



## Utveckling av länkarssystem för motordrivna industriportar

*Development of linkage system for motorized industrial doors*

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskiningenjör

FREDRIK LILLÄNG

Institutionen för Tillämpad mekanik  
Avdelningen för dynamik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2013  
Examensarbete 2013:06

# Utveckling av länkarmssystem för motordrivna industriportar

*Development of linkage system for motorized industrial doors*

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskiningenjör

FREDRIK LILLÄNG

Institutionen för Tillämpad mekanik  
*Avdelningen för dynamik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2013

Utveckling av länkarmssystem för motordrivna industriportar  
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskiningenjör  
FREDRIK LILLÄNG

© FREDRIK LILLÄNG, Sverige 2013

Examensarbete 2013:06 ISSN 1652-9901  
Institutionen för Tillämpad mekanik  
Avdelningen för dynamik  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:  
Fyrdelad vikport med övermonterat motorspel och länkarmssystem.  
Foto: Fredrik Lilläng

Tryckeri /Institutionen för Tillämpad mekanik  
Göteborg, Sverige 2013

# FÖRORD

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete som utförts under våren 2013.

Examensarbetet är en del av maskiningenjörsutbildningen på Chalmers tekniska högskola och omfattar 15 högskolepoäng av utbildningens totalt 180 högskolepoäng. Arbetet har utförts hos Torverk Industrial Doors i Torsby.

Jag vill rikta ett stort tack till alla som på olika sätt varit delaktiga i arbetet, både på Chalmers och på Torverk.

Ett särskilt tack riktas till Sune Olsson som har varit min handledare på Chalmers och hjälpt mig med framställningen av denna rapport.

Ett särskilt tack riktas också till Mikael Barremyr som varit min handledare på Torverk och stöttat mig i det dagliga arbetet, agerat bollplank för idéer, bidragit med nya synvinklar samt hjälpt mig till en ökad förståelse för konstruktörsrollen.

## SAMMANFATTNING

Torverk Industrial Doors i Torsby tillverkar kundanpassade industriportar. Företaget ville ha hjälp med utveckling kring sitt länkmarmssystem för motordrivna vikportar. Länkmarmssystemet är den mekaniska transmission som överför motoraxelns roterande rörelse till öppnings- och stängningsrörelse hos porten. Syftet med arbetet var att spara arbetstid vid beredning och produktion då denna är kundorderstyrd. Önskemålet var att ta fram ett modulsystem där de ingående komponenterna till största del kunde förtillverkas, detta för att spara tid i produktion. Dessutom ville man ta fram en modell för att enkelt kunna beräkna länkmarmssystemets dimensioner, något som man annars lägger mycket tid på vid beredningen. Arbetet har endast behandlat det vanligaste systemet, med en motor monterad mitt ovanför en symmetrisk fyrdelad vikport. Dessutom har ingen dimensionering av modulsystemet genomförts utan arbetet har bara berört konceptframställning.

Resultatet blev en geometrisk modell som dimensionerar hela länkmarmssystemet med endast den aktuella portbredden som indata. I samband med att modellen fastställdes så anpassades systemet för att underlätta framtagning av ett modulsystem. Tack vare detta kunde ett koncept till ett modulsystem tas fram där de flesta ingående komponenterna kan förtillverkas. Följden av dessa resultat om de implementeras i tillverkningen blir sannolikt en stor arbetsbesparing med kortare ledtider.

## SUMMARY

Torverk Industrial Doors in Torsby manufactures customized industrial doors. The company wanted help with development of their linkage system for motorized folding doors. The linkage system is the mechanical transmission that transmits the rotational movement of the motor shaft to the opening and closing movement of the door. The purpose of the work was to save time in the preparation stage and the production stage as these are customer-order-driven. The request was to develop a modular system where the included components mostly could be pre-manufactured to save production time. Additionally they wanted to develop a model for simple calculations of the dimensions of the linkage system, a procedure that takes a lot of time in the preparation phase. The work has only dealt with the most common system, with a center-mounted motor above a symmetrical four-section folding door. Furthermore there has not been any work with determining the dimensions of the modular system, there has only been development of concepts.

The result was a geometrical model that sets the dimension of the entire linkage system with only the width of the door in question as input. When defining the model the system was adjusted to ease the development of a modular system. Therefore a concept of a modular system was produced which enables most of the included parts to be pre-manufactured. If these results were to be applied in the manufacturing process there would most likely be a great reduction of labor which in turn results in shorter lead time.

# Innehållsförteckning

|       |                                        |    |
|-------|----------------------------------------|----|
| 1     | INLEDNING .....                        | 9  |
| 1.1   | Bakgrund .....                         | 9  |
| 1.2   | Syfte.....                             | 9  |
| 1.3   | Avgränsningar .....                    | 9  |
| 1.4   | Precisering av frågeställningen.....   | 9  |
| 2     | TEORETISK REFERENSRAM .....            | 10 |
| 2.1   | Allmänt om industriportar .....        | 10 |
| 2.2   | Olika typer av industriportar.....     | 10 |
| 3     | METOD.....                             | 11 |
| 3.1   | Formulering av förutsättningar .....   | 11 |
| 3.2   | Framtagning av formler .....           | 11 |
| 3.3   | Utvärdering av formler .....           | 11 |
| 3.4   | Provmontering .....                    | 12 |
| 3.5   | Modulsystem .....                      | 12 |
| 4     | LÄNKARMSSYSTEMETS UPPBYGGNAD .....     | 13 |
| 4.1   | Beskrivning av länkmarmssystemet ..... | 13 |
| 4.2   | Länkmarmssystemets funktion .....      | 14 |
| 5     | GEOMETRISK MODELL .....                | 15 |
| 5.1   | Geometriska förutsättningar .....      | 15 |
| 5.2   | Funktionella förutsättningar .....     | 17 |
| 5.3   | Modell 1.....                          | 19 |
| 5.3.1 | Resultat av Modell 1 .....             | 20 |
| 5.4   | Provmontering .....                    | 20 |
| 5.5   | Modell 2.....                          | 21 |
| 5.5.1 | Resultat av Modell 2 .....             | 22 |
| 5.5.2 | Detaljredovisning för Modell 2 .....   | 23 |
| 6     | MODULSYSTEM .....                      | 26 |
| 6.1   | Bestämning av längdintervall .....     | 26 |
| 6.2   | Vridarmen.....                         | 28 |
| 6.2.1 | Koncept 1 .....                        | 28 |
| 6.2.2 | Koncept 2 .....                        | 29 |
| 6.2.3 | Koncept 3 .....                        | 29 |
| 6.2.4 | Utvärdering av koncept .....           | 30 |

|       |                              |    |
|-------|------------------------------|----|
| 6.3   | Dragarmen .....              | 30 |
| 6.3.1 | Koncept 1 .....              | 31 |
| 6.3.2 | Koncept 2 .....              | 32 |
| 6.3.3 | Utvärdering av koncept ..... | 32 |
| 6.4   | Drivarmen .....              | 32 |
| 7     | SLUTSATS .....               | 34 |
|       | REFERENSER.....              | 35 |
|       | BILAGA 1                     |    |



# 1 INLEDNING

Detta inledande kapitel kommer att beskriva vilken bakgrunden är till detta arbete, samt vad som är syftet med detsamma. Dessutom kommer det att redogöras för vilka frågeställningar som är tänkta att besvaras, samt vad som inte kommer att behandlas.

## 1.1 Bakgrund

Torverk Industrial Doors konstruerar, producerar och säljer kundbaserade portsystem. Arbetet kommer att kretsas kring motordrivningen av Torverks egen produkt; vikporten Q-Door FX. Porten är via ett mekaniskt länkmarmssystem sammankopplad med en motor som i det aktuella fallet är monterad ovanför porten. I dagens läge tar man fram längder genom att utifrån sin erfarenhet pröva sig fram med hjälp av sitt CAD-program och tillverkar därefter de ingående armarna speciellt för varje ny port. I och med att man jobbar med kundanpassade portar kan man inte i någon större grad förtillverka de ingående delarna i länkmarmssystemet då dessa är beroende av portens mått.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att ta fram formler för beräkning av mått till länkmarmssystemet där indata ska vara portens bredd. Företagets önskemål är även att ta fram en lösning på hur länkmarmssystemet kan byggas upp av moduler som man kan tillverka separat och eventuellt lagrhålla.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet behandlar endast fyrdelade vikportar med två lika breda sektioner per porthalva. Utöver detta görs bara beräkningar för ett motorspel som sitter mitt över portöppningen. Arbetet innefattar ingen dimensionering av modulsystemet och därmed inga hållfasthetsberäkningar.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

Följande är de frågor som arbetet är tänkt att besvara:

- Kan man på ett lämpligt sätt bygga upp motordrivningens länkmarmssystem utav moduler?
- Kan man ställa upp en modell över sambandet mellan portens bredd och länkmarmssystemets lämpliga dimensioner?

## 2 TEORETISK REFERENS RAM

Här behandlas industriportar i allmänhet, vilka de vanligaste typerna är och hur de fungerar.

### 2.1 Allmänt om industriportar

I industrilokaler kan portarna vara stora energibovar. Detta beror på att portar som regel alltid har sämre isolering och täthet jämfört med en yttervägg. Om dessutom porten har en sådan funktion att den står öppen längre än nödvändigt bidrar det ännu mer till energislöseriet. Gamla portar kan vara otympliga och långsamma att öppna och stänga, speciellt som de ofta är helt manuella. Moderna portar skiljer sig inte nödvändigtvis så mycket från de äldre i fråga om funktionssätt, men är i större grad utvecklade mot bättre isolering och automatisering. (Statens Industriverk, 1987)

### 2.2 Olika typer av industriportar

Här beskrivs några av de vanligast förekommande typerna av kommersiella industriportar.

Vikport: En vikport består av två porthalvor. Respektive porthalva består av minst två sektioner. För en porthalva med två sektioner så kallas sektionen närmast karmen för karmsektion, och den andra kallas mittsektion. Karmsektionen svänger runt ett vertikalt karmgångjärn varpå sektionerna viker sig mot varandra med hjälp av mellangångjärn. För att sektionerna ska röra sig på rätt sätt så styrs mittsektionen av en horisontell skena som sitter monterad ovanför.

Skjutport: En skjutport kan bestå av en eller flera sektioner. Dessa skjuts horisontellt och löper oftast på en räls eller skena i golvet och hålls på plats i överkant av en styrskena. Alternativt kan man för lättare portar låta sektionerna hänga i överkant med hjälp av en bärskena och ha en styrskena i nederkant.

Slagport: Porten består av antingen en sektion som svänger horisontellt runt ett gångjärn i ena karmsidan, eller av två sektioner som svänger runt varsitt gångjärn i respektive karmsida. Kan jämföras med en vanlig dörr eller dubbeldörr.

Takskjutport: Takskjutporten består av ett antal horisontella sektioner som är ledade med varandra. Sektionerna skjuts uppåt och sedan i regel inåt via sidomonterade styrskenor. För att hållas uppe styrs den med ställinor och fjädrar eller motvikter.

Rulljalusi och rullgaller: Denna porttyp har ett portblad som består av horisontella profilerade metallameller, någon form av gallermatta eller väv. Portbladet löper via vertikala styrskenor på sidorna upp på en övermonterad rulle. Kan jämföras med en rullgardin.

Ridåport: Ridåporten består av en eller flera sektioner som lyfts vertikalt längs med styrskenor på väggen ovanför portöppningen. För att balansera porten används motvikter i ställinor.

Teleskopport: Teleskopportens portblad består av ett antal U-profilerade sektioner som lyfts uppåt och skjuts in i varandra så att de bildar ett paket ovanför öppningen i öppet läge. Styrningen görs med sidomonterade skenor och sektionerna lyfts med ställinor.

(Ingenjörsvetenskapsakademien. Transportforskningskommissionen, 1976)

## 3 METOD

Detta kapitel beskriver hur arbetet är upplagt och vilka delmoment som ingår.

### 3.1 Formulering av förutsättningar

För att kunna sätta upp korrekta formler för systemet måste det först fastställas vilka förutsättningar som gäller. Genom att utföra mätningar på befintliga ritningar kan man finna uttryck för de geometriska omständigheter som är begränsande. Här omfattar detta portens läge i helt öppet och helt stängt läge, samt positioner för fast monterade detaljer som inte skall ändras. Eftersom länkarmssystemet är en tilläggsprodukt till industriporten så måste denna del av förutsättningarna rätta sig efter utformningen av porten och kan därmed inte ändras utan vidare. Andra förutsättningar är de riktlinjer och önskemål som ställts upp gällande länkarmssystemets egen funktion. Detta omfattar länkarmarnas positioner i portens extremlägen samt lämpliga vinklar och längdförhållanden. Denna del bygger till stor del på Torverks omfattande kunskap och erfarenhet inom området. Viktiga faktorer är kraftöverföring, resulterande öppningshastigheter för porten samt länkarmarnas rörelseområde.

### 3.2 Framtagning av formler

När förutsättningarna är klarlagda så ritas en schematisk skiss över länkarmssystemet upp. Denna skall visa hur systemet uppfyller de givna kraven för både öppen och stängd port. I skissen införs sedan beteckningar för intressanta längder och vinklar såsom länkarmarnas längder och portens öppningsvinkel. Det är viktigt att sätta ut beteckningarna rätt så att exempelvis längden på en specifik länkarm betecknas likadant i både öppet och stängt portläge, även om länkarmen vrids eller förflyttas under öppningsrörelsen. Därefter inleds arbetet med att sätta upp geometriska samband som innefattar längden på länkarmarna samt positionen för väggfäste, portfäste och motoraxel. Som utgångspunkt används antagandet att alla ingående komponenter i systemet såsom porten, väggen och länkarmarna är stela och alltså inte ändrar längd under drift. Med hjälp av detta kan samband mellan öppet och stängt läge upprättas. Sambanden sätts sedan in i varandra för att bilda ekvationer ur vilka de aktuella länkarmslängderna och positionerna kan lösas ut som funktion av portbredden.

### 3.3 Utvärdering av formler

För att bedöma hur väl de framtagna formlerna uppfyller förutsättningarna så beräknas systemets samtliga dimensioner för ett antal olika portbredder med hjälp av sagda formler. De värden som då erhålls används för att schematiskt rita in länkarmarna i de befintliga portritningarna. Med hjälp av detta underlag kan lösningen visuellt bedömas och utvärderas. Därefter kan beslut tas om godkännande eller revidering. I det senare fallet måste det även bedömas vad som kan ändras i förutsättningarna för att få ett totalt sett bättre resultat.

