

Att flytta vatten kostar otroliga mängder energi. Därför är det både viktigt och intressant att förstå vad som påverkar vågmotstånd och friktion runt ett skrov.

JAKTEN PÅ DET PERFEKTA SKROVET

Båtbranschen har ett smärtsamt mycket sämre läge än bilindustrin, när det gäller att ställa om till fossilfritt och energieffektivt. Både skrov, bärplan och allt annat som släpar i vatten innebär ett mycket högt motstånd, vilket kräver mycket energi.

TEXT JOHANNES NORDEMAR

det här temat ska vi fördjupa oss i båtars skrov, naturliga förutsättningar för framfart i vatten samt energioptimering. Att det inte finns några långa nedförsbackar på sjön är tydligt. Men att ett båtskrov tvingas jobba i ständig uppförsbacke på sin väg genom vattnet är inte lika uppenbart.

När ett fordon på hjul väl accelererat till en konstant hastighet, krävs det inte särskilt

mycket energi för att hålla massan i rörelse. Motorn ska kompensera för friktionsförluster och den motriktade kraft som det innebär. Luftmotståndet är exempelvis en sådan kraft. Men det är stor skillnad mellan friktion i luft och i vatten. Våg- och vattenmotståndet är högt redan vid låga hastigheter. Prova att sticka ner en lång och smal pinne i vattnet vid 2–3 knops fart så upptäcker du att det är tungt att hålla den lodrät.

Det är kolossala mängder vatten som ska flyttas när en båt far fram. Svallvågor är vatten som flyttas av båten och det kan handla om hundratals kilo per sekund även kring en mindre båt.

Det är dessa naturkrafter som ett båtskrov tvingas hantera, och det är vad som gör det så ogynnsamt att färdas genom vatten. I alla fall på det sätt vi är vana vid när det gäller dagens fritidsbåtar.



HEMLIGHETEN MED ATT ÅKA SNABBT

När det gäller ekonomisk fart har båtens vågbildande längd stor inverkan inom lågfartsområdet, medan den våta ytans storlek och form har stor inverkan vid planing.

På sjön finns det än så länge inga genvägar för planande båtar att nå höga farter. Att hänga på så stora motorer som möjligt är fortfarande receptet för att åka riktigt fort. Men det går redan idag att åka mer eller mindre energieffektivt. När det gäller farter under planingströskeln finns det flera parametrar på ett skrov som kan justeras för att optimera farten, där den vågbildande längden och Froudes längdtal är nycklar vi ska titta närmare på.

En lång displacementsbåt går snabbare i låga fartområden än en kort displacementsbåt. Men en kort och lätt planande båt kan gå snabbare

bare i ett högre fartområde än en lång planande båt. Så hur hänger allt ihop?

Förenklat kan fritidsbåtar delas upp i två kategorier: displacementskrov och planande skrov. Ett displacementskrov pressar vattnet åt sidorna under sin väg genom vattnet, och ett planande skrov glider helt eller delvis ovanpå vattnet i farter över planingströskeln. Dessutom fungerar ett planande skrov precis som ett displacementskrov i låga farter, vilket gör det än mer komplext för skrovkonstruktörerna.

Arkimedes princip

Flera krafter påverkar en båts färd genom vattnet. En båt som ligger still hålls flytande tack vare det hydrostatiska trycket, vardagligt kallat flytkraft. Flytkraften kan förklaras genom Arkimedes princip, "ett föremål nedsänkt i vätska påverkas av en uppåtriktad kraft, som är lika stor som tyngden av den undanträngda vätskan".

Är föremålets densitet högre än vattnets, så sjunker förstås föremålet. Men är föremålets densitet lägre än vattnets så flyter föremålet, vilket är fallet med en båt, som ju är ihålig och innehåller mycket luft. Vattnets densitet är ungefär 1000 kg per kubikmeter, till skillnad från luft, som bara väger cirka 1,2 kg per kubikmeter.

Lyftkraftens inverkan på en båt är alltså lika stor som vikten av den volym vatten som båten tränger undan, det vill säga båtens displacement. Denna kraft håller båten uppe i låga farter, och båtens maximala och optimala fart före planing står i direkt relation till båtens vågbildande längd.

När båten kommer upp i planing eller halvplaning börjar istället hydrodynamiska krafter att ta över allt mer. Det är samma typ av kraft som håller ett flygplan i luften eller en sten studsande mot vattenytan när vinkeln är gynnsam och farten tillräcklig. Båten påver-

Förhållandet mellan längd och vikt har stor inverkan på en planande båts hastighet. För långsamma displacerande båtar är det istället båtens vågbildande längd som bestämmer den mest ekonomiska farten.

kas då av en bakåtriktad kraft och en uppåtriktad kraft och lyfts tack vare att vattentrycket ökar under skrovet.

Displacementsfart

Roddbåtar, handelsfartyg, mycket långsamtgående motorbåtar, kanoter och de flesta segelbåtar är så kallade displacementsbåtar. Fartintervallet ligger i ett område där i princip endast det hydrostatiska trycket är verksamt och både marschfart och maxfart är direkt kopplade till båtens längd. Du har säkert hört uttrycket "vattenlinjefart". Egentligen är det riktigare att tala om skrovfart utifrån vågbildande längd, men det hänger oftast ihop med vattenlinjelängden. Exempel då den vågbildande längden skiljer sig från vattenlinjelängden är då båten har en stävbulb eller då den är spetsgattad.

Vågsystemen som bildas runt en båt i "displacementsfartsområdet" är proportionerliga mot båtens fart. Ju högre fart, desto längre vågor. När våglängden är lika lång som båtens

vågbildande längd har båten nästan nått sin maximala fart. Att ta sig över den gränsen kräver mycket energi. I alla fall för dagens korta och breda båtar. Mer om det på kommande uppslag.

Samma relativa hastighet

Undersöker man den vågbildande längden upptäcker man snart att en jolle som åker i fyra knop och en passagerarfärja i 20 knop håller samma hastighet, relativt till sin vågbildande längd. Fenomenet blir tydligt i Froudes längdtal (FnL), som är ett dimensionslöst tal som beskriver förhållandet mellan just hastighet och båtens vågbildande längd. Formeln är $V/\sqrt{gL}$, där V är hastigheten i meter per sekund, g är jordaccelerationen och L vattenlinjelängden i meter. Förenklat kan man säga att vid FnL 0,4 är bogvågen lika lång som båtens vågbildande längd, och båten har då uppnått sin "skrovfart". Högre farter än så kostar väldigt mycket energi. Ett skrov ger upphov till flera olika vågsystem, men förenklat så bildar

bogvåg och aktervåg vid skrovfart en lång gemensam våg och båten ligger i vågdalen av sin egen bogvåg (se illustration).

