

# EL OMBORD

## ( och andra tillämpningar där fast elnät saknas)

Revision 4  
Maj 14, 2003

Betydelsen av el ombord ökar. Modern navigations- och kommunikationsutrustning är elkrävande så också den ökande mängd hushållsutrustning som börjar användas ombord.

Det här är en "tips" bok om el ombord på små och stora båtar. Syftet med boken är dubbelt:

Först och främst ska jag i detalj beskriva några ämnen som ofta diskuteras och missförstås, såsom batterier och batterivård, samt elförbrukning hos kylar, frysar och luftkonditionering.

Mitt andra mål är att hjälpa konstruktörer, elektriker och båtägare att välja metoder att producera och lagra el ombord. Åtskilliga nya produkter och konstruktioner har i hög grad ökat valmöjligheterna inom systembyggnad.

Tillsammans med en del oundviklig teori visar jag exempel på små och stora båtar för att klargöra konsekvenserna med olika metoder. Ibland har dessa varit så oväntade och långtgående att, genom att skriva om det, jag ökat min egen förståelse.

Reinout Vader

Copyright © 2000 Victron Energy B.V.

Victron förbehåller sig alla rättigheter

Det är inte tillåtet att reproducera denna publikation på något sätt, varken i sin helhet eller delar därav.

**VICTRON ENERGY B.V. MAKES NO WARRANTY, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, REGARDING VICTRON ENERGY B.V. PRODUCTS AND MAKES SUCH VICTRON ENERGY B.V. PRODUCTS AVAILABLE ON "AS-IS" BASIS.**

**IN NO EVENT SHALL VICTRON ENERGY B.V. BE LIABLE TO ANYONE FOR SPECIAL, COLLATERAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF PURCHASE OR USE OF VICTRON ENERGY B.V. PRODUCTS. THE SOLE AND EXCLUSIVE LIABILITY TO VICTRON ENERGY B.V., REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION SHALL NOT EXCEED THE PURCHASE PRICE OF THE VICTRON ENERGY B.V. PRODUCTS DESCRIBED HERE IN.**

For conditions of use and permission to use this book for publication in other than the dutch language, contact Victron Energy B.V.

Victron Energy B.V. reserves the right to revise and improve its products as it sees fit.

### **Victron Energy B.V.**

De Paal 35  
1351 JG Almere-Haven

P.O. Box 50016  
1305 AA Almere-Haven

Tel: +31 (0) 36 535 97 00  
Fax: +31 (0) 36 535 97 40

E-mail : [sales@victronenergy.com](mailto:sales@victronenergy.com)  
Webbsite: [www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)

Översättningen till svenska om "mer kunskap om batterier, elsystem och dess beräkningar" är godkänd av Reinhout Vader. Samtidigt är de nya produkterna utvecklade för att förenkla el konstruktioner ombord. Originalets titel: Electriciteit aan boord, 2000  
Översättning av © Storebro Energy Systems AB  
Maj 14, 2003

## 2. Batteriet: Att förhindra förtida åldrande

### 2.1. Inledning

Jag tycker om motorer. När de krånglar kan jag lyssna, titta, lukta och demontera dem. Delar kan bytas ut, repareras och underhållas. Sedan är det bara att montera ihop så fungerar de igen!

Med ett batteri kan man inte göra likadant. Batteriet är en "hemlig" produkt: från utsidan kan inget avslöja dess kvalitet, förslitning eller laddningsstatus. Man kan heller inte skruva isär det för att avslöja några tecken på dess åldrande. Man kan förvisso såga isär det, men det skulle förstöra det för gott, och endast en expert skulle kunna analysera dess innehåll och kanske, i vissa fall, kunna spåra orsaken till att det fallerat.

Ett batteri, som slutar fungera, måste bytas ut, så enkelt är det.

Batterier är dyra, stora och väldigt tunga. Jämför bara: Med 10 L diesel (=8,4 kg) och ett elverk kan man ladda ett batteri på 24V, 700Ah (energi innehåll  $24 \times 700 = 16.8$  kWh) . Ett sådant batteri har en volym på ca 300 L och väger 670 kg !

Och, batterier är mycket sårbara. Överladdning, underladdning, för djupa urladdningar, för snabb laddning, för höga temperaturer.....allt detta kan hända och konsekvenserna blir katastrofala.

Syftet med detta kapitel är att förklara varför batterier förstörs, och vad som kan göras för att få dem att hålla längre. Men, om ni vill se i det inre av ett förstört batteri, försök inte öppna ett själv: Det är ett ytterst smutsigt jobb och för priset av ett par nya byxor ( syran i batteriet kommer att förstöra dem) kan ni istället köpa Nigel Calders bok "Boatowners Mechanical and Electrical Manual" där man i kapitel 1 kan se många närbilder på förstörda batterier.

