

3. Marina system

av
Anders Rosén
KTH Farkost och flyg

3.1 Introduktion

Med begreppet marina system menas tekniska system med marina funktioner. Varje fartyg byggs för en eller flera specifika funktioner under ett antal bivillkor. Funktionerna och bivillkoren skapar mycket olika konstruktions- och driftsförutsättningar för olika fartygstyper. Här ges ett axplock av ett antal marina system, de flesta med anknytning till Sverige, och en diskussion om deras utformning i förhållande till respektive funktion.

Figur 3-1 är en segelkatamaran, en Tornado som byggs av företaget Marströms i Västervik. Tornadons funktion är att segla snabbt och vinna seglingstävlingar. Ett av bivillkoren som påverkar utformningen är att den ska kunna segla snabb i alla riktningar mot vinden. Om den skulle optimeras mot funktionen att endast nå maximala toppfarter på en enda bog skulle den utformas på ett annat sätt. Andra bivillkor ges av ett 34-sidigt dokument där Internationella Tornadoförbundet i detalj specificerar Tornadoklassen, och som gör att olika Tornados kan tävla mot varandra på samma tekniska villkor.



Figur 3-1

Figur 3-2 är supertankern *Nanny* som byggdes i Uddevalla 1978. Med sin längd på 365 m är hon det största fartyg som någonsin byggts i Sverige och en av de största mobila konstruktioner som någonsin byggts i världen. Funktionen är att transportera råolja. Olja är en relativt billig produkt i förhållande till sin vikt. Därför byggs tankfartyg med fylliga former och låga farter. Fartyg med dyrare last, till exempel människor som resonerar att tid är pengar, utformas ofta för betydligt högre hastigheter. Snabbfärjorna till Gotland har till exempel mer än dubbelt så hög marschfart som tankfartyg.



Figur 3-2

Passagerarna på finlandsfärjorna (Figur 3-3) har inte fullt så bråttom. Här är en av funktionerna partykryssningar, vilket gör att fartyget är försett med barer, diskotek, biografier, mer eller mindre



Figur 3-3

exklusiva hytter, swimmingpools, mm. De här fartygen har dock flera funktioner, till exempel utför de ett betydande transportarbete genom att ha stora lastdäck för trailers och personbilar. Fartygstypen kallas RO-PAX, där PAX står för passagerare och RO kommer från Roll-on/Roll-off (RO/RO) vilket syftar på sättet som lasten hanteras.

I Figur 3-3 syns även en havskajak. Här är funktionen motion och rekreation i havsbanden. Kajaken har därför täta lastutrymmen och god sjövärdighet.

Figur 3-4 är ett av Svenska sjöräddningssällskapets fartyg med primär funktion att undsätta människor i sjönöd och rädda liv. I sjöräddningsoperationer kan det vara helt avgörande att man snabbt kommer till undsättning. Skrovet är därför utformat för att kunna plana, det vill säga i hög fart röra sig ovanpå vattnet istället för i vattnet som fartygen i Figur 3-2 och 3-3.

Figur 3-5 är det svenska örlogsfartyget Visby som är byggt av Kockums i Karlskrona. Fartyget är byggt i kolfiber och utformat för en mängd olika funktioner, till exempel attack mot ubåtar och andra ytfartyg, minläggning och minröjning, luftförsvar, mm. En delfunktion är att fartyget är byggt med så kallad stealth-teknik (smygteknik), vilket innebär att det ska synas så lite som möjligt till exempel på radar. Alla dessa funktioner och tillämpning av nya material mm har gjort att utvecklingsarbetet inbegripit en mängd forskning bland annat på KTH Marina system.

Figur 3-6 är ett annat marint system som utvecklats på KTH. I kursen 4E1402 *Marin design* utvecklade studenter 2004 subskimmern Infernus, som är en hybridfarkost som både fungerar som snabbgående ytfartyg och ubåt.

Figur 3-7 är det svensk-norska rederiet Wallenius-Wilhelmsens konceptfartyg E/S Orcelle. Detta är en pentamaran, med ett huvudskrov och fyra små sidoskrov. Funktionen är som för alla Wallenius-Wilhelmsens fartyg att transportera bilar. E/S står för *Environmentally Sound Operations*. Fartyget är utrustat med ett flertal miljövänliga framdrivningssystem, till exempel segel, solceller och fenor som kan ta vara på vågenergi, och är en idé om hur ett framtida fartyg kan tänkas se ut.