### **3.4 Provmontering**

Torverk har möjlighet att göra en provmontering av ett länkarmssystem på en port i sin egen fabrik. Denna möjlighet kan användas till att testa hur en modell fungerar i praktiken, eftersom detta kan vara svårt att bedöma på en ritning. Denna montering utförs av en av Torverks anställda slutmontörer som först tar ner det befintliga systemet och sedan sätter upp de länkarmar som tillverkats för testet på det sätt som modellen anger. Av praktiska och ekonomiska skäl kan dock denna provmontering bara genomföras vid ett tillfälle.

### **3.5 Modulsystem**

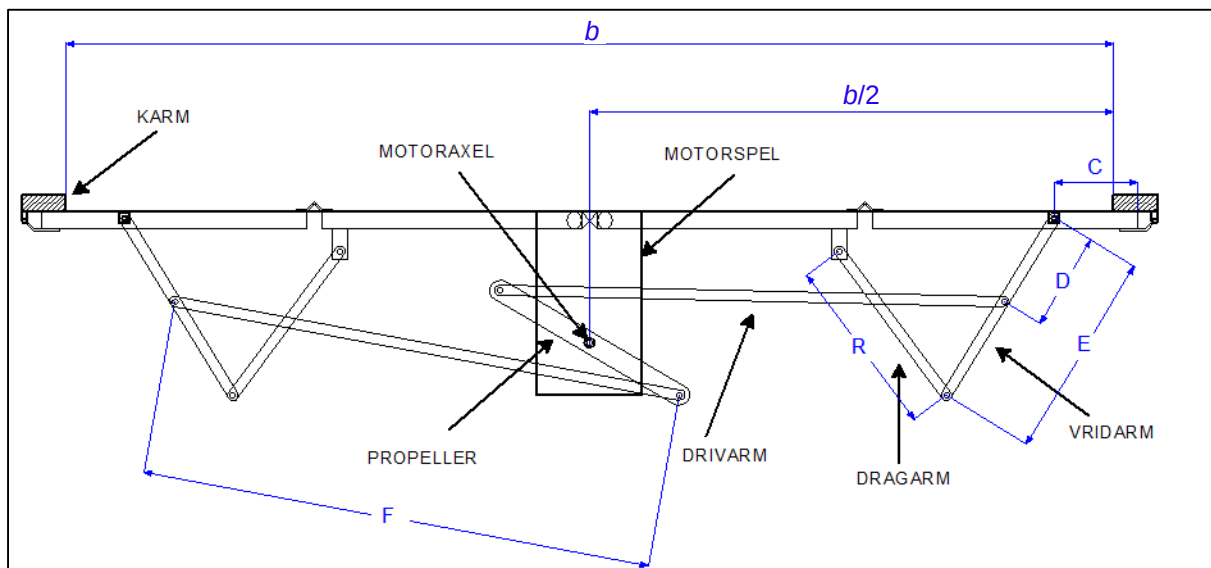
Modulsystemet ska grunda sig på den framtagna geometriska modellen och studeras därför först när det finns en färdig modell. Först används de geometriska sambanden för att beräkna vilka minimi- och maximilängder varje arm i länkarmssystemet måste kunna anta inom det givna portbreddsintervallet. Utifrån dessa mått samt differensen mellan dem görs sedan en konceptgenerering för varje länkarm för att om möjligt se hur de kan uppbyggas med någon form av modulsystem. De olika koncepten utvärderas därefter för att hitta det som lämpar sig bäst i det aktuella fallet. De faktorer som styr utvärderingen är bland annat produktionstid, komplexitet, hållfasthet och materialspill.

## 4 LÄNKARMSSYSTEMETS UPPBYGGNAD

I detta kapitel förklaras hur det aktuella länkmarmssystemet är uppbyggt och hur det fungerar vid öppning och stängning av porten.

### 4.1 Beskrivning av länkmarmssystemet

Portöppningens bredd benämns  $b$ . Motorspelet sitter fast monterat på väggen ovanför portöppningen, så att motorspelets utgående axel befinner sig mitt emellan portkarmarna och 315 mm ut från porten. Porten överlappar karmen med 65 mm på varje sida för att det ska bli riktigt tätt. På motoraxeln sitter en vridarm som kallas "propeller". Propellern sitter fast monterad på motoraxeln så att axeln går genom propellerns mittpunkt. Ovanför vardera porthalva sitter ett fäste monterat i väggen. Sträckan från detta fäste till bakkanten på respektive porthalva kallas  $C$  och är lika på båda sidorna. I varje väggfäste sitter ena änden på en vridarm fritt lagrad. Vridarmens längd benämns  $E$ . En sträcka  $D$  ut från väggfästet finns ett hål i vridarmen. I detta hål sitter ena änden på en drivarm fritt lagrad. Motsatt ände på drivarmen sitter fritt lagrad i ena änden på propellern. Drivarmens längd benämns  $F$ . På respektive porthalvas mittsektion, nära det mellangångjärn där sektionerna viks mot varandra, sitter ett fast monterat portfäste. I portfästet sitter ena änden på en dragarm med längden  $R$  fritt lagrad. Andra änden på dragarmen sitter fritt lagrad i ytteränden på motsvarande porthalvas vridarm. Se Figur 4.1.

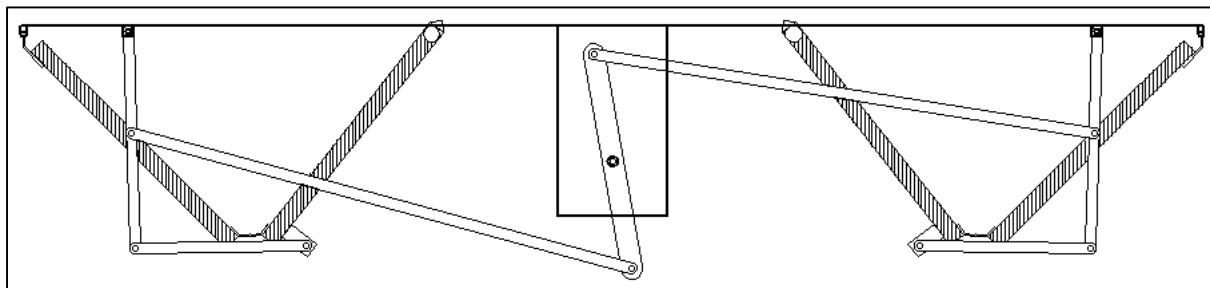


Figur 4.1 - Översiktsbild för länkmarmssystemet i stängt läge med benämningar och längdbeteckningar.

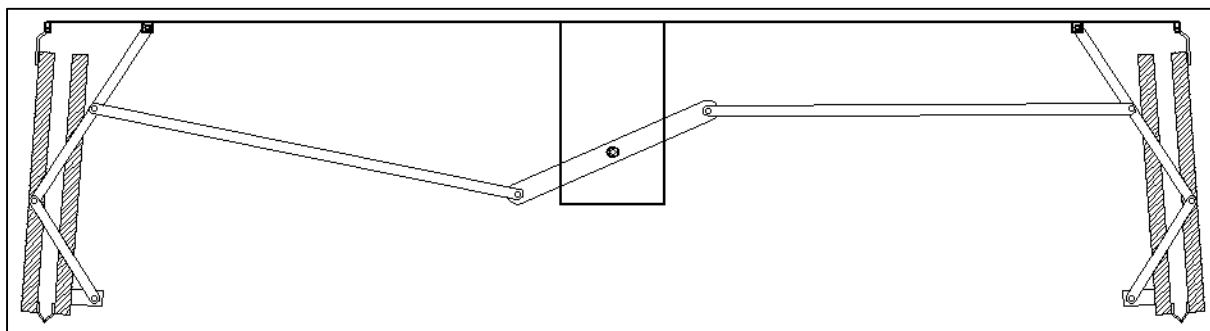
För att kunna tillverka länkmarmssystemet behöver man alltså känna till rätt mått för  $D$ ,  $E$ ,  $F$  och  $R$ . För att sedan kunna montera det rätt behöver man också känna till  $C$ -mättet.

## 4.2 Länkarmssystemets funktion

I stängt läge är propellern, sett uppifrån, vriden en vinkel (startvinkeln) medurs från det läge där den hade varit parallell med porten. I detta läge är det den ände av propellern som är lagrad med drivarmen till höger porthalva som befinner sig närmast porten. När porten öppnas roterar propellern medurs mindre än ett halvvarv tills den står i det läge där den bildar en vinkel (slutvinkeln) moturs med det läge där den återigen hade varit parallell med porten. När propellern påbörjar sin rotation kring sin mittpunkt så kommer höger drivarm att tryckas åt höger så att den får höger vridarm att börja rotera moturs runt sin vägginfästning. När detta sker kommer vridarmens ände att dra i dragarmen som då drar i portfästet. När detta händer kommer höger porthalvas karmsektion att börja vridas moturs runt karmgångjärnet. Samtidigt kommer porthalvas motsatta ände börja gå i en bana mot karmen. I denna rörelse kommer de båda sektionerna med hjälp av mellangångjärnet att vikas mot varandra. På vänster sida sker allt spegelvänt gentemot högersidan. Se Figur 4.2 och Figur 4.3.



Figur 4.2 - Ögonblicksbild över länkarmssystemet under öppningsrörelse. Notera hur de snittmarkerade portsektionerna viker sig mot varandra.



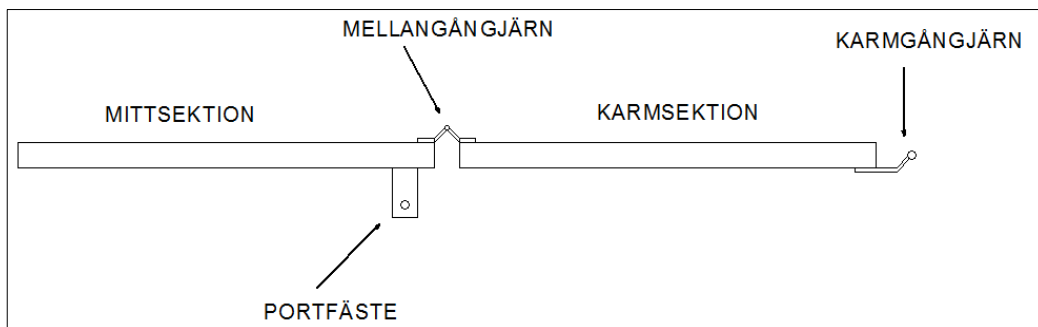
Figur 4.3 - Porten och länkarmssystemet i helt öppet läge.

## 5 GEOMETRISK MODELL

Detta kapitel beskriver hur arbetet med modellen och de tillhörande geometriska sambanden genomfördes och vad resultatet av det blev. Formler och ekvationer kommer här endast att redovisas sammanfattat. Fullständiga beräkningar finns i Bilaga 1.

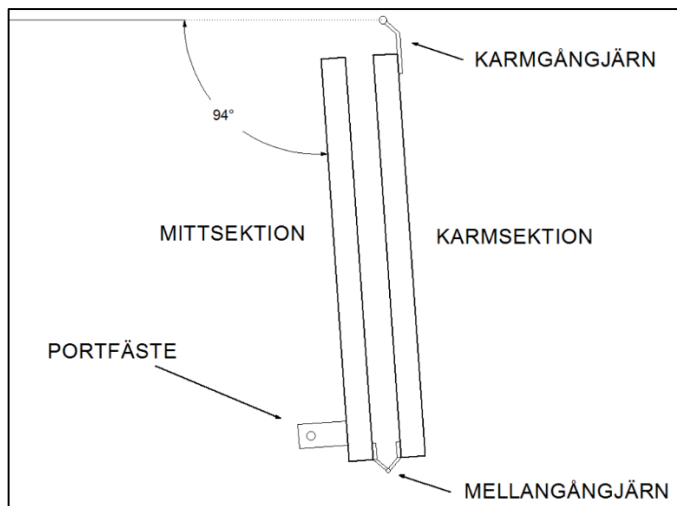
### 5.1 Geometriska förutsättningar

Då porten är symmetrisk kring sin mittlinje studeras här bara den högra halvan, sett från det håll porten viker sig åt. Systemet betraktas alltid uppifrån då detta är Torverks norm. De delar som är aktuella är dels portsektionerna och deras position i öppet och stängt läge, och dels portfästets position. Det senare betraktas som fast för att porten ska öppnas på bästa sätt utan att kraftbehovet ska bli för stort. I stängt läge är portsektionerna utfällda på en rak linje i portöppningen, se Figur 5.1.



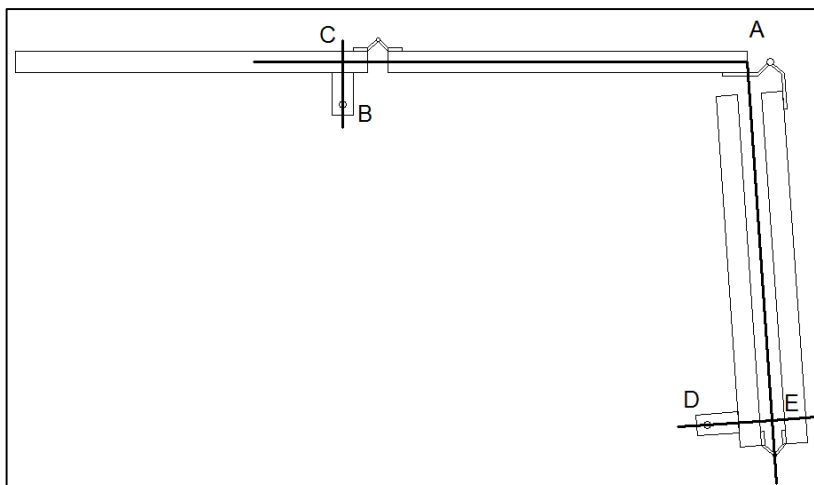
Figur 5.1 - Schematisk bild över höger porthalva med gångjärn och portfäste i stängt läge.

I öppet läge har sektionerna fällts ihop så att de är parallella med varandra och bildar en vinkel på  $94^\circ$  mot öppningen och stängd position, se Figur 5.2.



Figur 5.2 - Schematisk bild över höger porthalva med gångjärn och portfäste i öppet läge. Notera öppningsvinkeln på 94°.