## 2.2. Batteriets kemi

### 2.2.1. Vad händer i battericellen vid urladdning

När ett batteri urladdas, bildas bly sulfat på både den positiva och den negativa elektroden genom absorption av svavelsyran i elektrolyten. Mängden elektrolyt förblir mer eller mindre oförändrad. Dock ändras mängden svavelsyra , vilket kan mätas i förändringen av elektrolytens specifika vikt.

### 2.2.2. Vad händer vid laddning

Vid laddning är processen i battericellen den omvända. Från bägge elektroderna frigörs svavelsyra medan den positiva plattan omvandlas till blyoxid och den negativa till poröst svampliknande bly. När batteriet är fulladdat kan energin inte längre tas upp och ytterliggare energi sönderdelar elektrolytens vatten till väte- och syrgas. Detta är en extremt explosiv blandning och förklarar varför gnistor eller öppen eld i närheten av ett batteri som laddas är ytterst farligt. Härigenom är det mycket viktigt att se till att batteri utrymmet är väl ventilerat.

### 2.2.3. Diffusionsprocessen

När ett batteri urladdas, måste joner vandra genom elektrolyten och genom elektrodernas aktiva material för att nå fram till det bly och blyoxid som ej har deltagit i reaktionen än. Denna jonvandring kallas diffusion. När batteriet laddas äger en liknande reaktion rum. Diffusionen är en relativt långsam process och som man kan förstå äger den kemiska reaktionen rum på elektrodernas ytor först, för att först senare och också långsammare, gå på djupet i plattornas aktiva material.

### 2.2.4. Livslängd

Beroende på ett batteris konstruktion och brukande, kan livslängden på ett batteri variera mellan några få upp till mer än 10 år. De viktigaste anledningarna till ett batteris åldrande är:

**Förvittring** av elektroderna. Intensiv cykling (upprepad laddning / urladdning ) är den främsta anledningen till detta. Effekten av upprepad kemisk omvandling av det aktiva materialet på plattorna tenderar till att reducera dess vidhäftning, varvid material frigörs från plattorna och sjunker till batteriets botten.

**Korrosion** på den positiva plattan. Detta händer då ett batteri laddas, i synnerhet under slutet av

laddningen då spänningen är hög. Det här är också en långsam men konstant process som äger rum även vid underhållsladdning. Korrosionen ökar batteriets inre resistans och leder slutligen till sönderfall av den positiva plattan.

**Sulfatering.** Medan de förutnämnda orsakerna till åldrande inte kan förebyggas, behöver sulfatering inte äga rum om ett batteri vårdas väl. När batteriet urladdas ombildas det aktiva materialet på bägge plattorna till ytterst små sulfatkristaller. Om det lämnas urladdat har dessa kristaller en tendens att växa och stelna vilket gör att ett ogenomträngligt skikt bildas som inte kan återupplösas till aktivt material. Resultatet är kapacitetsförlust och batteriet blir oanvändbart.

## 2.3. De vanligaste blybatterityperna

### 2.3.1. Bly- antimon och bly- kalcium

Bly är legerat med kalcium ( med små tillsatser av andra ämnen som selen eller tenn) eller med kalcium för att göra metallen hårdare och därmed hållbarare och lättare att bearbeta. För användaren är det viktigt att veta att, jämfört med kalciumlegerade, så har batterier legerade med antimon en något högre självurladdning och kräver en högre laddningsspänning men klarar också fler laddningscykler

### 2.3.2. Öppna jämfört med slutna (Gel eller AGM) batterier

Elektrolyten i en battericell kan vara antingen i flytande form eller endera i geleform ( gelbatterier) eller uppsugen i något poröst material( AGM batterier). När ett batteri närmar sig full laddning kommer det att börja "gasa",dvs sönderdela vattnet till vät- och syrgas. I slutna (" torra" ) batterier vandrar den frigjorda syrgasen från den positiva- till den negativa plattan , där genom en komplicerad kemisk process, det återförenas med vätgasen till vatten. Ingen gas kommer att avgas från batteriet. Fri vätgas bildas endast om laddningsspänningen är för hög. I fall överladdning äger rum, så kommer gaserna att lämna battericellen via en säkerhetsventil som också gett namnet "ventilreglerade batterier" (Valve Regulated Lead Acid battery, VRLA) .