Figur 3-4



Figur 3-5



Figur 3-6



Figur 3-7

Förutom fartyg finns en mängd andra sorters marintekniska system, som till exempel oljeplattformen i Figur 3-8. Ett annat exempel på detta är sjökranen Lodbrok i Figur 3-9. Pontonen som bär kranen är utformad för att kunna bära kranlyft på upp till 260 ton. Den 50 år gamla kranen har bland annat deltagit i bärgandet av regalskeppet Vasa samt vid olika brobyggen. Mest känd är den dock förmodligen för påseglingen av Essingeleden i Stockholm hösten 2005.

I följande två avsnitt ges exempel på och en kort introduktion till några problemområden inom ämnesområdet marina system – hydrostatik och stabilitet samt fartygs framdrivningsmotstånd. Denna lilla skrift avslutas sedan med en kort beskrivning av *naval architecture* eller *skeppsbyggnad* som det heter på svenska om det handlar om fartyg, det vill säga designprocessen för fartyg och andra marina system.



Figur 3-8



Figur 3-9

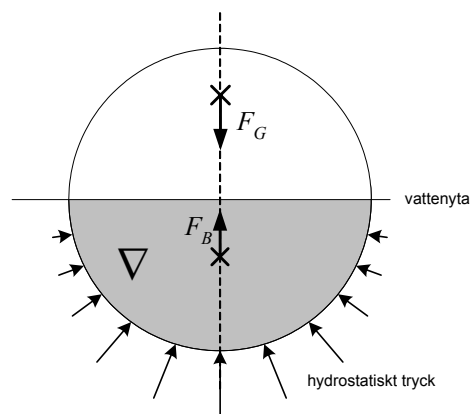
3.2 Hydrostatik och stabilitet

Trots de stora olikheterna mellan olika marina system som illustrerats ovan, är många grundläggande tekniska principer desamma. Den mest fundamentala principen är väl den som på 200-talet fKr formulerades av den grekiska matematikern Arkimedes, enligt myten då han låg i badkaret.

Den första mänskliga farkosten var förmodligen en stock som man satt gränsle på (Figur 3-10). Som illustreras för ett tvärsnitt av stocken i Figur 3-11, utsätts den våta ytan hos en kropp nedsänkt i vatten för ett hydrostatiskt tryck som verkar vinkelrätt mot kroppens yta. Det hydrostatiska trycket ökar med avståndet under ytan, så att kroppens lägsta delar utsätts för störst tryck. Precis som att massfördelning för en kropp i vila kan sammanfattas som en tyngdkraft ($F_G = mg$ i Figur 3-11, där m är totala massan och g är gravitationskonstanten) verkandes lodrätt nedåt i kroppens masscentrum, kan det hydrostatiska trycket på en kropp sammanfattas som en hydrostatisk lyftkraft



Figur 3-10



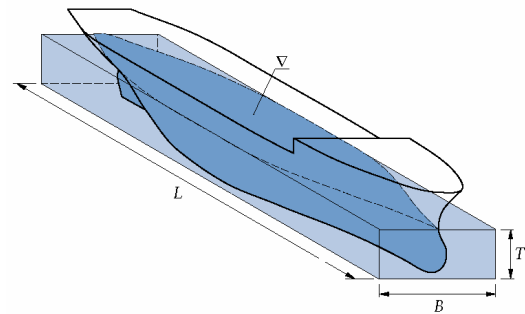
Figur 3-11

(F_B i Figur 3-11) verkandes lodrätt uppåt genom undervattens kroppens volymcentrum (G står för engelskans *gravity* medan B står för engelskans *buoyancy* vilket ungefär kan översättas med bojighet). Det är storleken av denna sistnämnda kraft som formulerades av Arkimedes vars princip säger att "en kropp nedsänkt i en vätska påverkas av en uppåtriktad kraft som är lika stor som vikten av den undanträngda vätskan". Den undanträngda volymen kallas kroppens *volymdeplacement* och betecknas som i Figur 3-11 ofta med symbolen ∇ . Ordet *deplacement* kommer från engelskans *displace* som betyder just undantränga. Den hydrostatiska lyftkraften kan alltså uttryckas som $F_B = \rho g \nabla$, där ρ är vattnets densitet och g är gravitationskonstanten.

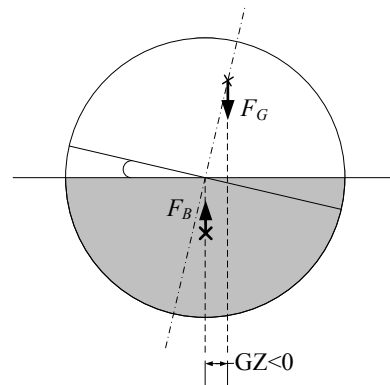
Ett fartyg flyter i jämvikt i ett läge där dess *deplacements* massa motsvarar dess totala massa, eller uttryckt i krafter där $F_G = mg = F_B = \rho g \nabla$, och där tyngdkraften verkar vertikalt genom *deplacement*centrum och den hydrostatiska lyftkraften verkar vertikalt genom masscentrum som i Figur 3-11.