Tittar man på en kurva över vågmotstånd när en båt far fram genom vattnet ser man att det ökar när FnL ökar. Men kurvan är inte linjär utan har trösklar och svackor. Det beror på att de olika vågsystemen runt en båt samverkar, och vid vissa Froudetal tar bogvåg och aktervåg ut varandra så att vågmotståndet blir lägre. Vid andra Froudetal förstärker vågsystemen varandra och motståndet blir högre. Svackor i kurvan uppstår exempelvis runt FnL 0,25 och FnL 0,33, vilket blir en gynnsam fart för båten. För en sexmetersbåt är därför en fart på 4,9 knop (FnL 0,33) ganska optimal, medan det är svårt att ta sig över 6 knop (FnL 0,4). För en tolvetersbåt är motsvarande siffror 7 knop respektive 8,4 knop.

Om båten tar sig över "skrovfarten" innebär det att bogvågen blir längre än båtens vågbildande längd, och efter det kan bogvåg och aktervåg inte mer samverka. Det i sin tur gör »

Liten ordlista

Dimensionslösa tal: En dimensionslös storhet är en skalär storhet som saknar enhet och därför är ett rent tal. Vanligtvis är ett dimensionslöst tal en kvot eller produkt av andra storheter med dimension där enheterna tar ut varandra. Så till exempel är pi, som används för att beräkna förhållandet mellan en cirkels diameter och dess omkrets, en dimensionslös konstant som är oberoende av cirkelns faktiska storlek.

Spetsgattad: Båt med spetsig akter.

Källor:

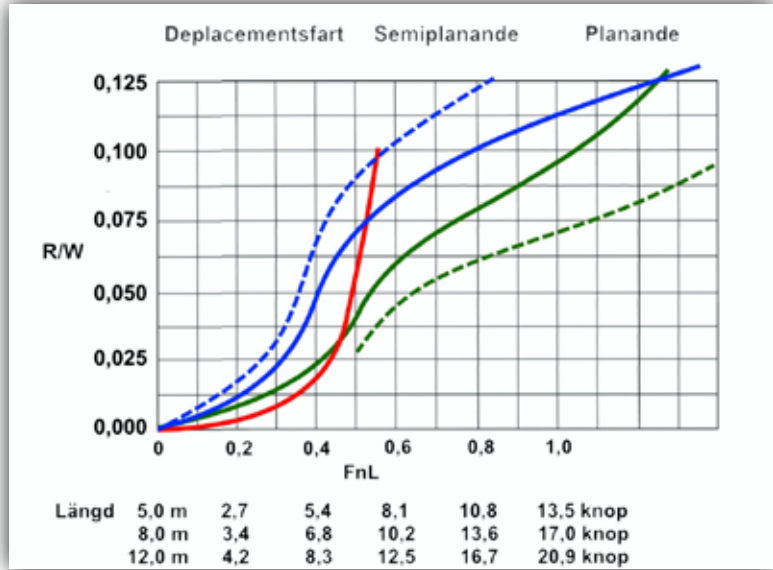
"Victoria, en effektiv, bekväm och mångsidig båt", Jürgen Sass 2009.
"Den planande motorbåtens formparametrar", Jürgen Sass 2010.
"Principles of Yacht Design", Lars Larsson, Rolf E. Eliasson och Michal Orych 2014.



FOTO: LARS GUDITZ



En roddbåt är displacerande och kommer att ha en maximal skrovfart utifrån båtens vågbildande längd.



Här syns motståndskurvan för fem olika skrovtyper; blå streckad är V22, blå är planande V12, grön är halvplanande, röd är deplacerande segelbåtsskrov och grön streckad är Ecodream med akterskeppsinterceptor.



» att båten hamnar längre fram i vågdalen, vilket gör att båten sätter sig på aktern och jobbar i en än värre uppförsläge.

Motståndet ökar drastiskt

En båt som inte planar, exempelvis en långkölad segelbåt, tar sig aldrig över FnL 0,45. Våg-motståndet blir för högt. Är båten däremot halvplanande kan den ta sig delvis upp på el-ler igenom sin egen bogvåg. Vid högre Froude-tal än 0,45 ändras motståndskurvan karaktär från konkav till konvex och motståndet avtar allt mer.

Beroende på skrovets längd och utseende inträffar halvplaning och planing vid olika hastighet för olika båtar. Grovt räknat kan man säga att halvplaning inträffar strax innan den dubbla teoretiska skrovfarten. Då ligger FnL runt 0,7. Planing inträffar strax efter den dubbla teoretiska skrovfarten, vilket motsvarar FnL 1,0. Vid planing övergår lyftkraften från att vara i huvudsak hydrostatisk till att bli i huvudsak hydrodynamisk.

För planande båtar finns det ett annat instrument för att räkna ut den optimala hastigheten, Froudes volymtal, vilket beskriver hastighet i relation till totalvikt.

Sämsta möjliga fart

Waxholmsbolaget har några passagerarbåtar som nästan är halvplanande och ligger runt FnL 0,5–0,6 i marschfart. Det är den absolut sämsta farten för en båt, där vågmotståndet är som högst, energiförbrukningen som sämst och sjön rivs upp som mest.

Att dessa båtar över huvud taget konstrueras och fortfarande är i drift är ett tecken på att beställaren antagligen varit låst vid vissa praktiska egenskaper som konstruktören tvingats anpassa sig efter. Det kan ha att göra med antalet passagerare, inre utrymmen, längdbegränsning och så vidare.

Tyvärr känns mönstret igen även när det gäller fritidsbåtarna. Istället för att konstruera långa, slanka båtar som ger en hög ekonomisk skrovfart har många båtar fått växa på bredden och höjden. Visst blir det trevliga in-nerutrymmen och rymliga sittbrunnar, men någon optimerad energieffektivitet blir det knappast.

Funderar man på hur avgifterna är uppdela-de i de flesta gästhamnar blir det tydligt att långa båtar knappast gynnas när det kommer till hamnavgifter. Möjligen har detta också bi-dragit till att trenden under senare år gått mot

När en båt är på väg från deplacements-fart till halvplaning är motståndet som högst. Waxholmsbolaget har några båtar som aldrig når halvplaning vid marsch-fart, vilket ger upphov till stora vågor och hög bränsleförbrukning.



FOTO: ARILD VÅGEN

bredare och högre båtar, med större utrym-men men onödigt energikrävande skrov.