Batterier kan också särskiljas efter dess konstruktion och användning:

### 2.3.3. Startbatteriet med raka plattor (Öppet)

Det här är det vanliga batteriet som används i bilar. Det är olämpligt för djupa urladdningar då dess konstruktion med tunna plattor med stor area – endast avsett att under kort tid lämna hög ström (motorstart). Ändå används ofta stora startbatterier för lastbilar av missförstånd som förbrukningsbatterier i mindre båtar.

### 2.3.4. Semitraktionära batterier med raka plattor

Dessa batterier har tjockare plattor och bättre separering mellan dem för att undvika sedimentering och att plattorna slår sig. Det är kan användas för lättare fall av cyklisk drift och kallas ofta för "fritidsbatteri".

### 2.3.5. En ny batterityp: Kolfiberbatteriet (öppet, underhållsfritt)

Kolfiberbatteriet har uppfunnits och patenterats av Elescol (UK) och marknadsförs av Centurion i Nederländerna. Miljoner av ihåliga och elektriskt ledande kolfibrer:

- Förbättrar vidhäftningen av det reaktiva materialet (vilket förhindrar förvittring)
- Reducerar cellens resistans (genom att underlätta diffusionen)
- Förhindrar bildandet av lokala fickor med sulfatering på och i plattorna då batteriet lämnas oladdat.

Batteritypen har också en mycket hög energitäthet ( Hög Amperetidskapacitet per kilo)  
Batteriet säljs av Victrons återförsäljare under namnet Centurion X Tender.

### 2.3.6. Traktionära batterier

Dessa är konstruerade antingen med raka eller cirkulära plattor. Används till exempel i gaffeltruckar , där de urladdas ned till 60-80% per dag och sedan laddas under natten – dygn efter dygn. Detta är vad som brukar kallas cyklisk drift.  
Traktionära batterier måste laddas, åtminstone då och då, med en relativt hög spänning. Hur hög beror på kemiska- och konstruktiva detaljer samt på den för laddning tillgängliga tiden.

O:B:S: Den höga laddspänningen är nödvändig för att ändra sulfatet i det aktiva materialet och för att förebygga "stratification" i batterisyran. Svavelsyran ( $H_2SO_4$ ) som produceras under tiden batteriet laddas, har en högre densitet än vatten och tenderar att lägga sig på botten i batteriet. Resultatet blir att vi får en högre koncentration av svavelsyra i botten på batteriet. När spänningen är så hög att batteriet börjar gasa, blandar gasblåsorna ihop den tyngre svavelsyran med det lättare vattnet, och elektrolyten blir åter ihop blandad. För batterisyra i de stora traktionära batterierna, ska det produceras mer gas än i de mindre, för att blanda ihop syran.

### 2.3.7. Det slutna gelbatteriet

Här är elektrolyten bunden i gele. Vanliga varianter är t.ex. Sonnenschein Dryfit A200, Sportline och Exide batterier.

### 2.3.8. Det slutna AGM batteriet

AGM är förkortning av "Absorbed Glass Mat" (absorberande glasfibermatta). I dessa batterier är elektrolyten uppsugen kapillärt i en glasfibermatta mellan plattorna. I AGM batteriet kan laddningsbärarna, väte- och sulfatjoner röra sig mer obehindrat än i gelbatteriet. Detta gör AGM batteriet mer lämpligt för höga urladdningsströmmar under kort tid än gelbatterier.

### 2.3.9. Det slutna spiralcellsbatteriet

Känt som "Optima" batteriet (Exide har också en liknande produkt), är detta en variant på AGM batteriet. Varje cell består av en negativ och en positiv platta som är vridna till en spiral och därigenom dels öka den mekaniska hållfastheten och dels ger en ytterst låg inre resistans. Spiralcellsbatteriet kan leverera mycket höga urladdningsströmmar, tätt hög laddning utan att överhettas och är också, för att vara ett ventilreglerat batteri, mycket tolerant avseende laddningsspänning.

## 2.4. Batteriets funktion och användande

I ett fristående elsystem fungerar batteriet som en buffert mellan strömkällor (Generatorer, laddare, solceller, vindelverk) och förbrukare. I praktiken innebär detta cyklisk drift, men faktiskt en väldigt speciell variant. Detta i kontrast med gaffeltrucken där laddnings- urladdningsförloppet är mycket förutsägbart.

Eftersom båtar ofta lämnas utan att brukas under längre tid, gäller detta även deras batterier.