Ekipaget stock och människa har ett ganska högt tyngdpunktsläge. För fartyget i Figur 3-11 ligger masscentrum en bit ovanför vattenytan. I Figur 3-13 har stocken och dess passagerare påtvingats en störning genom en krängningsvinkel η . Detta ger en situation där tyngdkraften F_G och den hydrostatiska lyftkraften F_B bildar ett kraftpar som ger ett moment som strävar efter att öka krängningsvinkeln. Fartyget är instabilt! Precis som för en cykel är det dock ändå möjligt för en människa att behålla balansen på stocken, genom att aktivt motverka krängning med förskjutning av tyngdpunktsläget, och genom att paddla med händerna på stocken eller vrida på styret på cykeln.

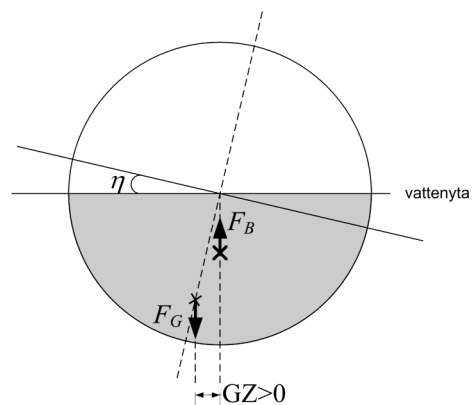
För de flesta fartyg saknas dock möjligheten att aktivt motverka krängning och därigenom kompensera instabilitet. Fartyget måste istället vara stabilt i sig själv. Eventuellt var det därför som människan någon gång i historien började urholka sina stockfartyg. På detta sätt minskade man ekipagets massan samtidigt som den vattenundanträngande volymen bibehölls. Resultatet blev en kanot. Besättningen kunde nu färdas torrskodda i fartyget. Dessutom erhöles en drastisk förändring av massfördelningen. Tyngdpunkten för hela systemet – skrovet, lasten och besättningen – sänktes. Resultatet illustreras schematiskt i Figur 3-14, som motsvarar Figur 3-13 fast med en avsevärt lägre tyngdpunkt. Den stora vinsten är att kraftparet $F_G - F_B$ istället för ett krängande moment här skapar ett rätande moment som motverkar krängningen. Farkosten är stabil och återgår efter



Figur 3-12



Figur 3-13

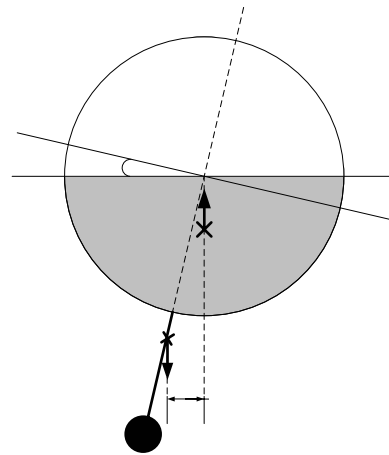


Figur 3-14

en störning till sitt ursprungsläge istället för att kapsejsa.

Enligt Figur 3-14 kan det rätande (eller krängande i Figur 3-13) momentet uttryckas som $GZ \cdot F_B$, där $F_B = \rho g \nabla$ är den hydrostatiska lyftkraften enligt ovan, och GZ är den *rätande hävarmen* som är lika med det horisontella avståndet mellan den hydrostatiska lyftkraftens och tyngdkraftens respektive verkningslinjer. GZ är definierad så att $GZ > 0$ om kraftparet $F_G - F_B$ ger ett rätande moment (stabilt fartyg, Figur 3-14), och $GZ < 0$ om kraftparet $F_G - F_B$ ger ett krängande moment (instabilt fartyg, Figur 3-13).

Vid något senare tillfälle i historien kom människan på att fartyg kunde drivas framåt med hjälp av vinden genom användande av segel. Problemet är bara att vinden i seglen förutom kraften framåt även skapar ett stort krängande moment. Ett sätt att hantera detta är att förse fartyget med en tung köl (Figur 3-15). Härigenom sänker man tyngdpunkten ytterligare, ökar GZ , och skapar därigenom ett ökat rätande moment som motverkar krängningen. På en del segelbåtar, som Volvo Ocean Race båten *Ericsson* i Figur 3-16, har man dessutom infört en konstruktionslösning där kölen kan vinklas i sidled. Härigenom separerar man tyngdkraftens och den hydrostatiska lyftkraftens verkningslinjer ytterligare och skapar därigenom en större hävarm (GZ) och ett större rätande moment. (Notera att kölar även har funktionen av fena för att skapa sidkrafter som motverkar sidkrafterna från seglen och därigenom gör så att segelbåten inte driver iväg i sidled).



