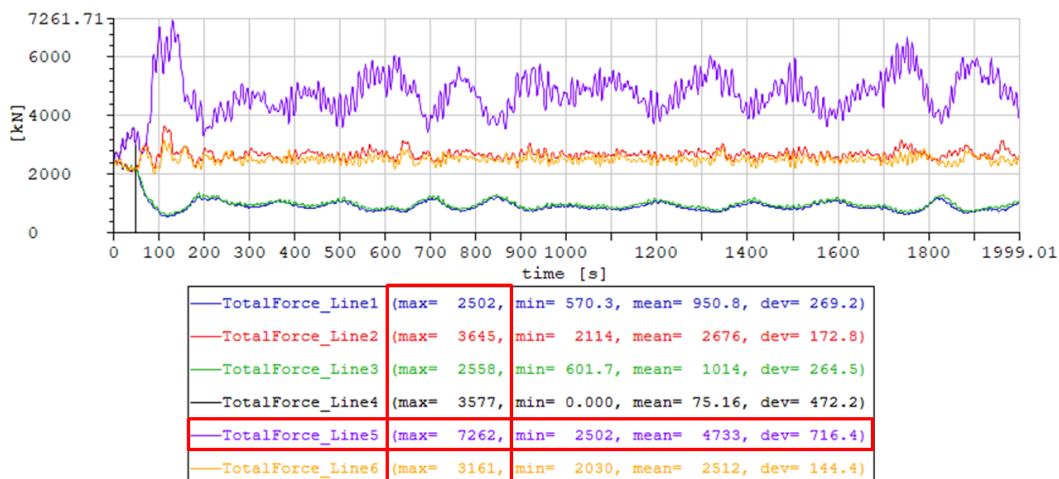


Figure 45: Fordeling av linekrefter ved brudd 180°.

Når det forekommer brudd i line 4 oppstår det store forflytninger i x-retning, og tilnærmet lik ingen forflyttelse i y-retning. Dette kan observeres i figur 46, der forflyttelsen i y-retning ligger og stabiliserer seg på underkant av -1 m, og de største forflytningene i x-retning er på gjennomsnittlig -20 m.

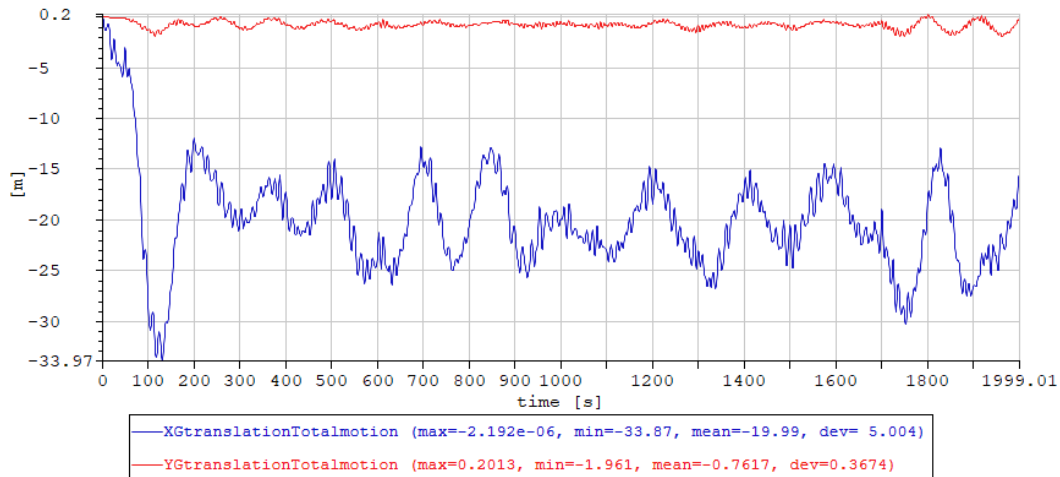


Figure 46: Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 180°.

Ved å sammenligne forflytning i intakt med skadet tilstand, er den gjennomsnittlige forflytningen i x-retningen seks ganger så stor i skadet tilstand. Samtidig er forflyttelsen i y-aksen 14 ganger så mer i skadet enn i intakt tilstand. Dette kan skyldes en voldsom bevegelse i linene etter at line 4 ryker. I figur 47 observeres det at line 5 får en etterbevegelse og strammes opp med en kraft på 7262 kN før vindturbinen stabiliserer seg på rundt -20 m.

Skade x- og y-forskyvning. 180°

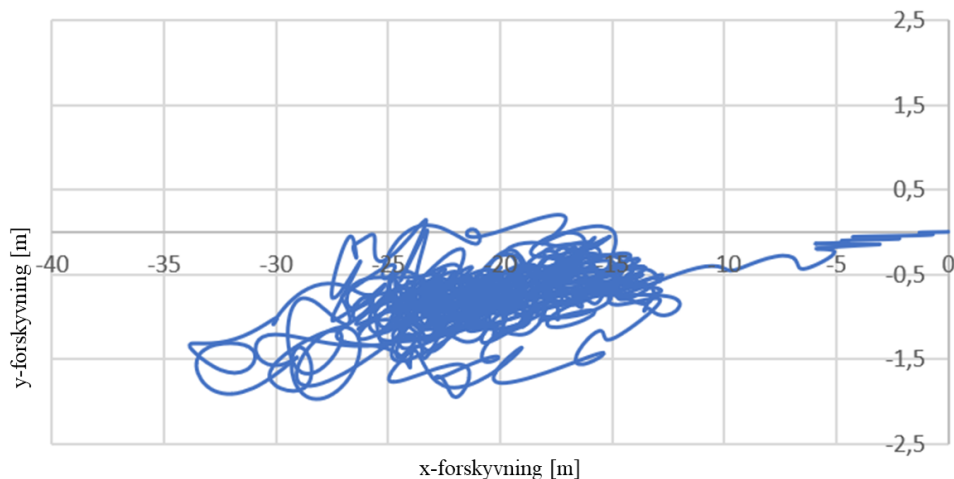


Figure 47: Resulterende utsving ved brudd 180°.

Figuren under er gjennomsnittlig av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 180° .

