

Förankringskätting på guider för offshorebruk

Anchor Chain on Guides for Offshore use

*Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom
Maskiningenjörsprogrammet*

Victor Eriksson
Magnus Urquhart

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2013

Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 99/2013

Förord

Denna rapport ligger till grund för examensarbetet och den sista delen inom högskolestudierna på maskiningenjörsprogrammet på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts tillsammans med GVA Consultants AB i Göteborg, ett företag inom engineering och design av flytande konstruktioner för olja och gas i offshorebranschen. Examinator för examensarbetet har varit Gert Persson, vid institutionen för Avancerad oförstörande provning. Vi vill tacka GVA Consultants för all information om offshoreindustrin generellt och konstruktionerna i synnerhet samt möjligheterna för oss att arbeta tätt intill och i samverkan med ingenjörer och experterna i den dagliga verksamheten. Vi vill även tacka Gert Persson på Chalmers för stödet, kompletterande kunskaper och för det smidiga samarbetet. Göteborg, juni 2013.

Sammanfattning

Vid förankring av halvt nedsänkbara plattformar används vanligtvis kättingar för hela eller delar av ankarlinorna. Överbliven kätting efter uppsträckning och hemtagning, förvaras i vertikala kättingboxar placerade i plattformens ben. Beroende på placering av däcksutrustning och kättingboxar kan kättingen behöva ändra löpriktning, för att ändra löpriktning används guider eller löphjul. Guider är en enklare konstruktion än löphjul och kräver normalt mindre underhåll än dessa. Vid ett försök gick det ej att dra ut kättingen över guiderna med en provkraft. Kontaktytan för kättingen på guiderna plasticerade även vid försöket.

Riktlinjer har därför tagits fram baserade på resultat från en beräkningsmodell som föreslås i detta examensarbete. Riktlinjerna kan användas för att enklare kunna konstruera guider så att kättingarna glider fritt i systemet, men även för att förstå begränsningarna av ett sådant system. Riktlinjerna finns med som bilaga i denna rapport. Riktlinjerna behandlar konstruktionsparametrar av guider men omfattar varken guidernas eller kättingarnas hållfasthet.

Den föreslagna beräkningsmodellen visar hur krafterna som uppstår varierar med olika konstruktionsparametrar. Modellen påvisar tydliga skillnader i nödvändig kraft mot beräkningsmodell som används idag (Capstans formel) vid beräkning av en kättinglänk. Beräkningarna visar också att systemet beter sig självhämmande beroende på val av konstruktionsparameter. Självhämning innebär att kraften som krävs för att dra kättingen över guiden, ökar avsevärt när en viss vinkel passerar.

En parameterstudie har gjorts med hjälp av den föreslagna beräkningsmodellen för att bättre förstå effekten av de olika konstruktionsparametrarna. Studien visar vilken inverkan konstruktionsparametrarna har på systemet. Inverkan på krafterna i systemet kan vara förhållandevis stor för vissa konstruktionsparametrar.

Examensarbetet är utfört i regi av GVA Consultants AB, ett företag som utför projektering av flytande halvt nedsänkbara enheter för offshore-industrin på global nivå.

Abstract

Semi-submersible platforms are commonly moored to the sea floor by chain wires. After anchoring and tightening of the mooring lines on site, excessive chain wires are stored in vertical chain boxes located in the platform legs. Depending on the position of deck equipment and chain boxes, the pull-in line of chain wires may change direction by means of chain guides or chain wheels. The chain guide is a simple device compared to a chain wheel, and it requires less maintenance. However, a problem may show up as the force required to pull the chain is higher than anticipated. The contact surface area of the guide has also plasticized after use.

A Guideline has been developed based on the results from a proposed method of calculation. The Guideline is attached as an appendix to this report and can be used to simplify the chain guide design and understand the limitations of the system. The Guidelines does not calculate the abrasion resistance of the chain guide or the chain wire.

The proposed method of calculation shows how the forces vary depending on different construction parameters. The calculations shows a significant difference of force compared to the current calculation model (Capstans equation) as calculated for one chain link. Calculations indicate that the system is self-locking, depending on the design parameters. Self-locking means that the force required to pull-in the chain wire becomes steeply and increasingly large when passing a certain angle of pull-in direction.

A parametric study has been conducted based on the proposed method of calculation, in order to better understand the effect of various design parameters on the chain guide. The impact on the system can be comparatively big for some construction parameters.

The dissertation is undertaken at GVA Consultants AB, which is an engineering consultant involved in semi-submersible design for the offshore industry world-wide.

Innehållsförteckning

Sida:

Beteckningar	1
1 Inledning	1
2 Bakgrund	3
3 Syfte	4
4 Avgränsningar	4
5 Precisering av frågeställning	4
6 Problemdefinition	5
6.1 Få kontaktytor	5
6.2 Geometrisk påverkan	5
6.3 Påverkande krafter	5
7 Metod	6
7.1 Friläggning av en länk i ett allmänt läge	6
7.2 Analytiska beräkningar med matematisk programvara	7
8 Kraftjämnvikt	8
8.1 Jämnvikt	8
8.2 Start- och slut-punkt för olika kontaktfall	9
9 Geometrisk analys	11
10 Parameterstudie	14
10.1 Radie och länklängd	14
10.2 Friktionskoefficientens påverkan	14
10.3 Omslutningsvinkel	15
11 Analys inför konstruktion	17
11.1 Intressanta områden	17
11.2 Avstånd och periodlängder	17
11.3 Varierande last	18
11.4 Ytkontakten	18
12 Slutsatser	22
12.1 Konstruktionsparametrar	22
12.2 Friktion	22
12.3 Förbättringar	23
13 Resultat	24
13.1 Arbetsgång	24
14 Fortsatta studier	25
14.1 Spänning i kontaktpunkter	25
14.1 Utformning av guider	25
14.2 Friktion	25
14.3 Tre-dimensioner	25
14.4 Förenkling av beräkningsmetod	25
Referenser	26
Bilagor	27

Beteckningar

1 Ton	9,81 kN
F_1	Lasten av ankarkättingens egen-vikt som hänger ner i ankar-boxen,
F_2	Motvikt för att dra kättingen över guiderna.
α	Vridningen av länken runt gui-den
α_{max}	Maximal omslutningsvinkel
α_{start}	Startvinkel för en kontaktpunkt
α_{slut}	Slutvinkel för en kontaktpunkt
α_{start2}	Startvinkel för två kontaktpunk-ter
α_{slut2}	Slutvinkel för två kontaktpunk-ter
μ	Friktionskoefficient, mellan kät-ting och guide
R_1	Guidens radie
φ_1	Vinkel mellan origo, F_1 och kon-taktpunkt
φ_2	Vinkel mellan origo, F_2 och kontaktpunkt
φ_3	Vinkel mellan origo, F_1 och kon-taktpunkt
φ_4	Vinkel mellan origo, F_2 och kontaktpunkt
l	Längd av en kättinglänk
l_2	Längd från origo till F_2
l_3	Längd från origo till F_1
Capstans ekvation	$F_2 = F_1 * e^{(\mu * \alpha_{max})}$
E_1	Elasticitetsmodul för kättinglän-ken
E_2	Elasticitetsmodul för glidplåten på guiden
ν_1	Poissons tal för kättinglänken
ν_2	Poissons tal för glidplåten

Tabell 1: Beteckningar

1 Inledning

De huvudsakliga funktionerna för ett ankrings-system på en flytande offshoreenhet är att hålla fartyget eller enheten på en geostationär position och att ge hydrodynamisk dämpning av dess rörelser.

För flytande offshoreenheter och plattformar finns det i princip tre olika typer av ankarlinor; kätting, wire och syntetiska material, samt kombinationer av dessa. Förankring av plattformar är en komplex manöver vilket kräver extra kättingar och speciella fartyg för utläggning och hantering av ankringsutrustningen. Ankarhante-ringsfartygen placerar ut ankare och kopplar samman ankarlinor och ankare. Offshoreplatt-formar har ett flertal ankare placerade i varje hörn.

Det finns en mängd olika typer och funktioner av flytande plattformar som används för olika ändamål och miljöer. Exempelvis finns det borrh-, bostads-, dykeri-, kran- och produktions-plattformar samt kombinationer av dessa. Semi-submersible är samlingsnamnet för halvt ner-sänkbara flytande plattformar och har ett brett användningsområde eftersom de har ett fördel-aktigt rörelsemönster och kan operera i höga vindhastigheter och stora våghöjder. Förank-ringssystemet som tas upp i denna rapport är i första hand avsett för plattformar av modellen semi-submersible för produktion av olja och gas, alltså en stationär plattform som ämnas vara kvar på sin position under hela sin livs-längd. I och med att plattformen inte kommer att flyttas mer än marginellt används en förenklad vinschutrustning. Teorin bakom beräkningar för kättingkrafterna är applicerbara för kättingar som glider över guider eller ledskenor allmänt.

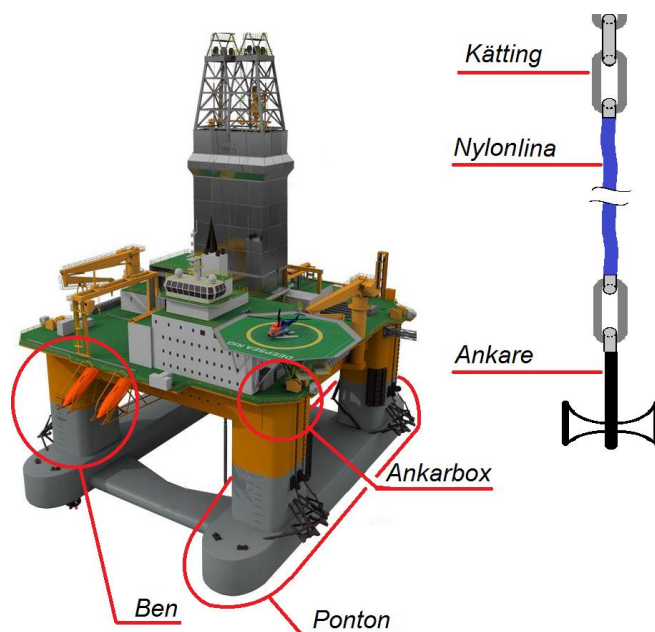
Plattformar av typen semi-submersible (som namnet antyder) ligger delvis under vatten och kan förändra sitt djupgående beroende på väder och funktion. Ytan i vattenlinjen är relativt sett begränsad i jämförelse med ett fartyg vilket medför minskad känslighet för vågor.

Nederst på plattformen finns pontoner, (undervattenskrovet) dessa är vanligtvis två parallella skrov som i figur (1) eller ringponton för produktionsplattformar. Från pontonerna upp till däck finns vanligtvis 4 – 6 vertikala ben. Företaget Götaverken Arendal (GVA) som detta examensarbete är utfört på använder 4 ben. Övre delen på plattformen är uppbyggd av en fyrkantig lådkonstruktion (däckbox), ovanpå denna finns kommandobrygga, borrarutrustning, kranar, etc. Se figur (1).

Pontonerna och en del av benen ligger normalt under vattenytan vid operation. Ballasttankar i pontonerna och benen fylls och töms med vatten för att förändra djupgåendet.

Plattformarna förankras med 2 – 4 förankringslinor i varje hörn. För produktionsplattformar består förankringslinorna av kätting närmast plattformen och närmast ankaret på botten, kättinglängderna kan vara 200 – 300 meter beroende på vattendjup. Däremellan används stålwire eller polyesterlina. Att använda kätting hela vägen skulle göra ankringssystemet tyngre och därmed öka belastningen på plattformen, polyesterlina är lättast och har använts mer och mer under senare år. Anledningen till att man använder kättingar i början och slutet av förankringen är att kättingar har god nötningsbeständighet.

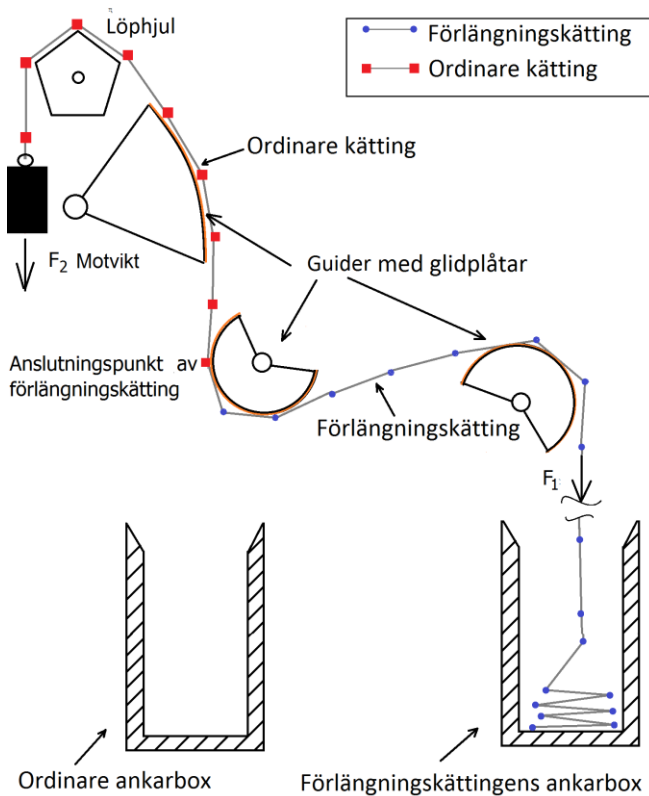
Borrplattformar konstrueras idag för vattendjup på 4000 meter och produktionsplattformar för att i många år vara förankrade på mer än 2000 meters vattendjup. Borrplattformar har ett displacement (vikt) på 50 – 60 tusen ton och produktionsplattformar på upp till cirka 130 tusen ton.



Figur (1) Oljeborrplattform av typen semi-submersible. Ankarlina med kätting i varje ända och polyesterlina i mitten.[5]

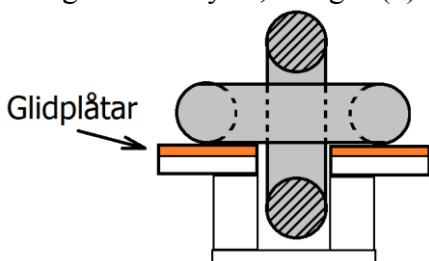
Längden på förankringslinorna är normalt cirka tre gånger vattendjupet vilket kan vara ett flertal tusen meter. Vid justeringar av förankringen på en produktionsplattform eller när plattformen ska flyttas en kortare sträcka används en förlängningskätting som förlänger den ursprungliga kättingen. Vanligtvis är det flera år mellan dessa förflyttningar.

Förlängningskättingens ankarbox är placerad några meter från huvudankarboxen vars öppning är i huvuddäcket på plattformen. Förlängningskättingens ankarbox befinner sig under F_1 enligt figur (2). På grund av platsbrist och för att förlängningskättingen skall kunna anslutas till ordinarie kätting behöver den löpa över ett antal guider. Se figur (2). Guiderna är en simpel konstruktion med en glidplåt som kättingen glider ovanpå. Anledningen till den simpla konstruktionen av guiderna är att de används väldigt sällan under en plattforms livslängd.



Figur (2) Exempel på hur ankarkättingen kan löpa över olika guider på en plattform.

Guiderna är utformade så att varannan länk löper på glidplåtarna och varannan mellan guiden. Detta medför att de vertikala länkarna inte skapar några kontaktytor, se figur (3).



