

EN NY EPOK

Tillverkning av segel är numera en kombination av traditionellt hantverk och sofistikerad högteknologi. **Text:** Bengt Lindholm

Det är ett under att faktiskt kunna segla mot vinden. Ett än större under är den moderna segeldesignen som får varje fiber i duken att samverka till en optimalt framåtdrivande kraft. Bilden föreställer en Grand Soleil 37 med segel i D4-konstruktion.

Genom tiderna har segeltillverkning byggt sin kunskap och utveckling på erfarenhet. Det enda sättet att utvärdera och optimera segelformer har varit under segling, en tidskrävande och därför en förhållandevis långsam utvecklingsprocess. Endast för speciella spetsprojekt som bland annat America's Cup har man anlitat extern expertis för vindtunneltester och försök. Att optimera ett segel och dess form är en komplicerad process beroende på att vinden hela tiden varierar och att segel är en flexibel konstruktion som också förändrar sin form efter vindstyrka och trim.

Men i takt med den senaste tidens utveckling av datorer med effektivare och snabbare processorer, har en mängd komplexa och tunga matematiska dataprogram utvecklats som nu är användbara inom många områden.

När det gäller segel kan vi med hjälp av "Finite Element Analys" (FEA) analysera seglets konstruktion och deformation under belastning och med hjälp av "Computational Fluid Dynamics (CFD) studera det aerodynamiska flödet och seglets effektivitet. Tack vare dessa databeräkningar har dörren öppnat sig för en ny epok inom design av segel.

VI TALAR NU OM DEN Integrerade Designteknologin, där vi i ett och samma dataprogram steg för steg kan göra ett antal beräkningar och analyser som:

- Bestämma och beräkna seglets tredimensionella form och konstruktion.
- Studera seglens geometri och anpassning till rigg och skotpunkter.
- Virtuellt trimma seglen.
- Analysera seglets aerodynamiska prestanda.
- Studera seglets deformation för olika vindstyrkor i förhållande till konstruktion och materialval.

MED HJÄLP AV DESSA beräkningar kan designprocessen liknas vid en kedja eller loop där man med olika förändringar i formgivning



STEFAN LJUNGSTEDT/SEGELSBILDER.SE

HAR INLETTS

och konstruktion analyserar och förändrar till önskat resultat uppnått.

Fördelarna är många. För kappseglaren en reducering av kostnaden för att testa olika segel, för båtkonstruktören och båttillverkaren vetenskapen om att en ny konstruktion har optimerade segel med bästa prestanda och för cruising seglaren tryggheten att få effektiva segel med korrekt val av konstruktion och material. Ett designprogram som kommit långt i utveckling är "AZUREProject", utvecklat av Sabrina Malpede, ingenjör med inriktning på aerodynamik och doktor PH D inom segeldesign. I den här artikeln tittar vi lite närmare på programmet och hur det hjälper oss att optimera ett segel.

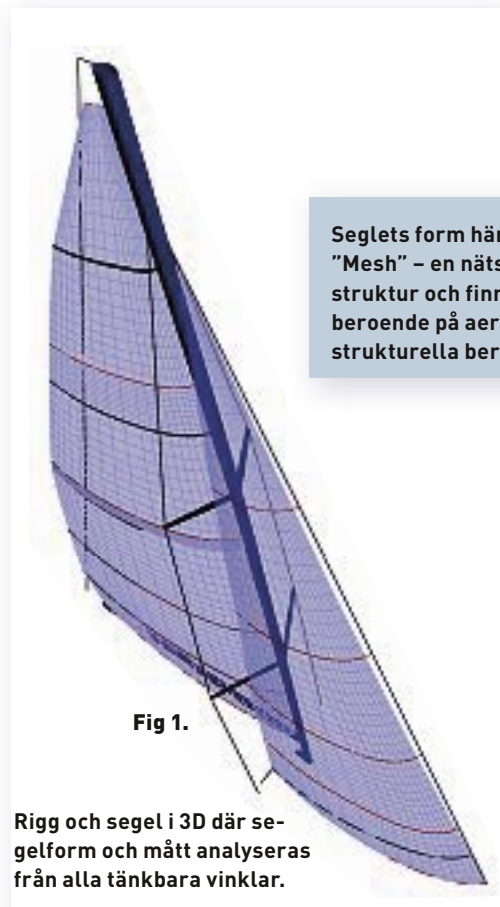
Seglets geometri och den tredimensionella formen.

SEGLETS STORLEK OCH FORM beror på en mängd faktorer. Först av allt är det givetvis seglarens önskemål och den egna erfarenheten om båtens egenskaper som ligger till grund. Men det är inte helt ovanligt att seglarens erfarenhet grundar sig på en ofullständig bild, där kunskapen om båten och val av segel lika gärna kan komma från hjälpsamma förståsigpåare. Den ena båten är inte den andra lik, variationerna kan vara både stora och små. För att bättre förstå olikheterna har det blivit vanliga med olika prestandaberäkningar som VPP eller att använda sig av enkla och snabba beräkningar av förhållanden som segelarea/deplacement, rätande moment, skenbara vindvinklar för olika vindstyrkor med mera.