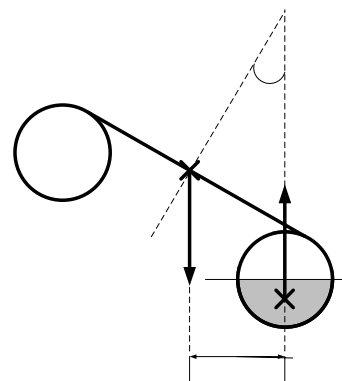
Figur 3-15



Figur 3-16

Utriggare, katamaraner och trimaraner är andra konstruktionslösningar som också ökar det rätande momentet genom att separera tyngdpunkt och hydrostatisk lyftkraft (öka GZ). Principen illustreras i Figur 3-17. Denna princip tillämpas för segelkatamaraner, som Tornadon i Figur 3-1, men även för stora färjor som den i Figur 3-18. Flerskrovsprincipen gör att man kan erhålla god stabilitet trots att respektive skrovdell är mycket slank. Som beskrivs i nästa avsnitt har slanka skrov stora fördelar vad gäller framdrivning i hög fart.

För skrov med cirkulära tvärsnittsgeometrier krävs att tyngdpunkten är lägre än deplacementcentrum för att erhålla stabilitet (som visades i Figur 3-13 - Figur 3-15). Figur 3-17 visar dock att stabilitet kan uppnås med ett flerskrovsfartyg trots att tyngdpunkten ligger långt över vattenytan. För Tornadon i Figur 3-1 och HSS-färjan i Figur 3-18 är det ganska uppenbart att tyngdpunkten ligger ovanför vattenytan.



Figur 3-17

Figur 3-19 visar ett av världens största containerfartyg – *OOCL Shenzhen* – som kan transportera över 9000 containrar. Figur 3-20 visar förmodligen världens minsta containerfartyg, som nätt och jämt får plats med en container. Var ligger tyngdpunkten för dessa fartyg? Svaret på den första frågan är ganska uppenbar från figurerna – tyngdpunkten ligger helt klart över deplacementcentrum och troligtvis även över vattenytan. Men hur klarar de då stabiliteten? Lösningen på stabilitetsproblemet för enkelskrovsfartyg med hög tyngdpunkt ligger i skrovformen. Tvärsnitten för fartygens i Figur 3-19 och Figur 3-20 skrov är snarare rektangulära än cirkulära. Stabilitetsegenskaperna hos ett rektangulärt tvärsnitt illustreras i Figur 3-21. Vad som här händer vid krängning är inte bara att tyngdpunkten förskjuts som i de tidigare exemplen. Även deplacementcentrum förskjuts genom att deplacementet omfördelas och undervattenskroppen ändrar form. I Figur 3-21 visas denna omfördelning av deplacementet som att en volym dV har flyttats från fartygets ena sida till den andra. Resultatet är ett $GZ > 0$, det vill säga ett stabilt fartyg, trots att tyngdpunkten ligger klart över deplacementcentrum och till och med över vattenytan. Ju bredare fartyget är desto större blir deplacementsförskjutningen och därmed även stabiliteten.

När man utvecklar ett nytt fartyg måste man se till att fartyget får ett deplacement som är tillräckligt stort för att bära den tänkta vikten i form av fartygets egenvikt, last, passagerare mm. Man måste givetvis även se till att fartyget har en tyngdpunkt och skrovform som gör fartyget stabilt, så att det automatiskt rätar upp sig efter störningar till exempel från vind och vågor. För ett befintligt fartyg är det till exempel viktigt att hålla koll på stabiliteten vid lastning och lossning.



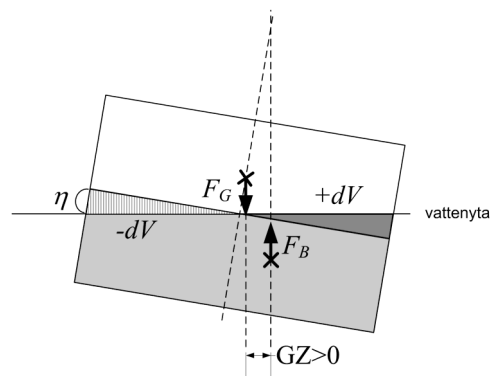
Figur 3-18



Figur 3-19



Figur 3-20



Figur 3-21

3.3 Framdrivningsmotstånd

En annan central aspekt för fartygs prestanda är framdrivningsmotståndet. Givetvis är det eftersträfvansvärt att ha ett så lågt framdrivningsmotstånd som möjligt. För ett handelsfartyg gör ett lågt motstånd att man klara sig med en mindre motor och därmed mindre bränsleförbrukning, mindre bränslekostnader och mindre miljöbelastning. För ett tävlingsfartyg gör istället ett lågt motstånd att man når högre farter med befintlig framdrivningseffekt.