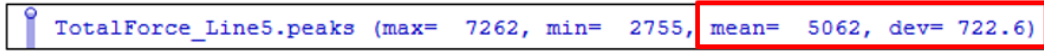


Figure 48: Maks linekrefter i line 5 ved 180° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 7 er hentet fra figur 28, figur 29 og figur 48. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for skadet tilstand (ALS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,00	1,45	5062 kN	722,6 kN	7596 kN	2500 kN

Table 7: Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 180° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 5062 - 0,45 \cdot 722,6 = 4736,83 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 4736,83 - 2500 = 2236,83 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,00 - 2236,83 \cdot 1,45 > 0$$

$$1952,5965 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for skadet tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i skadet tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 49:

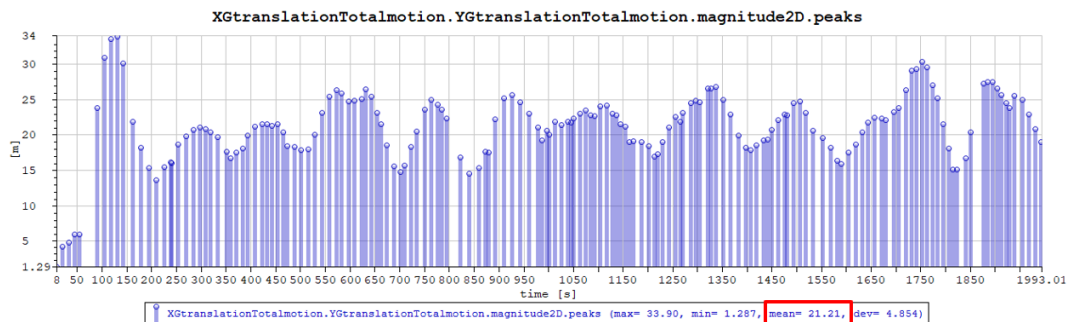


Figure 49: Resulterende utsving xy-retning ved brudd 180° .

$$21,21 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 180° .

Brudd ved 135°

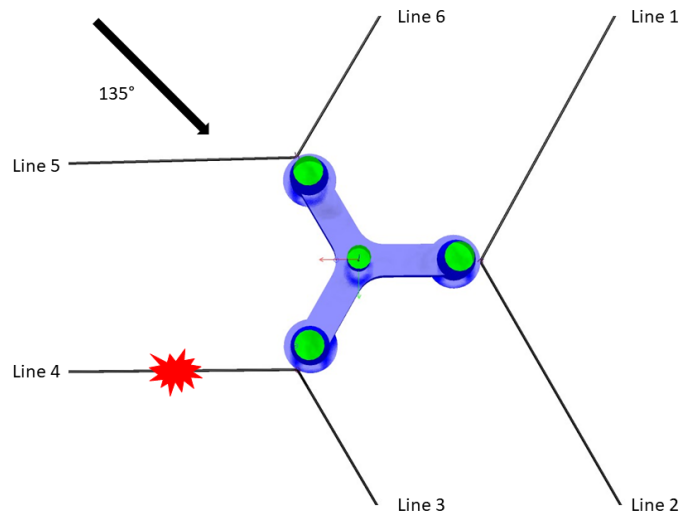


Figure 50: Brudd i line 4 for 135°.

Når det går brudd i line 4 etter 50 s, er det line 5 som blir utsatt for de største kreftene.

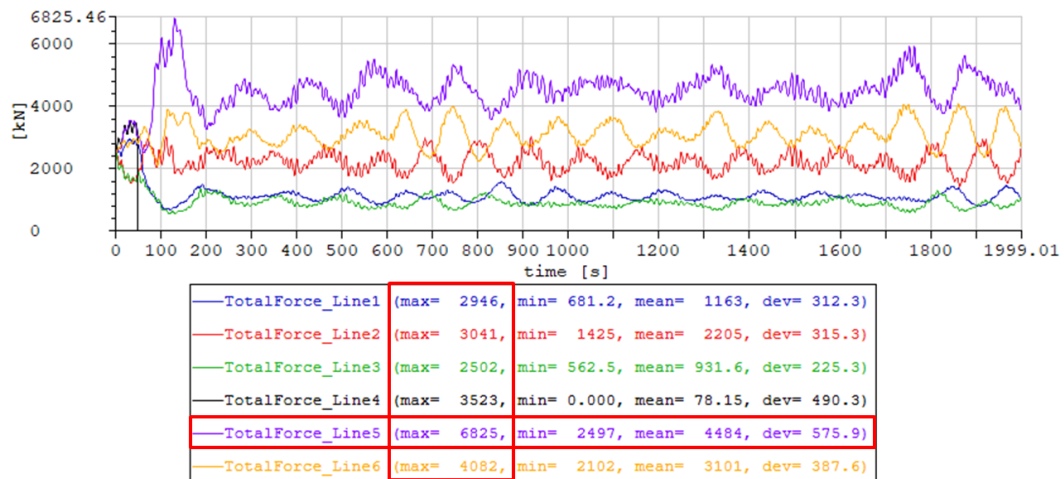


Figure 51: Fordeling av linekrefter ved brudd 135°.

Når det forekommer brudd i line 4 oppstår det store forflytninger i både x- og y-retning. I figur 52 viser at forflytningen er størst i x-retningen rett etter brudd og avtar etterhvert til den stabiliserer seg. Dette kan også observeres i figur 53 Noe som er forventet da line 4 ligger i x-retning. Bevegelser i y-retning oppstår også, men i betydelig mindre grad enn x-retning.

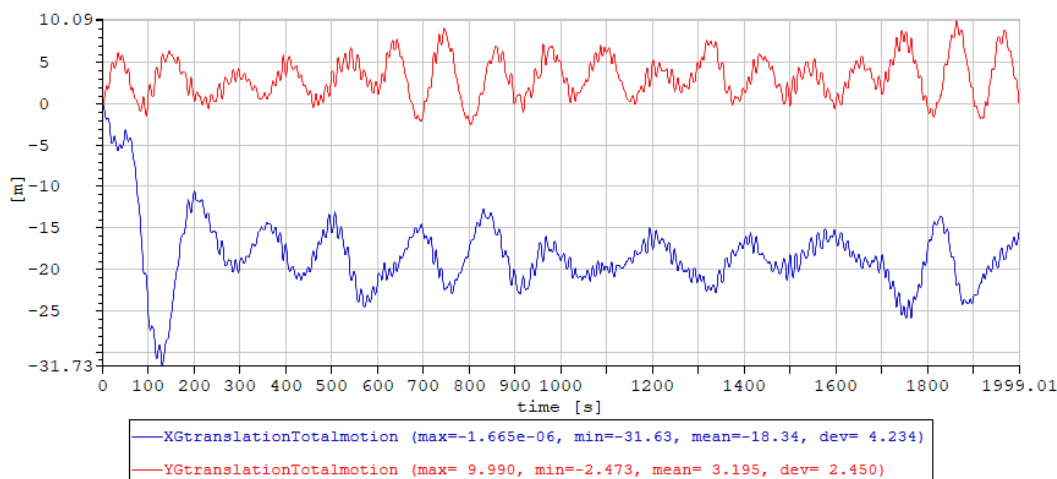


Figure 52: Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 135°.