Figur (3) Guide med glidplåt

En enskild länk i kättingarna på större plattformar kan väga uppemot 600 kg vilket motsvarar cirka 800 kg per meter kätting. Länkarna är tillverkade av massiv rundstång som bockas och svetsas ihop. Godstjockleken på rundstången kan ha en diameter på 170 mm.

Kraften F_1 utgörs av egenvikten hos kättingen som hänger ner i kättingboxen. Kraften F_2 utgörs av motvikten som används för att dra ut kättingen ur ankarboxen. Kraften F_2 kan även utgöras av en motor istället för en motvikt. Löphjulet i figur (2) roterar fritt och beräknas som friktionsfritt.

2 Bakgrund

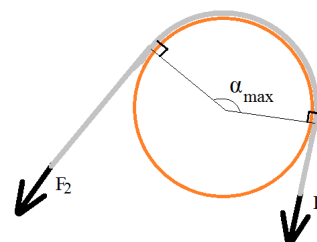
Vid ett prov av ett förankringssystem där förlängningskättingen var ansluten med ordinäre kätting gick det inte att dra ut kättingen ur kättingboxen med en testmotvikt. Testmotvikten sattes godtyckligt till egenvikten av förlängningskättingen som hänger ner i ankarboxen. För att få ut kättingen ur kättingboxen krävdes det externa starka lyftanordningar så som kranar och vinschar. Under provet deformerades guidernas glidplåtar.

Strukturella hållfastheten i guiderna var inte känd vid provtillfället, därför testades systemet ej för högre laster under provet.

För att lösa problemet och för att få kättingarna att löpa ut ur kättingboxarna utan externa lyftanordningar är en ny last beräknad med hjälp av Capstans ekvation (1). I dagsläget är lasten beräknad med Capstans ekvation ej testad.

$$\text{Capstans ekvation } F_2 = F_1 * e^{(\mu * \alpha_{max})} \quad (1)$$

Capstans ekvation betraktar kedjan som masslös med ett infinit antal punkter i kontakt med ytan [1]. Eftersom längden på länkarna kan vara upp till 70 % av radien på en guide förekommer det få kontaktpunkter. Capstans ekvation tar ej hänsyn till att det är få kontaktpunkter.



Figur (4) Illustration av Capstans ekvation.

Krafterna F_1 och F_2 är båda vinkelräta mot radien enligt figur (4).

Krafterna i rapporten anges i antal tons vikt (vertikalt hängande) kraften motsvarar. Krafterna är lämpliga att ange i ton eftersom lasten som ger upphov till F_1 är angiven i ton. Motvikten (F_2) i figur (2) som används för att dra ut kättingen är angiven i ton. Det är även lättare att få en uppfattning av storleksordningen på krafterna i systemet.

3 Syfte

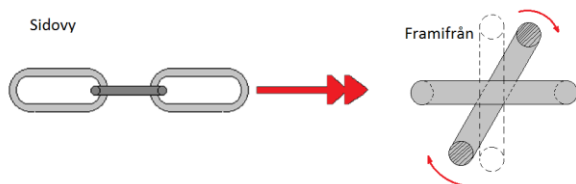
Syftet med rapporten är att förbättra förståelsen av vilka krafter och spänningar som uppstår när kättingen dras över guider. Ett förslag till konstruktionsanvisning skall tas fram för att underlätta för konstruktörer att dimensionera förankringslösningar med kättingar och guider. Riktlinjerna skall innehålla information om konstruktionsparametrar och dess påverkan på systemet. Riktlinjerna skall vara självinstruerande, konkreta, koncisa och kunna ge vägledning och uppfattning om hur guiderna kan utformas. Riktlinjerna finns med som bilaga i slutet av rapporten.

4 Avgränsningar

Ett flertal parametrar medverkar vid dimensionering och konstruktion av ett förankrings-system, alla kan analyseras men i föreliggande beräkningar har ett antal avgränsningar ansatts. Materialen i konstruktionen utsätts för olika miljöer där till exempel korrosion och smuts till olika grad och omfattning uppstår. Detta genererar friktion som är svår att beräkna.

Följande avgränsningar används:

- Materialstudier kommer ej genomföras. Detta innebär att friktionskoefficient antas konstant under rörelseförloppet av länken, oberoende av yttre påverkan vid beräkningar.
- Hållfasthetsberäkningar angående geometrier på guider kommer ej att göras.
- Torsion och friktion mellan länkarna kommer att försummas, se figur (5).
- Inga laborationer på kättingar som löper på guider kommer att ske.
- Beräkningarna sker i två-dimensioner. Torsion av kättingarna kommer ej tas med i beräkningen eftersom systemet kommer ses som två-dimensionellt utan torsion.



Figur (5) Torsion av kätting

Figur (5) visar hur en kätting utsätts för torsion. (kommer ej tas med i beräkningarna).

5 Precisering av frågeställning

- Vilka krafter påverkar systemet?
- Hur stor skillnad är det mellan Capstans ekvation och en friläggning av en länk med förenklingar och antaganden?
- Vilka förenklingar är acceptabla och vad medför förenklingarna?
- Hur påverkas krafterna i systemet av konstruktionsparametrar när kättingen dras genom systemet?
- Hur påverkar antalet guider systemet?
- Hur påverkar positionen av guiderna i förhållande till varandra systemet?

6 Problemdefinition

Vid beräkningar på kättingar som löper över guider används idag Capstans ekvation. För att öka förståelsen av ett kättingsystem med guider analyseras systemet mekaniskt. Arbetet med dimensioneringen fokuseras på följande tre huvudpunkter:

- Få kontaktytor
- Geometri
- Friläggning

6.1 Få kontaktytor

Kättingen träffar guiderna med varannan länk vilket medför att enbart hälften av länkarna får en kontaktyta.

Capstans ekvation (1) används idag för att uppskatta kraften som krävs för att dra kättingen genom systemet. Om längden på varje länk är 70 % av radien på guiden blir det endast 5 kontaktytor på ett varv. Eftersom det är få kontaktpunkter när en kätting glider över en guide kontrolleras innebörden att detta jämfört med Capstans ekvation.

Eftersom det är få kontaktpunkter som bär lasten kontrolleras spänningarna vid kontaktpunkterna.

Frågeställning. Vilken påverkan har antalet kontaktpunkter?

6.2 Geometrisk påverkan

Geometrins påverkan på systemet kontrolleras med avseende på vilken position länken befinner sig.

Frågeställning. Kan geometrin medföra självhämning?

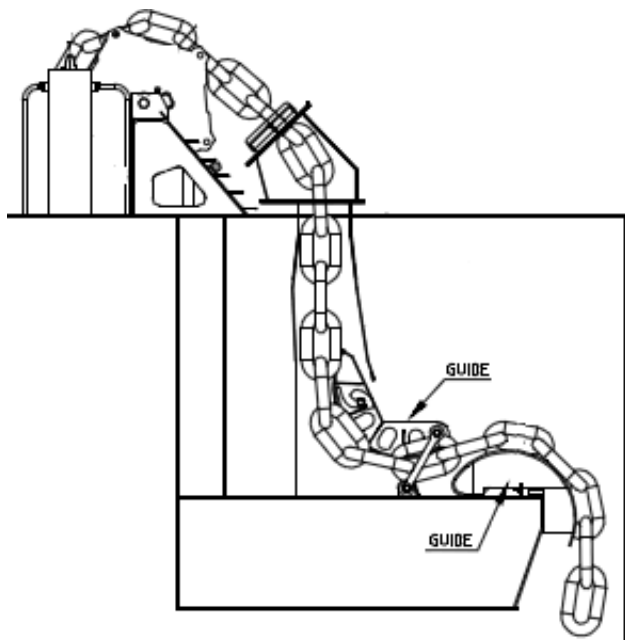
Fullständig självhämning i detta system skulle innebära att oavsett hur mycket kraft som appliceras kommer kättingen ej löpa över guiderna.

6.3 Påverkande krafter

För att undersöka krafterna som påverkar systemet friläggs länkarna i ett allmänt läge för att sedan kunna varieras över hela guiden. Kontaktpunkten mellan kätting och guide är rörlig. Förflyttningen av kontaktpunkten måste tas i hänsyn så att jämnvikt är uppfyllt. Kontaktpunktens position kommer att variera beroende på länkens position runt guiden. Det vill säga att kontaktpunkten inte kommer att befinna sig på samma punkt på varje länk.

7 Metod

För att bättre förstå ett kättingsystem med guider görs en parameterstudie för olika konstruktionsparametrar. En ritning av ett förankringssystem med guider analyseras för att skapa en bild och förståelse av hur dessa kan vara utformade.



Figur (6) Exempel på hur en ritning kan se ut som analyseras. [7]

Figur (6) visar ett exempel på kättingarrangemang, exemplet har tre guider och ett löphjul. Detta används även för att få lämplig storleksordning på konstruktionsparametrarna vid analys.

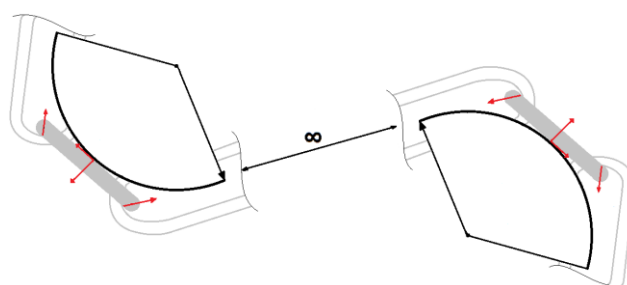
7.1 Friläggning av en länk i ett allmänt läge

Länken friläggs mekanisk i ett allmänt läge så att positionen av länken kan varieras utöver hela guiden. Förenklingarna och antaganden görs så att ekvationerna blir användbara för guider allmänt. Dessa sätts så att krafterna i systemet ej blir lägre på grund av antaganden. När antaganden och förenklingar har gjorts används dessa för att frilägga systemet. Först friläggs systemet för en länk och sedan två eller fler länkar.

Systemet ses som kvasistatiskt, det vill säga systemet ses som statiskt för varje position som länken glider över. Kraften F_2 är sökt vid jämvikt med fullt utvecklad friktion, det vill säga precis när länken börjar glida i dragkraftens

riktning. Alla länkar betraktas som masslösa eftersom vikten på länkarna är avsevärt mindre än lasten F_1 . Godstjockleken (diametern) t på länkarna försummas då den är avsevärt mindre än guidens radie R_1 . De vertikala länkarna antas vara friktionsfria och kan ej överföra moment mellan länkar.

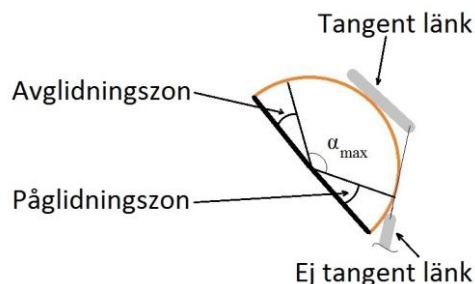
Krafterna F_1 och F_2 vinkelräta mot radien R_1 . Denna förenkling gäller oberoende av hur mycket den vertikala länken "genar" genom guiden. Det vill säga avståndet till kraftens ursprung antas vara oändligt långt bort, enligt figur (7).



Figur (7) Två länkar med oändligt avstånd mellan varandra.

Förenklingen har gjorts för att ekvationen skall bli användbar i allmänna fall där avstånden mellan guiderna ej påverkar resultaten.

På- och av-glidningszonen för en länk är också försummad eftersom det beror på avståndet till kraftens ursprung och godstjockleken på länken. På- och av-glidningszonen är området där länken glider på guiden utan att länken ligger tangent mot guiden. Området där på- och avglidning sker är litet. Området måste dock finnas med på guider i verkligheten, annars hamnar länken innanför guiden och förhindrar länkens rörelse.



Figur (8) Illustration av verklig påglidning.

Figur (8) illustrerar på- och av-glidningszonen för en guide. Krafterna minskar om på/av-

glidningszonen tas med. Det är därför säkert att försumma både på- och av-glidningszonen i dimensionerande syfte. På- och avglidningszonen kräver även fler parametrar och villkor för vinkelns ändring. Därmed försvåras analysen av systemet för position av länken utöver guiden. För ett ökat antal länkar minskar på- och avglidningsområdet eftersom de vertikala länkarna ”genar” mindre mellan guiden.

Intervallerna när det är en- respektive två- länkar i kontakt löses med hjälp av geometrin av kättingen och guiden.

För fallet med två länkar i kontakt förenklas vinkeln mellan första och andra länken. Vinkeln varierar mycket lite när länkarna glider över guiden. Systemet blir även enklare att lösa för fler än två kontaktpunkter med denna förenkling.

Friktionskraften antas vara torrfriktion även kallad Coulombs friktion [3]. Det vill säga friktionskraften är linjärt proportionerlig mot normalkraften. I verkligheten kan dock friktionskoefficienten öka för höga normalkrafter [3].

7.2 Analytiska beräkningar med matematisk programvara

För att på begränsad tid lösa komplicerade ekvationerna för friläggningen av en länk används Matlab av Mathworks matematiska beräkningsprogram. Det går att variera olika parametrar med Matlab och därefter grafiskt redovisa resultaten.

Exempelvis löses kontaktpunktens position numeriskt med hjälp av Matlab. Ekvation (14) för kontaktpunktens position har flera än en entydlig lösning. För att hitta rätt lösning begränsas området som kontrolleras. Området begränsas så att det ligger inom det högsta och lägsta värdet positionen kan anta (i verkligheten).

Kontaktpunktens position kontrolleras sedan inom det begränsade området. Värdena som kontrolleras stegas från det lägsta värdet till det högsta värdet för ett antal olika värden (datapunkter). Värdet på kontaktpunktensposition som närmast uppfyller ekvationen sparas. Detta

görs för ett antal olika värden på länkens position på guiden. Varje sparad position används sedan för vidare beräkningar av till exempel krafter.

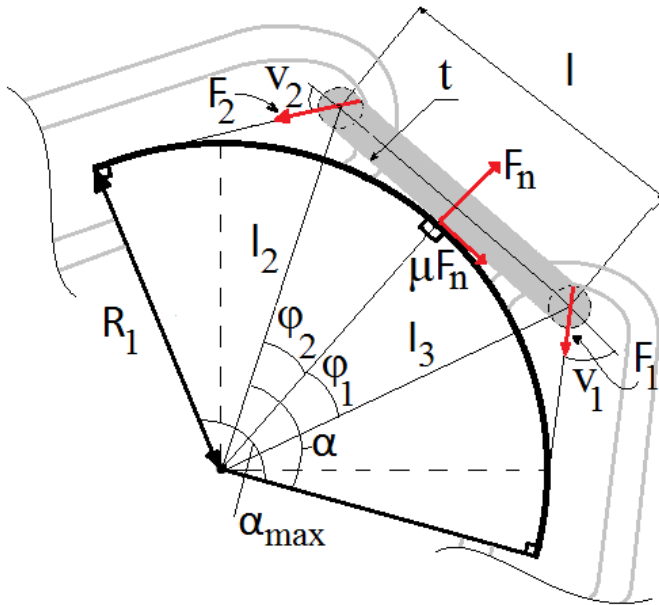
Antalet datapunkter som kontrolleras väljs så att graferna konvergerar. Det vill säga antalet datapunkter sätts så att det är tillräckligt många som kontrolleras för att ge korrekta värden. Om antalet datapunkter som kontrolleras är för lågt blir positionen på guiden fel och därmed även beräknade krafter.