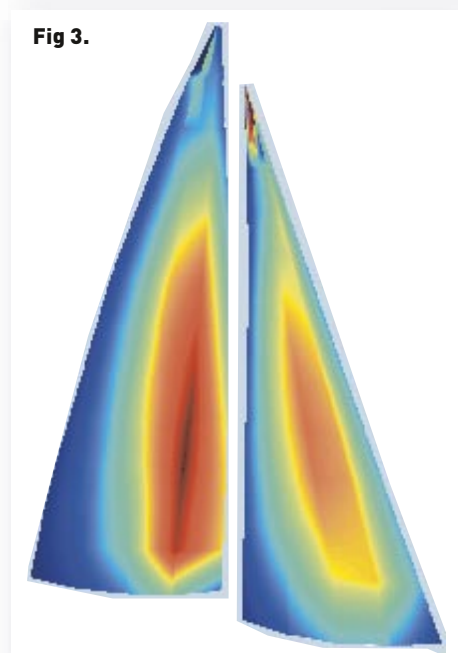
Segelmakarens erfarenhet och analytiska förmåga är i många fall avgörande för hur ett segel på bästa sätt kan anpassas både ifråga om storlek för ett givet vindregister och hur den givna arean på bästa sätt geometriskt kan anpassas till riggen.

Segelmakare arbetar normalt med en bank som innehåller en mängd grundformer som i takt med utvecklingen av båtar och riggar byggs ut med nya. En bra bank är uppbyggd med olika kategorier som segelplan, riggtyp, storlek på båt samt vindregister.

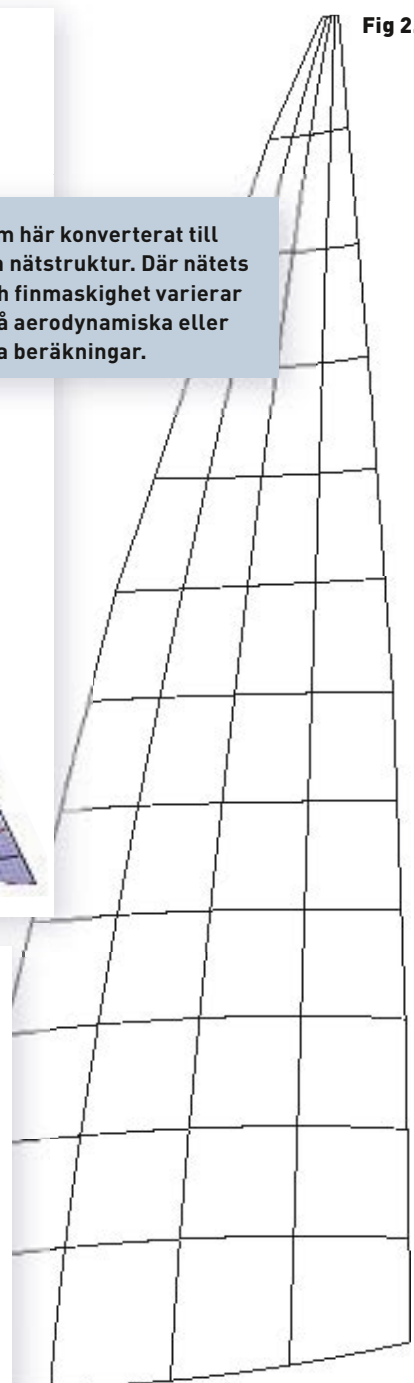
UTIFRÅN DEN GRUNDFORM man valt från banken sker sedan den geometriska anpassningen där seglets mått kontrolleras mot segelritning och skotpunkter. Vidare måste i designprogrammet justering göras av twist, förlik- och akterlikkurvor. Allt efter riggens begränsning-



Rigg och segel i 3D där segelform och mått analyseras från alla tänkbara vinklar.



Beräkning visar oss hur stor tryckskillnaden är och hur den är fördelat, där det sökta värdet varierar beroende på riggtyp och graden av förseglets överlapp.



Seglets form här konverterat till "Mesh" – en nätstruktur. Där nätets struktur och finmaskighet varierar beroende på aerodynamiska eller strukturella beräkningar.

ar och förutsättningar. Ett nytt virtuellt hjälpmedel är att skapa en identisk rigg som seglet skall anpassas till. Här avslöjas snabbt eventuella felaktigheter och tänkbara problem. [Fig 1.](#)

Under 2006 har i "AZUREProject" skett en utveckling som gör att man virtuellt kan studera hur seglet och dess form påverkas av olika trim. I praktiken betyder det, om vi tar storsegel som exempel, att man kan studera hur seglets form förändras beroende på till exempel mastens krökning. Ett innovativt och unikt hjälpmedel för justering och anpassning av seglets mastkurva och på så sätt uppnå optimal segelform för olika vindförhållanden.