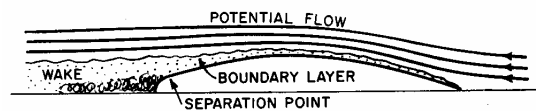
Framdrivningsmotståndet för en ubåt, som till exempel ubåtsräddningsfarkosten i Figur 3-22, är helt och hållet förknippat med vattnets viskositet. Som illustreras för en halvkropp i Figur 3-23 kan det viskösa motståndet delas upp i olika komponenter; dels tangentiella friktionskrafter i gränsskiktet mellan vattnet och skrovet; dels energiförluster i avlösningssvirlar; och slutligen tryckkrafterna på främre delen av farkosten, som i en ideal vätska skulle återvinnas i aktern enligt d'Alemberts paradox, men som på grund av vaken ger ett nettomotstånd. Summan av dessa komponenter refereras till som *visköst motstånd*.

För ett ytgående fartyg tillkommer en effekt genom bildandet av svallvågor. Bildandet av svallvågorna medför att en del av den energi som skulle kunna användas för att driva fartyget framåt istället går åt till att bilda svallvågorna. Till det viskösa motståndet läggs ytterligare en komponent, *vågbildningsmotståndet*. Vågbildningen kring ett ytgående fartyg illustreras i Figur 3-24. Det man mest lägger märke till när ett fartyg kör förbi är de divergerande vågorna som propagerar bort från fartyget. Faktum är dock att den största energiförlusten går till bildandet av de transversella vågorna som propagerar med fartyget. Vattenvågor har egenheten av en konstant relation, $V_w/\sqrt{L_w}=1.25 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$, mellan deras propageringshastighet V_w och deras längd L_w . Långa vågor har alltså högre propageringshastighet än korta. De transversella fartygsgenererade vågorna rör sig med samma hastighet som fartyget, $V_w=V$ där V är fartygets fart. Således är deras längd $L_w=(V/1.25)^2 \text{ m}$. Som synes är de transversella vågorna i Figur 3-24 ungefär en fjärdedel så långa som fartyget, det vill säga $L/L_w=4$ där L är fartygets vattenlinjelängd. Tillståndet kan beskrivas i termer av en fart-längd-relation, $V/\sqrt{L}\approx 0.6$.

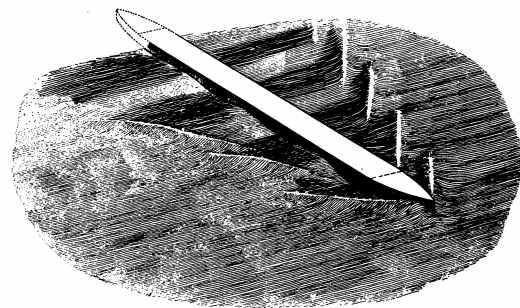
Vågbildningen kring ett ytgående fartyg är relaterat till tryckvariationerna utmed skrovet, principiellt övertryck i vågtopparna och undertryck i vågdalarna. För låga farter, eller egentligen för låga fart-längd-relationer V/\sqrt{L} , så är fartyget flera gånger längre än svallvågslängden. Här tar tryckvariationerna ut varandra utmed skrovlängden, fartyget har samma trim och djupgående som i stillaliggande, och fartyget bärs helt och hållet av de hydrostatiska lyftkrafterna. Motståndet domineras här av de viskösa effekterna (se



Figur 3-22



Figur 3-23



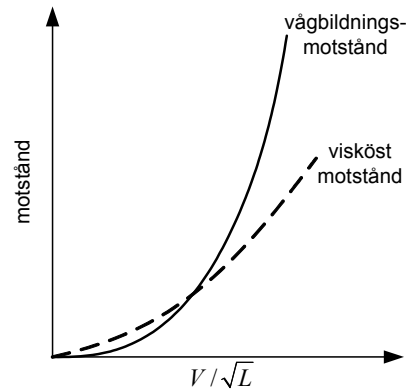
Figur 3-24

Figur 3-25). Det viskösa motståndet är proportionellt mot fartygets våta yta. För att minimera motståndet i låga farter gäller det alltså att minimera fartygets våta yta. Den form som har minst yta i förhållande till sin volym är klotet. Av flera skäl är dock klotformen opraktisk för fartyg, till exempel vad gäller stabiliteten, både tvärskeppsstabiliteten enligt föregående avsnitt, och kursstabiliteten, det vill säga fartygets förmåga att hålla en given kurs. För att ha en låg fart-längd-relation krävs ju också en viss längd på fartyget. Långsamtgående fartyg ges dock normalt en så fyllig form som möjligt som till exempel tankfartyget i Figur 3-26.