För att analysera innebörden av olika konstruktionsparametrar varieras dessa med hjälp av Matlab. Variationerna redovisas därefter i samma grafer för att på så sätt illustrera och jämföra hur kraften förändras i förhållande till de olika variablerna.

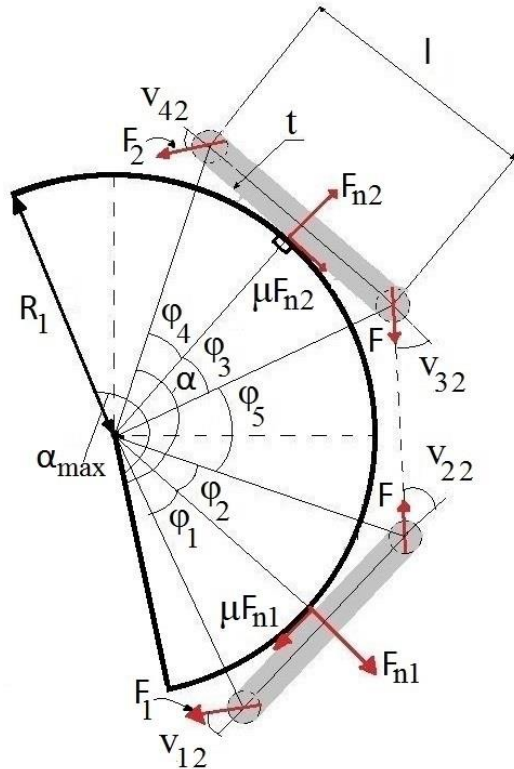
Koden som används i rapporten finns med som en bilaga i slutet av rapporten.

8 Kraftjämvikt

Förenklingar och antaganden gjorda i metodkapitlet (7.1) gäller. Frilägningen är gjord för två olika fall. Fall ett med en frilagd länk vilket visas i figur (9) och fall två med två frilagda länkar vilket visas i figur (10). Beräkningarna sker i två-dimensioner det vill säga att en länk har en kontaktpunkt, två länkar har två kontaktpunkter. I verkligheten har en länk två kontaktpunkter (en på vardera sidan) enligt figur (29).



Figur (9) En frilagd länk med beteckningar för vinklar, längder och krafter.



Figur (10) Två frilagda länkar med beteckningar för vinklar och krafter.

8.1 Jämvikt

Geometrin för figur (9) ger enligt ekvation (2) och (3):

$$v_1 = \alpha - \varphi_2 \quad (2)$$

$$v_2 = \alpha_{max} + \varphi_2 - \alpha \quad (3)$$

Vinkeln φ_5 i figur (10) förenklas enligt ekvation (4) till:

$$\varphi_5 = \max(\varphi_1 + \varphi_2) = \tan^{-1}\left(\frac{l}{2R_1}\right) * 2 \quad (4)$$

Geometrin ger enligt ekvation (5):

$$v_{12} = \alpha - 2 * \max(\varphi_1 + \varphi_2) - \varphi_2 \quad (5)$$

$$v_{22} = \varphi_2 + \max(\varphi_1 + \varphi_2)/2 \quad (6)$$

$$v_{32} = \varphi_3 + \max(\varphi_1 + \varphi_2)/2 \quad (7)$$

$$v_{42} = \alpha_{max} + \varphi_4 - \alpha \quad (8)$$

Kraftjämvikt för fallet med en länk i kontakt ger enligt ekvation (9) till (14):

(F_n riktning):

$$F_n - F_1 \sin(v_1) - F_2 \sin(v_2) = 0 \quad (9)$$

(μF_n riktning):

$$\mu F_n + F_1 \cos(v_1) - F_2 \cos(v_2) = 0 \quad (10)$$

Momentjämvikt kring kontaktpunkten:

$$F_1 \sin(v_1) (l - \tan(\varphi_2) R_1) - F_2 \sin(v_2) \tan(\varphi_2) R_1 = 0 \quad (11)$$

Ekvation (10) ger:

$$F_2 = F_1 \frac{\sin(v_1)(l - \tan(\varphi_2) R_1)}{\sin(v_2) \tan(\varphi_2) R_1} \quad (12)$$

Ekvation (9) och (10) ger:

$$\mu F_1 \sin(v_1) + \mu F_2 \sin(v_2) + F_1 \cos(v_1) - F_2 \cos(v_2) = 0 \quad (13)$$

(12) in i ekvation (13) ger:

$$\frac{\mu l}{R_1} \cot(\varphi_2) + \cot(v_1) - \frac{l}{R_1} \cot(\varphi_2) \cot(v_2) + \cot(v_2) = 0 \quad (14)$$

Kontaktpunktens position (φ_2) i ekvation (14) löses numeriskt med hjälp av Matlab, enligt metoden i kapitel 7.2. Vinkeln φ_2 varierar mellan:

$$0 \rightarrow \tan^{-1}\left(\frac{l}{R_1}\right) \text{ för att uppfylla att ekvation (14)=0.}$$

Kraftjämvikt för fallet med två länkar friläggs en åt gången på samma sätt som för en länk. Först friläggs undre länken som ger kraften F i figur (10). Kraften F används sedan vid kraftjämvikt för övre länken.

8.2 Start- och slutpunkt för olika kontaktfall

Området när det endast är en länk i kontakt löses med hjälp av cosinussatsen som beror på l_2 , l_3 och φ_2 .

α_{start} är vinkeln α då systemet går från två länkar till en.

α_{slut} är vinkeln α då systemet går från en länk till två.

Cosinussatsen ger enligt ekvation (15):

$$l^2 = l_2^2 + R_1^2 - 2l_2R_1 \cos(\alpha_{max} - \alpha_{start}) \quad (15)$$

Där l_2 och l_3 ges av ekvation (16) och (17):

$$l_2 = \frac{R_1}{\cos(\varphi_2)} \quad (16)$$

$$l_3 = \frac{R_1}{\cos(\tan^{-1}(\frac{l}{R_1} - \tan(\varphi_2)))} \quad (17)$$

Lös ut $l \Rightarrow$

$$l = \sqrt{l_2^2 + R_1^2 - 2l_2R_1 \cos(\alpha_{max} - \alpha_{start})} \quad (18)$$

$$l = \sqrt{l_3^2 + R_1^2 - 2l_3R_1 \cos(\alpha_{slut})} \quad (19)$$

Startpunkten för området där två länkar är i kontakt sker när en ny länk glider på glidplåten. Det vill säga när området för en länk i kontakt tar slut. Enligt ekvation (20) ger detta:

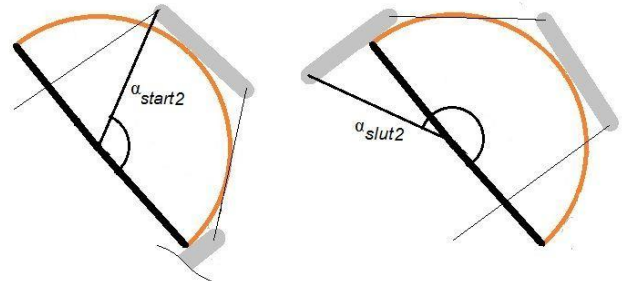
$$\alpha_{start2} = \alpha_{slut} \quad (20)$$

Slutpunkten för området där två länkar är i kontakt sker när en länk glider av samma plåt. Det vill säga när vinkeln $\varphi_3 = 0$. Detta ger:

$$\alpha_{slut2} = \alpha_{max} + \tan^{-1}(\frac{l}{R_1}) \quad (21)$$

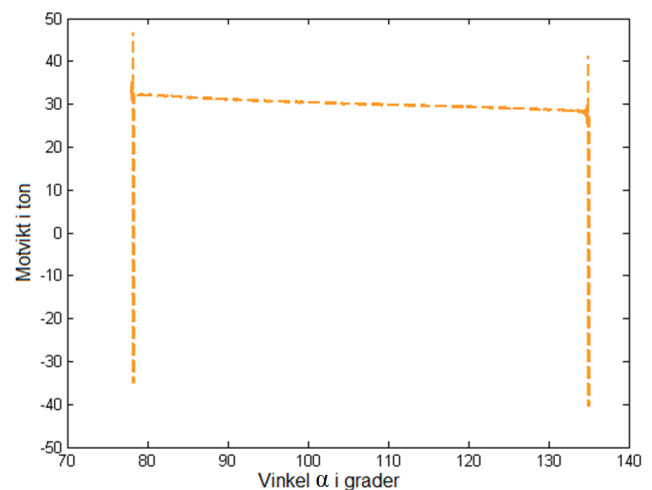
Respektive start och slutpunkt löses numeriskt med Matlab enligt samma metod som för kontaktpunkten position.

Jämviktsekvationen för moment vid påglidning och avglidning har en momentarm som är nära noll för länken som glider av/på, enligt figur (11). Detta gör ekvationen svårdefinierad för ett finit antal datapunkter.



Figur (11) Start och slutpunkt för området med två länkar i kontakt.

För att undvika detta problem vid beräkningen sätts start och slutpunkter till den verkliga punkten för av- och påglidning först och justeras sedan manuellt.



Figur (12) Momentarm nära noll för två länkar utan justerat område

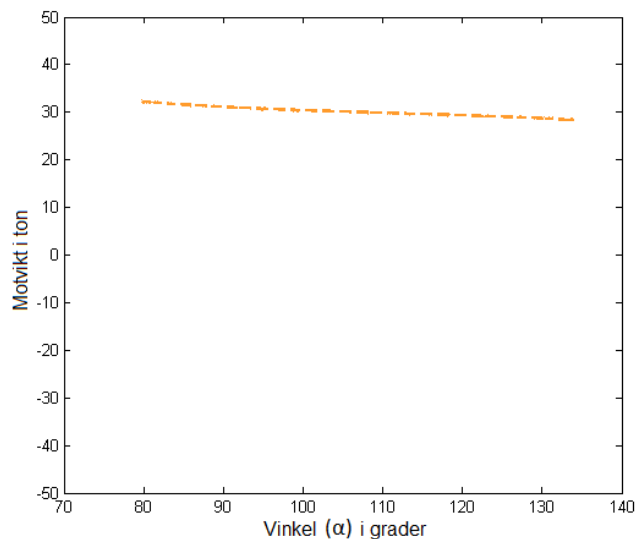
Figur (12) illustrerar problemområdet vid start och slut för fallet med två länkar i kontakt. I detta fall är problemområdet vid 77° och 136° .

Eftersom det är ett finit antal datapunkter som kontrolleras justeras start och slutpunkterna utefter antalet punkter som valts att kontrolleras manuellt. Justeringen sker så att start och slutpunkterna befinner sig tillräckligt långt bort från problemområdet för det aktuella antalet datapunkter som kontrolleras. För 10000 datapunkter

ter väljs $\pm 1^\circ$ förskjutning på start- och slutpunkten enligt ekvation (22) och (23).

$$\alpha_{start2} = \alpha_{slut} + 1^\circ \text{ och} \quad (22)$$

$$\alpha_{slut2} = \alpha_{max} + \tan^{-1}\left(\frac{l}{R_1}\right) - 1^\circ \quad (23)$$



Figur (13) Justerat intervall för två kontaktpunkter utan problem med momentarm nära 0

Justerade start och slutpunkter ger en kurva där problemområdet ej finns med, se figur (13). Det går att använda inbyggda beräkningsfunktioner i Matlab för att vidare analysera beräknad data när problemområdet ej finns med. Till exempel blir en kontroll av lokalt maximum och lokalt minimum fel om problemområdet finns med.

9 Geometrisk analys

För att uppskatta kraften F_2 som krävs för att dra kättingar över guider används idag oftast Capstans ekvation. Omslutningsvinkel α fås ur geometri, F_1 ges av egentygden från de vertikalt hängande länkarna och friktionskoefficienten hämtas ur tabellvärden.

Capstans ekvation och den frilagda formeln hanterar länkarna som masslösa med en fix friktionskoefficient och en fix last F_1 . Capstans ekvation hanterar inte geometrin hos länkarna. Betydelsen av geometrin, längdförhållanden och friktionens inverkan på kraften F_2 utvärderas med hjälp av ekvationerna (2) till (23).

I utvärderingen används följande variabler om inget annat anges:

$F_1 = 30 \text{ ton}$
$R_1 = 1 \text{ m}$
$\alpha_{max} = 100^\circ$
$l = 0,7 \text{ m}$
10000 datapunkter
$\mu = 0,3$

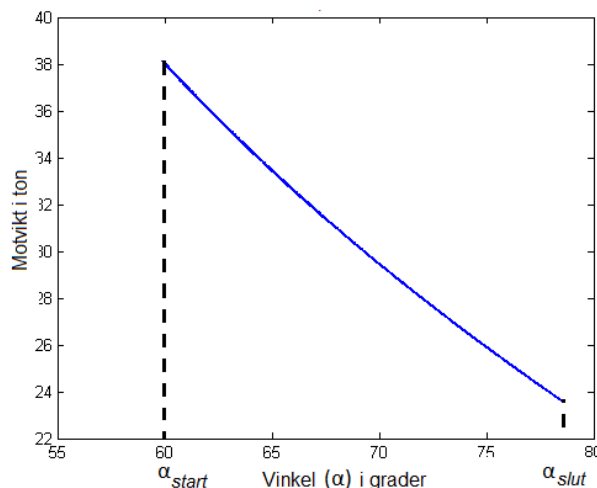
Tabell 2: Variabler

Friktionskoefficienten μ förändras alltså ej med hänsyn till påverkande faktorer och antas konstant, enligt kapitel 7.1.

Länkarnas geometri analyseras för inverkan på kraften F_2 . För att friktionskraften inte ska ha någon inverkan på resultatet sätts friktionskoefficienten $\mu = 0$. Det vill säga alla kraftändringar som sker beror på geometris inverkan.

Capstans ekvation för $\mu = 0$ ger:

$F_2 = F_1 e^{0 \cdot \alpha_{max}} \rightarrow F_2 = F_1$ Oberoende av omslutningsvinkeln α_{max} .

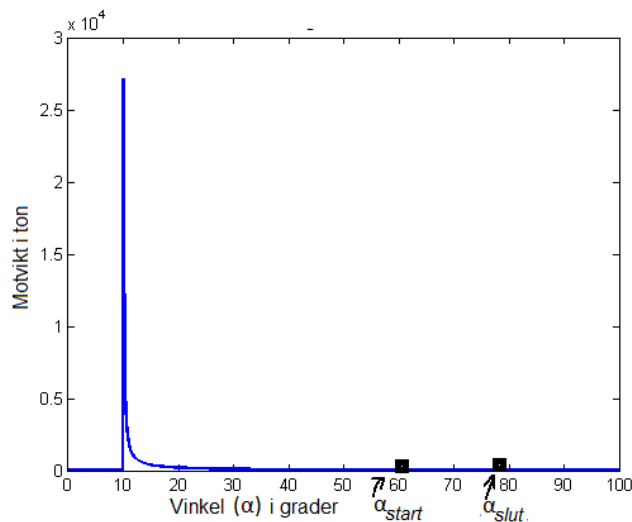


Figur (14) Kraften för en kontaktpunkt utan friktion

Figur (14) visar en tydlig kraftförändring av motvikten (F_2) när α varierar mellan:

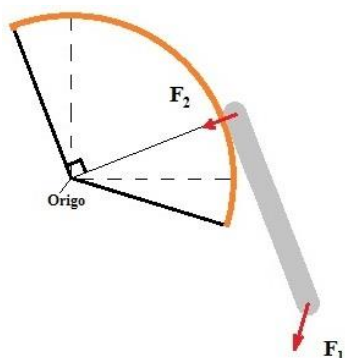
$(\alpha_{max} - \alpha_{start}) \rightarrow \alpha_{slut}$ (intervallet när det är en länk i kontakt). För att få en tydligare bild av geometris inverkan på förändringen av F_2 ökas intervallet av α till:

$(0 \rightarrow \alpha_{max})$ (hela intervallet på en guide)



Figur (15) Illustration av självhämning för en kontaktpunkt.