För att ta ett exempel kan följande situationer uppstå på en segelbåt:

- Båten seglar eller ligger för ankars i en trevlig vik. Besättningen vill slippa oönskat ljud så batterierna får stå för all förbrukning. En eller ett par gånger dagligen kör man motorn eller ett elverk några timmar, så batteriet blir tillräckligt laddat för att kunna svara för förbrukningen en tillräckligt lång period. Detta är cyklisk drift där, tydligen nog, laddningstiden är för kort för att fulladda batterierna.
- Båten seglar eller ligger för ankars. Ett eller flera WhisperGen används så att el kan produceras ljudlöst, om så behövs upp till 24 timmar per dygn. Istället för en eller två djupa urladdningar var dag, så får batteriet fler och korta och "grunda" urladdningar.
- Båten går för maskin under flera timmar. Generatoren på maskinen har nog med tid för att ladda batterierna tillräckligt.
- Båten ligger förtöjd i hamn. Batteriladdare är anslutna till land och batteriet underhållsladdas dygnet runt. Om "likströmskonceptet" används (se 8.2) kan ett flertal mindre urladdningar äga rum varje dag.
- Båten ligger oanvänd vintertid. Batterierna är antingen fränkopplade eller underhållsladdas av en batteriladdare, solpanel eller vindgenerator.

Antalet urladdningscykler per år, omgivningstemperaturen och många andra faktorer som påverkar dess livslängd varierar mellan olika användare. I följande avsnitt ges en kort översikt över dessa faktorer.

## 2.5. Blybatteriet i praktiken

### 2.5.1. Hur mycket kostar ett batteri?

Här avser vi bara att ge en grov bedömning : Förutom all hänsyn tagen till kvalitet och användningsområde så är givetvis priset viktigt:

Batterityp	Användning	Vanliga systems spänning, kapacitet och energi innehåll			Cirka pris utan moms	Cirka pris per kWh
		V	Ah	kWh	SEK	SEK
Start	Startmotor	12	100	1.2	900	720
Spiral cell	Start, bogpropeller	12	60	0.72	2250	3150
Semitraktionära	Förbrukningsbatteri upp till ca 600 Ah	12	200	2.4	2700	1125
Kolfiberbatteri X-celler x-tender Centurion	Förbrukningsbatteri upp till 600 Ah	12	230	2.8	3600	1260
Traktionärt(rörceller)	Förbrukningsbatteri upp till ca 2000 Ah	24	1000	24	40500	1710
Ventilreglerat gel Sonnenschein Dryfit A200	Förbrukningsbatteri upp till 600 Ah	12	200	2.4	4500	1890
Ventilreglerat gel Sonnenschein Dryfit A600	Förbrukningsbatteri upp till ca 1500 Ah	24	1500	36	99000	2745
Ventilreglerat AGM GNB Champion	Förbrukningsbatteri upp till ca 600 Ah	12	200	2.4	5850	2430
Ventilreglerat AGM GNB Absolyte	Förbrukningsbatteri upp till ca 6000 Ah	24	1500	36	126000	3510

Den här tabellen visar att kostnaden varierar mycket beroende på batterival och framförallt att öppna celler är billigare än slutna.

Slutna batterier erbjuder stora lätnader eftersom:

- De är underhållsfria
- De avger ej gaser (såvida de ej laddas med för hög spänning)
- De kan installeras i utrymmen som är svåra att nå

Å andra sidan är slutna batterier väldigt känsliga för överladdning (med undantag av spiralcells batteriet).

Överladdning resulterar i gasning (genom säkerhetsventilen) vilket innebär att vattnet som därigenom går förlorat aldrig kan ersättas, resulterande i kapacitetsförlust och förtida åldrande.

Moderna öppna batterier med raka plattor och lågt antimoninnehåll ( ca 1,6% ) gasar så lite att vatten endast behöver fyllas på en gång per år.

## 2.5.2. Dimensioner och vikt

Batterityp	V	Ah	kWh	Volym, dm <sup>3</sup>	Vikt, kg	Specifik volym, Wh/ dm <sup>3</sup>	Specifik vikt Wh/kg
Start	12	100	1.2	16	28	75	43
Spiralcell	12	60	0.72	8.5	17.2	81	42
Semitraktionärt	12	200	2.4	33	60	73	40
Kolfiber	12	230	2.8	33	62	85	45
Traktionärt(rörplattor)	24	1000	24	280	770	85	32
Ventilreglerat gel Sonnenschein Dryfit A200	12	200	2.4	33	70	72	34
Ventilreglerat gel Sonnenschein Dryfit A600	24	1500	36	600	1440	60	25
Ventilreglerat AGM GNB Champion	12	200	2.4	24	61	100	39
Ventilreglerat AGM GNB Absolyte	24	1500	36	600*	1360	60	26.5

\* Inkl. monteringsram

Den här tabellen visar klart hur tunga och klumpiga batterier är.