Lågt energiinnehåll ställer till det

Sett till energioptimering är breda båtar helt fel väg att gå, i alla fall om de ska vara i vatt-net. Den tid är förbi då det bara var att slänga i större motorer för att lösa problemen. Därför kommer vi sannolikt att tvingas till mer effek-tiva skrov i takt med att fossila bränslen fasas ut. Det är nämligen mycket problematiskt att ersätta förbränningsmotorer med elmotorer i dagens planande skrov på grund av energibe-hovet som krävs.

Bensin och diesel innehåller energi motsva-rande 9–10 kWh per liter. Det är ungefär 65 gånger mer energi per kilo än ett modernt liti-umjonbatteri. Det är ett av grundproblemen som gör att båtvärlden står inför en mycket komplex utmaning de närmaste åren.

Genom att jämföra med en personbils bränsleförbrukning blir det lätt att få en för-ståelse för hur mycket energi ett normalt båt-skrov kräver. En 6,4 meters Buster Magnum E med en 150 hästkrafters utombordsmotor för-brukar 7,6 liter bensin per landmil vid topp-fart 41 knop.

Vid marschfart 25 knop sjunker förbruk-ningen till 5 liter per landmil. Bestyckas sam-ma båt med en starkare motor på 225 hästkraf-ter ökar toppfarten till 46,5 knop och förbruk-ningen till 9,5 liter per landmil. Då är denna båt-konfiguration ändå ganska normal.

Att utrusta en båt i storleksskalan 6,4 me-ter med en elmotor motsvarande 150 hästkraf-ter och ett modernt litiumjonbatteri på 45 kWh från en elbil, skulle lite förenklat kunna ge båten en drifttid i toppfart på 24 minuter, eftersom 150 hästkrafter är 113 kW. Räckvid-den skulle bli 16 sjömil. Då har ingen hänsyn

tagits till att själva batteriet väger 300 kilo och därmed drar ner farten flera knop, eftersom vikt straffas hårt i en planande båt.

Motsvarande mängd bensin som skulle gå åt för samma resa är bara 24 liter, och där har vi dilemmat med batterier i snabba båtar. För att kompensera för den högre vikten och bibe-hålla fart krävs ännu större batterier, och den negativa spiralen är ett faktum. Energitäthe-ten i en liter bensin eller diesel är så mycket större än i ett modernt batteri att det är svårt att ersätta drivkällan i planande båtar med en-bart batteridrift, även om man väger in att verkningsgraden i en elektrisk motor är cirka tre gånger högre än för en förbränningsmotor. När det gäller deplacementsbåtar och lägre farter är förutsättningarna totalt annorlunda. I en optimerad fart runt FnL 0,33 finns det goda förutsättningar att redan idag använda batteridrift.

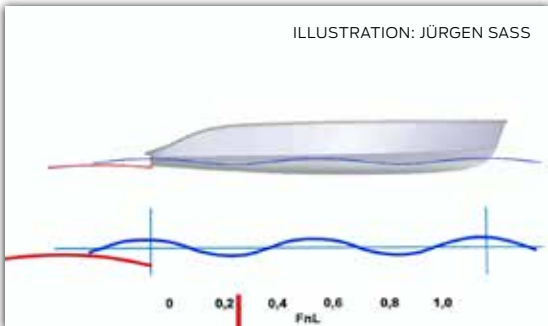


FOTO: JOHANNES NORDEMAR

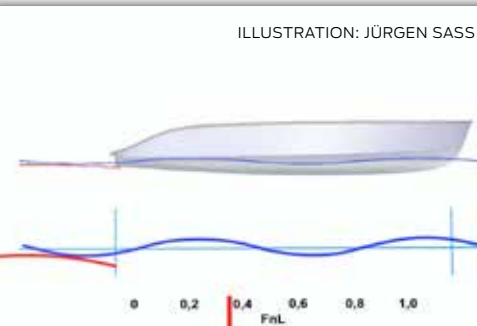
Ett passagerarfartyg eller handelsfartyg är också deplacerande. Genom att använda en stävbult kan fartygets vågbildande längd ökas, varpå den ekonomiska farten också ökar något. När det gäller långa ruttor kan även en procents bättre effektivitet ge stort utslag.



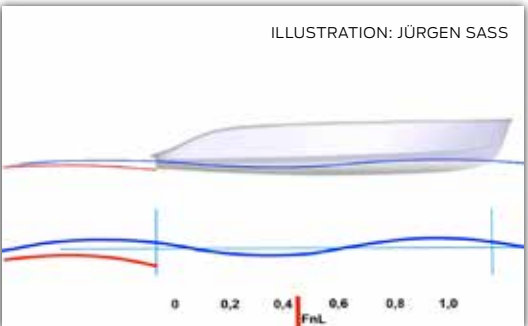
FOTO: JOHANNES NORDEMAR



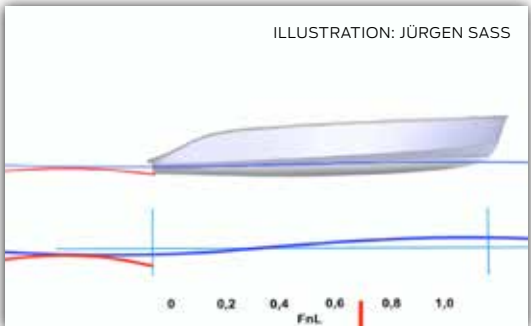
Vid FnL 0,25 är vågorna hälften så långa som båtens vågbildande längd, och vågsystemen sam-verkar, vilket ger en hög häckvåg.



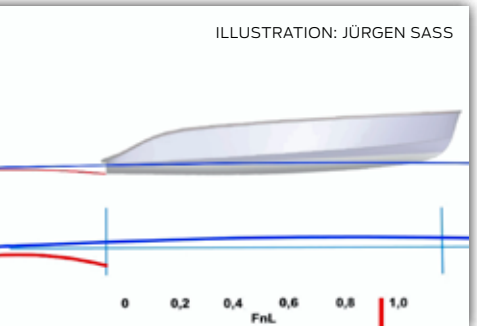
Vid FnL 0,33 är bogvågen nästan lika lång som båtens vågbildande längd. Bogvåg och aktervåg tar ut varandra, vilket är gynnsamt ur energisynpunkt. Det här är en gynnsam fart för en deplacerande båt.



Vid FnL 0,45 är bogvågen lika lång som båtens vågbildande längd. Vågsystemen samverkar så att häckvågen blir hög. Det är bara planande och halvplanande båtar som tar sig över FnL 0,45.