Figur (15) visar en kraftig ökning av kraften F_2 vid 10° . Systemet självhämmer vid 10° det vill säga oavsett hur mycket kraften F_2 ökar kommer länken ej ta sig förbi 10° .



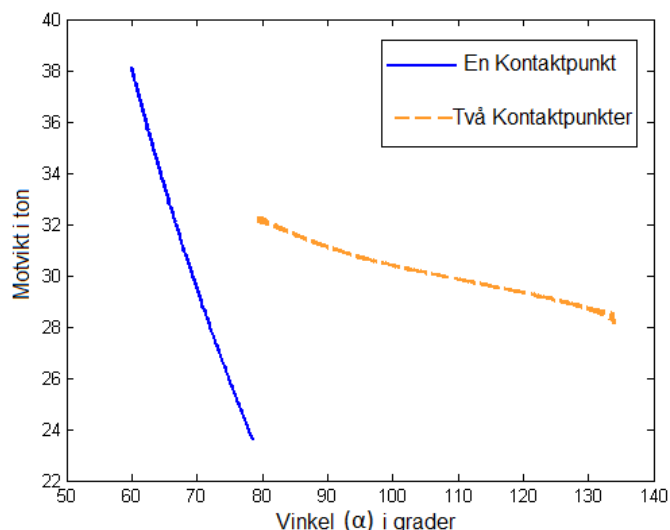
Figur (16) Självhämning när förlängningen av F_2 passerar origo.

Självhämningen uppstår eftersom förlängningen av kraften F_2 är riktad mot origo på guiden enligt figur (16). För att uppfylla kraftjämvikt krävs att kraften F_2 från $0^\circ \rightarrow 10^\circ$ är negativt riktad men detta tas ej med i figur (15). Figur (15) illustrerar en ändlig kraft ($\approx 2,7 \cdot 10^4$ ton) eftersom exakta punkten för självhämning ($\alpha = \alpha_{max} - 90^\circ$) ej kontrolleras med 10000 datapunkter. Om ett infinit antal datapunkter analyseras går kraften $F_2 \rightarrow \infty$ vid $\alpha = \alpha_{max} - 90^\circ$.

Fullständig självhämning uppstår endast om vinkeln för självhämning ($\alpha = \alpha_{max} - 90^\circ$) ligger inom intervallet för en kontaktpunkt ($(\alpha_{max} - \alpha_{start}) \rightarrow \alpha_{slut}$).

Konsekvenserna av den självhämmande effekten finns fortfarande trots att fullständig självhämning ej uppnås. För att se effekten av den självhämmande karakteristiken vid fallet med två länkar i kontakt illustreras dessa bredvid varandra i figur (17).

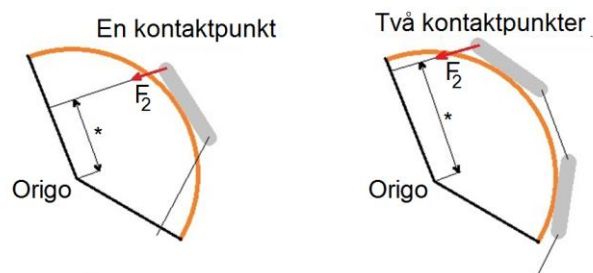
Fullständig självhämning är endast kontrollerat i analyserande syfte för att förbättra förståelse av kraftändringen som sker i figur (14).



Figur (17) Kraften för en respektive två kontaktpunkter.

Geometris påverkan på kraften när länken rör sig över α ses i figur (14). Kraften minskar för ökande α , det vill säga när avståndet mellan origo och förlängningen av F_2 ökar. Kraftändringen när länken rör sig över α beror den på självhämmande effekten i systemet.

Enligt figur (17) påverkar geometrin den resulterande kraften i F_2 för fallet med två kontaktpunkter mindre än för fallet med en kontaktpunkt. Detta beror på att avståndet mellan origo och förlängningen av F_2 är större för två kontaktpunkter enligt figur (18).



* Avståndet mellan förlängningen av kraften F_2 och origo

Figur (18) Avståndet mellan förlängningen av kraften F_2 och origo.

Minsta avståndet mellan origo och förlängningen av F_2 ökar när antalet länkar i kontakt ökar. Detta medför minskad självhämmande effekt, det vill säga kättingen efterliknar ett band eftersom antalet länkar i kontakt ökar. Variationen av kraften F_2 över α blir därmed mindre eftersom fler länkar ligger i kontakt.

Kraften förändras momentant när systemet går mellan en och två kontaktpunkter enligt figur (17). Direkta förändringen i kraft beror på antaganden och förenklingar. Förenklingarna och antaganden är:

- Guiden slutar vinkelrätt mot kraften.
- Kraftens anläggningspunkt befinner sig på ett oändligt avstånd.
- Godstjockleken på länken försummas.
- Av- och på-glidningszonen försummas.

Beräkningar med alla faktorer skulle resultera i en mjukare övergång mellan en och två kontaktpunkter.

10 Parameterstudie

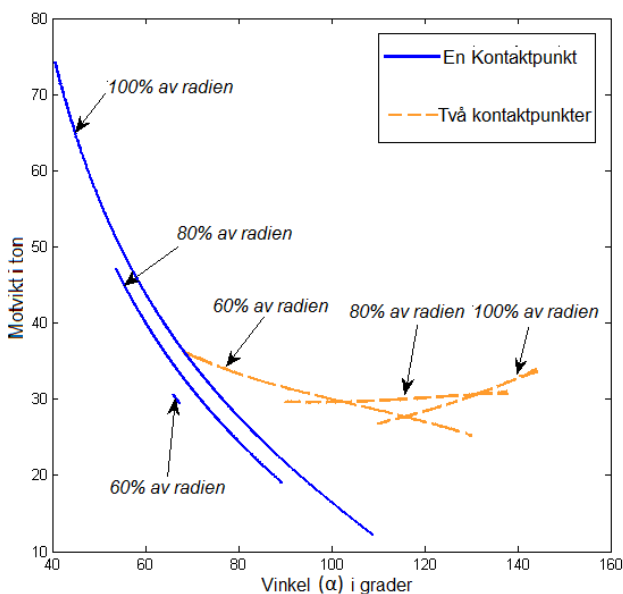
För att fördjupa förståelsen av konstruktionsparametrarnas inverkan på krafterna i systemet varieras dessa. Systemet analyseras sedan för de olika konstruktionsparametrarna. Parametrarna som används i studien är angivna i tabell 2, kapitel 9.

10.1 Radie och länklängd

Guidens radie och länkarnas längd har under utvärderingen satts till $R_1 = 1m$ och $l = 0,7m$ vilket medför att längden på en länk motsvarar 70 % av radien på guiden. Capstans ekvation ändras ej om radien förändras, utan beror enbart på F_1 , μ och α .

För att förstå vilken inverkan förhållandet mellan längden på länken och guidens radie har på kraften F_2 varieras länklängden. Friktionskoefficienten sätts konstant $\mu = 0$ så att all kraftändring beror på geometrins inverkan.

Längden på länken i förhållande till radien av guiden testas för 60 %, 80 % och 100 % av guidens radie.



Figur (19) Kraften för en respektive två kontaktpunkter med varierande länklängd.

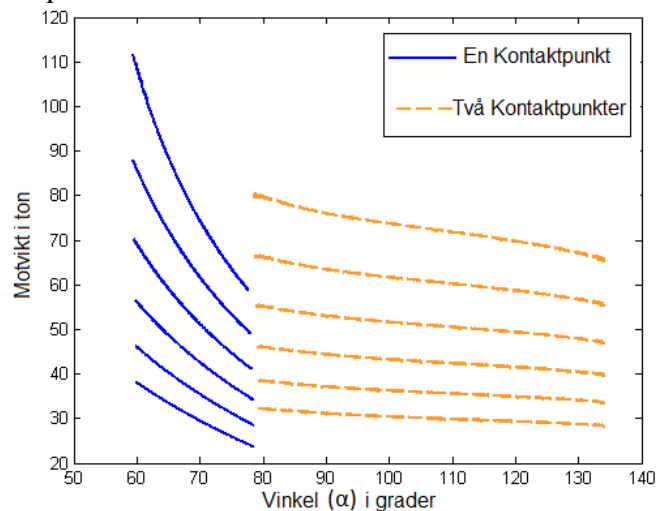
När länkarnas längd minskar, minskar även området som systemet befinner sig i en kontaktpunkt, enligt figur (19). Detta innebär även att punkten, när systemet övergår från två kontaktpunkter till en kontaktpunkt, hamnar på ett högre α värde. Enligt avsnitt 9.1 minskar kraf-

ten F_2 när avståndet mellan origo och förlängningen av F_2 ökar. Detta överensstämmer med figur (19) där 60 % av radien börjar vid ett högre α än 80 % eller 100 % av radien gör. Ett lägre α värde ligger närmare punkten för fullständig självhämning ($\alpha = \alpha_{max} - 90^\circ$) enligt avsnitt 9.1

Vid varierande förhållanden mellan radie och länklängder varieras även periodlängden av systemet. Det vill säga antalet grader det tar att gå från en kontaktpunkt och tillbaka till en kontaktpunkt igen.

10.2 Friktionskoefficientens påverkan

Friktionens inverkan på kraften F_2 enligt den frilagda ekvationen analyseras och jämförs med Capstans ekvation.



Figur (20) Kraften för en respektive två kontaktpunkter med varierande friktionskoefficient.

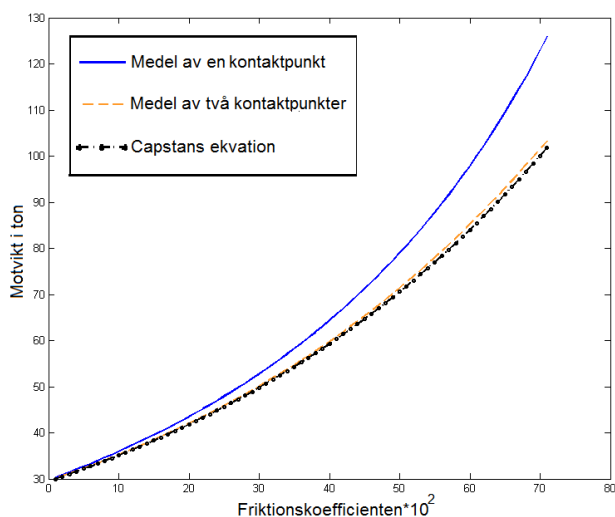
Figur (20) med varierande μ där nedre linjen representerar $\mu = 0$ och övre linjen $\mu = 0,5$ i steg om 0,1. Den heldragna linjen representerar kraften F_2 för fallet en kontaktpunkt och streckade linjen motsvarar kraften F_2 för två kontaktpunkter.

Det är tydligt att μ har en stor inverkan på resulterande kraften F_2 enligt figur (20). Geometrins påverkan på F_2 tillsammans med friktionskoefficientens påverkan på F_2 ger stora skillnader på högsta och lägsta F_2 för fallet en kontaktpunkt. Enligt figur (20) varierar lasten från 111,9 → 58,9ton under fallet med en kontaktpunkt och $\mu = 0,5$.

För att vidare analysera den frilagda formeln mot Capstans ekvation varierar μ från $0 \rightarrow 0,7$ i steg om 0,01 vilket ger 71 olika värden på μ . Medelvärdet av den frilagda ekvationens kraft F_2 kontrolleras. Detta görs genom att summera samtliga datapunkter för en respektive två kontaktpunkter och divideras sedan med antalet datapunkter för varje μ -värde.

Anledningen att medelvärdet kontrolleras är för att se om frilagda ekvationen har samma exponentiella utveckling som Capstans ekvation har när friktionskoefficienten ökar.

Medelvärdet presenteras i figur (21) där Capstans ekvation för samma variabler finns med för att se skillnaderna mellan formlerna när μ varierar.



Figur (21) Medelvärdet för kraften för en respektive två kontaktpunkter samt Capstans ekvation.

Enligt figur (21) är fallet med en kontaktpunkt samt fallet med två kontaktpunkter liknande i Capstans exponentiella karakteristik (när medelvärdet analyseras). Lokalt maximum av kraften finns ej med i figur (21) eftersom det är medelvärdet som analyseras. Figur (21) är endast i analyserande syfte och används ej för att dimensionera eftersom maximala lastfallet ej finns med i medelvärdet.

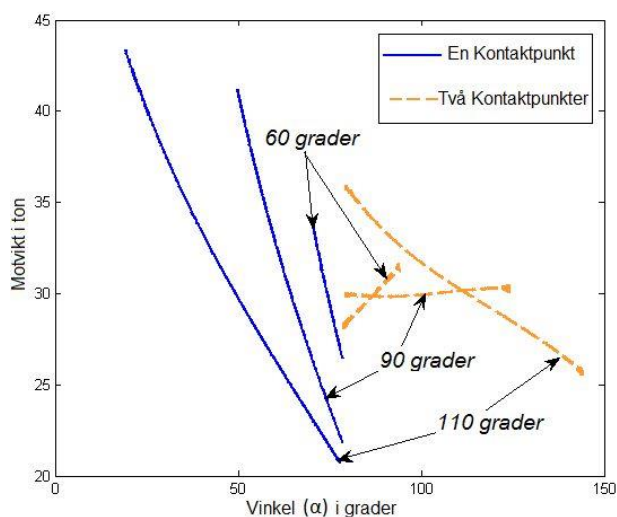
Capstans ekvation kan ses som ett oändligt antal punkter som har summerats ihop över α_{max} . Enligt figur (21) efterliknar medelvärdet av två länkar i kontakt Capstans ekvation. Eftersom den självhämmande effekten minskar med ökat antal kontaktpunkter närmar sig medelvärdet för

två länkar resultatet av Capstans ekvation. Enligt avsnitt 9.1 minskar även variationen av F_2 när antalet länkar i kontakt ökar. Alltså när antalet länkar i kontakt ökar närmar sig krafterna i den frilagda ekvationen Capstans ekvation.

Det är bra att medelvärdet närmar sig Capstans ekvation när antalet länkar i kontakt ökar. Eftersom den självhämmande effekten blir mindre påtaglig när antalet länkar i kontakt ökar.

10.3 Omslutningsvinkel

Omslutningsvinkelns inverkan på kraften F_2 analyseras för varierande omslutningsvinklar α_{max} . För att kontrollera vilken betydelse den geometriska omslutningsvinkeln har på kraften F_2 analyseras systemet för $\mu = 0$. Omslutningsvinkeln α_{max} kontrolleras för 60° , 90° och 110° .