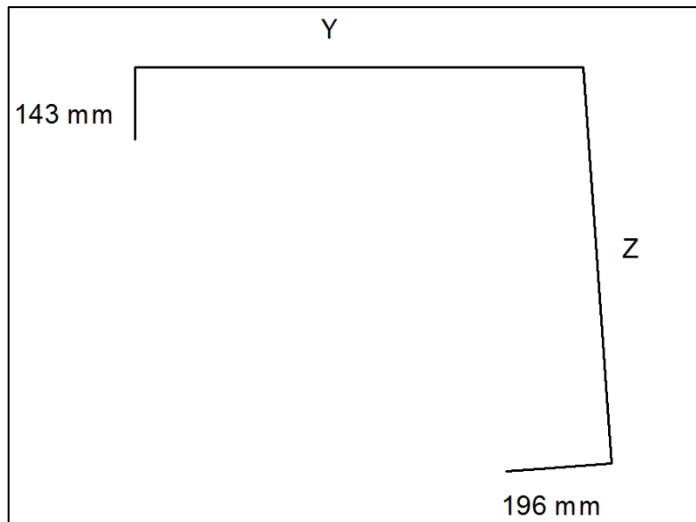
För att ta fram modellen så läggs öppet och stängt läge in i samma skiss och positioneras på så sätt att karmgångjärnets rotationscentrum sammanfaller för båda lägena. Som utgångspunkt för avstånd till portfäste valdes den punkt A som ligger mitt på karmsektionens bakkant då porten är stängd. Från denna punkt drogs en linje parallellt med portöppningen. Därefter ritas den linje som går genom centrum på portfästets lager i stängt läge, punkt B, samt bildar en rät vinkel med den förra linjen. Skärningspunkten mellan dessa kallas C. Från utgångspunkten A ritas sedan en linje som ligger mellan portsektionerna i öppet läge och bildar en vinkel på 94° med linjen AC. Vinkelrätt mot denna ritas den linje ut som går genom punkten D som utgör centrum i portfästets lager i öppet läge. Skärningspunkten för de två senare linjerna kallas E. Se Figur 5.3.



Figur 5.3 - Öppet och stängt läge i samma skiss med inlagda modelleringslinjer. Observera att utgångspunkten A ligger på karmsektionens bakkant i stängt läge.



För att få en renare bild friläggs modelleringslinjerna och ointressanta delar av linjerna tas bort. Sträckorna AC samt AE varierar med avseende på portbredden och benämns härnäst med  $Y$  respektive  $Z$ . Då portfästets längd samt portsektionernas tjocklek är konstanta ger det att sträckorna BC och DE är konstanta. BC uppmättes till 143 mm. DE uppmättes till 196 mm, alltså 53 mm längre. Se Figur 5.4.



Figur 5.4 - Frilagd modell med längder och beteckningar.

Efter upprepade mätningar på ett antal olika portar kunde det konstateras att  $Y$  och  $Z$  varierade linjärt med portbredden, som härnäst betecknas  $b$ , enligt ekvation 5.1 och ekvation 5.2.

$$Y = \frac{b}{4} + 87 \quad (\text{Ekv. 5.1})$$

$$Z = \frac{b}{4} - 27 \quad (\text{Ekv. 5.2})$$

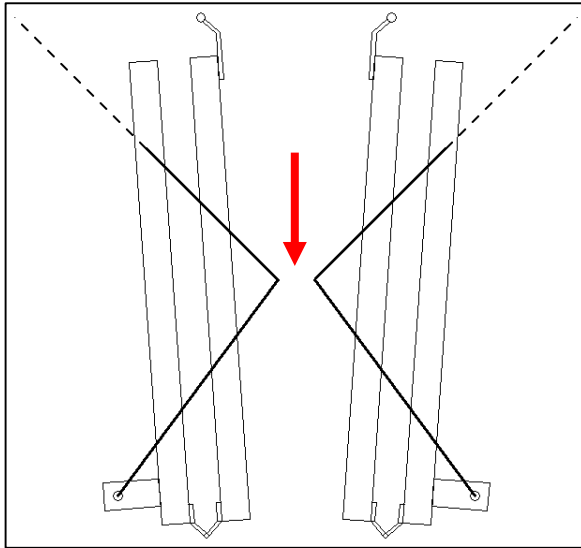
Utifrån dessa yttre geometriska förutsättningar skall resten av systemet nu modelleras.

## 5.2 Funktionella förutsättningar

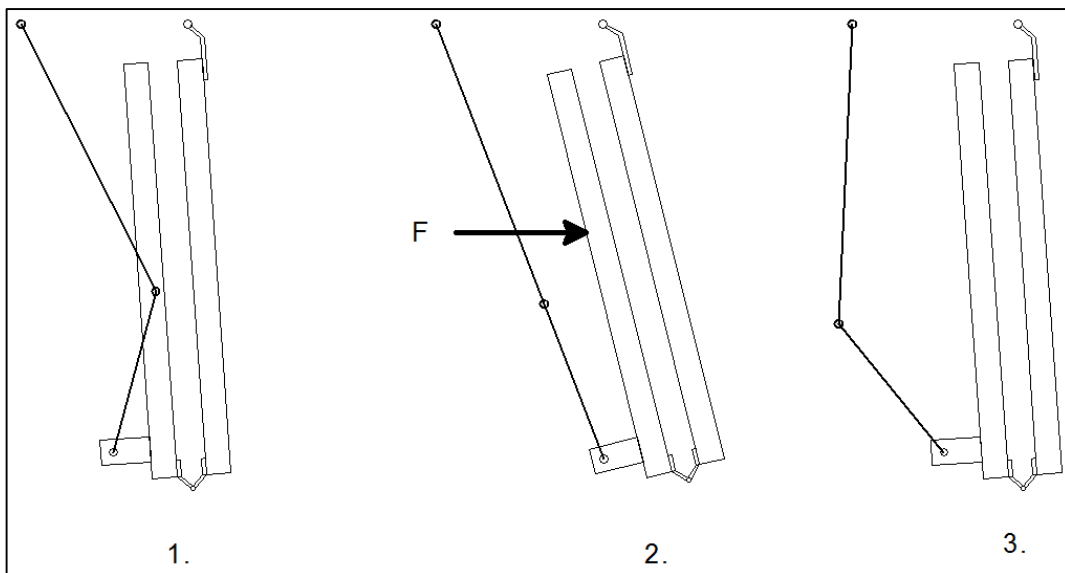
För att modellen ska kunna vara till nytta och för att systemet ska fungera optimalt måste ett antal krav uppfyllas:

- Modellen skall gälla för portbredder från 1900 mm till 5600 mm.
- Systemet skall ha en väl fungerande kraftöverföring för alla portbredder i intervallet.
- Ingen del av systemet får befinna sig bakom de hopvikta portsektionerna i öppet läge. Detta för att flera portar ska kunna monteras tätt intill varandra utan risk för att deras respektive länkar slår ihop. Se Figur 5.5.

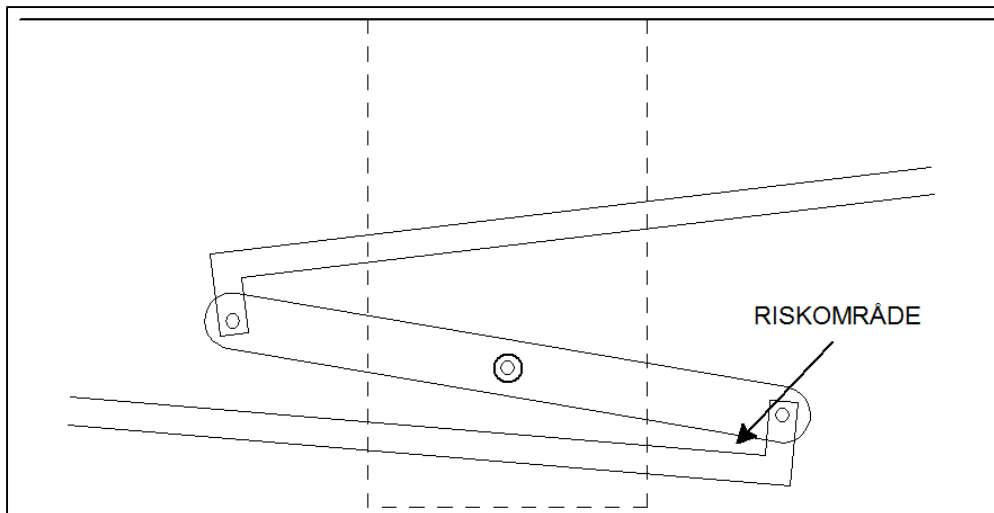
- Det får i öppet läge inte finnas risk för att två länkar sträcks ut helt och sedan slår över åt fel håll om en yttre kraft påverkar portsektionerna och sedan försvinner. Se figur 5.6.
- I stängt läge får inte drivarmarna slå i propellern. Se Figur 5.7.
- Övergången mellan vila och rörelse för porten skall vara mjuk då porten är tung och därmed har en hög tröghet vad det gäller rörelseändringar. Man vill inte att länkarssystemet ska ryckas sönder i början av rörelsen och inte heller att porten ska nå sitt ändläge med för hög hastighet så att port, karm eller gångjärn skadas.



Figur 5.5 - Två intilliggande portar får inte riskera att slå ihop med länkmarna i öppet läge. Pilen visar riskzonen.



Figur 5.6 - Exempel på överslag hos länkar. Kraften  $F$  symboliserar en yttre kraft som på något sätt påverkar portsektionerna.

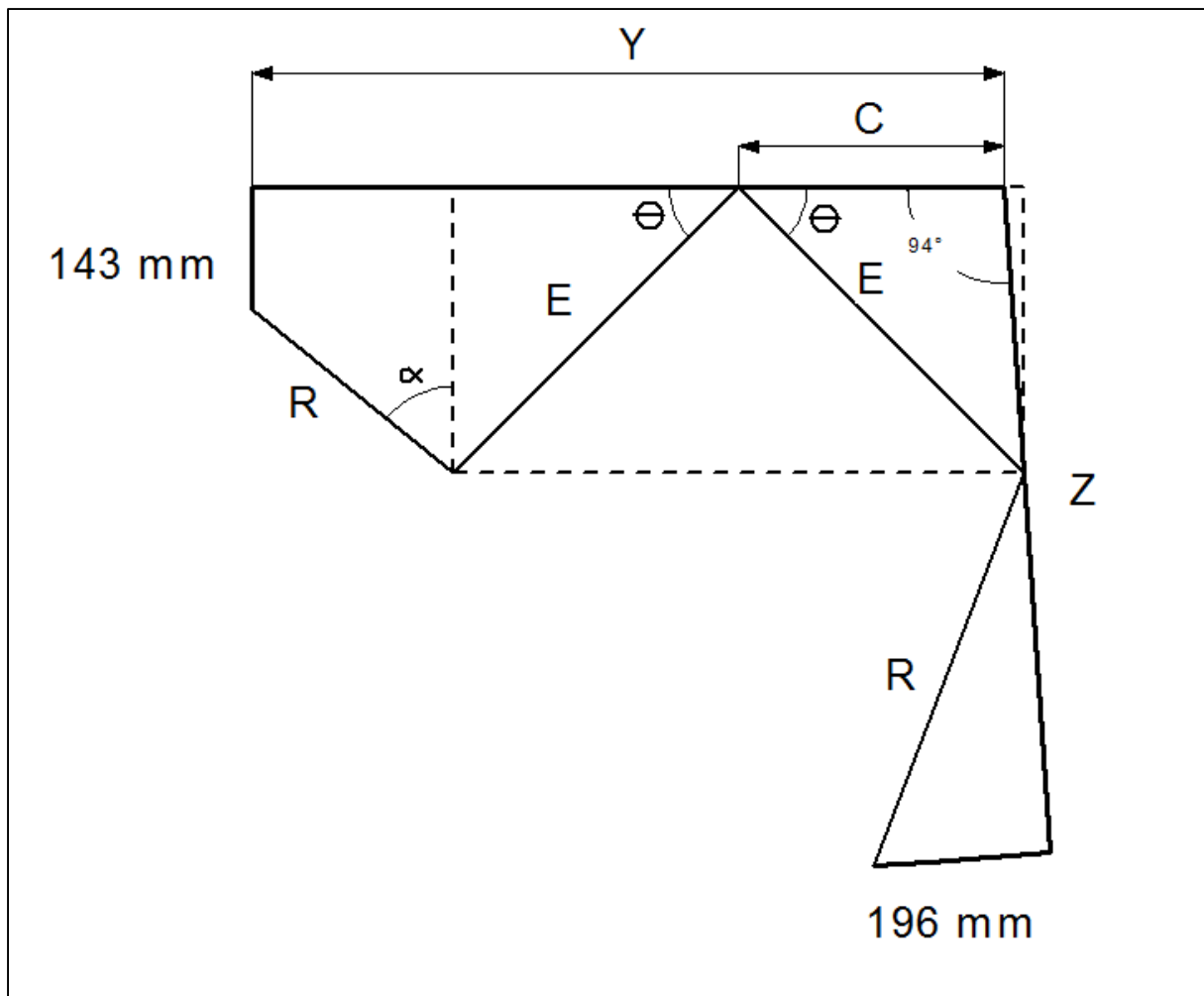


Figur 5.7 - Detaljbild av propeller och del av drivarmar. Markerat är det område där risk finns för hopslag mellan drivarm och propeller i stängt läge. Lägga märke till att drivarmen är vinklad i änden.

De ovan nämnda förutsättningarna är en del av det som styr hur modellen ska se ut. För att vara säker på att kraftöverföringen blir tillräcklig vill Torverk också att modellen i grova drag ska likna det befintliga systemet. För att ingen del ska hamna bakom porten i öppet läge, samt för att minimera risken för överslag mellan dragarm och vridarm i öppet läge, så vill man att knutpunkten mellan dragarm och vridarm i öppet läge skall befinna sig mellan portsektionerna (sett uppifrån). För att drivarmarna inte ska slå i propellern i stängt läge, samt för att få en mjuk gång på porten, så vill man att propellern skall ha en liten startvinkel och en liten slutvinkel. Med start- och slutvinkel menas de vinklar som propellern i stängt respektive öppet läge bildar gentemot neutralläget, alltså det läge då den skulle vara parallell med portöppningen.

### 5.3 Modell 1

Utifrån de geometriska och funktionella förutsättningarna sattes en första modell upp. För att förenkla beräkningarna av längden på drivarmarna, F-måttet, så sattes ytterligare villkor upp. Detta var att knutpunkten mellan drivarmen och vridarmen skulle befinna sig lika långt från väggen i både öppet och stängt läge, alltså att vinkeln  $\Theta$  mellan vridarm och vägg skulle vara lika stor i båda ändlägena, se Figur 5.8. Detta kombinerades med att propellerns start- och slutvinkel skulle göras lika stora för att även propellerns ändar skulle befinna sig lika långt från väggen i båda lägena. Modellen ritades in med de tidigare uppritade modelleringslinjerna enligt Figur 5.8. Vinkeln mellan dragarmen i stängt läge och en tänkt linje vinkelrätt mot väggen benämns  $\alpha$ . Denna vinkel bestäms till ett fast värde och kommer att styra formen på systemet.