För att gå tillbaka till jämförelsen i kapitel 2.1 :

Jämfört med den energi som frigörs vid förbrännandet av diesel, kan batteriet helt enkelt inte konkurrera.

Förbränningen av 10 L diesel ger ca 100 kWh termisk energi. När ett elverk förbrukar 10l dieselbränsle kan det med en genomsnittlig verkningsgrad på 20 % leverera 20 kWh elenergi. Detta motsvarar vad som krävs för att ladda ett 24 V batteri på 700 Ah Ett sådant har en volym på 300 L och väger 670 kg!

En annan talande jämförelse är uppvärmning av vatten. Att få 1 L vatten att koka i en vattenkokare kräver 0,1 kWh. Att avge detta kräver ca 4 kg batteri!

## 2.5.3. Effekten på kapaciteten vid snabb urladdning

Ett batteris kapacitet beror på urladdningsströmmens storlek. Ju snabbare urladdning, desto färre Ah kan batteriet leverera. Detta är relaterat till diffusionsprocessen (kap. 2.2.3) . Generellt anges kapaciteten vid en urladdningsperiod på 20 timmar (urladdningsström  $I = C/20$ ):

För ett 200 Ah batteri innebär detta att den uppgivna kapaciteten kan avges vid en urladdningsström på 200 Ah /20 tim. = 10 Ampere.

Med en urladdningsström på 200 A kommer batteriet att bli "tomt" mycket snabbare. Ett 200 Ah gelbatteri har till exempel endast 100 Ah kapacitet vid denna ström och kommer därför att vara "tomt" efter 30 minuter(Se också kap. 3:"Battery monitor").

Följande tabeller ger ett intryck av kapacitetens samband med urladdningsströmmen.

Den andra kolumnen i första tabellen visar den av tillverkaren angivna kapaciteten vid viss urladdningstid. Denna är oftast 20 timmar men kan också vara 5 eller 10 timmar.

Tabellen visar hur kapaciteten snabbt minskar vid ökande urladdningsström och att AGM batteriet har bättre prestanda(i synnerhet spiralcells-batteriet ) än gelbatterier vid höga urladdningsströmmar.

Typ	Urladdningsström	Märkkapacitet Och relaterad urladdningstid	Urladdnings- tid	Urladdnings ström	Effektiv kapacitet 1.83 V/ cell (11 V)		Urladdnings tid
					Ah	%	
	A (uppgivna)		Timmar	A ( C/5)			Timmar
Start	5	100 Ah / 20 t	20				
Spiralcell	2.8	56 Ah / 20 t	20	11.2	52	93	4.6
Semitraktionära	10	200 Ah / 20 t	20	40	150	75	3.75
Kolfiber, X-celler, Centurion	11.5	230 Ah / 20 t	20	46	182	79	4
Traktionära (tubplattor)	200	1000 Ah / 20 t	5	200	1000	100	5
Ventiregl.gel Sonnenschein Dryfit A200	10	200 Ah/ 20 t	20	40	158	79	4
Ventilregl. Gel Sonnenschein Dryfit A600	150	1500 Ah/ 10 t	10	300	900	60	3
Ventilregl. AGM GNB champion	10	200 Ah/ 20 t	20	40	170	85	4.25
Ventiregl. AGM GNB Absolyte	150	1500 Ah/ 10t	10	300	1200	80	4

Typ	Urladdningsström	Effektiv Kapacitet 1.83 V/cell ( 11 V)		Urladdnings- tid	Urladdnings ström	Effektiv kapacitet 1.75 V/cell (10.5 V)		Urladdnings tid
		Ah	%			Ah	%	
	A ( C/2)			Minuter	A ( C/1)			Minuter
Start								
Spiralcell	28	43	77	92	56	42	75	45
Semitraktionära	100	110	55	66	200	90	45	27
Kolfiber, X-celler, Centurion	115	138	60	72	230	115	50	30
Traktionära (tubplattor)	500	700	70	80	1000	400	40	24
Ventiregl.gel Sonnenschein Dryfit A200	100	120	60	72	200	100	50	30
Ventilregl. Gel Sonnenschein Dryfit A600	750	375	25	15	1500	0*	0	0*
Ventilregl. AGM GNB champion	100	117	58	70	200	100	50	30
Ventiregl. AGM GNB Absolyte	750	560	37	45	1500	250	17	10

\* Vid en urladdningsström på 1500 A ( C/1 ) sjunker spänningen för ett A 600 batteri nästan omedelbart till 1.65 V/ cell ( 9.9 resp. 19.8 V för 12- och 24 V system).