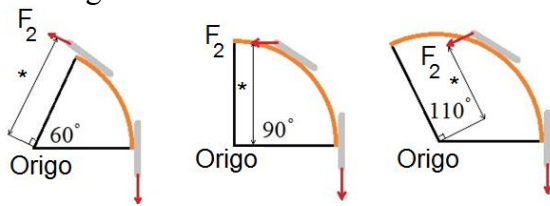
Figur (22) Kraften för en respektive två kontaktpunkter för varierande omslutningsvinkel.

För de olika omslutningsvinklarna varierar även periodlängden av systemet. Det vill säga hur många grader det tar att gå från en kontaktpunkt och tillbaka till en kontaktpunkt igen.

Enligt figur (22) är det tydligt att variansen för kraften F_2 ökar för fallet med en kontaktpunkt när omslutningsvinkeln α_{max} ökar. Variansen för fallet med två kontaktpunkter har inte samma entydiga förändring som med fallet för en kontaktpunkt.

Variationen i kraft som uppstår vid fallet med två kontaktpunkter beror på förändringen i kraft

för den främre länken och den bakre länken sammanlagt.



* Avståndet mellan förlängningen av kraften F_2 och origo

Figur (23) Illustration av olika omslutningsvinklar α_{max} .

Figur (23) används i syfte av att förstå variansen av kraften F_2 för två kontaktpunkter för de tre olika fallen.

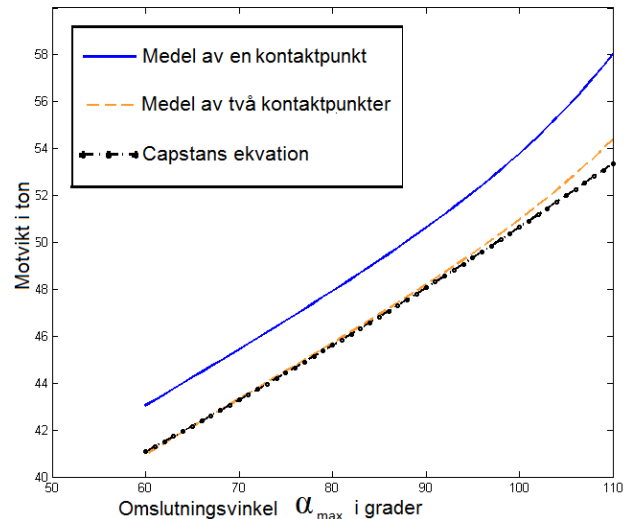
- 60° : Kraften mellan länkarna ökar snabbare än kraften F_2 minskar för ökande α vilket ger en ökande kraftändring.
- 90° : Kraften mellan länkarna ökar i takt med att kraften F_2 minskar för ökande α vilket ger en liten kraftändring.
- 110° : Kraften mellan länkarna ökar långsammare än kraften F_2 minskar för ökande α vilket ger en avtagande kraftändring.

Största kraftändringen sker för fallet med en kontaktpunkt (för omslutningsvinklar där fallen en kontaktpunkt och två kontaktpunkter gäller.) enligt figur (22).

För att kontrollera hur kraften F_2 varierar i jämförelse med Capstans ekvation när omslutningsvinkeln varierar kontrolleras medelvärden av kraften F_2 för omslutningsvinklar mellan:

$60^\circ \rightarrow 110^\circ$

Capstans ekvation för samma intervall finns med i figur (24).



Figur (24) Medelkraften för en respektive två kontaktpunkter samt Capstans ekvation för varierande omslutningsvinkel.

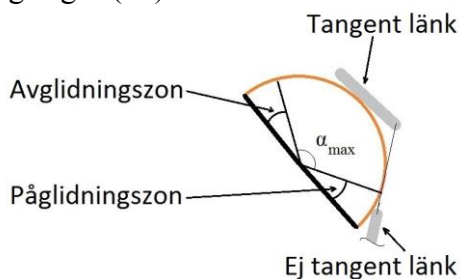
Figur (24) visar medelvärdet av frilagda formels kraft F_2 för en respektive två kontaktpunkter samt Capstans ekvation. Samtliga datapunkter för en respektive två kontaktpunkter summeras och divideras sedan med antalet datapunkter för varje α_{max} , $60^\circ \rightarrow 110^\circ$. Medelvärdet av fallet en kontaktpunkt ligger högre än fallet för två kontaktpunkter vilket beror på att den självhämmande effekten är mycket större för fallet med en länk i kontakt än för fallet med två länkar i kontakt enligt avsnitt 9.1. Skillnaden mellan Capstans ekvation och den frilagda ekvationen ökar när α_{max} ökar. Detta beror på att den självhämmande effekten ökar för ett ökat α_{max} . Enligt figur (23) minskar avståndet mellan förlängningen av kraften F_2 och origo när α_{max} ökar. Det skall noteras att denna analys endast är gjord i jämförande syfte eftersom variationen av kraft ej syns i figur (24) och bör ej användas vid dimensionering.

11 Analys inför konstruktion

Enligt kapitel 8.1 har förenklingar och antaganden gjorts. Krafterna F_1 och F_2 är vinkelrät riktade mot början och slutet av guiden. Detta kan ses som att kraftens ursprung är oändligt långt bort. Antaganden och förenklingar är gjorda så att lasten F_2 ej blir mindre på grund av antaganden och förenklingar. Lasten är beroende på variabler så som omslutningsvinkel α_{max} , förhållandet mellan radien och länklängden och friktionskoefficienten. För att uppskatta kraften F_2 inför konstruktion av ett verkligt system måste de möjliga scenarierna för det aktuella systemet analyseras, så att dimensionerande faktorer ej överskrids i verkligheten.

11.1 Intressanta områden

Genom att analysera geometrin hos guiden och länkarnas storlek fås vilket kontaktfall som gäller. Utifrån geometrin fås även vilken omslutningsvinkel problemet avser. Den föreslagna ekvationen gäller för omslutningsvinkeln när länken befinner sig i tangentens riktning på guiden enligt figur (25).

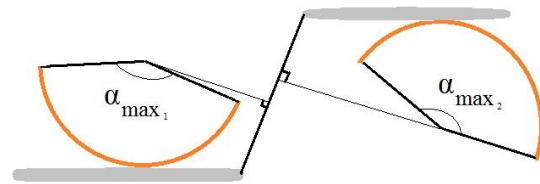


Figur (25) På- och avglidningsområdet före och efter α_{max}

Figur (25) representerar en verklig påglidning av länken på guiden. Guiden måste vara utformad så att länkarna glider på strax före α_{max} annars hamnar länken innanför guiden. På- och avglidningsområdet är litet och försummas enligt kapitel 8.1. Effekterna av förenklingen är små och minskar den självhämmande effekten, därmed kan dessa försummas i dimensionerande syfte av en verklig guide.

11.2 Avstånd och periodlängder

Avstånden mellan två guider kan förändra omslutningsvinkel på ett system där stora länkar i förhållande till guider används.

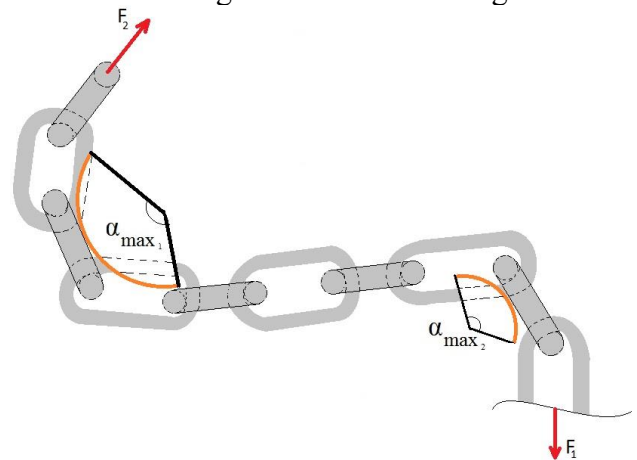


Figur (26) Avstånd mellan två guider som har en påverkan på omslutningsvinkeln.

Enligt figur (26) har α_{max1} och α_{max2} ökat på grund av avståndet mellan två guider samt att länkarnas storlek i förhållande till radierna är stora. Denna faktor måste analyseras för det aktuella systemet eftersom α_{max} kan behöva justeras för beräkningarna.

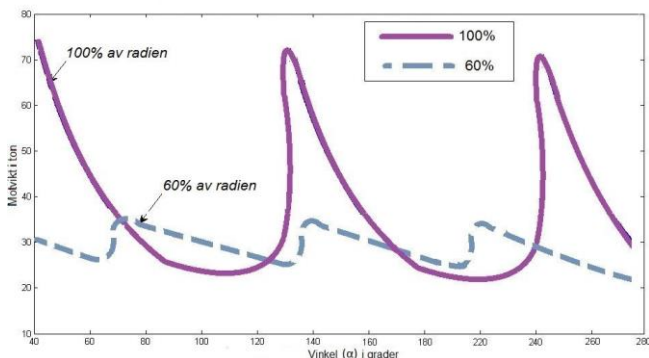
Enligt kapitel 9 är periodlängderna på övergången mellan de olika kontaktfallen beroende av förhållandet mellan radien och länklängden samt vilket omslutningsvinkel systemet har.

Om systemet har två guider med olika omslutningsvinklar och eller radier medför det att de har olika periodlängder. Olika periodlängder medför risken att hamna i fas (beroende på konstruktionsparametrar). Det vill säga, maximalt lastfall för två guider riskerar att inträffa samtidigt. Figur (27) illustrerar två guider där maximalt lastfall för guiderna sker samtidigt.



Figur (26) Maximalt lastfall för två guider samtidigt.

Maximala lastfallet för systemet beror på radier, placeringen och omslutningsvinkel på guiderna. På en oljeplattform som har ett flertal ankarlinor (kättingar) placerade på olika platser på huvuddäcket kan guider med lika utformning användas på flera olika ställen men med olika inbördes avstånd mellan guiderna. Därför bör systemet dimensioneras för det mest ogynnsamma lastfallet, det vill säga maximala lastfallet för båda guiderna samtidigt.



Figur (28) Illustrerar kraften för guiderna i figur (27).

Figur (28) är ett fiktivt fall som används i illustrerande syfte. Läget där båda guiderna utsätts för maximala lastfallet representeras vid $\approx 140^\circ$ i figur (27). Det vill säga när krafttopparna inträffar samtidigt och på så sätt bidrar till högsta kraften F_2 i systemet

11.3 Varierande last

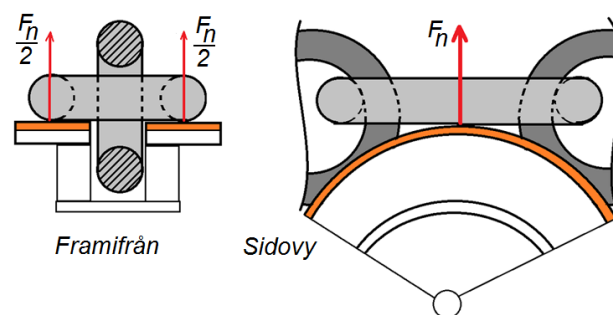
Enligt kapitel 9 varierar kraften F_2 när kättingen dras genom systemet. Pålastande och avlastande krafter riskerar att skapa utmattningsskador [2]. Storleken på variation samt förväntat antal på- och avlastningar bör tas hänsyn till vid dimensionering av guiden.

Variationen i last kan även skapa vibrationer beroende på hastigheten som kättingen dras med genom guiderna. Storleken och fortplantningen av vibrationerna till övriga delar av plattformen bör beaktas för det aktuella fallet.

11.4 Ytkontakten

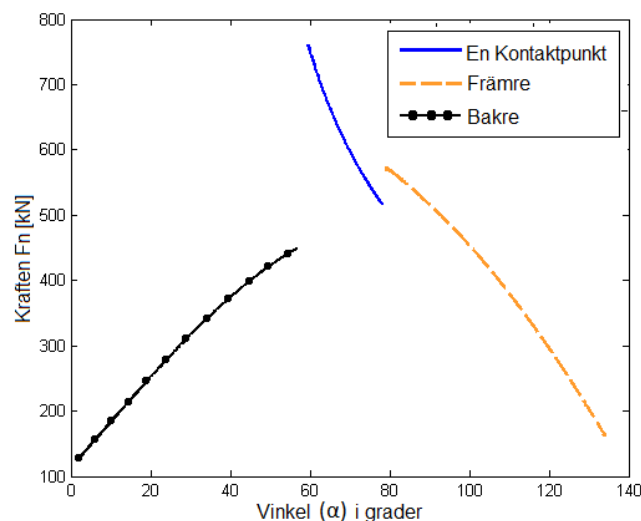
Med hjälp av Matlab beräknas normalkraften F_n för hela periodlängden. När kättingen skall passera flera guider beräknas föregående guide enligt det mest ogynnsamma lastfallet. Det vill

säga där kraften för den föregående guiden är som störst, enligt kapitel 10.2.



Figur (29) Fördelning av F_n för kontaktytan från två vyer.

Fallet med en kontaktpunkt är sedd från ett tvådimensionellt perspektiv och är i verkligheten två kontaktpunkter enligt figur (29). Spänningen som uppstår i ytan på guiden beror således på $\frac{F_n}{2}$. F_n analyseras för fallet med en och två kontaktpunkter med variablerna enligt tidigare variabler i tabell (2), kapitel 9.



Figur (30) Normalkraften F_n för en kontaktpunkt och två kontaktpunkter. Främre och bakre länken vid två kontaktpunkter visar separat.

Enligt figur (30) är normalkraften F_n störst för fallet med en kontaktpunkt. Normalkraft är mindre för två kontaktpunkter och beror på att sinus för vinklarna v_{12}, v_{22}, v_{32} och v_{42} är mindre än sinus för vinklarna v_1 och v_2 . Spänningen som uppstår för en kontaktpunkt beror på normalkraften F_n . Enligt ekvation (9) ger:

$$F_n = F_1 \sin(v_1) + F_2 \sin(v_2)$$

Kontaktytorna som möts är cylinderformade. Kontaktytorna mellan guiderna och länkarna i kättingen genererar en area som blir oändligt liten om problemet analyseras stelt. Problemet analyseras därför elastiskt.

Hertz teori för kontakttryck bygger på antagandet om en elliptisk kontaktyta i det allmänna fallet [2]. För att beräkna huvudspänningen i ytan mellan länken och kontaktytan ses problemet som en sfär mot en halvrymd eftersom radien för länken ($\frac{t}{2}$) är mycket mindre än radie för guiden (R_1). Kontaktytan blir en cirkel och maximala trycket p_{max} ges av ekvation (24).

$$p_{max} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\frac{3F_n * E_{eff}^2}{2} * R_t^2}{2 * (1 - v_{eff}^2) * R_t^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (24)$$

Lös ut F_n ger:

$$F_n = \frac{4 * (p_{max} * \pi)^3 * (1 - v_{eff}^2)^2 * R_t^2}{3 * E_{eff}^2} \quad (25)$$

Där:

$$\frac{(1 - v_{eff}^2)^2}{E_{eff}^2} = \frac{1}{4} * \left(\frac{1 - v_1^2}{E_1} + \frac{1 - v_2^2}{E_2} \right)^2 \quad (26)$$

För att analysera ett tänkbart fall beräknas största normalkraften innan plastisk deformation sker. Det vill säga när $p_{max} = R_{p0.2}$. Följande variabler analyseras i tabell (3):

$v_1 = v_2 = 0,3$
$R_t = \frac{0,17}{2} m$
$E_1 = E_2 = 205 GPa$
$p_{max} = R_{p0.2} = 250 MPa$

Tabell 3: Variabler

Insättning ger:

$$F_n = 92 N$$

Det vill säga normalkrafter $> 92 N$ deformerar ytan plastiskt.