Vid FnL 0,7 är bogvågen längre än båtens vågbildande längd. Bogvåg och aktervåg tar ut varandra, vilket är gynnsamt ur energisynpunkt. Det är det som kallas halvplanande hastighet.



Båten håller på att ta sig upp till planingströskeln vid FnL 1,0, och efter det börjar vågmotståndet minska allt eftersom de hydrodynamiska krafterna tar över.

Planing inträffar vid olika hastighet beroende på båtens längd, volym, vikt och skrovform. Vanligt är att det sker efter den dubbla teoretiska skrovhas-tigheten.



Skrovkonstruktion handlar om beräkningar och empiriska tester. Men den som lärt sig förstå några av de parametrar som styr hur ett skrov fungerar i sjön kan ana hur båten ska bete sig redan vid ritbordet.



Det är många parametrar som ligger till grund när ett skrov ska konstrueras. Jürgen Sass hjälper oss att skrapa lite på ytan och förstå grunderna när det gäller att spara energi. Här syns han i sin båt *Victoria*. Tack vare dubbla slag och en förkortad våt yta med hjälp av en midskeppsmonterad interceptor kunde Jürgen öka toppfarten med drygt fyra knop.

FOTO: JÜRGEN SASS

DET GYLLENE SNITTET

Att konstruera ett energieffektivt skrov, det bör väl vara enkelt, tänker den oinvigde. Med tanke på att det knappast skett några drastiska utvecklings-språng när det gäller planande standardskrov under de senaste decennierna är det kanske inte så enkelt, trots allt? Jag menar, det krävs fortfarande tio gånger mer energi att förflytta sig i 40 knop på sjön än det gör på land, om man ser till en vanlig fritidsbåt som är yngre än tio år.

Men det börjar hända spännande saker. Jürgen Sass är båtkonstruktör med lång erfarenhet av både segel- och motorbåtsskrov. Enligt honom finns det idag tillräcklig kunskap för att kunna ta fram riktigt smarta och energiop-timerade planande skrov. Det gäller bara att räkna. Och är det någon i branschen som har räknat på båtskrov så är det han. Med en nästan barnslig iver kastar han sig över varje ny rapport som rör hydrodynamiska samband.

– Jag läser vetenskapliga rapporter som andra läser deckare.

Få känner nog till att Delfts tekniska universitet i Nederländerna publicerade en rapport om bottenvinklar i oktober förra året. Jürgen har redan matat in alla dessa värden manuellt i sina egna beräkningsprogram. Till-sammans med data från annan forskning (D. Savitsky, P. Brown, J. Koebel för att nämna några) har han möjlighet att göra vetenskap-ligt underbyggda skrovsimuleringar. För Jürgen verkar båtkonstruktion helt enkelt vara en livsstil.

– Jag skulle gärna vilja förändra världen genom att skapa energisnåla båtar, säger han.

Interceptorett lyft

Vi träffas vid hans hus på Gräddö utanför

Norrköping. Här har han sin bas och sina projektbåtar.

Det är mitt i vintern, så båtarna ligger på land. I ett garage visar han upp *Victoria*, ett av hans framgångsrika fullskaleprov. Båten är 5,6 meter lång, med dubbla slag som gör att den effektiva bottenbredden minskar vid planing. Det i sin tur gör att den våta ytan blir mindre än på andra båtar i klassen och att skrovmotståndet blir lägre.

– Med en åtta hästkrafters motor kommer jag upp i drygt 19 knop. Det är ungefär hälften så mycket effekt som en jämförbar båt i samma storlek behöver för att nå samma hastighet, säger Jürgen.

En del av hemligheten är den midskepps monterade interceptorn och ett stabiliserande plan på motorns rigg, som ger båten ett effektivt lyft och optimerad trimvinkel. I planing balanserar båten kring två lyftpunkter som gör att den våta ytan minskar drastiskt i högre farter, vilket vi återkommer till på kommande uppslag.

– En planande båt rör sig i två medier, vatten och luft. I och på ytan, mellan dessa medier. Det är det som gör det så komplicerat och därmed intressant. Dessutom finns inga naturliga förebilder att studera, som flygarna kan göra med fåglarna.

Just interceptorer är något som Jürgen på senare tid intresserat sig mycket för. Då pratar vi inte om de små elektroniska interceptorer som ersätter trimplan. Nej, det handlar om interceptorer över hela bottenbredd.

– Med bara en 15 millimeter plåtbit längs hela akterspegeln på en 13 meters båt får du ett lyft i aktern och ett helt annat gångläge och märkbar bränslebesparing.

Det är modifikationer som egentligen är

möjliga att göra på ett redan befintligt skrov. Det ska vi också återkomma till i ett kommande nummer av Praktiskt Båtagande.

Naturens villkor

Men hur kommer det sig att Jürgen vikt sitt liv åt att optimera skrov? Han började tidigt. Till-sammans med sin pappa och sina bröder byggde han radiostyrda modellbåtar. Det var där han fick upp ögonen för hur ett linjeriktigt skrov skulle se ut.

Men det var med segelbåtar han började sin professionella bana som båtkonstruktör. På 1960-talet ritade han Rock 20 som tillverkades av Birka Marin på Åland, och i början av 1970-talet ritade han den populära Hydra 20 åt Boo Marin. Utöver det har han konstruerat ett stort antal katamaraner. En av dem är Mar-ram, som tillverkades på 1980-talet.

Under senare år har det blivit motorbåtar istället. Han har fascinerats av komplexiteten hos ett planande skrov och blivit medveten om hur ineffektiva många av dagens skrov faktisk är.

– Jag minns hur jag såg de stora motorbåtarna som plöjde fram över fjärden och tänkte: Det där måste gå att göra mycket bättre.

Naturens element är inte så lätta att ändra på. Vatten är tungt att flytta och friktionen mellan skrov och sjö är hög. Men båtens faktorer går att påverka och till hjälp finns ett antal parametrar som Jürgen ska hjälpa oss titta närmare på.

– Jag fokuserar på normala båtar i normala farter. En optimal fart är precis ovanför planingströskeln, och det intresserar mig. Farter över 40 knop får andra hålla på med.

Vi ska gå igenom ett begränsat antal tum-regler och nycklar som är till hjälp när det gäl-

ler att konstruera ett energieffektivt båtskrov. Men Jürgen är noga med att poängtera att det inte går att stirra sig blind på siffror.

– Man får inte dra sina slutsatser för långt. Inget kan ersätta ett gott omdöme och empiriska tester.