Ved å sammenligne forflytning i intakt med skadet tilstand, er forflytningen er seks ganger så stor i x-retning, og en omtrent uforandret i y-retning. Dette kan begrunnes med at når line 4 går i brudd, vil line 1, 2, 3, og line 6 ha en resulterende x-komponent som vil dra vindturbinen bakover (minus x-retning), mens de resulterende y-komponentene nuller ut hverandre, og derfor vil forflyttelsen i x-retning være betydelig større enn i y-retning.

Skade x- og y-forskyvning. 135°

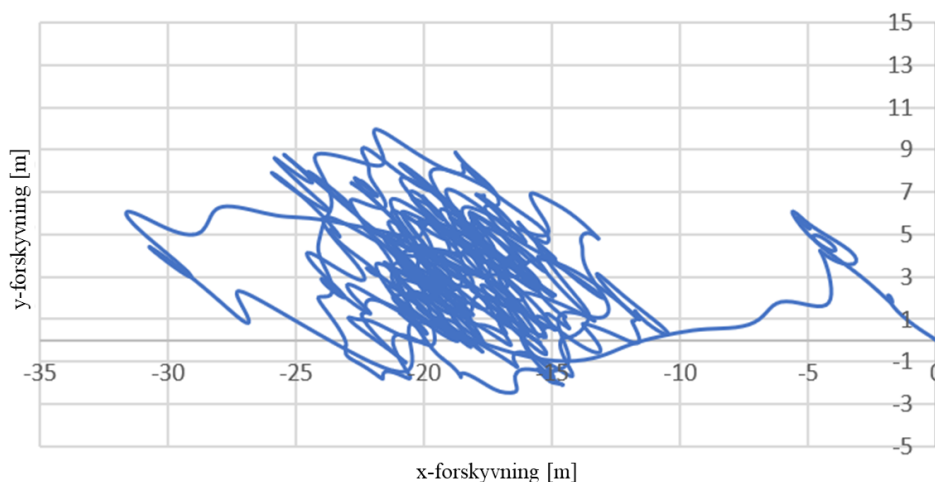


Figure 53: Resulterende utsving ved brudd 135°.

Figur 54 viser gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 135° .

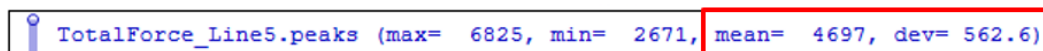


Figure 54: Maks linekrefter i line 5 ved 135° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 8 er hentet fra figur 28, figur 29 og figur 54. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for skadet tilstand (ALS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,00	1,45	4697 kN	562,6 kN	7596 kN	2500 kN

Table 8: Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 135° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 4697 - 0,45 \cdot 562,6 = 4443,83 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 4443,83 - 2500 = 1943,83 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,00 - 1943,83 \cdot 1,45 > 0$$

$$2377,4465 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for skadet tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i skadet tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 55:

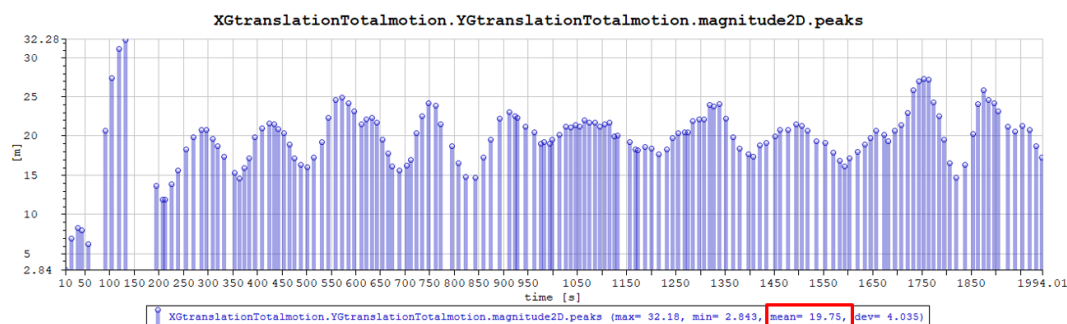


Figure 55: Resulterende utsving xy-retning ved brudd 135° .

$$19,75 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 135° .

Brudd ved 90°

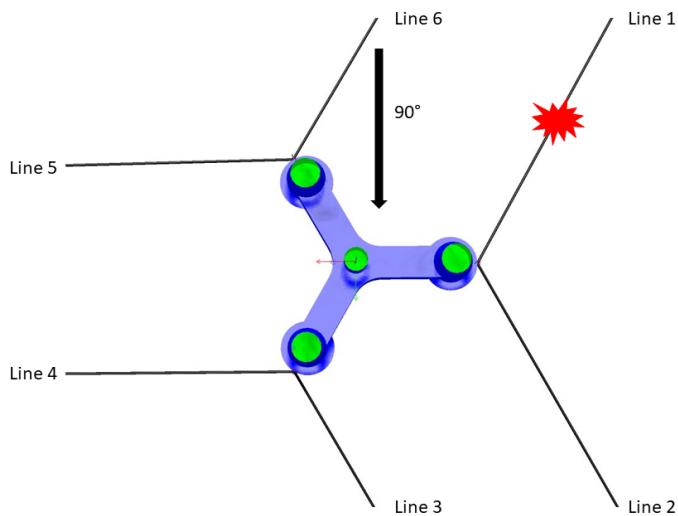


Figure 56: Brudd i line 1 for 90°.

Når det går brudd i line 1 etter 50 s, vil line 6 bli utsatt for de største kreftene.