Urladdningsströmmen uttrycks ofta i proportion till angiven kapacitet . Till exempel anges för ett 200 Ah batteri C/5 vilket innebär en urladdningsström på 40 A ( = 200 Ah / 5 ).

#### 2.5.4. Kapacitet och temperatur

Kapaciteten står i omvänd proportion till temperaturen:

-10°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
80 %	92 %	95 %	100 %	103 %	105 %



## 2.5.5. Förtida åldrande 1: För djup urladdning

Ju djupare ett batteri urladdas, desto tidigare kommer det att åldras av förvittring ( kap. 2.2.4 ) och när en viss gräns nåtts ( ca 80% urladdning ) fortskrider åldrande processen oproportionerligt snabbt.

Dessutom, om batteriet lämnas urladdat kommer det att börja sulfatera ( kap. 2.2.4 ).

Som också förklarades i kapitel 2.2.4 kommer ett batteri, även om det hålls laddat och ej används, att åldras, framförallt beroende på korrosion av den positiva plattan.

Följande tabell visar ger en ungefärlig idé om antalet laddningscykler ett batteri kan klara under dess livslängd och hur de kan förstöras av antingen sulfatering eller korrosion.

Batterier kan anses ha nått gränsen för sin livslängd då kapaciteten har reducerats till 80 % av den uppgivna.

Typ	Antal cykler under livslängden		Hållbarhet vid 100% urladdning	Förväntad livslängd vid hålladdning eller grunda urladdningscykler
	80 % urladdning	60 % urladdning		
Start	Ej användbart till cykliskt bruk			5
Spiralcell	400	650	Irreparabelt av sulfatering inom några dagar	10
Semitraktionärt	200	350	Irreparabelt av sulfatering inom några få dagar	5
Kolfiber, X-celler, Centurion	750	1000	Överlever upp till 3 Månader i kortslutet tillstånd	8
Traktionärt (rörplattor)	1500	2500	Överlever upp till en månad i urladdat tillstånd	10-15
Ventilregl. Gel Sonnenschein A200	250	450	Överlever upp till en månad urladdat	4-5
Ventilregl. Gel Sonnenschein A600	600	900	Överlever 1 månad urladdat	15-18
Ventilregl. AGM GNB Champion	350	600	Överlever upp till en månad urladdat	7
Ventilregl. AGM GNB Absolyte	1200	2200	Överlever upp till 3 månader kortslutet	20 (vid 25°C)

Även om de flesta batterier återhämtar sig efter en fullständig urladdning, är det ändå mycket dåligt för dess livslängd. Batterier ska **aldrig** laddas ur fullständigt och definitivt inte lämnas oladdade!

Det bör också noteras att ett batteris spänning inte är ett bra mått på graden av dess urladdning. Batterispänningen påverkas för mycket av andra faktorer som t. ex. temperatur och urladdningshastighet. Endast då batteriet har urladdats helt ( 80-90% ) faller dess spänning fort. Återuppladdning borde ha gjorts **innan** detta händer. Därför är en "Battery Monitor"( kap. 3 ) mycket rekommendabel då stora, dyra batteribankar används.

## 2.5.6. Förtida åldrande 2: För snabb och ofullständig laddning

Batterier kan laddas snabbt och uppta höga strömmar till dess gasningsspänningen är uppnådd. Även om det kan fungera bra att ladda med så höga strömmar några gånger, kommer detta att minska livslängden högst avsevärt ( med undantag för spiralcells-batteriet ). Detta beror på att det aktiva materialets vidhäftning snabbt förloras med förvittring som resultat. Generellt rekommenderas det att laddningen hålls till maximalt C/5 eller med andra ord en femtedel eller 20 % av märkkapaciteten. När batteriet laddas med högre strömmar än så, kan dess temperatur snabbt stiga. Temperaturkompenserad laddning är i såna fall absolut nödvändig ( se kap. 2.5.9 ).

Min egen erfarenhet är att vid laddning av ett till 50 % urladdat batteri på 12V, 100 Ah med en laddningström på 33 A ( C/3 ) resulterar i en temperaturökning på 10 till 15°C. Maximal temperatur nås i slutet av fasen med forcerad laddning. Större batterier kommer att bli ännu varma

(eftersom värmemängden beror på volymen och värmeavgivningen på ytan) liksom batterier med hög inre resistans eller djupare urladdade batterier.