Längdskärpegrad

Med det sagt börjar han berätta om sitt sätt att konstruera planande båtar. När Jürgen får ett uppdrag har han ett antal frågor att utgå från. En av de viktigaste är förhållandet mellan längd, vikt och fart. Därför behöver han veta både båtens minimala och maximala last. Han bestämmer därefter en idealvikt att starta från. Utifrån den beräknar han längdskärpegraden ($L/V^{\frac{1}{3}}$, där L är vattenlinjelängden i meter och V vikten i ton) som är just förhållandet mellan längd och vikt. En fem tons båt med tio meters vattenlinjelängd hamnar på 5,9, vilket är ett hyfsat bra värde.

Längdskärpegraden har mycket stor påverkan vid hastigheter upp till planing. En klassisk CG Pettersson-båt med ett långt slankt skrov har till exempel en längdskärpegrad runt 7,5, vilket ger ett lättdrivet skrov. En båt med helt andra proportioner, som en Sea Ray, har en längdskärpegrad runt 4,0 och en mycket markant planingströskel. En förutsättning för att kunna konstruera en energieffektiv båt är att längdskärpegraden inte blir för låg.

Att en 100 år gammal CG Pettersson-båt har ett på många sätt effektivare skrov än de flesta av dagens moderna båtar visar att det fortfarande finns mycket att göra.

Vågbildande längd

Nästa sak som Jürgen frågar efter är den tänkta marschhastigheten. Här är Froudes längd-

tal (FnL) och Froudes volymtal (FnV) till hjälp. FnL beskriver lite förenklat förhållandet mellan båtens hastighet och båtens vågbildande längd: $FnL = V/\sqrt{(gL)}$, där V är hastigheten i meter per sekund, g är jordaccelerationen och L vattenlinjelängden i meter. Här är det möjligt att snabbt se om båtens vågbildande längd överensstämmer med önskad hastighet.

För fartområdet upp till displacementsfart är Froudes längdtal en viktig ledtråd för att kunna hitta de svackor i kurvan där vågssystemen runt båten samverkar och bogvåg och aktervåg tar ut varandra. FnL på 0,33 ger den optimala farten i det låga fartområdet. I fallet med tiometersbåten ger det en ekonomifart på 6,4 knop i plattvatten. Den tänkta marschfarten bör ligga strax ovanför planingsfart, vilket även det kan uppskattas med hjälp av FnL, som då ska vara över 1,0. I fallet med tiometersbåten inträffar planing vid 19 knop och den optimala marschfarten bör ligga på 25 knop, en bit över planing.

Ett säkrare och bättre sätt att jämföra planande båtar med varandra och räkna fram den optimala hastigheten för god ekonomi är att använda Froudes volymtal, FnV. Det beskriver förhållandet mellan hastighet och displacement/totalvikt: $FnV = V/\sqrt{(g \text{ vol}^{\frac{1}{3}})}$, där V är hastigheten i meter per sekund, vol är displacementen i kubikmeter och g är jordaccelerationen. Den mest ekonomiska hastigheten ligger strax över planingströskeln vid FnV 2,7–3,5.

Akterspegelarea

När vi hittat fram till en hastighet är det dags att bestämma akterspegelarean utifrån båtens högsta hastighet. En stor akterspegelarea påverkar tyngdpunkten och den prismatiska

En låg trimvinkel ger en bättre gång i vattnet vid planing, men trimvinkeln får inte vara för liten, då riskerar båten att överplana och dyka. En optimal trimvinkel ligger mellan 2 och 4 grader.

FOTO: LARS GUDITZ

koefficienten, undervattenskeppets fyllighetsgrad. En stor akterspegel och ett fylligt akterskepp gör att båten får gynnsam trimvinkel, men i lägre farter ger en stor akterspegel upphov till en stor häckvåg som stjälar mycket energi.

Akterspegeldjup

Även djupet på akterspegeln inverkar och bestäms framför allt utifrån den lägsta hastigheten som båten optimeras för. En djupare akterspegel bidrar också till en större häckvåg. Ett litet akterspegeldjup gör att vattnet släpper från aktern även vid lägre farter, vilket är gynnsamt för båtar med låga marschfarter.

Förskeppet

Ett smalt förskepp ger en kursstabil gång, särskilt i sjö. Många båtar på marknaden är för breda och feta i förskeppet, vilket ger för mycket lyft och hård gång i mötande sjö. »



FOTO: JOHANNES NORDEMAR

Ett djupt V-skrov med en hög bottenresning ger en mjuk gång i hård sjö, men även en hög trimvinkel och hög energiförbrukning. Idag finns det andra sätt att uppnå mjuk gång i sjö utan djup V-botten.



En båt med en stor trimvinkel lyfter fören och går tungt i sjön trots planing.



FOTO: HÅKAN A PETTERSSON

Ett slankt förskepp ger båten lågt motstånd i vågor och påverkar stabiliteten. Men förskeppet har också stor betydelse för båtens balans.

» Det leder till att aktern sjunker, medan problematiken egentligen ligger i förskeppet.

– Ofta dras fel slutsatser om orsak och verkan. Jag försöker alltid vrida och vända på resonemangen.

På senare tid har det blivit mode med raka förstävar för att öka båtens längd i vattenlinjen. Vi kan till och med se exempel på negativa förstävar på moderna båtar, men några hydrodynamiska fördelar är svåra att hitta. Vertikala ytor drar upp vatten, vilket kostar energi, medan en utfallande rundad stäv ofta är torr. Rätt inträdesvinkel på vattenlinjen vid stäven är viktig.

– Båten håller kursen med aktern och rodet, men egentligen är det förskeppet som styr.

Tyngdpunktsläget

En annan mycket viktig parameter är tyngdpunktsläget, och det kan också optimeras på olika sätt. För en planande båt ska tyngdpunkten vara ganska långt akterut, men inte för långt akterut, för då blir långskeppsrorelserna för kraftiga och det finns en risk att båten börjar galoppera. Är båten för bred i aktern eller om tyngdpunkten ligger för långt akterut kommer båten att smälla hårt och sätta sig på rumpan efter varje våg. Ligger tyngdpunkten för långt fram riskerar båten att överplana och dyka.

– Det måste finnas en balans mellan förskepp och akterskepp. Ett alltför långt och lätt förskepp kastas upp i mötande sjö, varpå båten landar hårt på aktern på nästa våg för att sedan dyka i kommande våg.

För att komplicera det hela så flyttas den dynamiska tryckpunkten beroende på båtens fart och hur mycket av bottenytan som ligger i vattnet.

En båt har ett tyngdpunktsläge vid deplacemente fart då det hydrostatiska trycket håller den flytande. När båten kommer i planing lyfts den dessutom av det dynamiska trycket. Summan av dessa två krafter samverkar kring båtens totala tyngdpunkt.