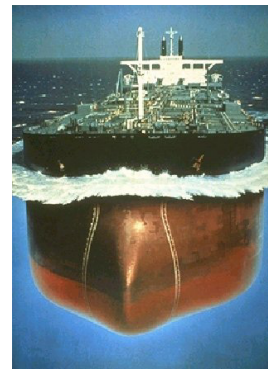
Om fartyget i Figur 3-24 skulle öka farten, så ökar även längden av de fartygsgenererade transversella vågorna. Med farten ökar även vågbildningsmotståndet. Vid en fart-längd-relation $V/\sqrt{L} > 0.9$ så är våglängden mer än halva fartyglängden. Här börjar vågbildningsmotståndet bli den dominerande motståndskomponenten (se Figur 3-25). Åtgärden för att minimera motståndet i dessa farter är att ge skrovet en slankare form. Intuitivt inser man nog att ett slankt skrov bygger mindre svall än ett trubbigt och fylligt skrov. Kajaker är exempel på fartyg som framförs i höga fart-längd-relationer V/\sqrt{L} , och därför utformas med mycket slanka skrov (se Figur 3-27). Notera att ett slankt skrov även ger lägre avlösning (jämför Figur 3-23). Ett slankt skrov ger därför även lägre friktionsmotstånd i hög fart än ett fylligt skrov.

Ett mått som används för att karaktärisera ett skrovs fyllighet och slankhet är blockkoefficienten, C_B . Denna definieras som $C_B = \nabla / LBT$, där ∇ är fartygets volymdeplacement, L är vattenlinjelängden, B är största vattenlinjebredden, och T är djupgåendet (se Figur 3-12). Stort C_B motsvarar alltså ett fylligt skrov, medan litet C_B motsvarar ett slankt

skrov. Enligt resonemanget ovan är det följaktligen lämpligt med stort C_B för långsamtgående fartyg (fartyg med låga V/\sqrt{L}), och litet C_B för snabba fartyg. Figur 3-28 visar en ungefärlig relation mellan lämplig blockkoefficient och fart. Farten är här uttryckt i termer av Froudes tal $F_n = V/\sqrt{gL}$, som alltså är en dimensionslös variant av fart-längd-relationen ovan. Notera att kanoten i Figur 3-27 har en vattenlinjelängd på



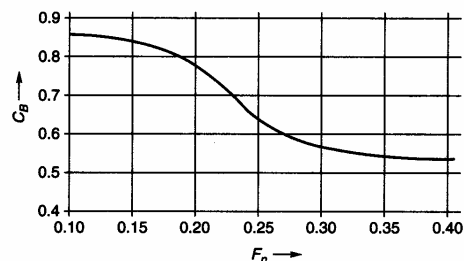
Figur 3-25



Figur 3-26



Figur 3-27



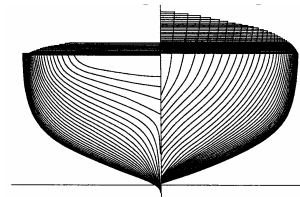
Figur 3-28

cirka 4 m och en marschfart på cirka 4 knop (ca 2 m/s) vilket motsvarar $F_n=0.33$, medan supertankern i Figur 3-2 har en betydligt högre marschfart, 16 knop (ca 8 m/s) men som på grund av sin längd 365 m har en betydligt lägre dimensionslös hastighet $F_n=0.14$.

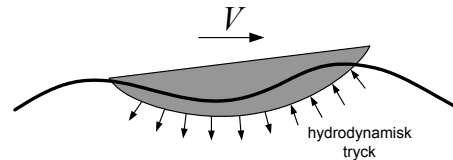
Antag att fartyget i Figur 3-24 ökar farten ytterligare. Vid en fart-längd-relation $V/\sqrt{L}=1.25$ genereras vågor som är lika långa som fartygets vattenlinjelängd. Situationen illustreras i Figur 3-30. Vid dessa farter är det inte bara de hydrostatiska trycken som har betydelse. Den relativa rörelsen mellan skrovet och vattnet genererar även betydande hydrodynamiska tryck. Som illustreras i Figur 3-30 så bildas på en konkav kropp (som skroven i Figur 3-26 och Figur 3-27) ett övertryck i förskeppet och ett sug i aktern. Fören reser sig och aktern sugas ner. Djupgåendet och den våta ytan ökar, och därmed ökar även det viskösa motståndet. Mest betydande blir dock ökningen av vågbildningsmotståndet. Fartyget drar här upp stora svall och klättrar i uppförsbacke på sin egen bogvåg.