Konstruktion och materialval

UTBUDET AV OLIKA MATERIAL och konstruktioner är stort och att välja rätt kan i många fall vara en lång och svår process. Här har segelmaka-

Aerodynamisk analys

Från den tredimensionella segelformen skapas vad som på fackspråk kallas en "Mesh" som enkelt uttryckt kan liknas som ett nät där alla delar gör det möjligt att utföra olika matematiska beräkningar. [Fig 2.](#)

Den aerodynamiska analysen kommer att visa hur effektivt seglet är format för ett bestämt förhållande. Förutsättningen för att genomföra analysen är förutom seglets grundform även värden på skotvinklar, avdrift, skenbar vindvinkeln (apparent wind angle) och vindstryka. Med de givna förutsättningarna kan så beräkningar utföras, med flera olika resultat och värden att utvärdera.

Dels har vi tryckskillnaden (pressure force) mellan lovart och lä som uppstår på grund av olika vindflöden mellan lä och lovart. Det är den kraft som verkar tvärs segelprofilen. [Fig 3.](#) Beräkningen visar oss hur stor tryckskillna-

ett alternativ till att studera kraften från tryckskillnaden, är att studera förhållandet mellan lyftkraft (lift) och motstånd (drag). Lyftkraften är riktad tvärs vindriktningen och motståndet verkar rakt emot båtens färdriktning. Värdet på samtliga dessa krafter kan utläsas med dess variationer i seglets höjdd.

[Se fig 4.](#)

För seglets formgivning gäller därför att finna den bästa tänkbara kompromissen mellan dessa krafter med anpassning till båtens speciella egenskaper.

Strukturell analys

NÄR SEGLETS FORM ÄR optimerad är det dags för den strukturella beräkningen som visar hur seglets form förändras i olika vindstyrkor.

Till grund för beräkning ligger dels en "Mesh", dels den panelkonstruktion vi valt. Och även vilken typ av material vi valt med

Utbudet av olika material och konstruktioner är stort och att välja rätt kan i många fall vara en lång och svår process.

ren ett stort ansvar att lyssna på kundens önskemål och presentera de mest lämpliga alternativen. Båtens storlek och användningsområde, seglens förlivslängd och totala livslängd är de viktigaste kriterierna som skall vägas in i förhållande till ett pris.

Även för olika konstruktioner finns en bank att välja från. Där finner vi allt ifrån traditionell crosscut skärning för vävda material till komplexa och avancerade panel- och andra belastningsorienterade konstruktioner. Alla anpassade efter material, typ och storlek på seglet.

Det finns dock kvalitativa variationer i de olika bankerna beroende på segelmakarens erfarenhet och inriktning. Att tredimensionellt forma segel med hjälp av Cad-program är den nivå som flertalet segelmakare befinner sig på, men nu är det dags att föra utvecklingen vidare till nya nivåer.

den är samt hur den är fördelad över seglet. Det optimala värdet varierar en del beroende på olika segelplan. Till exempel om det är en rigg med bara ett storsegel eller stor med överlappande försegel.

Lika viktigt är att titta på "pressure force coefficient" och hur tryckförändringen är fördelad i höjdd. Ett försegel bör ha en så vertikal fördelning som möjligt till skillnad mot ett storsegel där man måste ta hänsyn till förseglets påverkan. Vi måste med andra ord förstå samspelet och se både försegel och storsegel som en och samma vingprofil.

Kraften på grund av tryckskillnaden kan också ses som summan av den framåtdrivande kraften och sidokrafterna. Målet är naturligtvis att maximera den framåtdrivande kraften men när den ökar så ökar även sidokraften.

särskilt beaktande på materialets specifika töjningsegenskaper. Ett materials kvalitet bedöms på hur låg töjningen är i flera riktningar under en konstant stigande belastning. Konstruktionen styr också hur väl materialet kommer att linjera och stå emot belastningar i de riktningar som programmet beräknar. Allt i förhållande till en bestämd vindstryka.

Seglets formförändring studeras med hjälp av "Total Displacement" som visar hur stor skillnaden är mellan seglets grundform och formen under belastning. Det optimala är så små skillnader som möjligt. Men för vissa material och konstruktioner kan det visa sig vara nödvändigt att justera grundformen och göra den något planare för att i frisk vind och hög belastning få en bättre anpassad segelform. Vi kan dessutom se skillnaden mellan den ursprungliga och "Deformed Mesh" i [fig 5](#)

Där finner vi allt ifrån traditionell crosscut skärning för vävda material till komplexa och avancerade panel- och andra belastningsorienterade konstruktioner.

som tydligt visar hur vinden påverkar seglets olika delar, t ex om akterliket öppnar upp eller stänger. Det ger en god idé om vad som bör förändras och förbättras.