Gångläge

Båtens trimvinkel eller gångläge i sjön är ock-

så mycket viktigt. En båt som höjer upp fören får en stor trimvinkel och det drar mycket energi, även om den våta ytan i vissa fall kan bli mindre med en stor trimvinkel. Men motståndet i vattnet blir väldigt högt och det är svårt att se framåt. Både den bakåtriktade kraften och den uppåtriktade kraften blir stora. En liten trimvinkel ger en båt som går mer platt på vattnet, med litet tryckmotstånd i form av en bakåtriktad kraft.

Blir trimvinkeln för liten ökar friktionsmotståndet och båten överplanar. Det optimala gångläget är den gyllene medelvägen mellan den våta yta som ger friktion mot vattnet och tryckmotståndet under båten.

– En optimal trimvinkel från energieffektivitetssynpunkt för en helt planande båt är mellan 2 och 4 grader, förklarar Jürgen.

Tack vare trimplan och interceptorer är det ofta lätt att justera trimvinkeln på en båt under gång. Det kan även ske automatiskt.

Bottenresning

För att få en kursstabilitet och en mjuk gång i sjön är botten vinklad. En vanlig bottenresning ligger mellan 10 och 30 grader. För öppna vatten väljs ofta en djupare V-botten, som ger en mjukare gång men också ett stort motstånd. Ett exempel på en båttyp med ett djupt V-skrov är Don Aronows Cigarette Bullet, där man öst i stora maskiner och fått en båt som går mjukt med hög trimvinkel i hård sjö. Men till vilket pris?

En lägre bottenresning tillsammans med en smalare botten och dubbla slag kan ge samma mjuka gång i vattnet. Men är bottenytan för stor går båten hårt i sjön, särskilt om den är kort och bred.

Här blir det återigen tydligt att det är fördelaktigt att tänka på längden när det gäller båt-konstruktion.

– En lätt och lång båt rider på vågtopparna. Men en kort båt följer sjön upp och ner i vågor-na, vilket kostar energi.

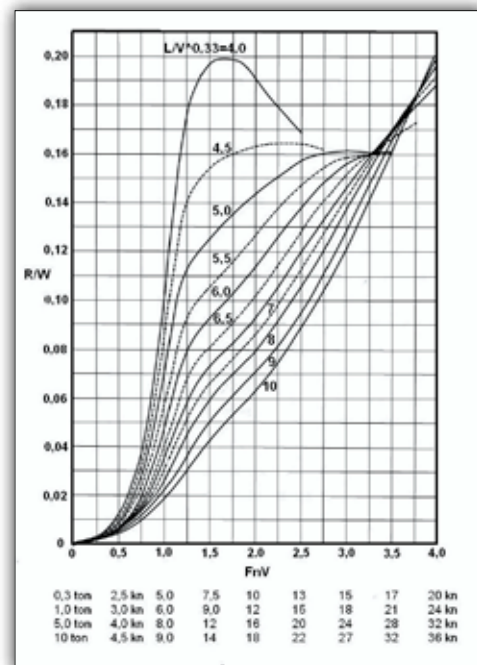
Komplexiteten

Förutom det som har tagits upp ovan beaktar Jürgen även de planande ytornas storlek och

form, deras statiska och dynamiska tryckpunkter, hela förskeppets utformning ovanför vattenytan, drivkällans storlek, läge och riktning, den aerodynamiska lyftkraften, långskeppsstabilitet och tvärskeppsstabilitet samt den vertikala accelerationen som bestämmer hur bekväm båten är att åka i.

– Alla ingående parametrar kan samverka eller motverka varandra. Det är här konstruktörens kunskap och erfarenhet är helt avgörande för resultatet.

Allt detta behöver dessutom beräknas vid olika belastningar, hastigheter och sjöförhållanden.



Diagrammet visar olika kurvor för respektive längdskärpegrad (förhållandet mellan vattenlinjelängd och vikt) enligt Savitsky och Brown. Här syns hur en hög längdskärpegrad ger en flackare kurva, med mindre motstånd och lägre planingströskel. En CG Pettersson-båt ligger runt 7,5, medan normalbåten ofta ligger runt 4,5. För mycket tunga, korta och breda båtar kan längdskärpegraden hamna ner mot 4,0, vilket ger en mycket brant kurva, med stort motstånd och en markant planingströskel.

DRÖMMEN OM EFFEKTIVITET



Med dubbla slag i skrovet och ändrade längd-bredd-förhållanden kan motoreffekten minskas samtidigt som komforten höjs. KTH genomförde för några år sedan en studie där två olika bottenformer jämfördes.

I samarbete med KTH i Stockholm genomfördes 2010 en studie där två fullskalemodeller av båtar med olika typer av bottendesign jämfördes. Resultatet visar att en djup V-botten inte alls är nödvändig för mjuk gång.

Jakten på det optimala båtskrovet konstruerade Jürgen Sass i slutet av förra decenniet en modell han kallar Ecodream. Det är en båt med en mönsterskyddad bottenform som kombinerar egenskaperna från en djup V-botten och en traditionell rundbotten.

Ecodream har en smal planande botten med dubbla slag och låg bottenresning på 13 grader. De dubbla slagen med skarpa sprutlistor gör att gångläget i planing blir högt, med en smal bottenbredd som visat sig ha god inverkan på sjöegenskaperna.

Båten testkördes mot en likvärdig båt med traditionellt V-skrov med 20 graders bottenresning i en studie tillsammans med KTH i Stockholm. Båtarnas invändiga volym och vikt var desamma och båda båtarna var byggda i aluminium.

Förutom att det visade sig att Eco-skrovet med dubbla slag var mer lättdrivet och krävde 15–25 procent mindre motoreffekt så gick skrovet även mjukare i sjön. När den vertikala accelerationen uppmättes visade det sig att

Eco-skrovet kunde hålla 29 knop och fortfarande bara generera stötar som motsvarade vad V20-skrovet genererade i 20 knop.

Ständig sikt framåt

Det låga motståndet som gav effektbesparing kunde härledas till att Eco-skrovets bottenarea vid planing är smal och bottenresningen låg. Vad som också visade sig var att trimvinklarna skiljde sig mycket åt mellan båtarna. Eco-skrovet uppvisade knappt någon planingströskel och höll trimvinkeln under 5 grader genom accelerationen upp till planing, med fri sikt föröver. V20-skrovet lyfte nosen betydligt mer, uppemot 8 grader, vilket försämrade sikten i fartintervallet mellan 10 och 15 knop.