För att minimera avlösning-motståndet utformas långsamtgående ($V/\sqrt{L}<1.25$) fartyg med fördel med mjuka konvexa linjer. Ett exempel på detta är fiskebåten vars spantruta visas i Figur 3-29 (en spantruta visar ett antal tvärsnitt av skrovet, normalt med den förliga hälften till höger och den akre hälften till vänster). För högre farter ($V/\sqrt{L}>1.25$) vänds dock alltså denna skrovform till en nackdel. Vill man öka farten ytterligare spelar det ingen roll hur stark motor man har. För en konkav skrovform är det som att köra in i en vågbildningsmotståndsvägg för fart-längd-relationer $V/\sqrt{L}>1.25$.

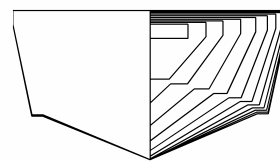
För att framföra ett fartyg i högre farter krävs helt andra skrovformer. Några extrema varianter för att ta sig igenom vågbildningsmotståndsväggen är svävare och bärplansbåtar. Den vanligaste lösningen för snabba fartyg är dock planande skrov. Figur 3-31 är Stridsbåt 90's spantruta. Detta är ett typiskt planande skrov. För det långsamtgående skrovet ville man undvika avlösning. För det planande skrovet



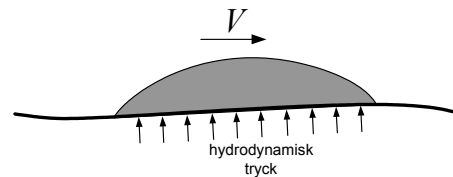
Figur 3-29



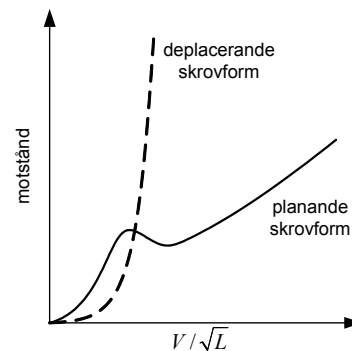
Figur 3-30



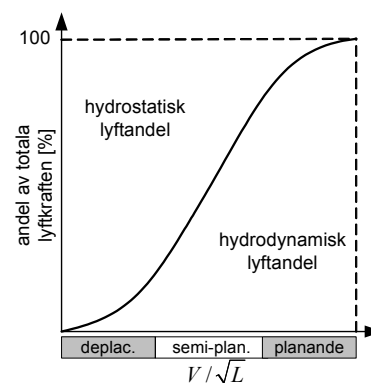
Figur 3-31



Figur 3-32



Figur 3-33



Figur 3-34

försöker man istället initiera avlösning genom den skarpa avslutningen i en tvär akterspegel och skarpa slag (gräns mellan botten och sida). Härigenom eliminerar man det hydrodynamiska undertrycket och skapar istället ett hydrodynamiskt övertryck över hela fartygsbotten (se Figur 3-32). Istället för att sugas ner lyfts skrovet ur vattnet. Härigenom minskas den våta ytan och tillhörande visköst motstånd. Med mindre kropp i vattnet åstadkoms även en drastisk minskning av vågbildningsmotståndet. I Figur 3-33 visas schematiskt motståndet som funktion av farten för deplacerande skrov (skrov som i huvudsak bärs av deplacementskrafter) och planande skrov som i högre hastigheter bärs av hydrodynamiska krafter. Figur 3-34 illustrerar schematiskt hur stor andel av den totala lyftkraften som utgörs av hydrostatiska respektive hydrodynamiska krafter, som funktion av farten. Normalt brukar man kategorisera $V/\sqrt{L} < 1.25$ som deplacerande fart, $1.25 < V/\sqrt{L} < 2.8$ som semi-planande fart och $V/\sqrt{L} > 2.8$ som planande fart. Motsvarande intervall uttryckt i Froudes tal, $F_n = V/\sqrt{gL}$, är $F_n < 0.4$ för deplacerande, $0.4 < F_n < 0.9$ för semi-planande, och $F_n > 0.9$ för planande.