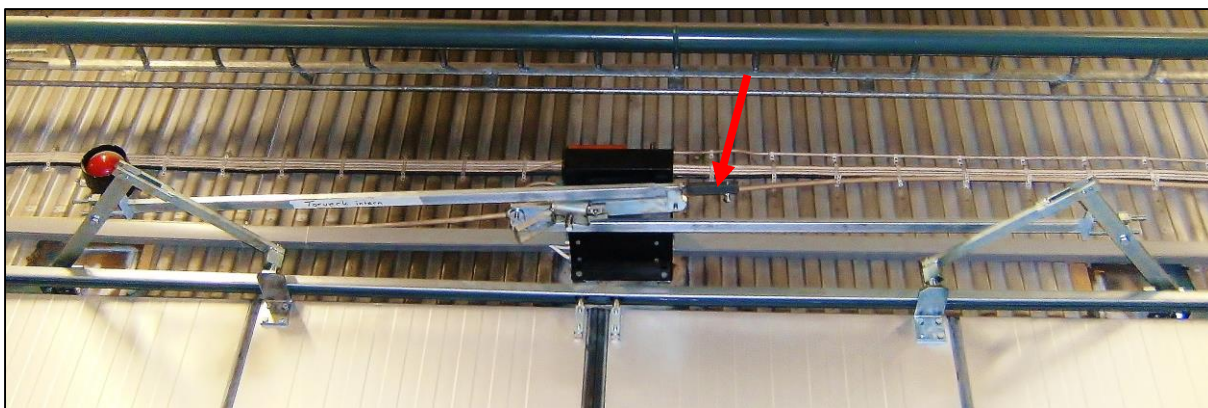
Figur 5.8 - Grundskiss till Modell 1. Knutpunkten mellan vridarmen och dragarmen sammanfaller med modelleringslinjen i öppet läge. Detta ger i verkligheten att knutpunkten sett uppifrån hamnar mellan de hopvikta portsektionerna.

### 5.3.1 Resultat av Modell 1

Resultatet av Modell 1 blev ett system där avståndet från väggfästet till drivarmens infästning i vridarmen, D-måttet, inte bara varierade med portbredden utan även från höger till vänster sida. Samma fenomen uppstod även på F-måttet. Detta är inte optimalt ur produktionssynpunkt eftersom det ger många olika mått samt kräver att man märker upp länkmarna noggrant, men systemet uppfyllde ändå de givna förutsättningarna.

## 5.4 Provmontering

Med en färdig modell togs beslut om att utföra en provmontering för att se till att allt stämde överens med verkligheten som det var tänkt. Man ville även se hur det faktiskt skulle fungera med lika stor startvinkel som slutvinkel, då man i befintliga system inte praktiserar detta utan i regel har en startvinkel på ca 10° och en slutvinkel på ca 25°. Att man har en så pass stor slutvinkel beror på att man vill ha en säkerhet mot överslag mellan propeller och drivarm om propellern är frikopplad från motorspelet i öppet läge. Nu valdes båda vinklarna till 18° som en kompromiss för att testa om det skulle räcka. För säkerhets skull påmonterades ett experimentellt mekaniskt stopp mot överslag, se Figur 5.9 och Figur 5.10.



Figur 5.9 - Bild som visar resultatet av provmonteringen. Pilen pekar på överslagsstoppet som ska förhindra propellern att rotera för långt om den frikopplas i öppet läge och porten påverkas av en yttre kraft.

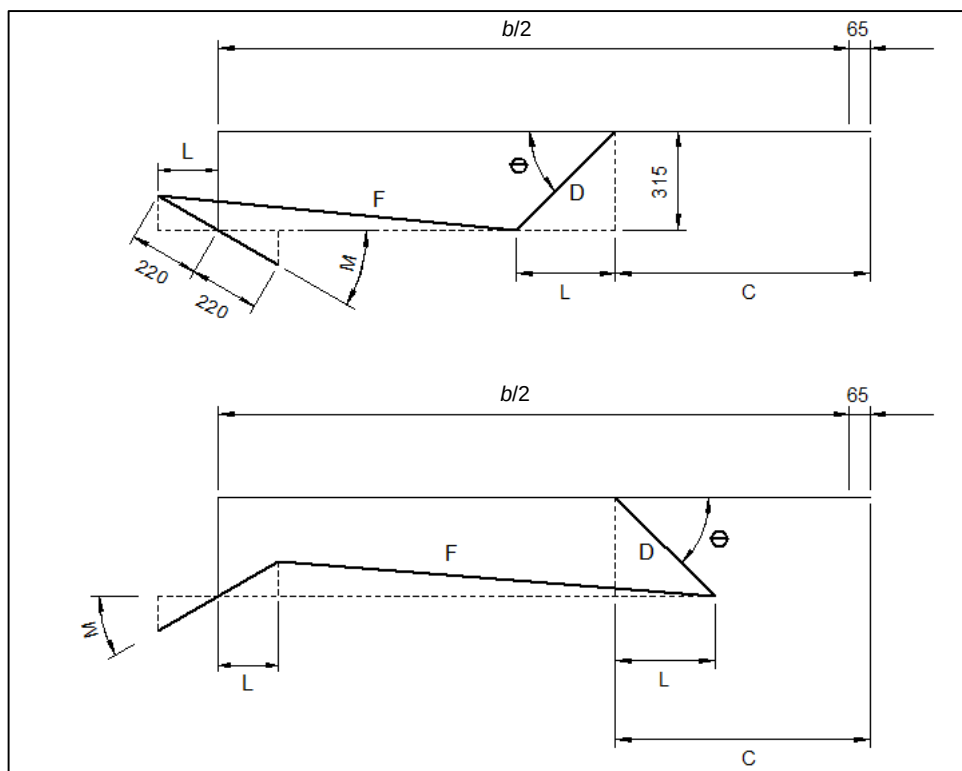


Figur 5.10 - Bild som visar det provmonterade systemet i öppet läge. Pilen pekar på överslagsstoppen som i detta läge kommer att förhindra propellern från att vrida sig ytterligare.

Provmonteringen gick enligt plan och systemet fungerade som det var tänkt. Porten rörde sig mjukt med de nya start- och slutvinklarna på  $18^\circ$ , men man beslöt att i framtiden utgå från  $10^\circ$  på båda vinklarna för att få ännu bättre gång. Detta bedömdes vara möjligt när man fått testa överslagsstoppet och se att det fungerade. Dock ansåg man att själva den geometriska modellen hade för stora produktionsmässiga nackdelar för att gå vidare med den.

## 5.5 Modell 2

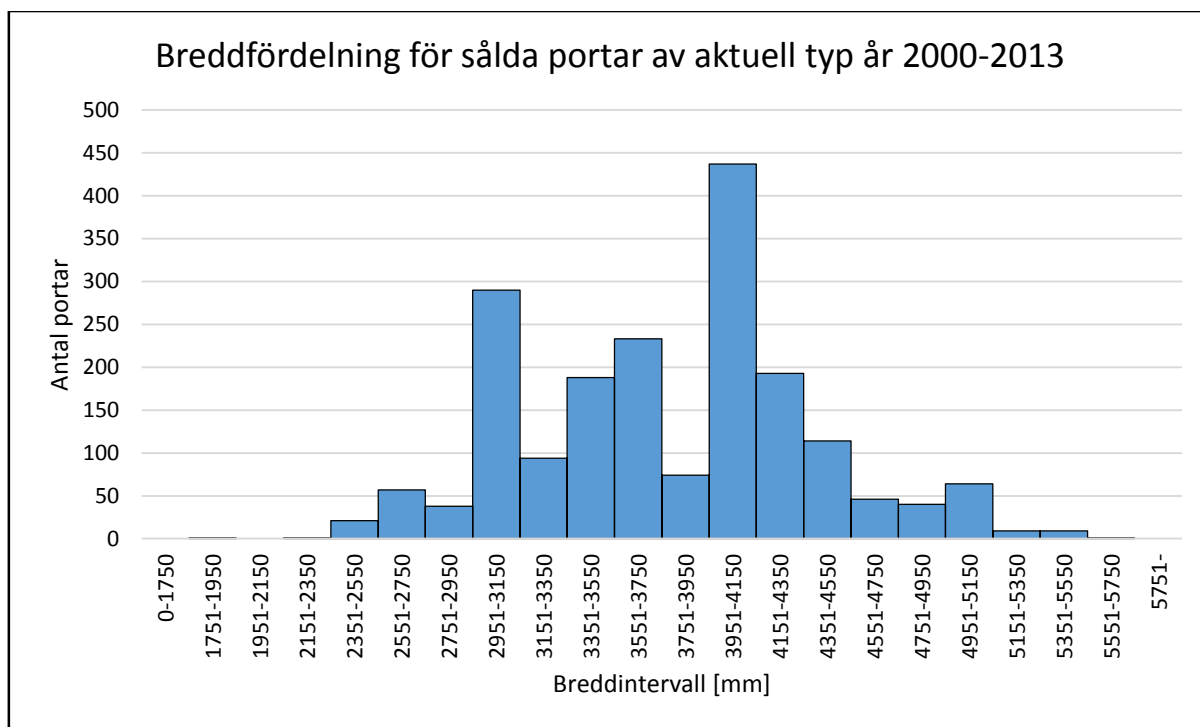
Modell 2 bygger till stor del på Modell 1 men med den förändringen att knutpunkten mellan drivarm och vridarm i öppet respektive stängt läge alltid ska ligga lika långt ut från väggen som motoraxeln, 315 mm. Dessutom gäller nu för propellern att startvinkeln alltid är  $10^\circ$  samt att slutvinkeln också alltid är  $10^\circ$ . För att tydliggöra denna nya förutsättning så benämns nu dessa vinklar gemensamt som *marginalvinkeln*  $M$ . Vinkeln uttrycker alltså vilken marginal propellern har till neutralläget i något av sina ändlägen, se Figur 5.11. Detta i kombination med att propellerns längd är konstant ger att vinkeln  $\Theta$  blir konstant eftersom avståndet mellan propellerns ändar i öppet och stängt läge motsvarar avståndet mellan läget för knutpunkten mellan drivarm och vridarm i stängt respektive öppet läge. Vinkeln  $\alpha$  upphör dock att vara konstant. Förtjänsten med allt detta skulle vara att man fick ett D-mått som var konstant för alla portbredder. Dessutom skulle D-måttet och F-måttet bli samma för höger och vänster porthalva.



Figur 5.11 - Skiss som visar propellern (längd 440 mm), drivarmen (längd  $F$ ) och en del av vridarmen utformat enligt modell 2. Överst ses stängt läge, nederst ses öppet läge. Notera att drivarmens infästning i vridarmen befinner sig lika långt ut från väggen (315 mm) som motoraxeln i båda lägena. Eftersom propellerns start- och slutvinkel är lika stora så betecknas dessa vinklar nu gemensamt med marginalvinkeln  $M$  för att tydliggöra detta nya villkor. Övriga beteckningar förklaras i Bilaga 1.

### 5.5.1 Resultat av Modell 2

En konsekvens av Modell 2 var att den inte gällde rent matematiskt för alla portbredder med de förutsättningar som tidigare var satta. En lösning på detta var att förlänga portfästet för att geometrin skulle gå ihop. Längden på det befintliga portfästet är 115 mm, vilket motsvarar 143 mm i modellen eftersom denna även innefattar en del av portens tjocklek (detta mått kallas  $P$  och återfinns i Figur 5.3 som sträckan mellan punkterna B och C). När portfästet förlängdes med 30 mm så fanns lösningar för hela breddintervallet och geometrin för de smalaste portarna såg bra ut. Detta innebär att längden på vridarmen, E-måttet, var större än längden på dragarmen, R-måttet. Då modellen ger att R-måttet växer snabbare med bredden än E-måttet så innebär dock detta att E och R blev lika långa för medelbreda portar. För breda portar blev R större än E, vilket ger en oönskad geometri. Problemet kunde dock lösas genom att låta portfästets längd öka med portbredden. Torverk ville dock ha ett antal fasta längder istället för någon form av teleskoplösning. Detta innebär att man måste göra en avvägning mellan kraftöverföringen som kommer av den aktuella geometrin och antalet olika fästen som måste lagrhållas. En god kompromiss beslutades vara att dela upp hela breddintervallet i delintervall om 1000 mm. Delintervallen började från den nedre gränsen på 1900 mm och gick över den övre gränsen på 5600 mm till 5900 mm. Gränsen överskreds i detta fall för att utöka modellens giltighet för framtida portar. För att ytterligare utöka modellen beslöts att förlänga sista delintervallet upp till nästa hela metermått, alltså 6000 mm. Bredden och placeringen på delintervallen valdes också med hänsyn till statistiken över sålda portar, Se Figur 5.12. Denna statistik plockades fram ur Torverks interna affärssystem.



Figur 5.12 - Diagram som utifrån antalet sålda portar mellan år 2000 och år 2013 visar fördelningen med avseende på bredd för de portar av den typ som arbetet behandlar.

Längdvariationen på portfästet kan sammanfattas enligt Tabell 5.1. Tabellen fastställdes genom insättning av olika värden i formlerna tills lämpliga värden hittades.

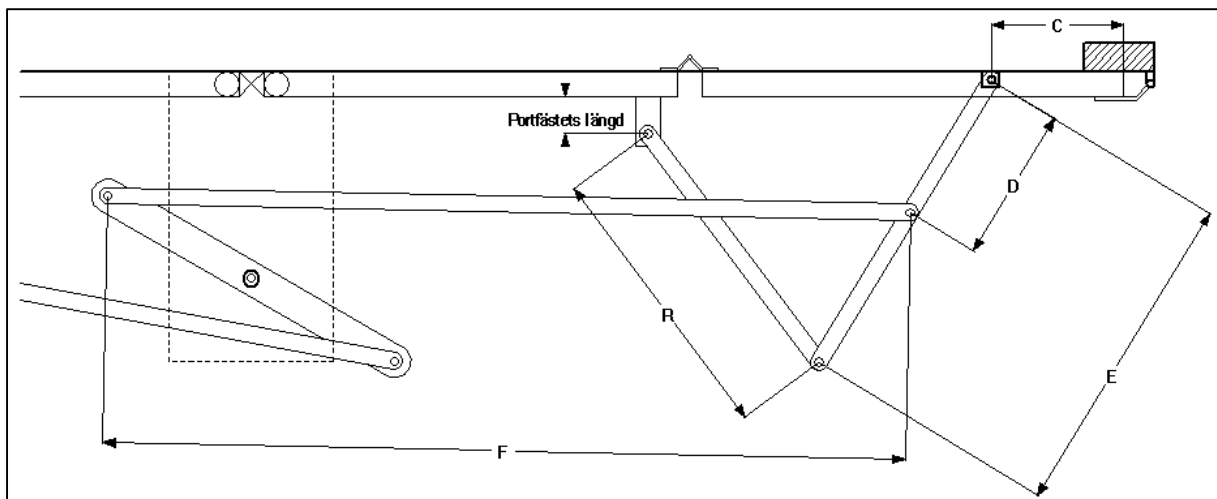
Tabell 5.1 - Tabellen visar hur P-måttet i den geometriska modellen samt den verkliga längden på portfästet varierar för olika portbredder.

| Portbredd [mm]          | $1900 \leq b < 2900$ | $2900 \leq b < 3900$ | $3900 \leq b < 4900$ | $4900 \leq b \leq 6000$ |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| P-mått i modellen [mm]  | 173                  | 203                  | 233                  | 263                     |
| Längd på portfäste [mm] | 145                  | 175                  | 205                  | 235                     |

Efter att ha sett systemet uppritat för några olika portbredder så godkändes Modell 2 av Torverk. Detta innebär att Modell 2 skall ligga till grund för utveckling av modulsystem.