### **Ett exempel:**

Anta att en segelbåt på 50" har ett 24 V batteri på 800 Ah. Den maximala laddningsströmmen kommer i så fall att vara  $C/5 = 160$  A. 320 Ah kommer att kunna laddas på 2 timmar. Om det samtidigt förbrukas 15 A, måste laddningsutrustningen kunna leverera 175 A. Under resterande 22 av dygnets timmar ett genomsnitt på 320 Ah / 22 tim. = 14,5 A kan användas, vilket innebär en urladdning på endast  $320/800 = 40$  %. Det här förefaller inte mycket men är tyvärr det mesta som uppnås då generatorperioden begränsas till 2 timmar. Om batteriet används på detta sätt kommer laddningscykeln att stabiliseras på att urladdningsgrad som varierar mellan 20% (efter att det uppnåtts kommer erforderlig laddningsspänning öka och strömmen minska) och  $20\% + 40\% = 60\%$ . Att urladda mer och ladda snabbare skulle snabbt resultera i avsevärt förkortad livslängd.

I exemplet ovan används batteriet idelvis laddat tillstånd (mellan 20 % och 60% urladdning).

Förutom sulfatering, finns det 2 skäl till varför antalet cykler i delvis laddat tillstånd bör begränsas:

1) Skiktning av elektrolyten.

Det här problemet uppstår med öppna batterier, se kap. 2.3.6. Som en tumregel bör man begränsa antalet delvis laddade cykler till under 30, och mycket färre vid mycket djupa urladdningar.

2) Obalans mellan battericeller.

Cellerna i ett batteri är aldrig identiska. En del celler har lägre kapacitet än andra. En del celler kan också ha lägre laddningseffektivitet (se kap. 3.4). När ett batteri används utan att fulladdas kommer dessa "svagare" celler att "hamna mer och mer efter". För att fulladda batteriet måste det "utjämnas" (vilket innebär att de bättre cellerna kommer att överladdas, (se kap. 4.2.4)). Obalans kommer att tillta vid djupa urladdningar eller laddning med hög ström. För att undvika överdriven obalans, bör batteriet laddas fullständigt åtminstone var trettonde till var sextionde cykel.

## **2.5.7. Förtida åldrande 3: underladdning**

Som diskuterats i kapitel 2.2.4, inträffar sulfatering då batteriet lämnas urladdat. Sulfatering sker även då batteriet är delvis urladdat, om än i reducerad omfattning. Det är därför rekommendabelt att aldrig lämna ett batteri urladdat till mer än hälften, och att fulladda det åtminstone var trettonde dag.

Framförallt moderna, lågantimon, öppna batterier underladdas ofta eftersom laddningsspänningen är för låg.

**Tillsammans med för djup urladdning är underladdning den vanligaste orsaken till förtida åldrande hos batterier.**

## **2.5.8. Förtida åldrande 4: Överladdning**

Överladdning är, följaktligen, den tredje vanligaste orsaken för reduktion av ett batteris livslängd. Överladdning resulterar i kraftig gasbildning och därigenom vattenförlust. I ett öppet batteri kan vatten fyllas på (även om den ökade korrosionen av den positiva elektroden som äger rum samtidigt är oreparabel). I ett slutet batteri kan vattnet dock aldrig ersättas och de är därför mycket känsligare för överladdning. Vanliga orsaker till överladdning är avsaknad av temperaturkompensering samt samtidig laddning av flera batterier via en skiljediod (se kap. 5).

## **2.5.9. Förtida åldrande 5: Temperatur**

Ett batteris temperatur kan variera mycket av flera orsaker:

- Snabb urladdning och i än högre grad, snabb laddning värmer ett batteri (Se kap. 2.5.6 och 2.5.8)
- Ett batteris placering. I motorrummet på en båt kan temperaturen ofta stiga till mer än 50°C. I motorfordon kan temperaturen variera mellan -20°C och +40°C.

En hög genomsnittstemperatur resulterar i snabbare åldrande då alla försämrande kemiska processer går fortare vid högre temperatur. Batteritillverkare anger ofta livslängden vid 20°C omgivningstemperatur. Livslängden **halveras** för var tiogradig ökning

Följande tabell ger en uppfattning om livslängden vid olika temperaturer.

Batterityp	Livslängd vid grunda urladdningar eller hålladdning		
	20°C	25°C	30°C
Start	5	3,6	2,5
Spiralcell	10	7	5
Semitraktionärt	5	3,6	2,5
Kolfiber X-celler, Centurion	8	6	4
Traktionära (rörplattor)	10	7	5
Ventilregl. Gel Sonnenschein Dryfit A200	5	3,6	2,5
Ventilregl. Gel Sonnenschein Dryfit A600	16	11	8
Ventilregl. AGM GNB Champion	7	5	3,5
Ventilregl. AGM GNB Absolyte	i.u.	20	14

Slutligen så inverkar temperaturen mycket på laddningen. Gasningspänningen och därigenom den maximala absorptions- och hållspänningen är omvänt proportionella mot temperaturen. Detta innebär att vid en konstant spänning kommer batteriet att bli underladdat vid kyla och överladdat vid hög temperatur. Se kapitel 4.3 för mer information om temperatur och laddning.