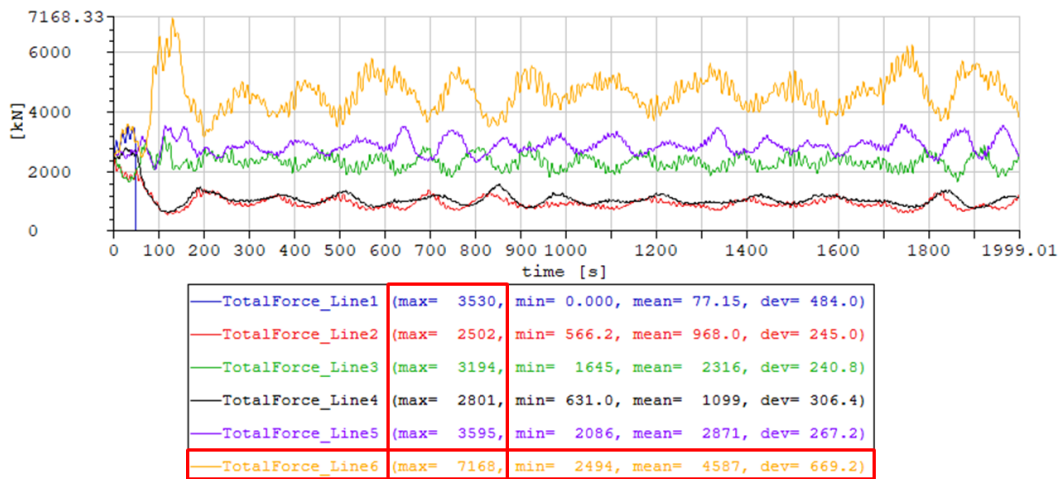


Figure 57: Fordeling av linekrefter ved brudd 90°.

Når det forekommer brudd i line 1, oppstår det forflytning i både x- og y-retning. I figur 58 observeres det at forflyttelsen er størst rett etter brudd og avtar etterhvert til den stabiliserer seg. Den største forflytningen oppstår i y-retning, noe som er forventet da de resulterende y-komponenter ikke er svekket på samme måte som x-komponentene ved brudd.

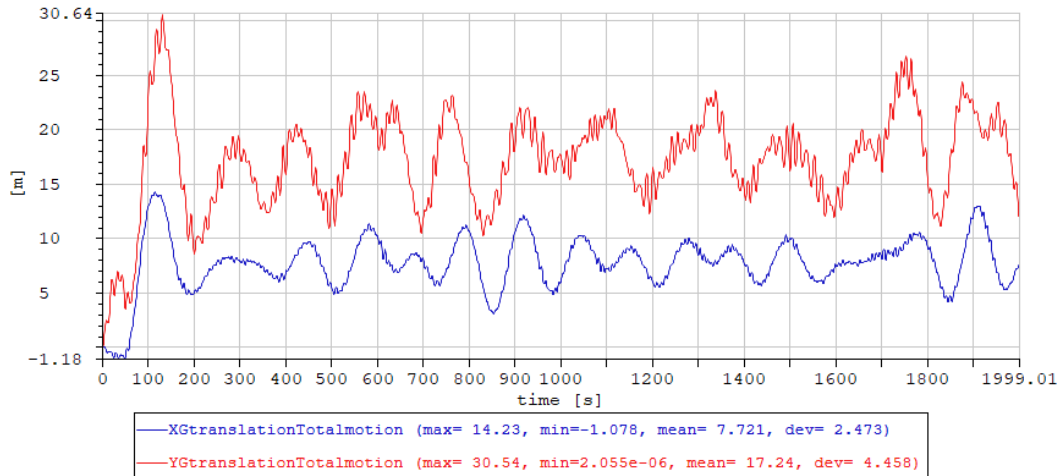


Figure 58: Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 90°.

Ved å sammenligne forflytning i intakt med skadet tilstand, er forflytningen ved brudd mye større. Ved intakt, se figur 28, observeres det at den maksimale bevegelsen er på 12 m, men i skadet tilstand, se figur 58, er den 30,54 m, noe som skyldes brudd etter 50 s og vindturbinen får et rykk i linene før den etterhvert stabiliserer seg. Dette kan observeres i figur 59 under.

Skade x- og y-forskyvning. 90°

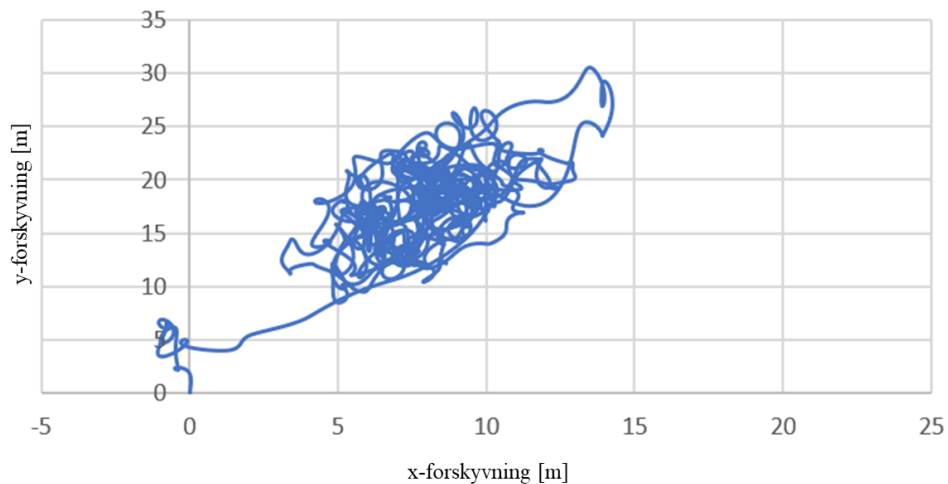


Figure 59: Resulterende utsving ved brudd 90°.

Figur 60 viser gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 90° .

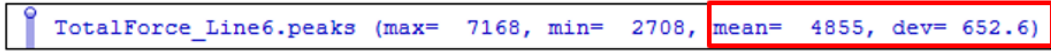


Figure 60: Maks linekrefter i line 6 ved 90° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 9 er hentet fra figur 28, figur 29 og figur 60. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for skadet tilstand (ALS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,00	1,45	4855 kN	652,6 kN	7596 kN	2500 kN

Table 9: Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 90° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 4855 - 0,45 \cdot 652,6 = 4561,33 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 4561,33 - 2500 = 2061,33 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfylder kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,00 - 2061,33 \cdot 1,45 > 0$$

$$2207,0715 > 0$$

Linjen oppfylder kravene for skadet tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i skadet tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 61:

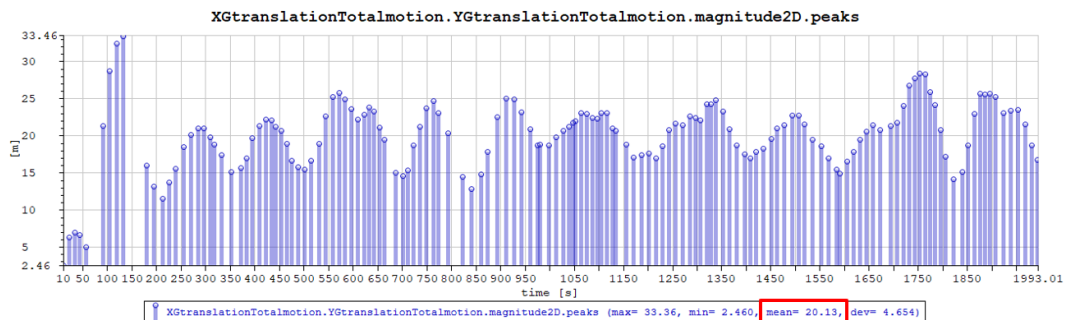


Figure 61: Resulterende utsving xy-retning ved brudd 90° .

$$20,13 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 90° .