### 5.5.2 Detaljredovisning för Modell 2

Uträkningen av dimensionerna i länkarssystemet enligt Modell 2 sker enligt arbetsgången som beskrivs nedan. Portbredden betecknas  $b$  och anges i millimeter. De värden som är dimensionerande och som man behöver känna till för tillverkning och montering är förutom den nya parametern som utgör portfästets längd även  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  och  $R$ . Se Figur 5.13.



Figur 5.13 - Skiss med beteckningar för dimensionerande mått.

Följande arbetsgång används för att i praktiken dimensionera länkarmssystemet. Formlernas numrering motsvarar den numrering som använts i Bilaga 1 där de fullständiga beräkningarna finns. Dimensioneringen utgår från portbredden  $b$ . Beräknade mått gäller för både höger och vänster porthalva.

1. Ta fram längden på det portfäste som ska användas i det aktuella fallet. Detta görs ur Tabell 5.1. Ur samma tabell tas även fram motsvarande värde för hjälpvariabeln  $P$  som senare ska användas.
2. Beräkna i enheten radianer värdet på propellerns marginalvinkel  $M$ , samt portens öppningsvinkel  $v$  enligt följande:

$$M = \frac{10\pi}{180} \quad (1)$$

$$v = \frac{94\pi}{180} \quad (7)$$

3. Beräkna värdet på hjälpvinkeln  $\theta$  enligt följande:

$$\theta = \arctan\left(\frac{315}{220 \cos M}\right) \quad (18)$$

4. Avståndet  $D$  från väggfästet till drivarmens infästning i vridarmen beräknas med följande formel:

$$D = \sqrt{315^2 + (220 \cos M)^2} \quad (20)$$



5. Variablerna  $Y$ ,  $Z$ ,  $k$ ,  $g$ ,  $h$  och  $j$  behövs inte för själva tillverkningen men är hjälpvariabler som behövs för vidare beräkningar. De beräknas på följande sätt:

$$Y = \frac{b}{4} + 87 \quad (8)$$

$$Z = \frac{b}{4} - 27 \quad (9)$$

$$k = \sin \theta \tan \left( v - \frac{\pi}{2} \right) - 2 \cos \theta \quad (27)$$

$$g = \sin^2 \theta + k^2 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 v} \quad (34)$$

$$h = 2kY - 2P \sin \theta + \frac{2Z \sin \theta}{\sin v} \quad (35)$$

$$j = Y^2 - 106P - 53^2 - Z^2 \quad (36)$$

6. Nu kan vridarmens längd  $E$  beräknas:

$$E = -\frac{h}{2g} + \sqrt{\frac{h^2}{4g^2} - \frac{j}{g}} \quad (40)$$

7. Avståndet  $C$  från portens bakkant till väggfästet där vridarmen sitter lagrad beräknas på följande sätt:

$$C = E \left( \cos \theta - \sin \theta \tan \left( v - \frac{\pi}{2} \right) \right) \quad (23)$$

8. Dragarmens längd  $R$  beräknas enligt följande:

$$R = \sqrt{(P + 53)^2 + \left( Z - \frac{E \sin \theta}{\sin v} \right)^2} \quad (41)$$

9. Slutligen beräknas drivarmens längd  $F$  enligt följande:

$$F = \sqrt{\left( \frac{b}{2} + 65 - C \right)^2 + (220 \sin M)^2} \quad (5)$$

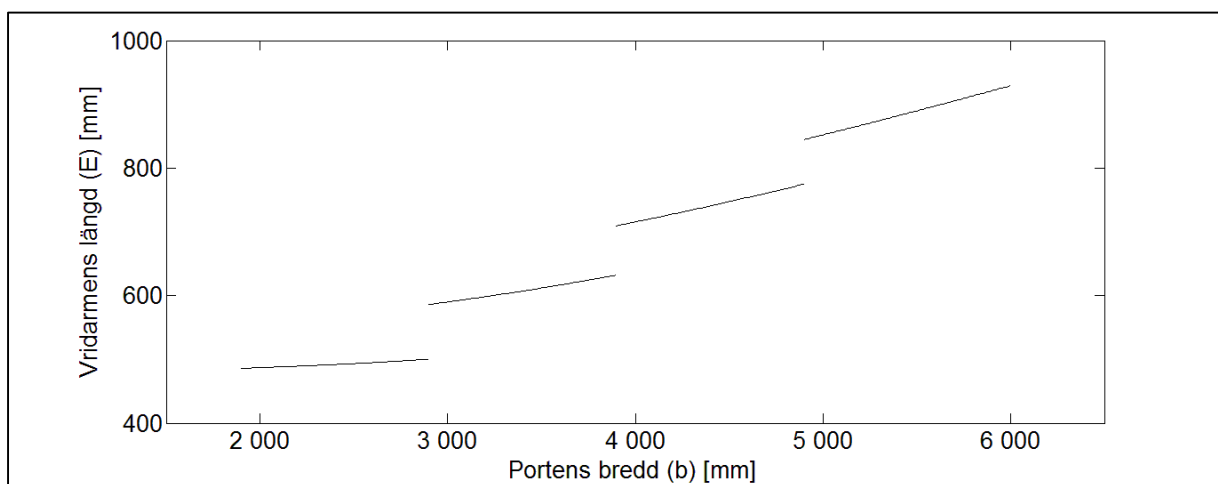
För fullständiga beräkningar se Bilaga 1.

## 6 MODULSYSTEM

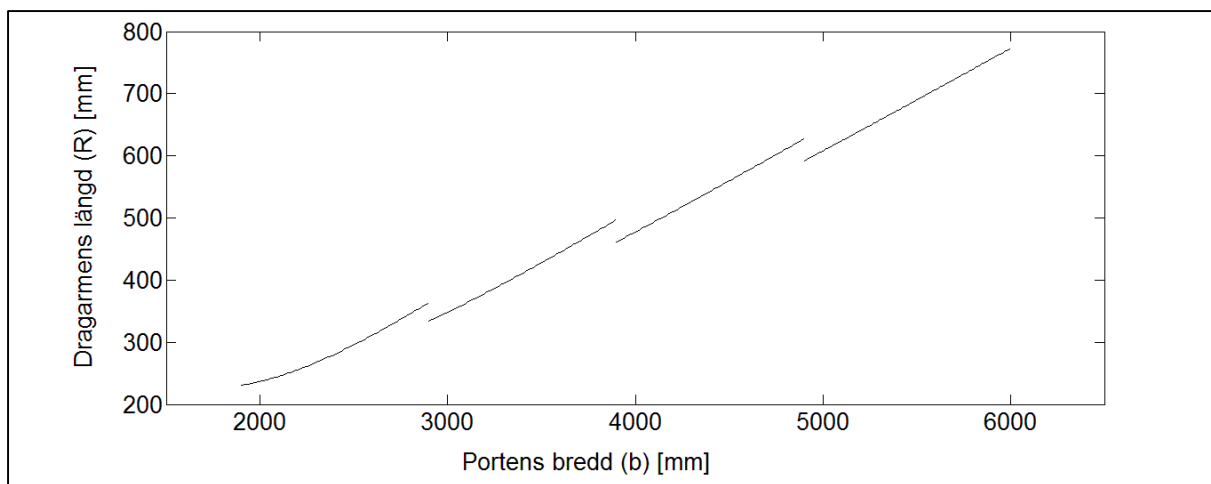
Detta kapitel behandlar analysen av hur länkarmssystemet kan byggas upp i form av moduler för att möjliggöra förtillverkning av detaljer i syfte att spara tid vid montering. Då de olika länkarmarna har olika funktion och utformning så kommer konceptframställningen för varje arm att behandlas separat.

### 6.1 Bestämning av längdintervall

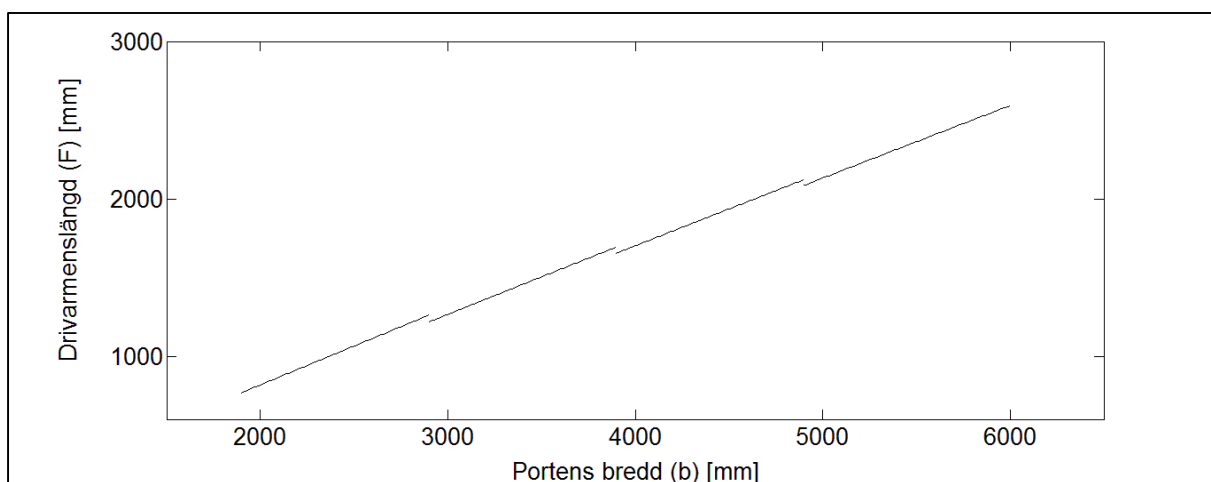
För att kunna använda ett eventuellt modulsystem tillsammans med de framtagna geometriska sambanden så måste varje länkarm kunna anta de längder som modellen genererar i det aktuella portbreddsintervallet, det vill säga 1900 mm till 6000 mm. Det mest intressanta är därför att hitta minimilängden respektive maximilängden för varje länkarm. För att hitta dessa extrempunkter ritas varje länkarms längd upp som funktion av portbredden, se Figur 6.1, Figur 6.2 och Figur 6.3.



Figur 6.1 - Graf som visar hur E-måttet varierar med portbredden b. Hacken i grafen uppkommer när portfästet ändras.



Figur 6.2 - Graf som visar hur R-måttet varierar med portbredden  $b$ . Hacken i grafen uppkommer när portfästet ändras.



Figur 6.3 - Graf som visar hur F-måttet varierar med portbredden  $b$ . Hacken i grafen uppkommer när portfästet ändras.

Ur alla graferna kan man utläsa att minimimåtten uppkommer vid den nedre intervallranden, alltså portbredd 1900 mm. Samtliga maximimått uppkommer dessutom vid den övre intervallranden, det vill säga 6000 mm. Dessa bredder sätts in i formlerna för att beräkna länkarmarnas motsvarande längder. Resultatet visas nedan i Tabell 6.1.

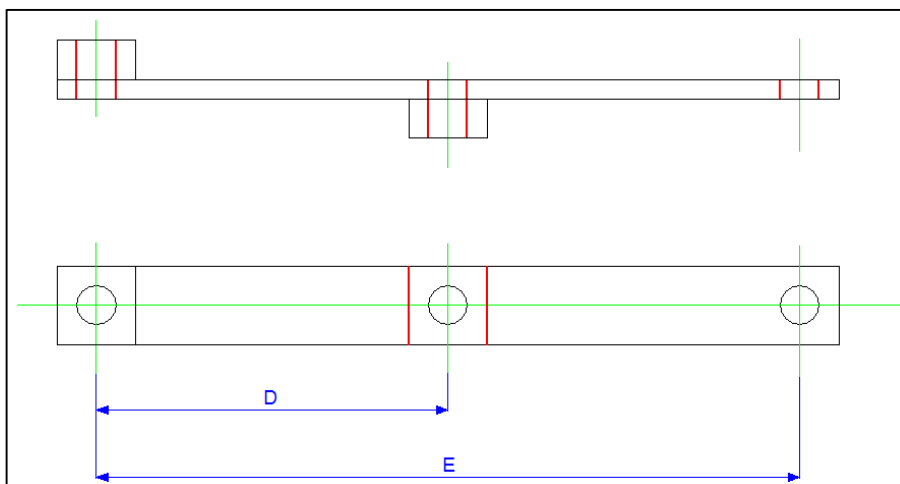
Tabell 6.1 - Extremlängderna samt differensen mellan dem för respektive länkarm.

| Mått | Minimilängd | Maximilängd | Differens |
|------|-------------|-------------|-----------|
| E    | 486 mm      | 929 mm      | 443 mm    |
| R    | 231 mm      | 773 mm      | 542 mm    |
| F    | 769 mm      | 2592 mm     | 1823 mm   |

Detta är alltså de längder som länkarmarna måste kunna anta för att den geometriska modellen ska kunna användas fullt ut. Dessa data skall därför användas som en grund för vidare utveckling av modulsystemet.

## 6.2 Vridarmen

Vridarmens nuvarande principiella utformning är som följer: armen är uppbyggd av ett plattstål i vars ena ände det på undersidan sitter en stödklack med genomgående hål för hopmontering med väggfästet. Sträckan D ut på armen från hålcentrumet finns hålet för hopmontering med drivarmen. Detta hål går även genom en stödklack på ovansidan. I den andra änden av armen är ett hål borrarat sträckan E från det första hålet. Se Figur 6.4.

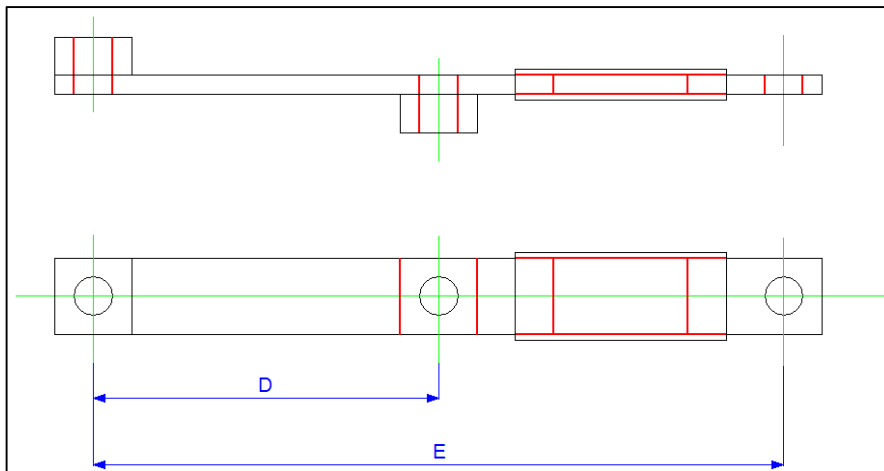


Figur 6.4 - Principritning över vridarmen i befintligt utförande.