Hemligheten med Ecodream ligger till stor del i de dubbla slagen. Ovanför vattenlinjen är båten nästan lika bred som V20-skrovet. När båten är stilla ligger vattenlinjen en bit ovanför det nedre slaget, vilket ger mer bredd och större stabilitet. I planing rider båten bara på det nedre slaget. De skarpa sprutlistorna fungerar lite som slingerkölarna, som även det begränsar rörelsen i sidled vid stillaliggande och ökar stabiliteten.

Skrovet bromsas inte upp

I en bildserie som togs i samband med studien syns hur Eco-skrovet inte bromsas upp på samma sätt som V20 när det möter vågor. Slutsatsen från genomförarna av testet var att det mer lättdrivna Eco-skrovet gav en högre komfort och hittar tillbaka till sitt ordinarie gång-

Båtarna går i sina naturliga trimlägen och är på väg att möta en våg.



Båtarna har precis mött respektive våg och fått ett lyft i fören. Här syns att V20-skrovet har fått ett högre lyft på grund av den större bottenbredden.



Båtarna är på väg ner igen. Eco-skrovet har nästan omedelbart återfått sitt naturliga trimläge, medan V20-skrovet satt ner aktern.



V20-skrovet har kommit ner i vattnet igen och nästan återfått sitt normala gångläge, medan Eco-skrovet för länge sedan stabiliserats i normalt gångläge.



läge snabbt efter en våg. De härleder detta till både bottenlängden och bottenbredden, men skriver att skrovets utformning med skarpa sprutlistor och dubbla slag med stor säkerhet också haft stor inverkan på resultatet.



EN LITEN KANT SOM GÖR STOR SKILLNAD

Addera lite motstånd som ger dig stor lyftkraft, så kan gångläget förbättras radikalt och energibesparingen likaså. Visst låter interceptorer nästan lite för bra för att vara på riktigt?



Med en fast interceptor längs hela akterspegeln kan en båt's gångläge förändras med enkla medel. Här syns en av de modellbåtar som Jürgen använt för sina tester.

FOTO: ZIPWAKE



Med interceptorer kan en liten kant ge stor lyftkraft som påverkar hela båtens gångläge och ekonomi. I planande farter kan dessutom en akterskeppsmonterad interceptor under skrovet minska både friktionen och den våta ytan avsevärt.

Interceptorer är här för att stanna, det råder det inget tvivel om. Från att ha varit något som framför allt yrkessjöfarten använde har nu tekniken kommersialiserats och förfinats för att passa fritidsbåtar.

En interceptor är en liten skiva som placeras vertikalt så att den sticker ner under skrovet. Det finns flera tillämpningar, varav den vanligaste är små interceptorer som placeras på akterspegeln nedre kant för att ersätta trimplan på ett effektivt sätt. När interceptorn trycks ner vertikalt tvärs skrovets längdriktning byggs ett tryck upp framför interceptorn som ger lyftkraft åt båtens akter.

Till skillnad från traditionella trimplan med stora klaffar som sitter monterade i bakkanten av akterspegeln behöver interceptorer bara sticka ner några centimeter för att åstadkomma samma lyftkraft. Det gör systemet extremt snabbt i jämförelse med andra trimplan, vilket skapat bättre förutsättningar för automatisering.

Kort slaglängd och stor lyftkraft

I dag har exempelvis Zipwake och Humphree interceptorsystem för trim, som med hjälp av

gyro, gps och accelerationsmätare automatiskt motverkar rullning vid sidesjö och ser till att gångläget alltid är rätt för ett lägre vågmotstånd och därmed lägre bränsleförbrukning.

Eftersom slaglängden är så kort kan en interceptor ge utslag blixtnsabbt. Zipwakes system når full slaglängd på 1,5 sekund.

Men det går att åstadkomma stor förändring även med en statisk interceptor.

– Redan med en 15 millimeters plåt längs akterspegeln får du tillräckligt lyft för att förändra gångläget på en 13-metersbåt. Men det ska vara över hela akterspegeln för att vara riktigt effektivt. De små interceptorerna är bara för trimning, säger Jürgen Sass, som experimenterat med detta sedan 2006.

Han har genom omfattande modellprov och praktiska fullskaletester kommit fram till att det är enkelt att förändra gångläget med en fast interceptor längs hela akterspegeln och spara 7,5 procent bränsle samtidigt som toppfarten lätt ökas med 15 procent.

Men potentialen för interceptorer är större än så. Med en interceptor som spänner över hela båtens bredd och placeras under akter-

skeppet eller midskepps kan skrovet få ett lyft som inte bara förbättrar trimvinkeln utan även minskar skrovets friktionsyta mot vattnet i farter över planingströskeln, vilket än så länge är ett relativt outforskat område.

Midskepps och akterskepps placering

– Jag har studerat användningen av interceptorer på olika båtar och fascinerats över enkelheten och effektiviteten.

På ett planande skrov kan lyftkraftsfördelningen helt förändras med en akterskeppsplacerad interceptor. Ett skrov kan få två lyftpunkter. En i stagnationslinjen där vattnet möter botten, en framför den akterskeppsmonterade interceptorn. Trimvinkeln minskar då för en bättre gång, men även vågbildning och friktion blir lägre eftersom den våta ytan minskas. Se illustration.

Svårigheten är att anpassa interceptorn så att avståndet mellan de två lyftpunkterna optimeras, det vill säga att den våta ytan inte blir så kort att långskeppsstabiliteten blir lidande.

– Det gäller att hitta rätt tyngdpunktsläge för varje enskild båt och varje enskild hastighet. Förhållandet mellan interceptorns spänn-

vidd och avstånd till den totala viktstyngdpunkten är avgörande för effektiviteten.

Interceptorns djup behöver anpassas under gång för att förändra tryckfördelningen under botten. Därför måste interceptorn vara justerbar.

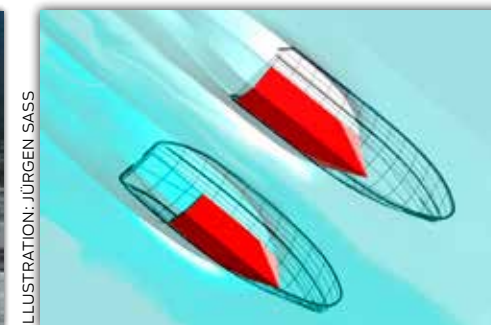
En viktig förutsättning för att det ska fungera är också att det snabbt blir torrt akter om interceptorn så att friktionen mellan vatten och

botten försvinner. Därför måste det finnas en effektiv luftning, exempelvis mitt under skrovet, direkt akter om interceptorn.