Brudd ved 45°

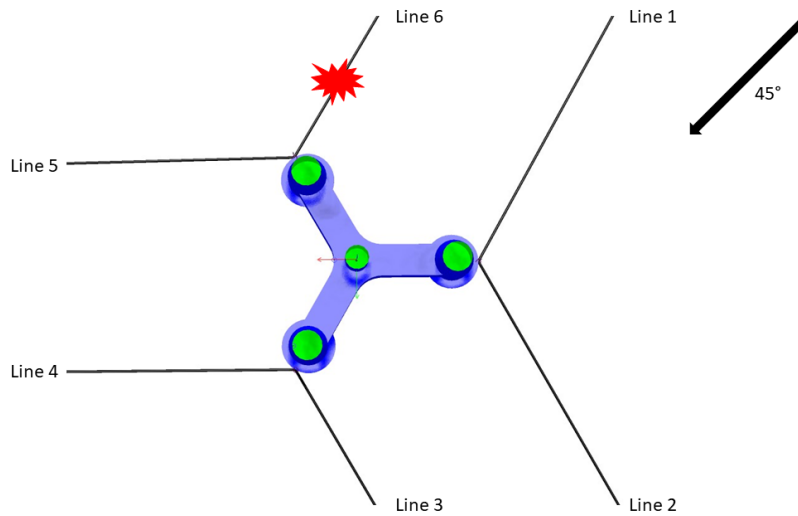


Figure 62: Brudd i line 6 for 45°.

Når det går brudd i line 6 etter 50 s, er det line 1 som blir utsatt for de største kreftene.

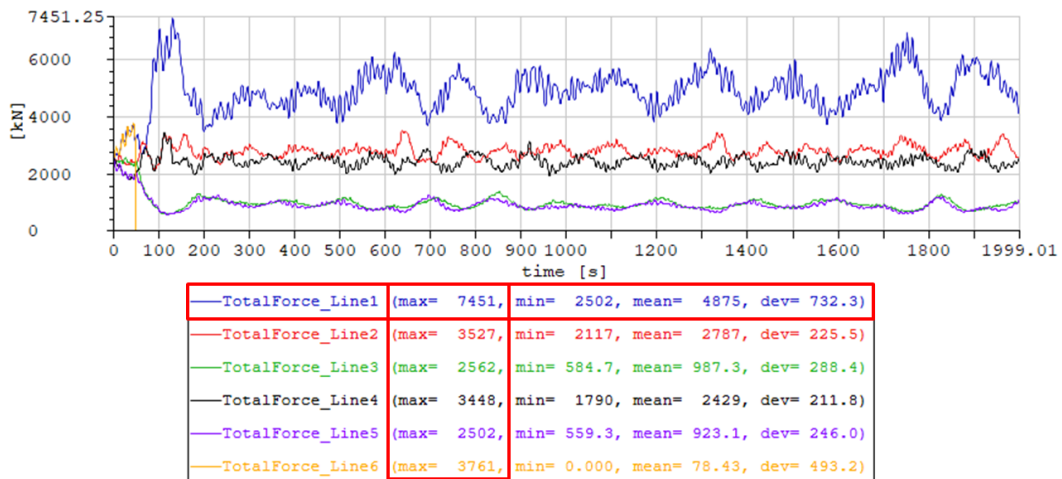


Figure 63: Fordeling av linekrefter ved brudd 45°.

Når det forekommer brudd i line 6, oppstår det nokså lik forflytning i både x- og y-retning. I figur 64 observeres det at bevegelsen i y-retning er litt større enn x-retning. Dette er fordi miljøkreftene virker i positiv akseretning.

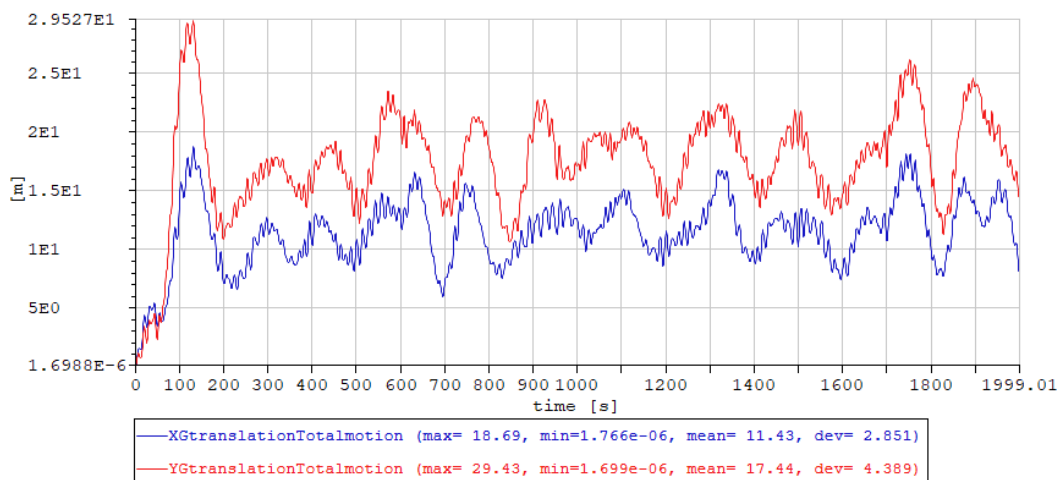


Figure 64: Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 45°.

Sammenlignet er skadet tilstand omtrent tre ganger så større enn ved intakt tilstand, men de har fremdeles likheter ved at x- og y-forskyvningen er nokså lik hverandre. Det eneste unntaket er at ved skadet tilstand er x-forskyvningen synlig mindre enn y-forskyvningen. Denne like bevegelsen kan også observeres i figur 35 og figur 65. Det som skiller den resulterende utsvingen er bruddet ved line 6, før vindturbinen stabiliserer seg igjen.