Vridarmen tillverkas redan enligt en form av modulsystem där det finns ett antal olika längder på plattstål där klacken och hålet för väggfästet är förberett. Vid montering tar man den modul som är närmast längre än den önskade längden varpå skillnaden kapas bort. Därefter svetsas den andra klacken fast på rätt position och därefter borraras de två kvarvarande hålen.

### 6.2.1 Koncept 1

För att undvika spill och för att minska tidsåtgången vid montering så kan man bygga upp vridarmen genom att låta ändarna vara förtillverkade moduler och sticka in dem i ett rör som kapats till en specifik längd och sedan svetsa. Eftersom D-måttet är fast så skulle den ena ändmodulen vara förberedd med klack och hål för både väggfästet och drivarmsinfästningen. Andra änden skulle bestå av ett plattstål med hål för dragarmsinfästningen. Se Figur 6.5. Nackdelen med konceptet är att skarvarna och röret kan göra armen svagare för den böjning som den utsätts för.



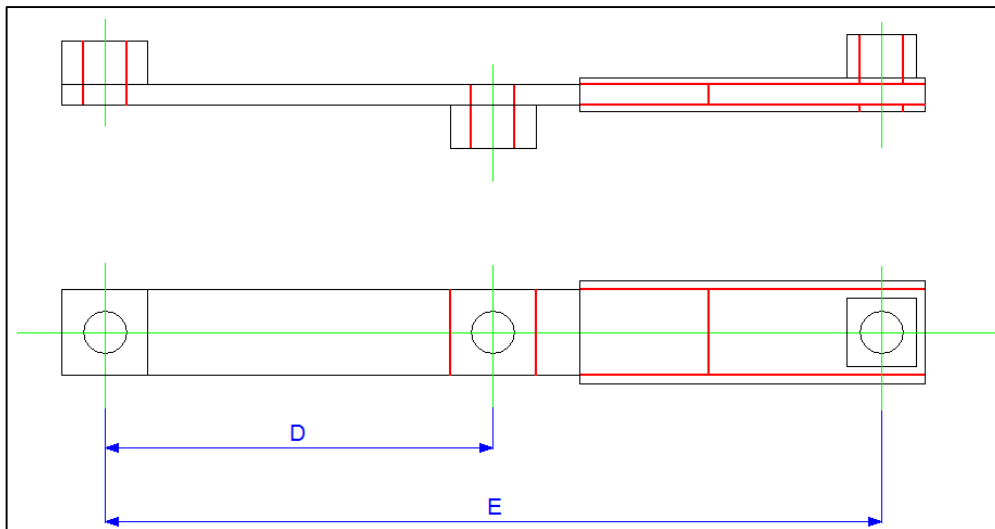
Figur 6.5 - Principskiss över vridarmens utförande enligt koncept 1.

### 6.2.2 Koncept 2

För att vara säkra på att armen inte blir försvagad så kan man bygga upp den enligt samma system som används idag, med den skillnaden att man låter klacken och hålet för drivarmens infästning vara förberett i och med att D-måttet nu är fast. Nackdelen med detta koncept är att det genererar en del materialspill. Enligt Figur 6.1 ser man att E-måttet ändras relativt mycket när man byter portfäste men är förhållandevis jämnt däremellan. För att minimera spillet vore det därför lämpligt att använda samma indelning för vridarmens moduler så att E-måtten för de förberedda plattstålen motsvarar E-måtten vid den övre randen av varje delintervall i Figur 6.1. Eftersom E-måttet gäller från hålcentrum till hålcentrum så måste själva plattstålet vara en aning längre så att hålen inte kommer för nära kanten.

### 6.2.3 Koncept 3

Istället för att som i koncept 1 ha två fasta ändar och låta ett mellanelement ändra längd så kan man låta längden ändras genom att ändarna får vara moduler som kan skjutas ihop. För att lösa detta kan man låta ena delen bestå av ett plattstål på vilket klackarna och hålen för väggfäste och drivarm är förberedda. Andra delen består av ett rör i vars ena ände hålet för dragarmen borrar. För att inte riskera att hålkantstrycket i röret blir för stort kan man svetsa på en utvändig klack innan man borrar. Denna klack kan i så fall ersätta den klack som sitter som distans på dragarmen. Vid montering skjuts plattstålet in i röret och svetsas fast på den position där E-måttet blir rätt. Se Figur 6.6. För att kunna fungera för alla portbredder samt för att överlappningen mellan plattstål och rör inte ska bli för liten ur böjhållfasthetssynpunkt så kan man behöva införa flera olika modullängder för både rör och plattstål. Fördelen med detta koncept är att monteringsfasen endast innefattar en enda svetsoperation. Nackdelen är att flera olika modullängder krävs för att kunna hantera alla portbredder.



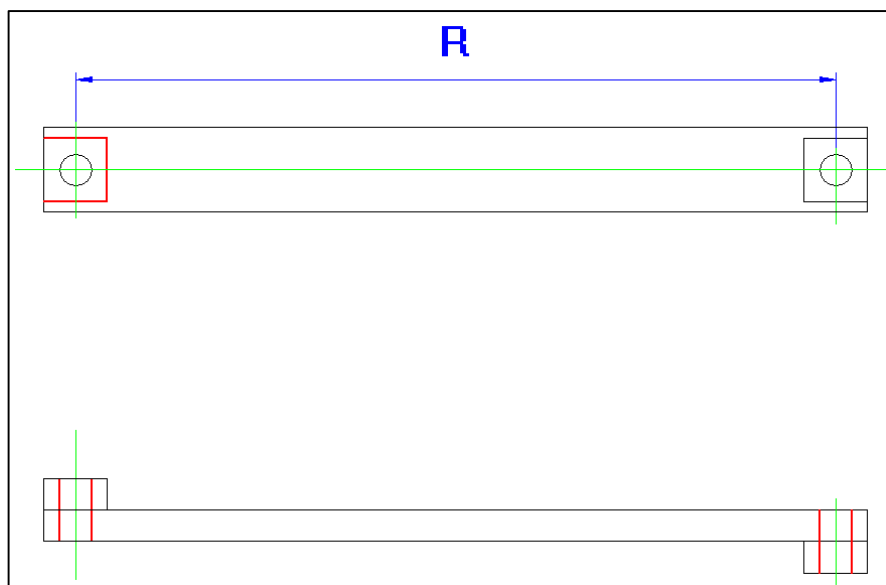
Figur 6.6 - Principskiss över drivarmen enligt koncept 3. Här har en extra stödklack lagts till på rördelen för att inte hållkantstrycket ska bli för stort. Vidare hållfasthetsberäkningar får avgöra huruvida detta är nödvändigt i det fall att konceptet ska vidareutvecklas för användning.

### 6.2.4 Utvärdering av koncept

Alla koncepten har både för- och nackdelar vad gäller hållfasthet, arbetsinsats och materialutnyttjande. Hållfastheten är säker för koncept 2 i och med att det bygger på den beprövade konstruktion som redan tillämpas. Det ska dock inte vara några problem med de andra två heller förutsatt att rör och svetsfogar dimensioneras rätt. Eftersom arbetet inte närmare ska behandla hållfasthet kommer den frågan att tills vidare lämnas därhän. Materialutnyttjandet är bäst hos koncept 1 där man använder precis så mycket som går åt. Koncept 2 kommer i princip alltid att generera spill. Koncept 3 ger inget spill men använder mer material än nödvändigt så länge som rördelen inte är i sitt yttersta läge på plattstålet, förutsatt att ytterläget är det dimensionerande. Dock kan det antas att överlappningen mellan plattstål och rör ökar böjstyvheten för länkarmen vilket är bra. Vad gäller arbetsinsatsen kräver koncept 1 två olika svetsfogar i slutmonteringen. Koncept 2 kräver kapning samt borrarning och bearbetning av hål, vilket kan vara tidsödande i och med att godstjockleken är betydande. Koncept 3 kräver bara en svetsfog. Då låg arbetsinsats vid monteringen är den högst prioriterade egenskapen och då materialanvändningen är godtagbar rekommenderas att koncept 3 bör tillämpas.

### 6.3 Dragarmen

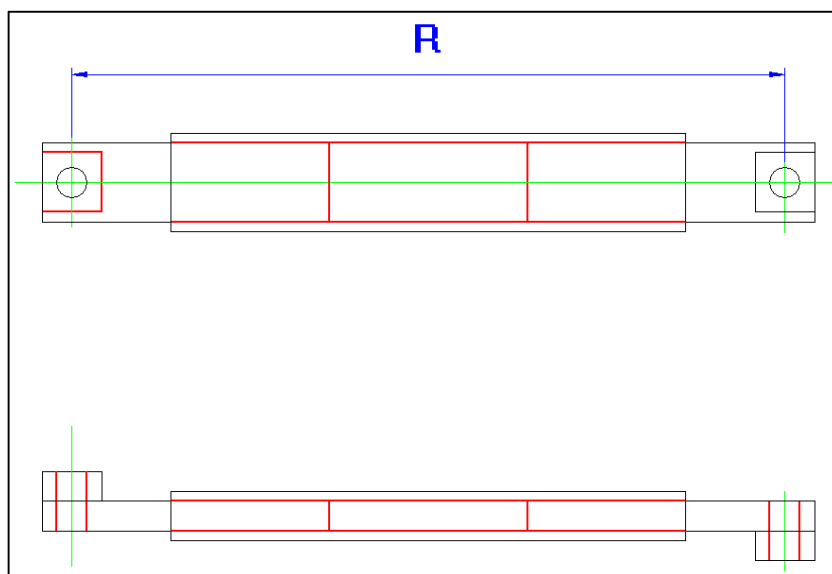
Dragarmen är principiellt uppbyggd av ett plattstål i vars ena ände det på ovansidan sitter en distansklack med genomgående hål som ska monteras samman med vridarmens ytterände. Det är alltså denna klack som skulle kunna sitta på vridarmen istället då den enbart utgör en distans mellan de två länkarmarna. Dragarmens andra ände har en stödklack med genomgående hål på undersidan för infästning i portfästet. Se Figur 6.7.



Figur 6.7 - Principritning över dragarmen i befintligt utförande.

### 6.3.1 Koncept 1

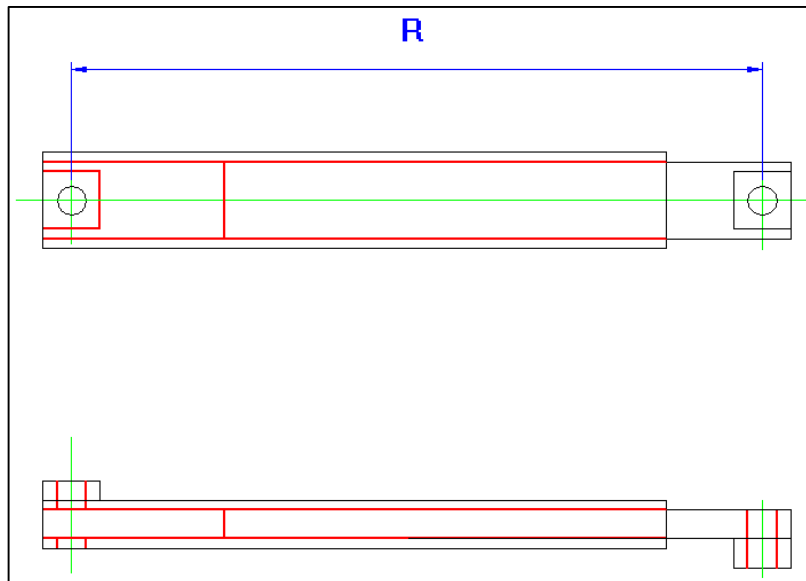
Enligt samma princip som för vridarmens koncept 1 kan även dragarmen tillverkas. Det vill säga att ändarna kapas till av plattstål som förbereds med klackar och hål för att sedan vid montering skjutas in i en bestämd sträcka i ett rör med en specifik längd och svetsas fast. Se Figur 6.8. Då dragarmen till skillnad från vridarmen inte har någon infästning mellan ändarna som kan ge upphov till böjning så kan denna princip hållfasthetsmässigt vara säkrare för dragarmen än för vridarmen. Fördelen med detta koncept är fortfarande att inget spill uppstår. Dessutom är respektive ändmodul samma del för alla portbredder, endast rörets längd förändras.



Figur 6.8 - Principskiss över dragarmen enligt koncept 1.

### 6.3.2 Koncept 2

Koncept 2 bygger på samma princip som koncept 3 för vridarmen, nämligen två moduler som förskjuts i förhållande till varandra. Detta görs genom att låta stödklacken till portfästet vara svetsad på ett rör, medan distansklacken till vridarmen är svetsad på ett plattstål, se Figur 6.9. Detta förutsätter att distansen inte monterats på själva vridarmen. Om så är fallet är plattstålet endast förberett med ett hål. Fördelen med koncept 2 är att arbetsinsatsen vid montering begränsas till en svetsoperation. Nackdelen är att den kräver ett antal olika modullängder för att kunna klara alla portbredder eftersom R-måttet varierar stort i förhållande till sitt minsta värde.



Figur 6.9 - Principskiss av dragarmens utformning enligt koncept 2.

### 6.3.3 Utvärdering av koncept

Konceptens egenskaper är i princip samma som för motsvarande koncept hos vridarmen. Det som gör skillnad är att dragarmen inte har någon infästning mitt på, vilket gör att hela länkarmens längd kan utnyttjas. Arbetsinsatsen mellan de båda koncepten skiljer sig inte med mer än en svetsoperation till fördel för koncept 2. Vad det gäller materialanvändning har dock koncept 1 en fördel. Om man tar med i avvägningarna att vridarmen rekommenderats till ett koncept som innebär ett antal olika längduppsättningar med moduler, så har dragarmens koncept 1 fördel i att det totalt sett håller nere antalet olika detaljer som behöver förtillverkas för att vara förberedd för alla portbredder. På grund av detta rekommenderas att dragarmen tillverkas enligt koncept 1.

## 6.4 Drivarmen

Drivarmen är i befintligt skick utformad på så sätt att änden som monteras ihop med propellern består av ett plattstål på vilket det på vardera sidan är påsvetsat ett annat plattstål. De yttre plattstålen bildar en rät vinkel med det mellersta och har båda ett hål för att propellern ska kunna infästas mellan dem med en genomgående sprint. Detta ändstycke är inskjutet och svetsat i ett rör, se Figur 6.10. I rörets andra ände sitter en längdinställning fastsvetsad för att kunna ta upp



de passningsfel som uppstår vid slutmonteringen av porten. Längdinställningen består av en detalj som kan skruvas fram och tillbaka på två parallella gängstänger som sitter i en platta som är svetsad i rörets ände. Detaljens hål för montering mot vridarmen sitter mitt emellan och vinkelrätt mot de genomgående hålen för gängstängerna. Själva låsningen sker med muttrar, se Figur 6.11.