Kontaktarean för $F_n = 92 N$ ges av:

$$\frac{F_n}{2 * R_{p0.2}} = A \quad (27)$$

Radien av cirkulära kontaktytan ges av:

$$r = \sqrt{\frac{F_n}{2 * R_{p0.2} * \pi}} \quad (28)$$

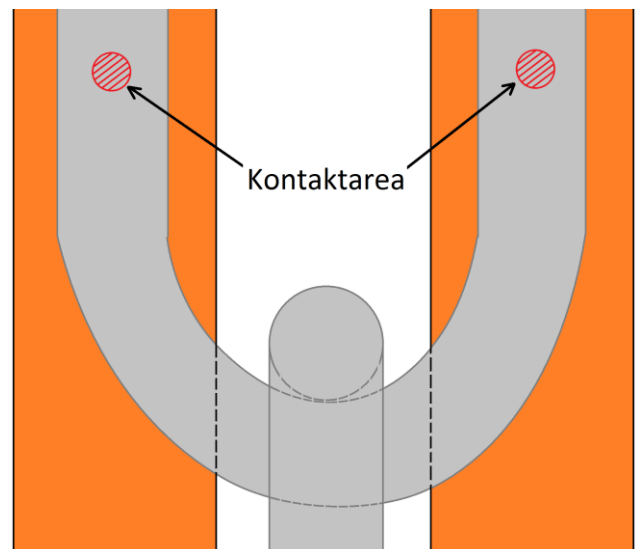
Insättning av variablerna i exemplet ger:

$$r = 0,24 mm$$

Maximala radien av en cirkulär kontaktyta innan plastisering är mycket liten i förhållande till storleken på länkar som används vid förankrings applikationer. Det är ej rimligt att normalkraften blir $\leq 92 N$ eftersom egenvikten utav en länk som ligger ovanpå guiden ger en normalkraft som är $560 kg * g = 5 493,6 N$ i exemplet.

Ytan på guiden och/eller kättingen kommer alltså lokalt att plastisera för väldigt låga krafter, enligt beräkningarna för Hertz kontakttryck, ekvation (25).

För att få en uppfattning om storleken på ytan som krävs för att bära lasten uppskattas kontaktytan som en cirkel. Uppskattningen görs för deformationen av länken, där kontakten ses som en sfär mot en halvrymd på samma sätt som för Hertz ekvation.



Figur (31) Illustration av kontaktpunkten sedd uppifrån.

Figur (31) Illustrerar kontaktpunkterna som skall bära upp normalkraften. För att uppskatta minsta cirkelradien som krävs att för bära upp normalkraften används ekvation (28).

Arean analyseras för följande variabler:

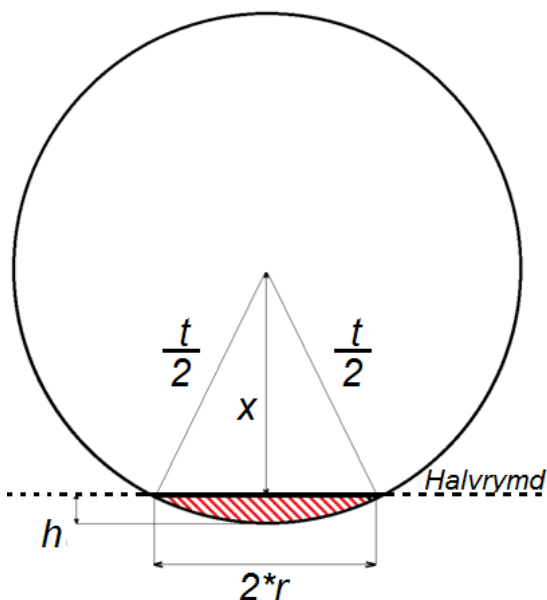
$F_1 = 30 \text{ ton}$
$R_1 = 1 \text{ m}$
$\alpha_{max} = 100^\circ$
$l = 0,7 \text{ m}$
$R_{p0.2} = 250 \text{ MPa}$
$\mu = 0,3$

Tabell 4: Variabler

Största normalkraften F_n ges av figur (30) $\approx 770 \text{ kN}$.

Insättning av variablerna i tabell (4) och $F_n = 770 \text{ kN}$ ger:
 $r = 0,022 \text{ m} = 22 \text{ mm}$

För att bära upp lasten för det givna exemplet uppskattas kontaktytan till en cirkel med radien 22mm.



Figur (32) Uppskattat djup på deformation.

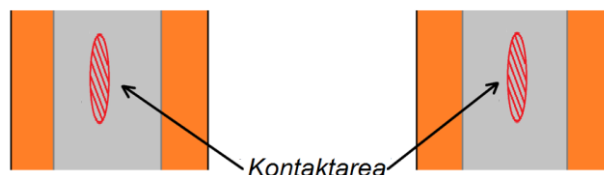
För att uppskatta djupet på deformationen i länken används figur (32). r är radien på cirkel som ges av ekvation (28) och $\frac{t}{2}$ är halva godstjockleken (diametern) på en länk.

Geometrin ur figur (32) ger:

$$h = \frac{t}{2} - \sqrt{\left(\frac{t}{2}\right)^2 - r^2} \quad (29)$$

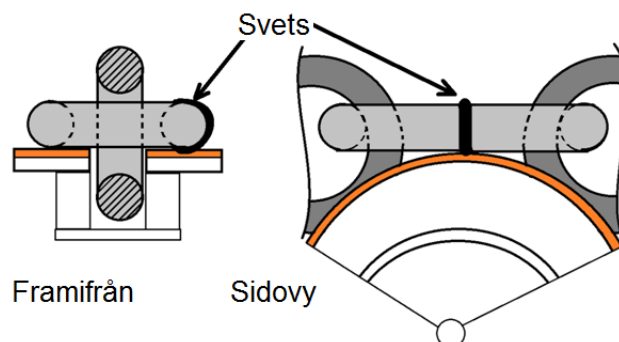
För det givna exemplet där $r = 22 \text{ mm}$ och $\frac{t}{2} = 85 \text{ mm}$ ger insättning:
 $h = 2,9 \text{ mm}$

Exemplet som ges är enbart en uppskattning av kontaktytan som krävs för att hamna under sträckgränsen för materialet eftersom plastisering sker innan arean är uppnådd. Vid flertalet dragningar över guiden kan kontaktytans utseende förändras till en ellipsformad kontaktarea, enligt figur (33).



Figur (33) Förändrad kontaktpunkt

Plastisering kommer att ske tills dess att kontaktytan är tillräcklig för att bära lasten inom sträckgränsen och elastisk deformation av materialet.



Figur (34) Svets på länken.

Länken är svetsad i verkligheten enligt figur (34) vilket medför förändrade materialegenskaper, till exempel ändras sträckgränsen vid svetsen. Geometrin på kontaktpunkten förändras också vid svetsen. Radien för kontakten när kontaktpunkten ligger mitt på svetsen blir även mindre än $\frac{t}{2}$.

Kontakten är ej kontrollerad med hjälp av datorstödda spänninganalyser, FE-beräkningar. För att analysera hur kontaktytorna beter sig med FE-beräkningar krävs det att både plastisk- och

elastisk- deformation tas med i beräkningarna eftersom plastisk deformation av länken sker för väldigt låga krafter.

En analys med enbart elastiska element skulle resultera i liknande resultat som Hertz kontakttryckt, ekvation (25). För att få fram resultaten med FE-beräkningar skulle modellen av kontakten behöva vara förfinad och kräva onödigt stor datorberäkningskraft för att få liknande resultat som Hertz kontakttryck. [6]

12 Slutsatser

Vid dimensionering och konstruktion av guider i förankringssystem kan flertalet konstruktionsparametrar varieras, till exempel radien på guiden, omslutningsvinkeln och avståndet mellan guider. Varje parameter har inverkan på den slutliga kraften som krävs för att dra kättingen genom systemet. Själva kättingen dimensioneras oftast baserat på kriterier på plattformens totala rörelser och prestanda.

Enligt kapitel 9.1 är det den självhämmande effekten hos systemet som ger upphov till största krafterna. Konstruktionsparametrarna bör väljas för att minimera den självhämmande effekten. Detta bör göras med hänsyn till de restriktioner som finns avseende utrymme och korridorer där kättingen obehindrat kan ta sig fram.

12.1 Konstruktionsparametrar

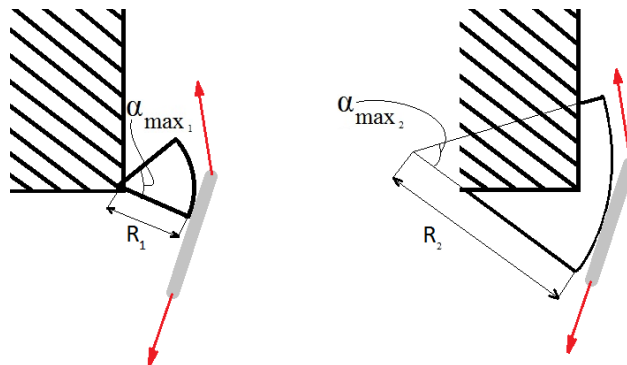
Kättingens form och material går ej att variera eller ändra eftersom den är dimensionerad baserad på andra aspekter och krav sedan tidigare. Utrymmet och kraften F_1 (som beror på egenvikten hos kättingen som hänger ner i ankarboxen) är oftast också givna sedan tidigare i konstruktionsarbetet av plattformen. De parametrar som går att variera är radien R_1 på guiden, omslutningsvinkeln α_{max} och positioneringen av guiderna inom tillgängligt utrymme.

Radien på guiderna har inverkan på variationen av kraften F_2 när länken glider över guiden. När radien ökar på guiden minskar variationen av kraften F_2 för fallet med en kontaktpunkt.

Eftersom det är den självhämmande effekten hos fallet för en kontaktpunkt som kan ge upphov till största krafterna för F_2 bör området för en kontaktpunkt minskas genom att öka radien på guiden. När radien ökat tillräckligt mycket så kan även antalet kontaktpunkter öka. Enligt kapitel 9 är detta positivt eftersom den självhämmande effekten hos systemet minskar och närmare efterliknar Capstans ekvation.

Låga omslutningsvinklar minskar krafterna i systemet generellt. För en given radie kan antalet kontaktpunkter vara få om omslutningsvinkeln är låg, vilket medför en stor självhämman-

deeffekt. För att bedöma om det är möjligt att öka omslutningsvinkel på en guide och därmed minska självhämmande effekten bör detta analyseras för det givna fallet med hjälp av beräkningarna. Detta gäller dock enbart för en given radie.



Figur (35) Jämförande bild av olika utformningar av guide.

För en minskad omslutningsvinkel är det ofta möjligt att öka radien på guiden utan att överstiga utrymmesrestriktionerna. Figur (35) illustrerar två guider där den vänstra har större omslutningsvinkel och mindre radie än den högra guiden. Båda guiderna är inom utrymmesrestriktionen, i detta fall bör den högra guiden väljas före den vänstra. Att öka radien bör göras i första hand för att öka kontaktpunkterna istället för att öka omslutningsvinkeln.

Guidernas position inom tillgängligt utrymme beaktas. Exempelvis kan det vara fördelaktigt att positionera två guider med ett litet avstånd mellan guiderna för att kunna öka radien hos guiderna. Om detta görs analyseras systemet så att omslutningsvinkeln ej ökar på grund av det minskade avståndet. Enligt kapitel 10.2 kan omslutningsvinkel öka om två guider är positionerade med ett litet avstånd mellan varandra vilket ger högre krafter. Avståndet mellan guider utvärderas för det aktuella fallet.

12.2 Friktions problem

Frilagda ekvationen för problemet hanterar friktionen som en fix koefficient μ , enligt Coulombs friktion [3]. I verkligheten varierar μ mycket och är svår att förutse och bestämma. Variationen av μ beror på olika faktorer så som material, värme, ytspänning och korrosion. För att undvika svårigheten att bestämma μ kan systemet analyseras för olika fixa friktionskoeffi-

cienter. På detta sätt kan funktionen av systemet säkras, det vill säga att kättingen går att dra ut ur ankarboxarna.

Friktionskoefficienten varierar i beräkningarna tills att dimensionerande faktorn är uppnådd, till exempel högst tillåten dragkraft.

Friktionskoefficienten läses av när systemet precis uppnår dimensionerande faktorn. Friktionskoefficienten som läses av utvärderas sedan för att bedöma om det är ett rimligt värde för det aktuella fallet.

En hög avläst friktionskoefficient ($> 0,4$) betyder att dimensionerande faktorn troligtvis ej kommer uppnås. Eftersom stål mot stål kontakt vanligtvis har en friktionskoefficient på $0,1 \rightarrow 0,3$ [3, tabell 4.1.1]. Dock kan friktionskoefficienten öka för höga normalkrafter [3].

En låg friktionskoefficient ($< 0,1$) betyder dock att den dimensionerande faktorn kommer uppnås och problem med låsning av kättingen kan uppstå, eftersom stål mot stål kontakt vanligtvis har en friktionskoefficient som är $0,1 \rightarrow 0,3$. Åtgärder för att minska krafterna i systemet måste tas, se kapitel 11.3.

När den avlästa friktionskoefficienten befinner sig inom intervallet $0,1 \rightarrow 0,3$ är det svårt att bedöma om dimensionerande faktor kommer uppnås. Eftersom att höga normalkrafter kan ge upphov till högre friktionskoefficienter bör åtgärder tas enligt kapitel 11.3.

Alltså en hög tillåten friktionskoefficient som läses av från beräkningarna ger gynnsammare fall för systemet.

Beräkningsgången illustreras i ett fiktivt exempel där resultaten från figur (20) analyseras.

- maximal tillåten dragkraft sätts till 115 ton i exemplet.

Enligt figur (20) ger $\mu = 0,5$ en maximal kraft på ≈ 112 ton vilket är nära dimensionerande faktorn 115 ton i detta exempel.

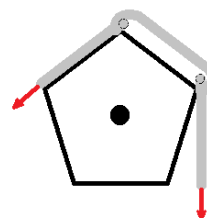
Friktionskoefficienten 0,5 är förhållandevis hög för stål mot stål kontakt [3, tabell 4.1.1]. Därför

kommer systemet troligtvis att befinna sig inom den dimensionerande faktorn i exemplet. Systemet är alltså godkänt.

12.3 Förbättringar

Åtgärder som kan utföras när dimensionerande faktorn ej går att uppfylla är att byta ut en guide mot ett hjul. Anledningen till att inte byta ut alla guider mot hjul är att hjulen är mer komplexa än guider. Detta ökar svårigheten att bygga en guide och därmed ökar kostnaderna. Guiderna som förlängningskättingen glider på används ett fåtal gången under en plattformens livstid.

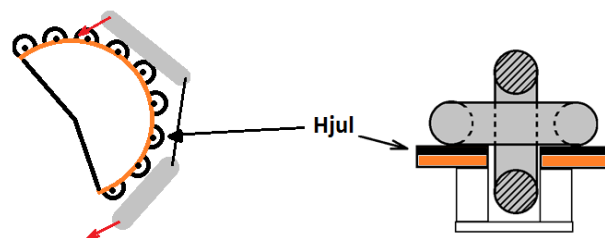
Kättinghjul som kan användas är sedan tidigare beprövade inom offshore- och marina konstruktioner.