Skade x- og y-forskyvning. 45°

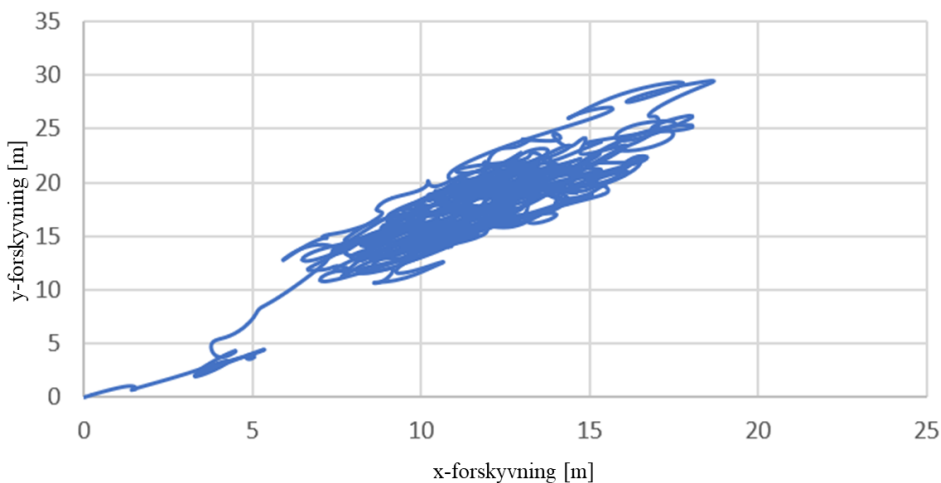


Figure 65: Resulterende utsving ved brudd 45°.

Figur 66 viser gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 45° .

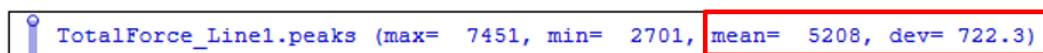


Figure 66: Maks linekrefter i line 1 ved 45° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 10 er hentet fra figur 28, figur 29 og figur 66. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for skadet tilstand (ALS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,00	1,45	5208 kN	722,3 kN	7596 kN	2500 kN

Table 10: Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 45° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 5208 - 0,45 \cdot 722,3 = 4882,965 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 4882,965 - 2500 = 2382,965 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,00 - 2382,965 \cdot 1,45 > 0$$

$$1740,70075 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for skadet tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i skadet tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 67:

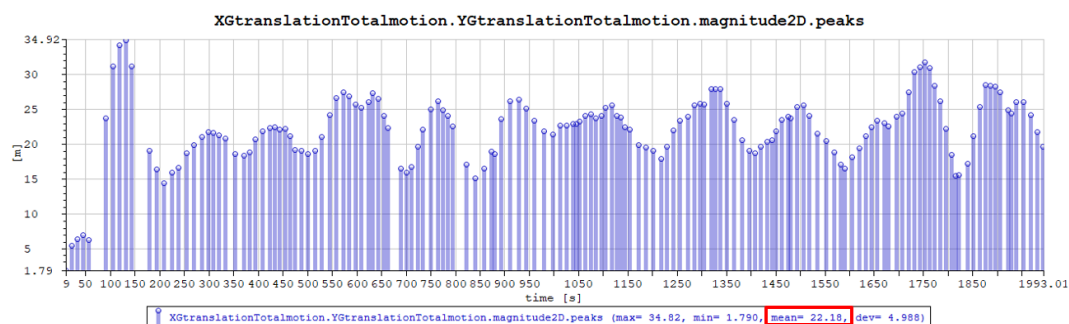


Figure 67: Resulterende utsving xy-retning ved brudd 45° .

$$22,18 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 45° .

Brudd ved 0°

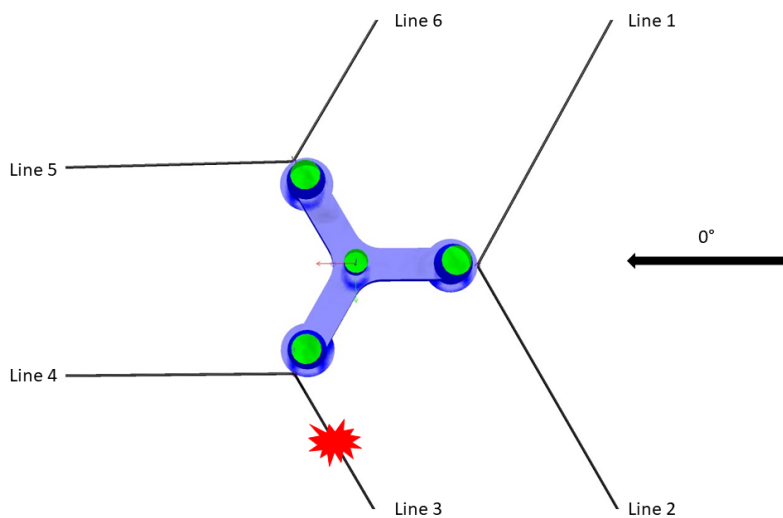


Figure 68: Brudd i line 3 for 0°.

Når det går brudd i line 3 etter 50 s, er det line 2 som blir utsatt for de største kreftene. Noe som ikke er uventet da miljøkreftene virker langs x-retning, og line 2 tar opp kreftene til line 3 for å holde igjen vindturbinen slik at ingen andre liner ryker.

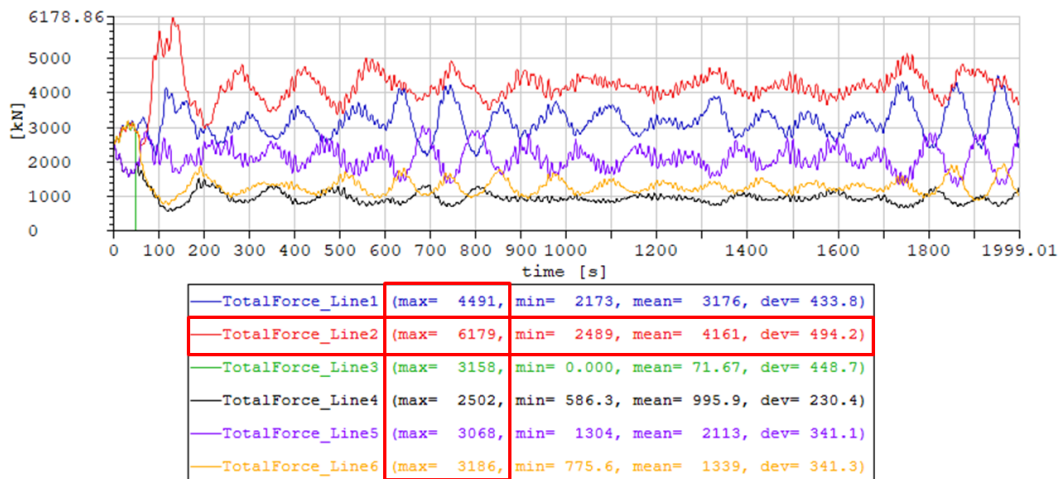


Figure 69: Fordeling av linekrefter ved brudd 0°.