*Figur 6.10 - Bild som visar drivarmarnas infästning i propellern. I övre högra hörnet ses den mekaniska överslagsstoppen som tidigare omnämnts, denna har i det här fallet monterats i efterhand. Anordningen med handtag som sitter på propellern är den mekanism som används för att frikoppla propellern från motoraxeln.*



*Figur 6.11 - Bild som visar drivarmens infästning i vridarmen. Längdinställningen skymmas bakom vridarmen.*

Då drivarmen är så pass lång och då den redan bygger på en sorts modulsystem som fungerar väl så kommer den inte att analyseras vidare i detta arbete utan behålls i befintligt utförande.

## 7 SLUTSATS

Resultatet av arbetet blev en geometrisk modell för beräkning av länkarmslängder utifrån en given portbredd (Modell 2), samt ett modulsystem för uppbyggnaden av sagda länkarmar. Detta innebär att arbetet uppfyllt sitt syfte som beskrevs i kapitel 1.2. Frågeställningen i kapitel 1.4 avseende möjligheten att ta fram dessa två lösningar kan därför besvaras jakande.

Den geometriska modellen blev relativt invecklad, främst beroende på de krav som ställdes på systemets funktion. Om alla formler läggs in i ett dataprogram så kommer arbetsbesparingen vid beredningen troligtvis att bli stor även om man för säkerhets skull vill göra en grafisk kontroll över varje enskilt resultat. Hur stor den genomsnittliga tidsbesparingen blir kan dock inte avgöras förrän man gjort mätningar av detta över en längre tid.

En av modellens nackdelar är att den kräver att man inför olika långa portfästen. Å ena sidan är detta i sig självt rent produktionsmässigt en försämring, men å andra sidan medger detta att andra delar av systemet blir bättre produktionsmässigt, såsom att inte behöva särskilja höger och vänster sida.

En osäkerhet i modellen kan vara att den för vissa formler inte har entydiga svar utan har flera lösningar. I dessa fall har en av lösningarna valts ut genom insättning av ett antal olika värden följt av grafiska kontroller av resultaten. Detta innebär alltså att beräkna länkarmarnas längder och rita upp dem för att se hur systemet blir. Det borde dock inte uppstå några problem kring detta då de ingående formlerna inte är oöverskådligt komplexa.

För att få extra säkerhet i modellen kunde ett lämpligt fortsatt arbete vara att ta fram ett program som automatiskt ritar upp en schematisk bild över länkarmssystemet utifrån de beräknade resultaten. Konstruktören kan då snabbt avgöra om allt ser ut att bli korrekt. Detta kan dock vara ett subjektivt avgörande varför det vore lämpligt att komplettera modellen med rörelseekvationer och liknande samband för att analytiskt kunna beräkna alla intressanta hastigheter och krafter.

Modulsystemet är fortfarande på konceptnivå och måste dimensioneras och specificeras innan det kan tas i produktion. Detta innebär dels optimering av modullängder och dels beräkning av hållfasthet. Även för modulsystemet gäller det att tids- och arbetsbesparingen inte kan beräknas specifikt förrän man gjort praktiska test över en längre tid.

Även om modulsystemet inte visar sig vara lämpligt att använda av en eller annan anledning så kan fortfarande de geometriska sambanden användas för att dimensionera länkarmssystemet.

Detta arbete samt det rekommenderade fortsatta arbetet innebär en förfining av det befintliga systemet med centralt övermonterad motor och länkarmssystem. Frågan är dock om inte det mest intressanta vore att studera även andra öppningsprinciper för att först se vilket koncept som är lämpligast på den nivån. Om den befintliga grundidén visar sig vara den lämpligaste att tillämpa bör man i nästa steg studera kraftkällan och den primära utväxlingen, det vill säga om motorn och propellern kan ersättas av något annat, kanske någon form av linjär drift.

## REFERENSER

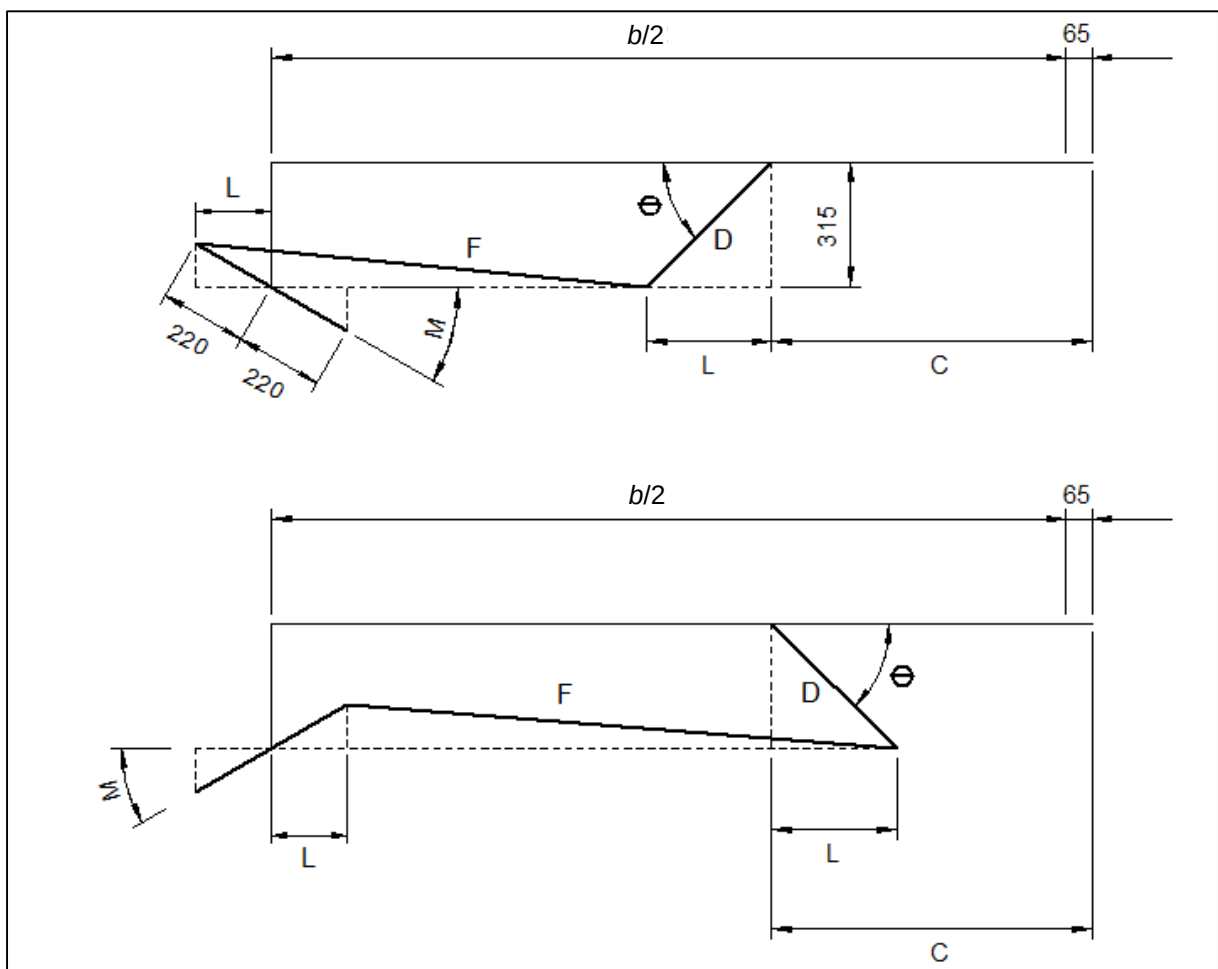
Ingenjörsvetenskapsakademien. Transportforskningskommissionen, 1976. *Porthandboken: en handbok för val av portsystem. Del 1, Portsystemets tekniska uppbyggnad*. Stockholm: Transportforskningskommissionen.

Statens Industriverk, 1987. *Industriportar*. Stockholm: Statens industriverk SIND.

## BILAGA 1

Här redovisas beräkningen av dimensionerande längder för länkmarmssystemet.

Figur A. 1 visar höger porthalva med propellern, drivarmen med måttet  $F$  och den del av vridarmen som beskrivs av  $D$ -måttet, alltså mellan väggfästet och drivarmens infästning. Vinkeln  $M$  är den marginalvinkel som propellern i sina ändlägen bildar med en tänkt linje parallell med porten. Vinkeln  $\Theta$  är den vinkel som vridarmen bildar med porten i sina ändlägen.  $C$  är sträckan från portens bakkant till vridarmens väggfäste. Portöppningen har bredden  $b$ . Porten överlappar öppningen med 65 mm. Propellerns längd är 440 mm och dess mitt och rotationscentrum ligger 315 mm ut från väggen. Sträckan  $D$  skall vara så lång att drivarmsinfästningen också befinner sig 315 mm ut från väggen i både öppet och stängt läge. Detta innebär att avståndet  $2L$  i horisontell led (parallellt med porten) mellan drivarmens infästning i propellern i öppet respektive stängt läge ska vara lika långt som det horisontella avståndet mellan drivarmens infästning i vridarmen i öppet respektive stängt läge.



Figur A. 1 - Figur som visar hur länkmarmssystemet ritats upp som underlag för formler. Överst ses propeller, drivarm samt del av vridarm i stängt läge. Nederst visas öppet läge.

Med hjälp av Figur A. 1 ställs formler upp på följande sätt:

Marginalvinkeln  $M$  skulle vara  $10^\circ$ , vilket uttrycks i radianer enligt:

$$M = \frac{10\pi}{180} \quad (1)$$

Sträckan  $L$  beror av propellerns längd som är 220 mm samt vinkeln  $M$ :

$$L = 220 \cos M \quad (2)$$

Vinkeln  $\theta$  och sträckan  $D$  styrs av att drivarmens infästning i vridarmen har bestämda positioner i öppet respektive stängt läge:

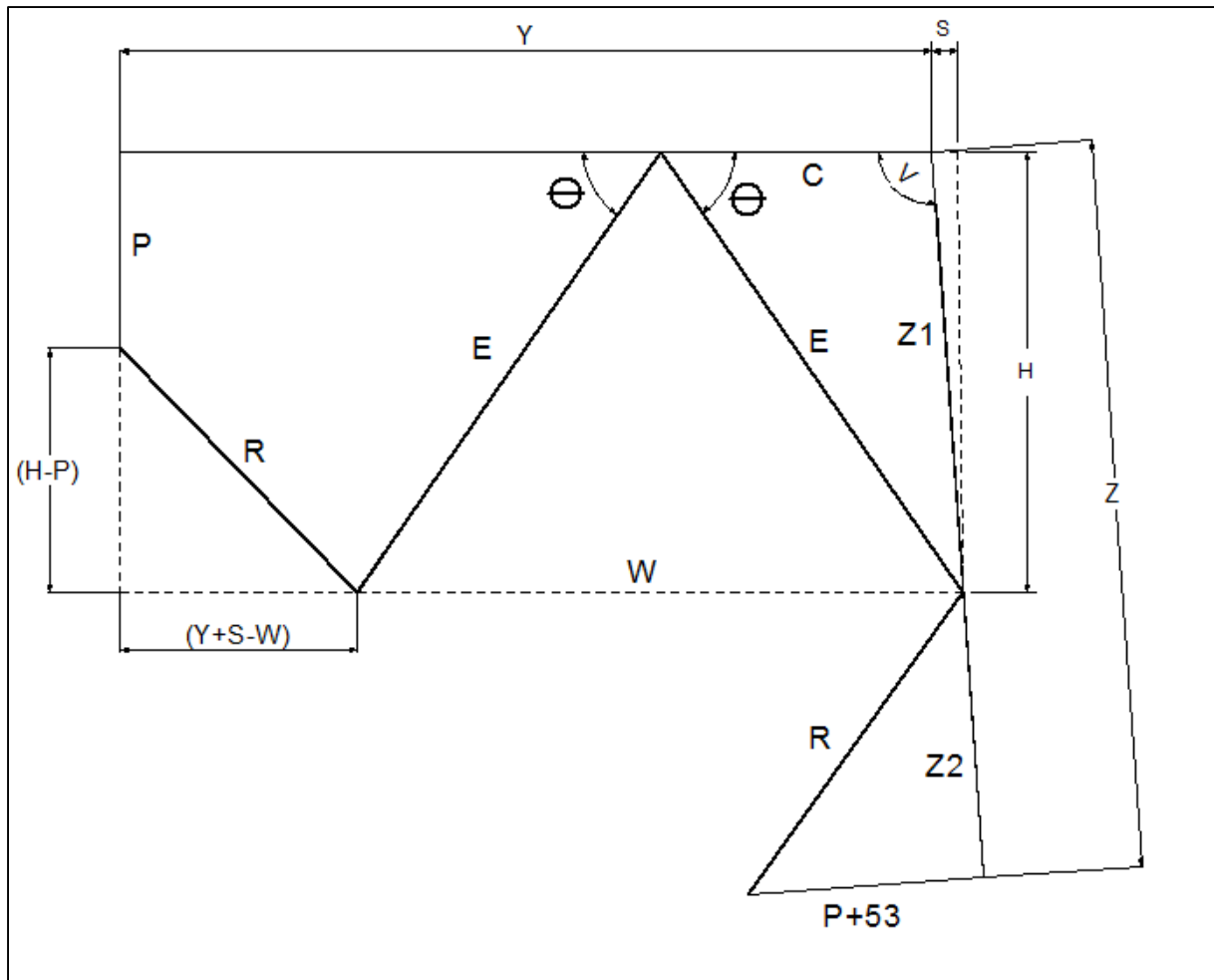
$$\theta = \arctan\left(\frac{315}{L}\right) \quad (3)$$

$$D = \sqrt{315^2 + L^2} \quad (4)$$

På grund av att propellerns startvinkel och slutvinkel är lika stora, nämligen vinkeln  $M$  (marginalvinkeln), samt för att drivarmens infästning i vridarmen vid ändlägena ligger på samma horisontallinje som propellerns mittpunkt så kommer symmetrin att ge att  $F$  är lika stor för höger och vänster sida:

$$F = \sqrt{\left(\frac{b}{2} + 65 - c\right)^2 + (220 \sin M)^2} \quad (5)$$

Figur A. 2 visar en del av höger porthalva med tillhörande vridarm och dragarm och deras positioner i öppet och stängt läge.



Figur A. 2 – Figur som visar hur länkarssystemet ritats upp som underlag för formler. Vridarm och dragarm visas för öppet och stängt läge.