Figur (36) Exempel på ett utseende för ett kättinghjul.

Exempel på utformningen av ett sådant hjul kan se ut som figur (36). Utrymmet som guiderna placeras på är ofta begränsat, därför kan en sådan hjulkonstruktion vara begränsande.

För att minska utrymmet som används kan en hjulkonstruktion utformas som en guide. Ekvationen (14) för den frilagda länken gäller även för en guide med hjul, friktionskoefficienten antas vara noll för hjulen.



Figur (37) Konzeptguide med rullande hjul.

Figur (37) illustrerar hur en guide kan konstrueras med hjul. Guiden med hjul kan placeras på ett hörn och därmed ta mindre plats än fullstora hjul. Normalkraften beräknas enligt samma ekvation (9) som innan och används vid dimensionering av hjul/hjullager i guiden.

13 Resultat

Syftet med rapporten var att ta fram riktlinjer för konstruktion av kättingguider och förbättra förståelse av krafterna och spänningarna i systemet. Riktlinjerna behandlar kort hur olika konstruktionsparametrar påverkar systemet, se bilaga 1.

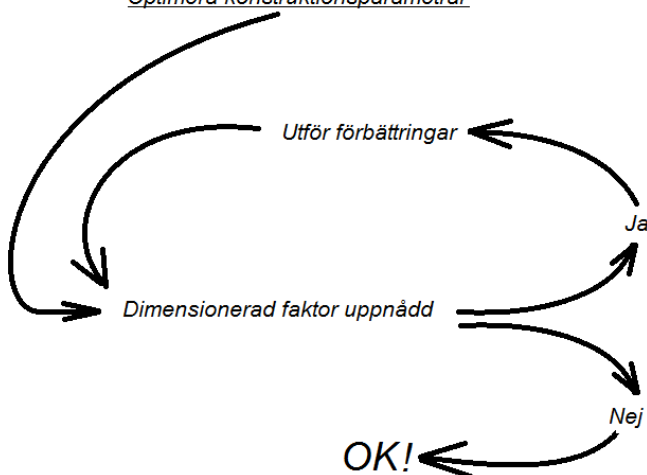
Med hjälp av analyserna av systemet och ekvationerna för den frilagda länken har en förslagen arbetsgång vid dimensionering av guider tagits fram.

13.1 Arbetsgång

Vid konstruktion av ett ankarsystem med guider optimeras systemet geometriskt enligt kapitel 11.1 inom de restriktioner som finns (utrymme till exempel).

När optimering är utförd kontrolleras friktionskoefficienten enligt exemplet i kapitel 11.2. Efter utvärderingen av friktionskoefficienten avgörs det om systemet är inom de dimensionerande faktorerna. Om systemet hamnar utanför de dimensionerande faktorerna bör ytterligare åtgärder göras, till exempel ändra konfigurationen, flytta kättingboxar eller använda kättinghjul, enligt kapitel 11.3. Detta görs om tills systemet är godkänt.

Optimera konstruktionsparametrar



Figur (38) Förslag på arbetsgång

Figuren illustrerar ett förslag på arbetsgången vid dimensionering av guider. Genom att analysera systemet med den här föreslagna arbetsgången minimeras användandet av förhållandevis dyra och komplicerade konstruktioner så som guidehjul.

13.2 Krafter

De största dragkrafterna F_2 och största normalkraften F_n uppstår när systemet övergår till en länk i kontakt, enligt kapitel 9. Det vill säga när kättingen har möjlighet att "gena" som mest genom guiden.

13.3 Spänningar

Spänningen i kontaktpunkten beror på storleken på normalkraften F_n . Normalkraften F_n som krävs för att plastiskt deformera kättingen är mycket mindre än F_n . Kontaktytan kommer plastisera.

En uppskattning av deformationen kan göras med hjälp av ekvation (28) och (29). Detta är enbart en uppskattning av deformationen eftersom kontaktytans geometri förändras.

14 Fortsatta studier

Fortsatta studier på guidesystem kan förenkla arbetet med konstruktion och dimensionering av guider. Huvudsakliga områden som kan studeras är: spänning i kontaktpunkter, utformning av guider, friktion, tre-dimensioner, förenkling av beräkningsmetod.

14.1 Spänning i kontaktpunkter

Analys av spänning i kontaktpunkten kan ge bättre förståelse för plastiseringen som sker i glidplåten. Detta skulle kunna göras med hjälp av lämpliga FEM-modeller där elastisk och plastisk deformation tas med i beräkningen. Eftersom plastisering av glidplåten sker för låga krafter är det intressant att analysera konsekvenserna av detta, exempelvis hur friktionen påverkas. Riktlinjer och krav för storleken på området som får utsättas för plastisering i förhållande till länkarnas storlek kan vara lämpligt att ta fram.

14.1 Utformning av guider

Vidare föreslås studier och analyser av utformning av guider för konstruktioner som minskar självhämmandeeffekten där kättingen måste runda små radier. Exempelvis analysera vilka åtgärder som kan göras för att utöka kontaktpunkterna till de vertikala länkarna som i dagens system "genar" genom guiden och gör så att den självhämmande effekten uppstår.

14.2 Friktion

Studier inom friktion där analyser av de betydande faktorerna för friktionskoefficienten rekommenderas. Exempel på faktorer som kan analyseras är: normalkraftens påverkan på friktionskoefficienten, material på glidplåten/kättingen och smörjmedel. En modell för friktionens beteende vid kontaktytan skulle i framtiden kunna eliminera behovet av att variera friktionskoefficienten för att sedan utvärderas, enligt kapitel 11.2.

14.3 Tre-dimensioner

Nuvarande beräkningar sker endast i två-dimensioner. För att utöka förståelsen och kunna beräkna krafterna för fler scenarier är studier för att analysera problemen i tredimensioner lämpligt. Studierna kan analysera vilken

maximal torsion varje länk kan ta upp. Vidare analys där kättingen svänger i sidled samt vilka vinklar som är möjliga att svänga i sidled kan göras för att få mer kunskap kring kättingens begränsningar.

14.4 Förenkling av beräkningsmetod

Den frilagda ekvationen (14) för länken kräver beräkningsprogram liknande Matlab för att få fram resultat inom rimlig tid och arbetsinsats. Enligt tidigare avsnitt beror skillnaderna mellan Capstans ekvation och frilagda ekvationen (14) på den självhämmande effekten systemet har.

Genom att eliminera den självhämmande effekten i systemet enligt 12.2 går det att beräkna krafterna med hjälp av Capstans ekvation entydligt. En metod för att beräkna normalkraften och därmed spänningen i kontaktpunkten behövs i sådana fall.

Referenser

- [1] Olsson, Karl-Olof. *Maskinelement* (2006). Liber, Stockholm. ISBN 978-92-47-05273-8. Andra upplagan
- [2] Kungliga Tekniska Högskolan. *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära*. (1998) KTH. Stockholm
- [3] Grahn, Ragnar och Jansson, Per-Åke. *Mekanik* (2002). Studentlitteratur, Lund. ISBN 91-44-01909-2. Andra upplagan
- [4] Götaverken Arendal Consultants AB. (2013) GVAc, Göteborg. Tillgänglig på internet: <http://www.gvac.se/thunderhorse/> [Hämtad 2013-05-24]
- [5] Häkkinen Johnny, Vainalis Ricky och Vuckic Asmir. *Utförning av en generationsplan för oljeplattformar* (2010). Chalmers tekniska högskola. Rapport nummer: E2010:057
- [6] Muntlig källa, Thelin Anders (anders.thelin@gvac.se) (2013-05-22) Samtal
- [7] Götaverken Arendal Consultants AB. (2013) GVAc, Göteborg. Ritning tillgänglig på GVAc intranät

Bilagor

Bilaga 1 Riktlinjer:

Riktlinjer för dimensionering av guider till kättingar

Riktlinjer behandlar konstruktionsparametrar vid dimensionering av guider. Grunden för informationsbladet är examensarbetet "Förankringskätting på guider för offshore bruk, Rapport nr: 99/2013". För mer information se examensarbetet. För att minska krafterna i systemet optimeras konstruktionsparametrarna. Vid dimensionering kan följande konstruktionsparametrar varieras:

- Omslutningsvinkel
- Radie
- Placering av guide

Andra konstruktionsparametrar är givna sedan tidigare, exempelvis kättingens utformning. Inverkan som konstruktionsparametrarna har på systemet är förenklat beskrivet i informationsbladet. Fördjupad analys av konstruktionsparametrarna finns i examensarbetet.

Antal länkar i kontakt

Få länkar i kontakt kan leda till ökade krafter i jämförelse mot Capstans ekvation (1). För att beräkna dragkraften över en guide i systemet med Capstans ekvation (1) bör antalet länkar i kontakt vara fler än två.

$$\text{Capstans ekvation } F_2 = F_1 * e^{(\mu * \alpha_{max})} \quad (1)$$

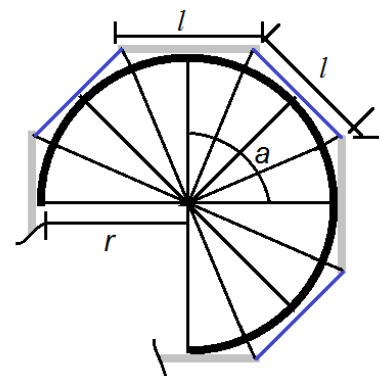
För att ta reda på antalet länkar i kontakt för en given radie, omslutningsvinkel och länklängd kan en förenklad ekvation (2) för vinkeln a i figur (1) användas. Vinkeln a jämförs sedan mot omslutningsvinkel av hela guiden.

$$a = 4 * \tan^{-1} \left(\frac{l}{2r} \right) \quad (2)$$

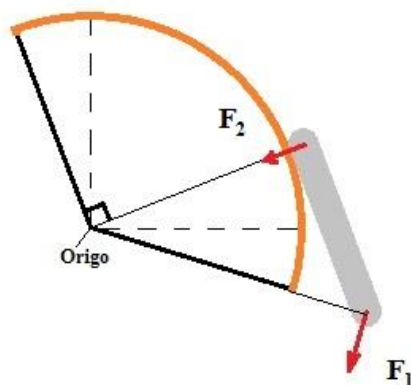
för $l = 0,7$ och $r = 1$ ger ekvation (2) $\approx 77^\circ$ mellan länkarna i kontakt.

För $l = 0,7$ och $r = 1$ måste alltså omslutnings vinkel a vara $> 2 * 77^\circ = 154^\circ$ för att få fler än två länkar i kontakt.

Skillnaderna i kraft mellan Capstans ekvation och verkligheten beror på hur mycket kättingen kan "gena" genom guiden. Om kättingen "genar" väldigt mycket genom guiden uppstår det självhämning. Figur (3) visar en länk på en guide som fullständigt självhämmar. Det vill säga oavsett kraft kommer länken ej glida förbi läget på figur (3). Effekterna av självhämning finns i systemet trots att fullständig självhämning ej uppstår. Effekten är stor för få länkar i kontakt.

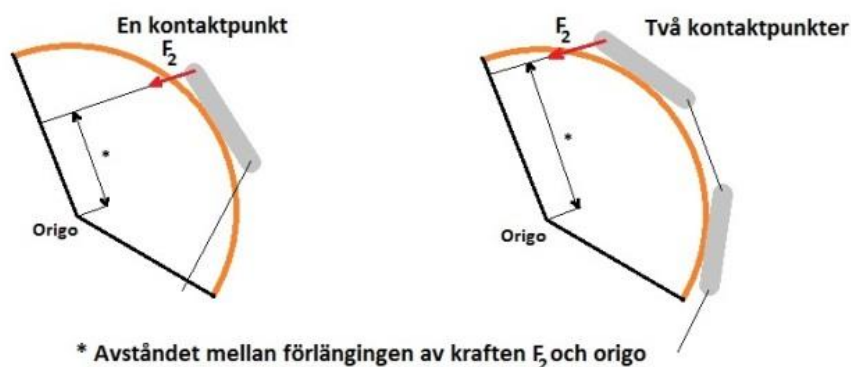


Figur 1 – Antal länkar i kontakt



Figur 2 - Självhämning

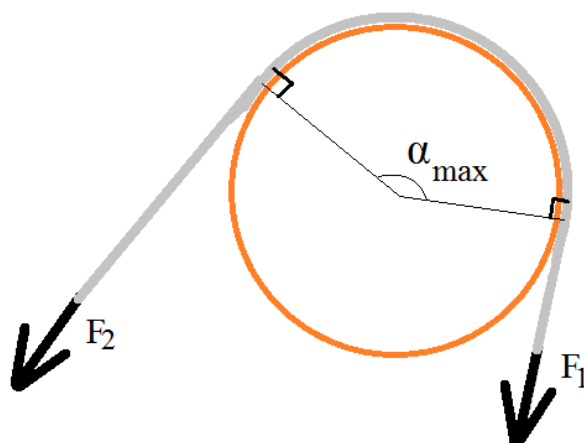
För att illustrera hur antalet kontaktpunkter påverkar skillnaderna mellan verkliga lasten och Capstans ekvation illustreras två fall bredvid varandra i figur (3). Avståndet mellan förlängningen av kraften F_2 och origo är större för två kontaktpunkter enligt figur (3). Det vill säga fallet med två kontaktpunkter ”genar” mindre vilket ger krafter som närmare efterliknar Capstans ekvation. Avstånd mellan förlängningen av kraften F_2 och origo som är mindre än radien på guiden ger upphov till självhämmande effekten.



Figur 3 – En och två länkar i kontakt

Omslutningsvinkel

Omslutningsvinkeln är vinkeln mellan punkten där länken glider på- och av- guiden kallad α_{max} , enligt figur (4). Omslutningsvinkeln påverkar krafterna i systemet likt Capstans ekvation (1). Det vill säga kraften ökar exponentiellt med omslutningsvinkeln. Därför bör omslutningsvinkeln minimeras i de flesta fall. Låga omslutningsvinklar kan ha få kontaktpunkter, detta bör analyseras för det aktuella fallet.

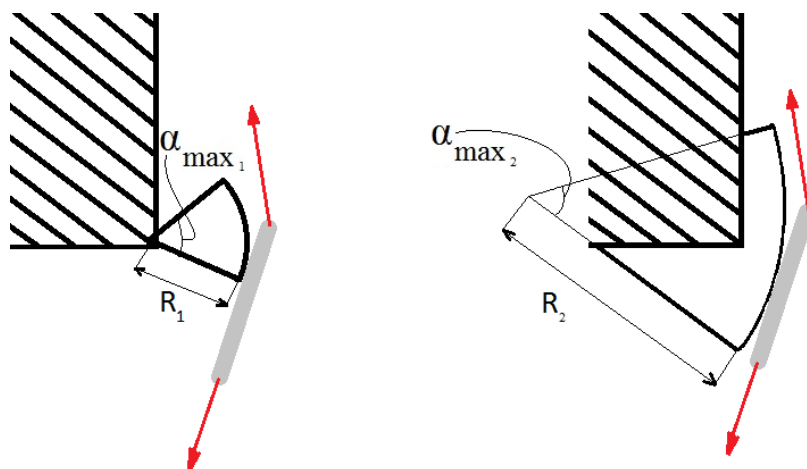


Figur 4 - Omslutningsvinkel

Radie på guiden

Små radier på guiden bör undvikas eftersom antalet länkar i kontakt minskar för små radier.