Med "Von Moses stress" ser vi hur materialet (segelduken) töjer sig. Med hjälp av den informationen kan vi ändra val av duk i de sektioner där töjningen är allt för stor. **Fig 6.**

Segel tillverkas i flexibla material som inte klarar kompression. Därför kan rynkor "Wrinkle" uppstå i vissa delar av seglet. Det ger ytterligare en god vägledning till eventuella förändringar i form, konstruktion och materialval. **Fig 7.**

Med beräknade formförändringar som grund kan vi nu åter beräkna seglets aerodynamiska prestanda. Vid för stora avvikelser från de ursprungliga värdena måste nödvändiga justeringar göras, och sedan upprepa den strukturella proceduren ända tills att önskvärt resultat är uppnått.

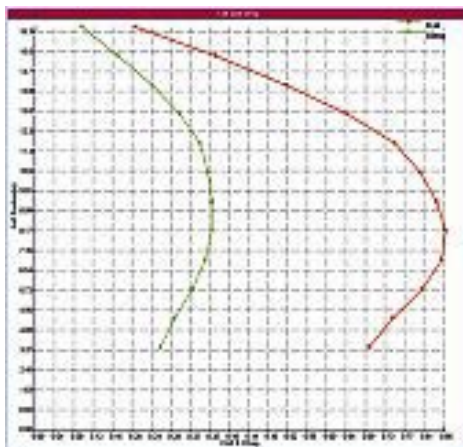
Sammanfattning

SEGLET ÄR EN FLEXIBEL konstruktion vars formstabilitet beror på konstruktion och val av material. Och hur det trimmas. Lika viktigt är seglets grundform och förmåga att skapa de rätta förutsättningarna för de aerodynamiska krafterna i ett delikat samspel med båtens hydrodynamiska egenskaper.

Design program som AZUREProjekt kommer i framtiden att bli ett allt viktigare hjälpmedel för de segelmakare som vill erbjuda bästa tänkbara segel, både för den prestandainriktade cruisingseglaren som för kappseglaren. Genom att virtuellt simulera seglets prestanda och egenskaper kan man bättre förstå hur geometri, konstruktion, materialval och trim påverkar seglets prestanda. Tillverkning av segel är numera en kombination av traditionellt hantverk och sofistikerad högteknologi. ●

Bengt Lindholm har närmare 30 års erfarenhet av segelmakeri. Är numera verksam på Hamel Sails.

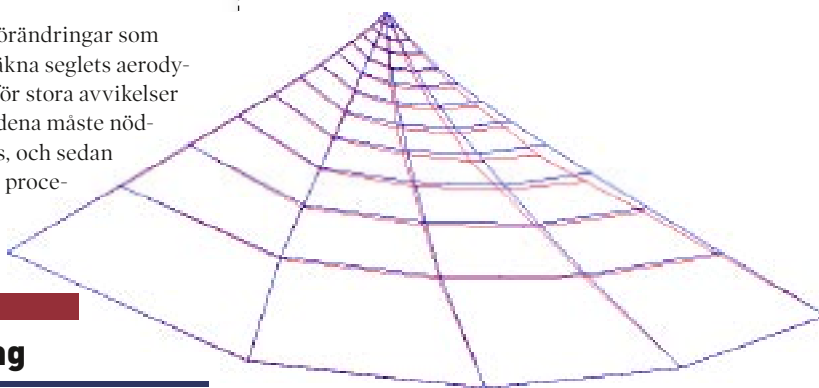
Fig 4.



Förhållandet mellan Lyftkraft (lift) och Motstånd (drag) i seglets höjled. Ett effektivt hjälpmedel för optimering av både segelform och geometri.

Fig 7.

"Wrinkle" visar uppkomna rynkar i seglet främst beroende på material och konstruktion men även hur seglet är trimmat. Här ett resultat av illa valt materialval.



"Deformed Mesh" där de strukturella beräkningarna tydligt visar hur val av material i kombination med vindstyrka påverkar seglets ursprungliga form.

"von Moses stress" visar i förhållande till konstruktion och materialval tydligt var segeldukens töjning är kritisk.

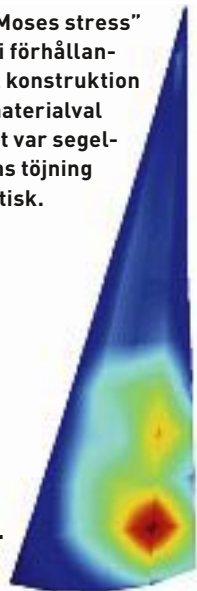


Fig 6.