Ur Figur A. 2 kan utläsas följande:

Öppningsvinkeln  $\nu$  är alltid  $94^\circ$  och uttrycks i radianer enligt:

$$\nu = \frac{94\pi}{180} \quad (7)$$

Sträckorna  $Y$  och  $Z$  definierades i kapitel 5.1 som följande:

$$Y = \frac{b}{4} + 87 \quad (8)$$

$$Z = \frac{b}{4} - 27 \quad (9)$$

Eftersom knutpunkten mellan vridarmen och dragarmen delar in  $Z$  i två delsträckor  $Z_1$  och  $Z_2$  så kan detta uttryckas på följande sätt:

$$Z = Z_1 + Z_2 \quad (10)$$

För att få fram uttryck för  $R$  användes Pythagoras sats:

$$R^2 = (H - P)^2 + (Y + S - W)^2 \quad (11)$$

$$R^2 = (P + 53)^2 + Z_2^2 \quad (12)$$

Uttryck för hjälpsträckorna  $W$ ,  $H$  och  $S$  togs fram genom att identifiera vinklar och använda trigonometri:

$$W = 2E \cos \theta \quad (13)$$

$$H = E \sin \theta \quad (14)$$

$$S = H \tan\left(v - \frac{\pi}{2}\right) \quad (15)$$

$$H = Z_1 \cos\left(v - \frac{\pi}{2}\right) = Z_1 \sin v \quad (16)$$

Positionen för vridarmens väggfäste fås enligt:

$$C = E \cos \theta - S \quad (17)$$

Dessa uttryck kan nu kombineras för att få fram de slutliga formler som beskriver länkarmssystemet som funktion av portbredden:

För (1) och (7) gäller att de är reella tal och inte kan utvecklas mer.

(8) och (9) är rena funktioner av bredden  $b$  och kan inte utvecklas mer.

$$(2) \text{ i } (3): \quad \theta = \arctan\left(\frac{315}{220 \cos M}\right) \quad (18)$$

$$(2) \text{ i } (4): \quad D = \sqrt{315^2 + (220 \cos M)^2} \quad (19)$$

$$(14) \text{ i } (15): \quad S = E \sin \theta \tan\left(v - \frac{\pi}{2}\right) \quad (20)$$

$$(14) \text{ i } (16): \quad Z_1 \sin v = E \sin \theta \quad \Rightarrow \quad Z_1 = \frac{E \sin \theta}{\sin v} \quad (21)$$

$$(21) \text{ i } (10): \quad Z = \frac{E \sin \theta}{\sin v} + Z_2 \quad \Rightarrow \quad Z_2 = Z - \frac{E \sin \theta}{\sin v} \quad (22)$$

$$(20) \text{ i } (17): \quad C = E \cos \theta - E \sin \theta \tan\left(v - \frac{\pi}{2}\right) \quad \Rightarrow$$

$$C = E \left( \cos \theta - \sin \theta \tan\left(v - \frac{\pi}{2}\right) \right) \quad (23)$$

$$(22) \text{ i } (12): \quad R^2 = (P + 53)^2 + \left(Z - \frac{E \sin \theta}{\sin v}\right)^2 \quad (24)$$

(14) & (20) & (13) i (11):

$$R^2 = (E \sin \theta - P)^2 + \left(Y + E \sin \theta \tan\left(v - \frac{\pi}{2}\right) - 2E \cos \theta\right)^2 \quad (25)$$

Omskrivning av (25):

$$R^2 = (E \sin \theta - P)^2 + \left( Y + E \left( \sin \theta \tan \left( v - \frac{\pi}{2} \right) - 2 \cos \theta \right) \right)^2 \quad (26)$$

För att få smidigare beräkningar införs en hjälpvariabel  $k$  enligt:

$$k = \sin \theta \tan \left( v - \frac{\pi}{2} \right) - 2 \cos \theta \quad (27)$$

Där  $k$  får ett konstant värde. Detta gör att (26) med hjälp av (27) kan skrivas:

$$R^2 = (E \sin \theta - P)^2 + (Y + Ek)^2 \quad (28)$$

Utveckling av (28) ger:

$$R^2 = E^2 \sin^2 \theta + P^2 - 2PE \sin \theta + Y^2 + E^2 k^2 + 2kYE \quad (29)$$

Alla former av  $E$  i (29) samlas och bryts ut enligt:

$$R^2 = E^2(\sin^2 \theta + k^2) + E(2kY - 2P \sin \theta) + (P^2 + Y^2) \quad (30)$$

Utveckling av (24) ger:

$$R^2 = P^2 + 53^2 + 106P + Z^2 + E^2 \left( \frac{\sin \theta}{\sin v} \right)^2 - 2ZE \left( \frac{\sin \theta}{\sin v} \right) \quad (31)$$

(30) och (31) slås ihop så att  $R^2$  elimineras:

$$\begin{aligned} E^2(\sin^2 \theta + k^2) + E(2kY - 2P \sin \theta) + (P^2 + Y^2) = \\ = E^2 \left( \frac{\sin \theta}{\sin v} \right)^2 - E * 2Z \left( \frac{\sin \theta}{\sin v} \right) + (P^2 + 106P + 53^2 + Z^2) \end{aligned} \quad (32)$$

$P^2$  återfinns på bägge sidor om likhetstecknet i (32) och kan därmed strykas, därefter samlas allt i vänsterledet med alla former av  $E$  fortfarande utbrutet:

$$\begin{aligned} E^2 \left( \sin^2 \theta + k^2 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 v} \right) + E \left( 2kY - 2P \sin \theta + \frac{2Z \sin \theta}{\sin v} \right) + \\ + (Y^2 - 106P - 53^2 - Z^2) = 0 \end{aligned} \quad (33)$$

För att få smidigare beräkningar införs tre hjälpvariabler  $g$ ,  $h$  och  $j$  enligt:

$$g = \sin^2 \theta + k^2 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 v} \quad (34)$$

$$h = 2kY - 2P \sin \theta + \frac{2Z \sin \theta}{\sin v} \quad (35)$$

$$j = Y^2 - 106P - 53^2 - Z^2 \quad (36)$$

Med (34), (35) och (36) kan (33) uttryckas enligt:

$$E^2 g + Eh + j = 0 \quad (37)$$

Allt i (37) divideras med  $g$  för att få  $E^2$  ensamt:



$$E^2 + \frac{h}{g}E + \frac{j}{g} = 0 \quad (38)$$

Andragradsekvationen i (38) har lösningarna:

$$E = -\frac{h}{2g} \pm \sqrt{\frac{h^2}{4g^2} - \frac{j}{g}} \quad (39)$$

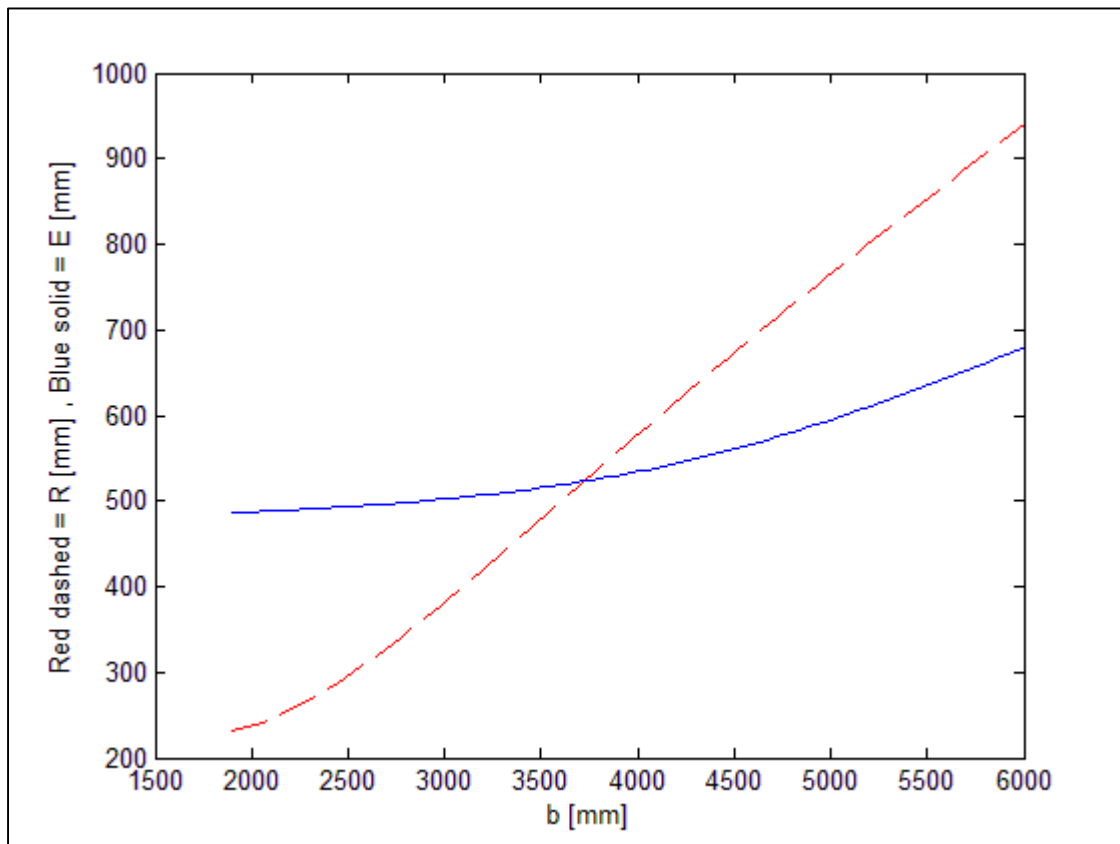
Insättningar av värden visar att endast + framför rottecknet i (39) är intressant för denna tillämpning på grund av att E-måttet annars blir för litet i förhållande till D-måttet i vissa fall. Alltså ska  $E$  beräknas enligt:

$$E = -\frac{h}{2g} + \sqrt{\frac{h^2}{4g^2} - \frac{j}{g}} \quad (40)$$

$E$  beror nu av de konstanta vinklarna  $\theta$  och  $v$ , samt portfästesmåttet  $P$  och portbredden  $b$ . Först beräknas  $E$  och sedan kan  $R$  lösas ut ur (24) enligt:

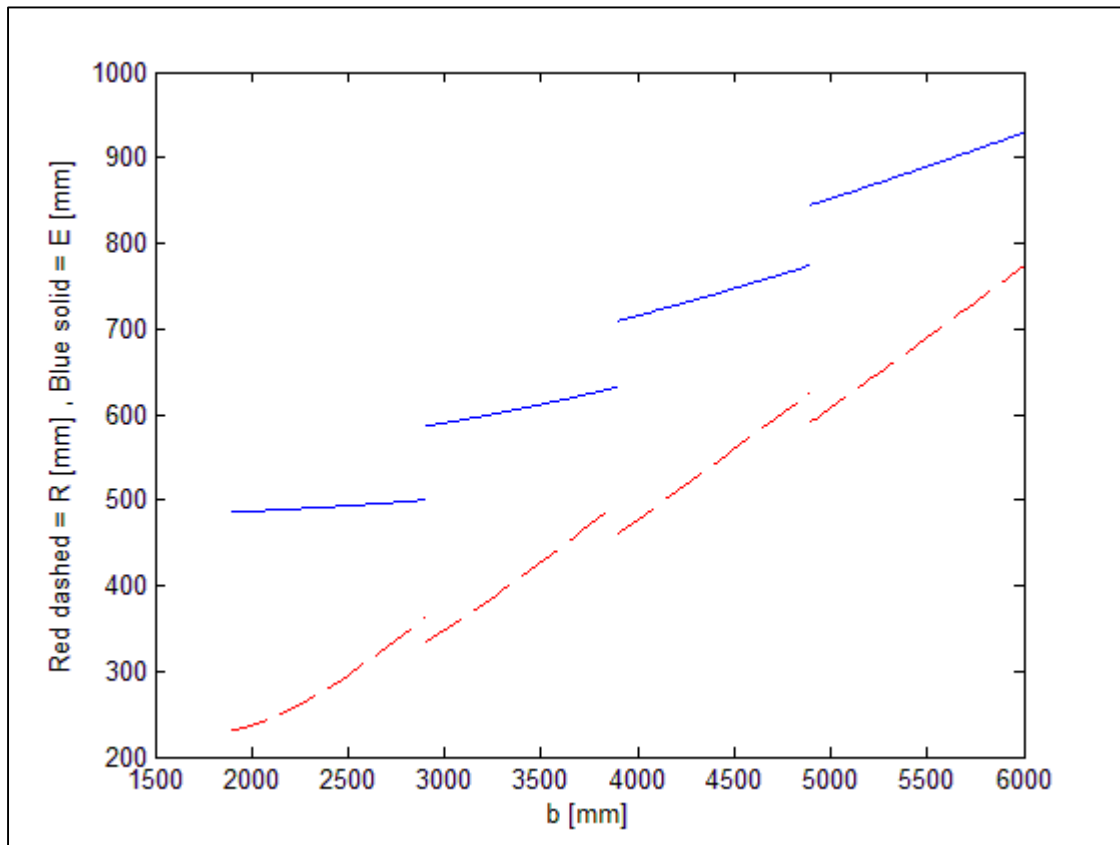
$$R = \sqrt{(P + 53)^2 + \left(Z - \frac{E \sin \theta}{\sin v}\right)^2} \quad (41)$$

Om  $P$  bestäms till ett konstant värde så kan nu  $E$  och  $R$  ritas upp som funktion av bredden  $b$ . För det befintliga  $P$ -måttet på 143 mm så visar det sig att alla bredder inte är definierade.  $P$  förlängs med 30 mm till 173 mm vilket resulterar i grafen i Figur A. 3.



Figur A. 3 - Graf som visar E-måttet och R-måttet som funktion av portbredden  $b$  om  $P$ -måttet är konstant 173 mm.  $E$  motsvarar den heldragna blå linjen,  $R$  motsvarar den streckade röda linjen.

Enligt erfarenhet bör E-måttet vara större än R-måttet för att få en lämplig geometri, vilket betyder att modellen bara fungerar bra för smala portar om P-måttet är konstant 173 mm. Därför delades P-måttet upp i delintervall enligt Tabell 5.1 i kapitel 5.5.1.  $E$  och  $R$  som funktion av bredden får då ett utseende enligt Figur A. 4.



Figur A. 4 - Grafen visar hur  $E$ -måttet och  $R$ -måttet varierar som funktion av portbredden då det totala breddintervallet delas in i fyra delintervall med olika  $P$ -mått enligt Tabell 5.1 i kapitel 5.5.1.

På detta sätt fås en godtagbar geometri för alla portbredder. För att ta fram samtliga mått som behövs för produktion och montage av länkarssystemet till en port med given bredd  $b$  används de ovan framställda formlerna enligt arbetsgången som anges i kapitel 5.5.2.