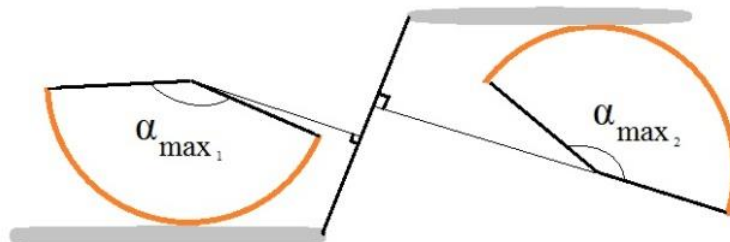
Figur (5) visar två olika utformningar av en guide där båda utnyttjar likvärdigt utrymme. Den högra guiden med större radie är att föredra.



Figur 5 – Olika konstruktionsparametrar för en guide

Guider i serie

Om ett kättingsystem är uppbyggt av flera guider i rad kan beräkningarna med Capstans ekvation (1) skilja sig från verkligheten. Detta är på grund av att krafterna i systemet är av exponentiell karaktär, därmed blir skillnader mellan Capstans ekvation och verkligheten exponentiellt förstörade.



Figur 6 – Ökad omslutningsvinkel på grund av guiderna position

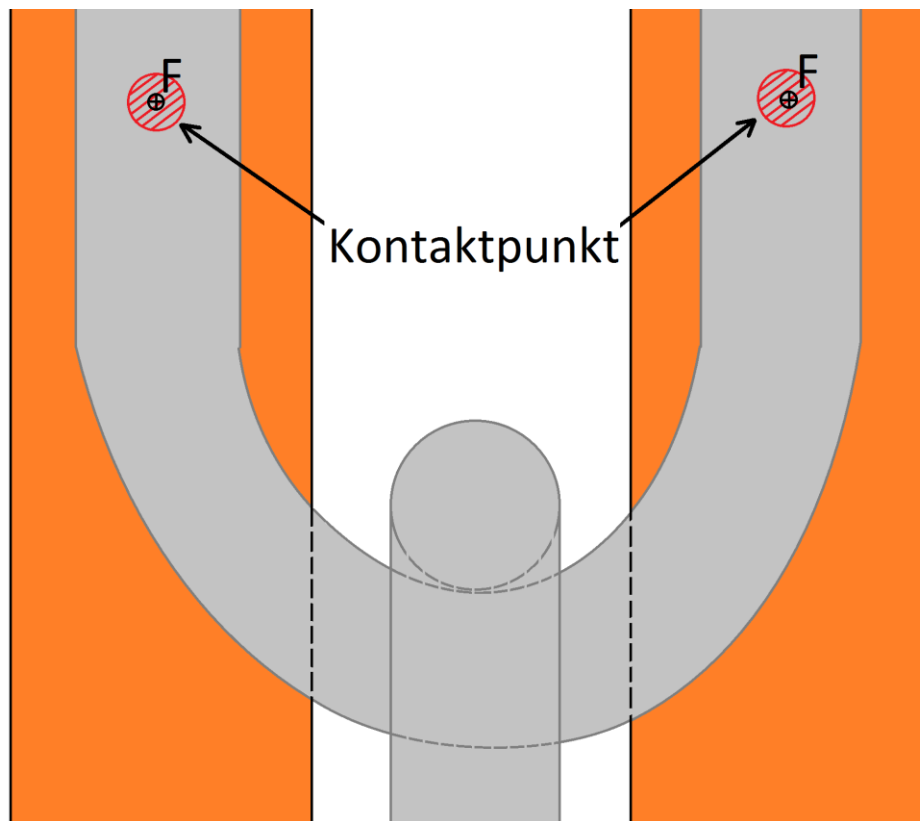
Positionen av två guider i serie kan öka omslutningsvinkeln. Enligt figur (5) har omslutningsvinkeln ökat på grund av stora länkar i förhållande till radien och avståndet mellan guiderna, vilket bör tas i hänsyn vid beräkningar.

Kontaktytans egenskaper

Kontaktpunkterna är två korsade cylindrar vilket ger oändligt höga spänningar i kontakten om systemet analyseras stelt, eftersom kontaktpunkten är oändligt liten. Därför måste problemet analyseras elastiskt. Med hjälp av Hertz kontakttryck (3) går det att beräkna kraften som krävs för att plastiskt deformera materialet.

$$F = \frac{4 \cdot (R_{p0.2} \cdot \pi)^3 \cdot (1 - \nu_{eff}^2)^2 \cdot R_t^2}{3 \cdot E_{eff}^2}, \text{ där } \frac{(1 - \nu_{eff}^2)^2}{E_{eff}^2} = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^2 \text{ och } R_t \text{ är radien på länken. (3)}$$

Kraften som krävs för att plastiskt deformera ytan är dock mycket mindre än krafterna som verkar i ett kättingsystem. Kontakten mellan guide och kätting kommer alltså plastisera till en viss grad.



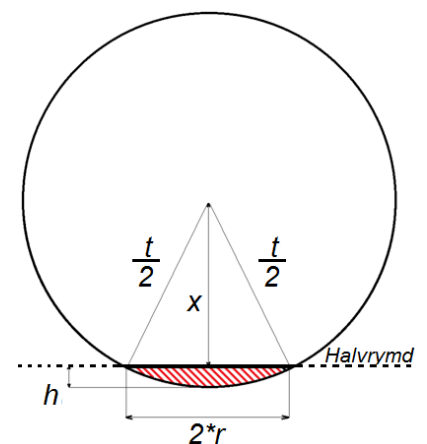
Figur 7 - Kontaktytor

En förenklad uppskattning av deformationen kan göras med hjälp av ekvation (4) om kraften F i kontaktpunkten är känd. Kraften F i ekvation (4) är kraften som påverkar en punkt, enligt figur (7). Ytan som bildas vid deformation kan ses som en cirkel, enligt figur (7). Radien på cirkel som krävs för att bära upp lasten kan uppskattas med hjälp av ekvation (4).

$$r = \sqrt{\frac{F}{R_{p0.2} * \pi}} \quad (4)$$

För att uppskatta djupet h på deformationen enligt figur (8) används ekvation (5).

$$h = \frac{t}{2} - \sqrt{\left(\frac{t}{2}\right)^2 - r^2} \quad (5)$$



Figur 8 - Deformationsdjup

Friktion

Friktionskoefficienten mellan två material är ofta svår att bestämma och kan variera på grund av yttre påverkan så som korrosion, smuts och krafter på kontakten. Eftersom friktionskoefficienten är svår att bestämma är det rekommenderat att räkna ut högst tillåten friktionskoefficient med hjälp av dimensionerande faktorer. Exempel på hur detta kan göras finns i rapporten kapitel 11.2 ”Dimensionering.

Bilaga 1 Matlab kod:

```
clc; clf; clear all; close all;
my = 0.3:0.01:0.3;
alfamax = (100*pi/180):(1*pi/180):(100*pi/180);

procent=zeros(size(alfamax));
medell=zeros(size(alfamax));
medel2=zeros(size(alfamax));
capstan=zeros(size(alfamax));
X3 = linspace(min(alfamax),max(alfamax),length(alfamax))*180/pi;

procent=zeros(size(my));
medell=zeros(size(my));
medel2=zeros(size(my));
capstan=zeros(size(my));

% for j=1:length(my)
for j=1:length(alfamax)

R1 = 1; %Radie guide 1
R2 = 1; %Radie guide 2
R3 = 4; %Radie guide 3
l1 = 0.7; %Länklängd
f1 = 30;

my = 0.3:0.01:0.3;
% my = my(j);
alfamax = (100*pi/180):(1*pi/180):(100*pi/180);
alfamax = alfaamax(j);

n = 10000;
fi12max = (atan(l1/(2*R1)))*2;

%Startpunkt för 1 länk
alfalint = linspace(alfamax-fi12max*2,alfamax,n);
l1fi=zeros(length(n));
for i=1:n;

fi2 =linspace(0,fi12max,n);
v1=alfalint(i)-fi2;
v2=alfamax+fi2-alfalint(i);

A=(my*l1/R1).*cot(fi2)+cot(v1)-(l1/R1).*cot(fi2).*cot(v2)+cot(v2);
[value, index]=min(abs(A));

fi2=(index/n)*(fi12max);
v1=alfalint(i)-fi2;
v2=alfamax+fi2-alfalint(i);
l2=R1./cos(fi2);

l1fi(i)=sqrt(l2.^2+R1.^2-2*R1*l2.*cos(alfamax-alfalint(i)));
```

```

end
[value2, index2]=min(abs(l1fi-l1));
start1=((n-index2)/(n+1))*(fil2max*2);

%Slutpunk för 1 länk
alfa2int = linspace(0,fil2max*3,n);
l2fi=zeros(length(n));
for i=1:n;

    fi2 =linspace(0,fil2max,n);
    v1=alfa2int(i)-fi2;
    v2=alfamax+fi2-alfa2int(i);

    A=(my*l1/R1).*cot(fi2)+cot(v1)-(l1/R1).*cot(fi2).*cot(v2)+cot(v2);
    [value, index]=min(abs(A));

    fi2=(index/n)*(fil2max);
    v1=alfa2int(i)-fi2;
    v2=alfamax+fi2-alfa2int(i);
    l3=R1./(cos(atan((l1/R1)-tan(fi2)))));

    l2fi(i)=sqrt(l3.^2+R1.^2-2*R1*l3.*cos(alfa2int(i)-(fi2+atan((l1/R1)-
tan(fi2))))));

end
[value3, index3]=min(abs(l2fi-l1));
slut1=(index3/n)*(fil2max*3);

alfa1 = linspace(alfamax-start1,slut1,n);
X1 = linspace(min(alfa1),max(alfa1),n)*180/pi;
alfa2 = linspace(slut1+0.0175,alfamax+atan(l1/R1)-0.0175,n);
X2 = linspace(min(alfa2),max(alfa2),n)*180/pi;
X3 = linspace(min(alfa2)-2*fil2max,max(alfa2)-2*fil2max,n)*180/pi;

% 1 Länk

B=zeros(length(n));
f2=zeros(length(n));
fn1=zeros(length(n));
for i=1:n;

    fi2 =linspace(0,fil2max,n);
    v1=alfa1(i)-fi2;
    v2=alfamax+fi2-alfa1(i);

    A=(my*l1/R1).*cot(fi2)+cot(v1)-(l1/R1).*cot(fi2).*cot(v2)+cot(v2);
    [value, index]=min(abs(A));

    fi2=(index/n)*(fil2max);
    v1=alfa1(i)-fi2;
    v2=alfamax+fi2-alfa1(i);

    B(i)=fi2*180/pi;
    f2(i)=f1*(sin(v1)*(l1-tan(fi2)*R1))/(sin(v2)*tan(fi2)*R1);
    fn1(i)=f1*(sin(v1))*9.81+f2(i)*(sin(v2))*9.81;

end

```

```

%       figure(1);
%       plot(B, 'LineWidth', 2)
%       title('1 Länk fi2 i grader')

%       figure(2);
%       hold on
%       plot(X1, f2, 'LineWidth', 2)
%       xlabel('Vinkel i grader')
%       ylabel('Motvikt i ton')
%       title('1 Länk f2')

% 2 Länkar

C=zeros(length(n));
C1=zeros(length(n));
f21=zeros(length(n));
fn2=zeros(length(n));
for i=1:n;

    fi2 =linspace(0, fi12max, n);
    v1=alfa2(i)-fi12max*2-fi2;
    v2=fi2+fi12max/2;

    A=(my*l1/R1).*cot(fi2)+cot(v1)-(l1/R1).*cot(fi2).*cot(v2)+cot(v2);
    [value, index]=min(abs(A));

    fi2 =(index/n)* (fi12max);
    v1=alfa2(i)-fi12max*2-fi2;
    v2=fi2+fi12max/2;

    C(i)=fi2*180/pi;
    f21(i)=f1*(sin(v1)*(11-tan(fi2)*R1))/(sin(v2)*tan(fi2)*R1);
    fn2(i)=f1*(sin(v1))*9.81+f21(i)*(sin(v2))*9.81;
end

%       figure(3)
%       plot(C, 'LineWidth', 2)
%       title('2 Länkar fi2 i grader')
%
%
%       figure(4)
%       plot(X3, f21, 'LineWidth', 2)
%       title('2 Länkar f2')

D=zeros(length(n));
f3=zeros(length(n));
fn3=zeros(length(n));
for i=1:n;

    fi4 =linspace(0, fi12max, n);
    v3=atan((l1/R1)-tan(fi4))+fi12max/2;
    v4=alfamax+fi4-alfa2(i);

```

```

A=(my*l1/R1).*cot(fi4)+cot(v3)-(l1/R1).*cot(fi4).*cot(v4)+cot(v4);
[value, index]=min(abs(A));

fi4=(index/n)*(fi12max);
v3=atan((l1/R1)-tan(fi4))+fi12max/2;
v4=alfalmax+fi4-alfa2(i);

D(i)=fi4*180/pi;
f3(i)=f21(i)*(sin(v3)*(l1-tan(fi4)*R1))/(sin(v4)*tan(fi4)*R1);
fn3(i)=f3(i)*(sin(v3))*9.81+f21(i)*(sin(v4))*9.81;
end

% figure(5)
% plot(D,'LineWidth',2)
% title('2 Länkar fi4 i grader')
%
%
% figure(6)
% hold on
% plot(X2,f3,'Color',[1 137/225 39/225],'LineWidth',2)
% xlabel('Vikel i grader')
% ylabel('Motvikt i ton')
% title('2 Länkar f3')
%

% procent(j)=(sum(f3)/(length(f3))-
f1*exp(my*alfalmax))/(f1*exp(my*alfalmax))*100;
medell(j)=(sum(f2)/(length(f2)));
medel2(j)=(sum(f3)/(length(f3)));
capstan(j)=f1*exp(my*alfalmax);

figure(7)
plot(X1,f2,'LineWidth',2);
hold on
plot(X2,f3,'Color',[1 137/225 39/225],'LineWidth',2)
title('1 och 2 länkar')
xlabel('Vikel i grader')
ylabel('Motvikt i ton')

end

% figure(8)
% plot(procent,'LineWidth',2)
% title('Procent fel mot Capstan')

% figure(9)
% plot(medell,'LineWidth',2);
% hold on
% plot(medel2,'k','LineWidth',2);
% hold on
% plot(capstan,'Color',[1 137/225 39/225],'LineWidth',2)
% hold on
% title('Orange=Capstan Blå=Medel av 1 länk Svart=Medel av 2 länkar')
% xlabel('Antal datapunkter')

```

```
% ylabel('Motvikt i ton')

% figure(10)
% plot(X3,medel1,'LineWidth',2);
% hold on
% plot(X3,medel2,'Color',[1 137/225 39/225],'LineWidth',2);
% hold on
% plot(X3,capstan,'k','LineWidth',2)
% hold on
% title('Orange=Medel av 2 länkar      Blå=Medel av 1 länk      Svart=Capstan')
% xlabel('Omslutningsvinkel i grader')
% ylabel('Motvikt i ton')
```

```
figure(10)
plot(X1,fn1,'LineWidth',2);
hold on
plot(X2,fn3,'Color',[1 137/225 39/225],'LineWidth',2);
hold on
plot(X3,fn2,'k','LineWidth',2);
hold on
title('Normalkraften för samtliga länkar (en och två kontaktpunkter)')
xlabel('Vinkel alfa i grader')
ylabel('Kraften Fn [kN]')
```