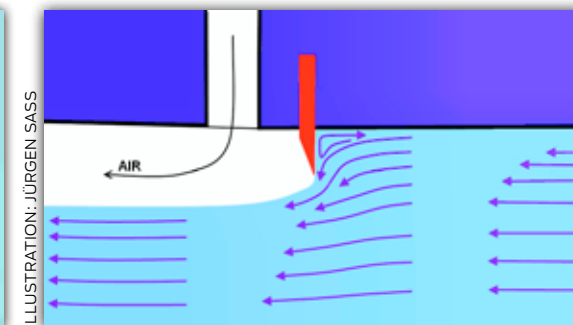
När Jürgen gjort tester på sin 5,6-metersbåt med en justerbar interceptor midskepps, kombinerat med ett stabiliserande plan på motorns rigg, har han kunnat notera en fartökning från 15 till 19,3 knop med en åtta hästkrafters drivkälla.



Med hjälp av en midskeppsinterceptor och ett stabiliserande plan på motorns rigg kan skrovets våta yta minskas avsevärt. Jürgens 5,6-metersbåt gör drygt 19 knop med en åtta hästkrafters motor.



Här syns hur den våta ytan minskar med en interceptor. Till vänster en akterskeppsmonterad interceptor.



Här syns hur trycket byggs upp framför interceptorn samt hur ytan akter om interceptorn torrläggs med hjälp av luftningen.



SLANK CRUISER MED RETRODRAG

För att kunna ta sig runt i skärgården utan att bli ruinerad krävs nya effektiva skrov och realistiska fartintervall. HP 1300 är ett one-off-bygge som kombinerar ny teknik med beprövad kunskap.

En energieffektiv och slank cruiser med retrodrag, kan det vara något? Håkan Pettersson, som framför allt är känd för sina snabba, sjövärdiga båtar från Anytec och Viggo Boats, står bakom HP 1300 KS, som är en nyskapande båt för hela familjen.

Med en bränsleförbrukning på bara en halv liter per sjömil i 8,5 knop och en totalvikt på 5,5 ton är båten bland det mest ekonomiska en skärgårdsälskare kan spendera semestern i, så länge det inte ska seglas. Men än så länge finns den bara i ett exemplar, ritat av Håkan och byggt av Kim Sundberg för eget bruk.

– Tanken var att skapa en modern motorbåt för familjen, som inte behövde vara så snabb, men istället ha en ekonomisk fart mellan 6 och 12 knop, säger Håkan.

Han menar att det snart borde vara dags för en ny generation motorbåtar, som är gjorda mer för att cruisa runt med, precis som segelbåtar. Men ser man till dagens efterfrågan är det fortfarande de snabba båtarnas marknad som växer.

– Öppna, snabba pendlarbåtar, där har det exploderat.

Samtidigt står båtbranschen inför en enorm utmaning när det gäller energieffektivitet, då det kostar åtminstone tio gånger mer att åka snabb båt än att åka motsvarande sträcka på land.

– Enbart eldrift ligger nog långt fram i tiden, men om vi någon gång ska kunna gå över till el, då måste vi ner i fart.

Petterssondrag

Vid en första anblick tycks HP 1300 dela vissa drag med 1920-talets CG Pettersson-båtar, även om böjen upp till fördäck inte är lika starkt markerad. Men Håkan själv säger att

det snarare är flerskrovsbåtar som inspirerat honom till skrovdesignen, då främst hans egen motortrimaran från 2004. Han har nämligen ritat både roddbåtar och flera trimaraner. Precis som motortrimaranen stabiliseras av de yttre skroven i större vågor så stabiliseras HP 1300 av ett extra slag som bara är blött i kraftig sjö.

För att kunna få ner motståndet och få en hög ekonomisk skrovfart är det nödvändigt att optimera förhållande mellan bredd och längd i vattenlinjen, som vi skrivit om på föregående sidor. Då blir båten slank, precis som de flesta båtar var för 100 år sedan, då motorerna var svaga.

– Om man jämför med båtar i samma storlek kräver HP 1300 inte en lika stark motor.

Den första båten är utrustad med en 110 hästkrafters Volvodiesel, vilket ger en toppfart på 16 knop. Vid en jämförelse är det exempelvis 40 hästkrafter mindre än vad miljöbåten Greenline 33, som lanserades 2010, behöver.

Det räcker med att jämföra bränslekurvorna från verkliga tester mellan HP 1300 och den tre meter kortare och en halv meter bredare Greenline 33 för att konstatera att det med ändrade proportioner går att spara ungefär 50 procent bränsle i hastigheter från 3 till 16 knop. Båda båtarna är då lika tunga, med likvärdig volym.

Extra slag för stabilitet i sjö

Andra detaljer som bidrar till ett effektivt skrov är till exempel optimerad akterspegelarea.

– En våt akterspegel är ineffektiv innan det släpper. På HP 1300 är den konstruerad för att släppa runt 6,5 knop.



Aktern på HP 1300 är öppen. Här syns också överhänget på sidorna som kommer av det extra slaget som stabiliserar i vågor och ger båten rymd i sittbrunnen, trots att bredden i vattenlinjen är relativt låg.

FOTO: HÅKAN A. PETTERSSON



FOTO: HÅKAN A. PETTERSSON

HP 1300 är en nyskapande båt, som kombinerar modern skrovt teknik hämtad från trimaransskrov med en ofrånkomlig känsla av retro. Att den bara drar en halvliter bränsle per sjömil vid 8,5 knop gör den till en båt i tiden.

Alla som har paddlat kanot vet också att en lång och smal båt kan vara ganska rank och att tyngdpunkten bör hållas låg.

– Båten är 13 meter lång och bara tre meter bred, så sidostabiliteten har varit ett krux. Låg tyngdpunkt är ett måste för att få ett slankt skrov att fungera även i sjö på havet. Det här

skrovet har dessutom fått ett extra slag strax över vattenlinjen. Slaget är normalt torrt vid körning, men stabiliserar snabbt om båten kör i eller genom vågor.

Samma lösning gör också att båtens innerutrymmen kunnat göras rymligare med bibehållen bredd i vattenlinjen.



Framifrån syns hur slankt förskeppet är för att få minskat motstånd och stabilare gång i sjö.

FOTO: HÅKAN A. PETTERSSON



FOTO: HÅKAN A. PETTERSSON

Håkan har använt erfarenheter från sina egna trimaransskrov vid utvecklingen av HP 1300.



FOTO: HÅKAN A. PETTERSSON

En modell av Håkans motortrimaran har använts som referensbåt när släptester gjorts med skrovmodeller.