Når det forekommer brudd i line 3, oppstår det nokså lik bevegelse i x- og y-retning, bare motsatt rettet. I figur 70 observeres det i de første 50 s før line 3 ryker, at y-komponentene er konstant på 0 forflyttelse, før den plutselig forflytter seg nesten 21 m i negativ y-retning. Dette er ikke uventet, da det skyldes at miljøkreftene angriper langs x-retning.

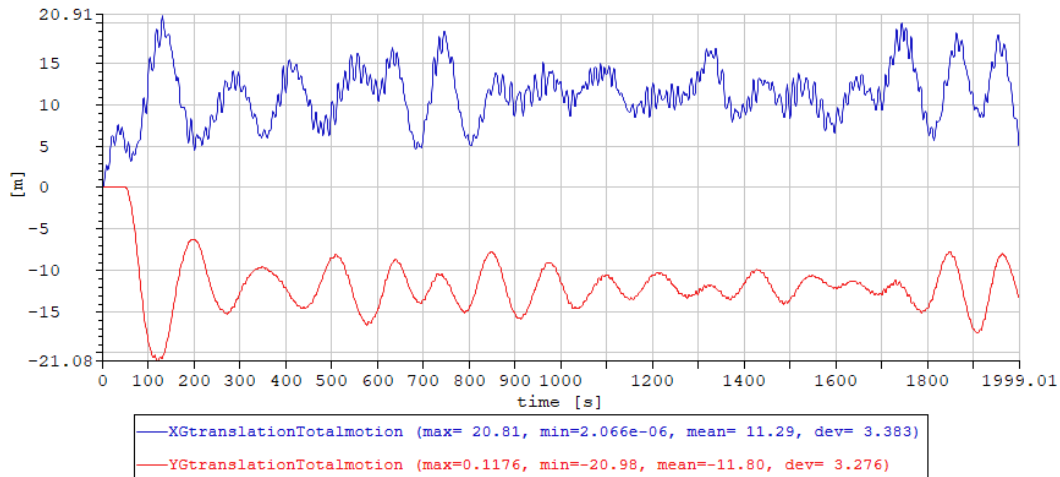


Figure 70: Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 0°.

Den største forskjellen mellom intakt og skadet tilstand er forskyvningen i y-retning. Ved intakt var y-forskyvningen tilnærmet lik 0 m, mens ved skadet tilstand er forskyvningen tilnærmet lik -12 m. Samtidig har x-forskyvningen økt og har en topp forskyvning på nesten 21 m, sammenlignet med intakt, der den største forskyvningen var på 11 m. Den store forskjellen kan også observeres i figur 71 og ved intakt i figur 41. Den største forskjellen som skiller den resulterende utsvingen er bruddet etter 50 s, da den stabiliserer seg på omtrent 12,5 m, mens ved intakt stabiliserer vindturbinen seg på rundt 5 m.

Skade x- og y-forskyvning. 0°

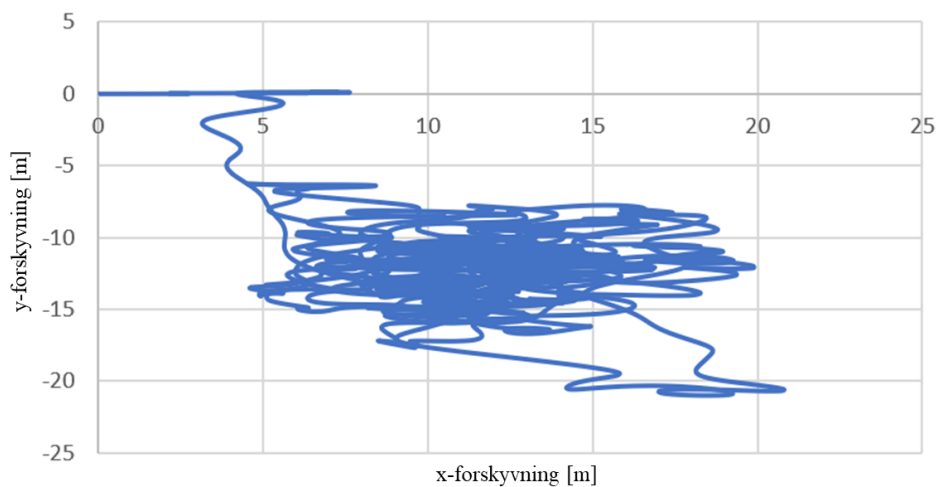


Figure 71: Resulterende utsving ved brudd 0°.

Figur 72 viser gjennomsnitt av alle maks verdiene til den mest anstrengte linjen i systemet ved miljøpåkjenninger på 0° .

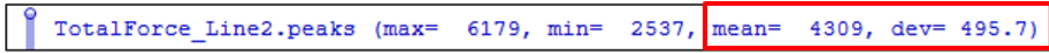


Figure 72: Maks linekrefter i line 2 ved 0° .

Kontroll iht. regelverk

Verdiene i tabell 11 er hentet fra figur 28, figur 29 og figur 72. Disse verdiene brukes i designformelen (15) for å kontrollere ved regelverket [1] om linjen tilfredsstiller kravene for skadet tilstand (ALS).

γ_{pret}	γ_{env}	μ	σ	S_C	T_{pret}
1,00	1,45	4309 kN	496,7 kN	7596 kN	2500 kN

Table 11: Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 0° .

For å få verdiene for T_{MPM} og T_{C-env} benyttes formel (16) og formel (17):

$$T_{MPM} = 4309 - 0,45 \cdot 496,7 = 4085,485 \text{ kN}$$

$$T_{C-env} = 4085,485 - 2500 = 1585,485 \text{ kN}$$

Under kontrolleres linjen opp mot designformelen (15) om den oppfyller kravet:

$$7696 - 2500 \cdot 1,00 - 1585,485 \cdot 1,45 > 0$$

$$2897,04675 > 0$$

Linjen oppfyller kravene for skadet tilstand.