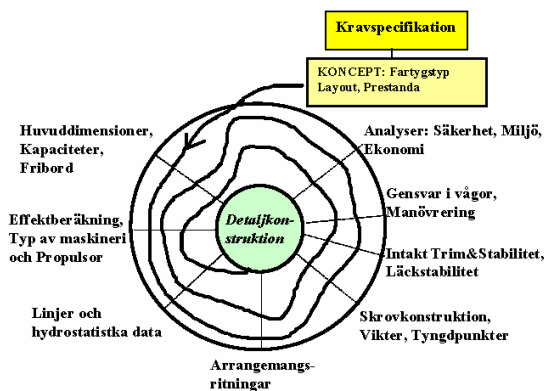
3.4 Naval Architecture

Vid utveckling av ett marintekniskt system, till exempel ett fartyg, måste man beakta en mängd olika faktorer. Några av de mest centrala faktorerna har berörts i de två föregående avsnitten. Fartygets skrov måste ha tillräckliga dimensioner, måste ha tillräckligt stort deplacement, för att kunna bära den tänkta lasten. Det ska hålla sig på rätt köl, det vill säga vara stabilt, oberoende av om det är tomt eller fullastat med hundratusentals ton last, och oberoende av om det är stiltje eller går höga vågor. Skrovet ska ha en form som minimerar motståndet i de tänkta fartområdena, så att det drar så lite bränsle som möjligt och därmed belastar miljön så lite som möjligt och är effektivt till exempel ur ekonomisk synvinkel. Vidare måste fartyget vara försett med ett propulsionsarrangemang (motor och propeller, segel eller paddel och paddlare) som kan övervinna motståndet, samt roder eller andra manövreringssystem. Skrovstrukturen måste ges tillräcklig hållfasthet och vara säkert och funktionell trots att det utsätts för extrema belastningar och slitage från väder, vågor, vind, hantering av last, mm.

Många av dessa aspekter står i motsatsförhållande till varandra, till exempel så kan ett slankt skrov ha lågt framdrivningsmotstånd men samtidigt dålig stabilitet. Utvecklingsarbetet är därför en iterativ process där fartygets geometri och dimensioner, lastkapacitet och fart vägs mot kravspecifikationen som specificerar fartygets funktion och prestanda och olika bivillkor. Processen kan symboliskt beskrivas av en designspiral (se Figur 3-35). Man utgår från någon form av kravspecifikation som definierar fartygets funktioner och

prestanda. Inledningsvis genomför man ett första varv i designspiralen där man mer överslagsmässigt analyserar

- huvuddimensioner, kapaciteter och fribord,
- skrovgeometri (linjer) och hydrostatiska data,
- skissartade arrangemangsrutningar,
- grov uppskattning av dödvikt (lastvikt, bunker, eventuell ballast mm), lättvikt (vikten av skrovstrukturen, maskineri mm), samt tyngdpunktslägen,



Figur 3-35

- trim (flytläge) och stabilitet,
- inledande analyser av säkerhet, miljö och ekonomi.

I nästa varv i designspiralen förfinar man analysen, uppdaterar resultaten från det första varvet, och utökar analysen med motstånds- och effektberäkning, typ av maskineri och propulsor. I ett tredje varv förfinar man analysen ytterligare, gör nya uppdateringar av tidigare resultat, och lägger till analys av läckstabilitet. Här definierar man fartygets indelning i olika vattentäta sektioner som säkerställer fartygets säkerhet även efter att det sprungit läck till exempel på grund av grundstötning eller av att man tappat bogvisiret. Efter detta har man kommit så långt att man kan ge sig på skrovkonstruktionen. Efter en preliminär skrovdimensionering kan man förfinar analysen av lättvikten, vilket kan leda till uppdatering av displacementet och så vidare varv efter varv i designspiralen.

Utöver de tekniska frågorna måste man i utvecklingsarbetet även beakta att fartyget ingår som en del i ett större system av andra fartyg och farkostslag, hamnar, vägar och annan infrastruktur, nationell och internationell lagstiftning, klassnings- och tävlingsregler om det handlar om en tävlingsbåt, och ett stort antal olika aktörer som till exempel besättning, passagerare, fartygsägare, lastägare, varv, konstruktörer, myndigheter och tävlings eller marknadskonkurrenter.

Allt detta sammantaget gör utveckling av marinatekniska system, *naval architecture* som det heter på engelska, till ett mycket sammansatt och krävande, men samtidigt spännande och stimulerande, ingenjörsarbete.

Utbildningen på Marina system på KTH leder till att man blir en *Naval Architect* (Skeppsbyggare). Se exempel på "definition" av *naval architecture/architect* på <http://www.rina.org.uk/page389.html>.