Det må videre kontrolleres om midlere maksimum utsving i skadet tilstand er opprettholdt. Dette blir kontrollert ved å se på middelverdien av toppene på resultantbevegelsene i xy-retning, se figur 73:

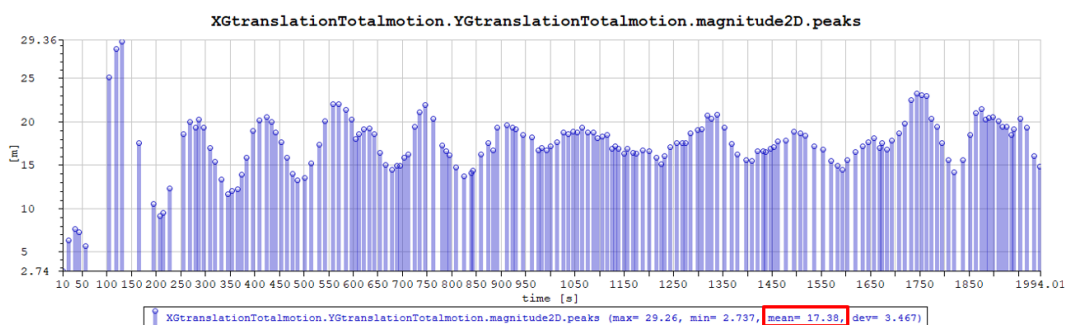


Figure 73: Resulterende utsving xy-retning ved brudd 0° .

$$17,38 \text{ m} < 45 \text{ m}$$

Forflytningen er innenfor kravet.

Resultatene er innenfor de kravene som er satt i henhold til regelverket [1] når miljøkreftene kommer inn fra 0° .

Referanser

- [1] DNV-GL. *Position mooring*.
<http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/os/2018-07/dnvgl-os-e301.pdf>, Juli 2018.

Liste over tabeller

1	Tabell over spenningsverdier for designformelen 180°	12
2	Tabell over spenningsverdier for designformelen 135°	15
3	Tabell over spenningsverdier for designformelen 90°	18
4	Tabell over spenningsverdier for designformelen 45°	21
5	Tabell over spenningsverdier for designformelen 0°	24
6	De største linekreftene for hver miljøpåvirkning.	25
7	Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 180°	28
8	Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 135°	31
9	Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 90°	34
10	Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 45°	37
11	Tabell over spenningsverdier for designformelen ved brudd 0°	40

Liste over figurer

1	Skott inndeling med tilhørende vegger.	1
2	Structure reduction utregning.	2
3	Illustrasjon over tankkonfigurasjon og fylte tanker	3
4	Situasjonsbilde og stabilitet resultat ved 270°	4
5	Situasjonsbilde og stabilitet resultat ved 180°	4
6	Situasjonsbilde og stabilitet resultat ved 90°	5
7	Illustrasjon over skadetilfelle 1.	6
8	Grafen viser forholdet mellom righting og heeling arm ved skadetilfelle 1.	6
9	Illustrasjon over skadetilfelle 2.	7
10	Grafen viser forholdet mellom righting og heeling arm ved skadetilfelle 2.	7
11	Illustrasjon over skadetilfelle 3.	8
12	Grafen viser forholdet mellom righting og heeling arm ved skadetilfelle 3.	8
13	Illustrasjon av påsatt liner på vindturbinen, sett ovenfra.	9
14	Lineoversikt for 180°	10
15	Fordeling av linekrefter ved 180°	10
16	Forskyvning x- og y-retning ved 180°	11
17	Resulterende utsving ved 180°	11
18	Maks linekrefter i line 4 ved 180°	12
19	Resulterende utsving xy-retning ved 180°	12
20	Lineoversikt for 135°	13
21	Fordeling av linekrefter ved 135°	13
22	Forskyvning x- og y-retning ved 135°	14
23	Resulterende utsving ved 135°	14
24	Maks linekrefter i line 4 ved 135°	15
25	Resulterende utsving xy-retning ved 135°	15
26	Lineoversikt for 90°	16

27	Fordeling av linekrefter ved 90°	16
28	Forskyvning x- og y-retning ved 90°	17
29	Resulterende utsving ved 90°	17
30	Maks linekrefter i line 1 ved 90°	18
31	Resulterende utsving xy-retning ved 90°	18
32	Lineoversikt for 45°	19
33	Fordeling av linekrefter ved 45°	19
34	Forskyvning i x- og y-retning ved 45°	20
35	Resulterende utsving ved 45°	20
36	Maks linekrefter i line 6 ved 45°	21
37	Resulterende utsving xy-retning ved 45°	21
38	Lineoversikt for 0°	22
39	Fordeling av linekrefter ved 0°	22
40	Forskyvning i x- og y-retning ved 0°	23
41	Resulterende utsving ved 0°	23
42	Maks linekrefter i line 3 ved 0°	24
43	Resulterende utsving xy-retning ved 0°	24
44	Brudd i line 4 for 180°	26
45	Fordeling av linekrefter ved brudd 180°	26
46	Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 180°	27
47	Resulterende utsving ved brudd 180°	27
48	Maks linekrefter i line 5 ved 180°	28
49	Resulterende utsving xy-retning ved brudd 180°	28
50	Brudd i line 4 for 135°	29
51	Fordeling av linekrefter ved brudd 135°	29
52	Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 135°	30
53	Resulterende utsving ved brudd 135°	30
54	Maks linekrefter i line 5 ved 135°	31
55	Resulterende utsving xy-retning ved brudd 135°	31
56	Brudd i line 1 for 90°	32
57	Fordeling av linekrefter ved brudd 90°	32
58	Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 90°	33
59	Resulterende utsving ved brudd 90°	33
60	Maks linekrefter i line 6 ved 90°	34
61	Resulterende utsving xy-retning ved brudd 90°	34
62	Brudd i line 6 for 45°	35
63	Fordeling av linekrefter ved brudd 45°	35
64	Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 45°	36
65	Resulterende utsving ved brudd 45°	36
66	Maks linekrefter i line 1 ved 45°	37
67	Resulterende utsving xy-retning ved brudd 45°	37
68	Brudd i line 3 for 0°	38
69	Fordeling av linekrefter ved brudd 0°	38
70	Forskyvning i x- og y-retning ved brudd 0°	39
71	Resulterende utsving ved brudd 0°	39
72	Maks linekrefter i line 2 ved 0°	40
73	Resulterende utsving xy-retning ved brudd 0°	40