### 2.5.10. Självurladdning

När batteriet inte ska användas under en längre tid är det viktigt att koppla ifrån det, så att det inte laddas ur av strömläckor i systemet.

Typ	Legering	Självurladdning per månad vid 20°C	Självurladdning per månad vid 10°C
Start	Antimon (1.6%)	6%	3%
Spiralcell	Rent bly	4%	2%
Semitraktionära	Antimon (1.6%)	6%	3%
Kolfiber X-celler, Centurion	Antimon (1.6%)	6%	3%
Traktionära (rörplattor)	Antimon (5%)	12%	6%
Ventilregl. Gel Sonnenschein Dryfit A200	Kalcium	2%	1%
Ventilregl. Gel Sonnenschein Dryfit A600	Kalcium	2%	1%
Ventilregl. AGM GNB Champion	Positiv platta:antimon Negativ platta:kalcium	3%	1,5%
Ventilregl. AGM GNB Absolyte	Positiv platta:antimon Negativ platta:kalcium	3%	1,5%

Öppna bly-antimon batterier laddas upp efter högst 4 månader, såvida omgivningstemperaturen är väldigt låg. Slutna batterier kan lämnas utan laddning i upp till 6-8 månader.

## 3. Mäta ett batteris laddningsstatus "Battery monitor"

### 3.1. Olika sätt att mäta att batteriers laddning

#### 3.1.1. Specifik vikt hos elektrolyten

Som förklarats i kap. 2.2.1, består elektrolyten av vatten och svavelsyra. När batteriet är fulladdat, består det aktiva materialet i den negativa plattan av rent, poröst bly: i den positiva plattan blyoxid. Koncentrationen av svavelsyra och i konsekvens därmed den specifika vikten är hög.

Under urladdning reagerar svavelsyran med det aktiva materialet i bägge plattorna varvid blyulfat och vatten bildas. Detta reducerar koncentrationen och sänker den specifika vikten.

Under urladdning kan djupet på urladdningen följas ganska väl med hjälp av en syra provare. Specifika vikten kommer att sjunka i enighet med nedanstående tabell:

Urladdnings djup ( % )	Specifik vikt	Batterispänning
0	Mellan 1.265 och 1.285	12,65 +
25	1,225	12,45
50	1,190	12,24
75	1,155	12,06
100	1,120	11,89

Under laddning sker processen omvänt och svavelsyra återbildas. Eftersom svavelsyra är tyngre än vatten kommer den i öppna batterier ( alltså inte i slutna gel. el. AGM batterier) att sjunka nedåt så att koncentrationen är högre i batteriets botten. Däremot kommer syrakoncentrationen ovanför plattorna inte att ändras!

Endast då gasningsspänningen nåtts ( 2.39 V per cell, eller 14.34V för 12V batterier vid 20°C) kommer elektrolyten långsamt att blandas tack vare gasbubblor.

Tiden som behövs för detta varierar med batteriets konstruktion och omfattningen av gasning. Denna beror i sin tur på laddningsspänningen, mängden antimon och batteriets ålder.

Batterier med hög antimonhalt (2.5% eller högre) avger i allmänhet tillräckligt med gas för att erhålla en homogen blandning.

Moderna lågantimon (mindre än 1.6%) batterier avger å andra sidan så lite gas att en normal laddningscykel inte räcker. Det skulle då ta flera veckor med underhållsladdning (med mycket liten gasning) innan elektrolyten var bra blandad. **Som ett resultat visar ett Centurion kolfiberbatteri exempelvis, efter att ha fulladdats, en låg avläsning med en syra provare!**

Observera: Vibrationer och rörelse i en båt eller fordon brukar generellt blanda elektrolyten tillräckligt.

#### Lite mer användbar information om elektrolyt:

##### -Temperaturkorrektin för syra provare:

Specifika vikten varierar med temperaturen. För var 14°C temperaturökning över 20°C, kommer avläsningen att minska med 0.01. Så en avläsning på 1.27 vid 34°C är ekvivalent med en på 1.28 vid 20°C.

##### -Specifika vikten varierar med geografiskt område:

Specifika vikten enligt tabellen ovan är giltig för tempererade klimat. I varmare zoner ska den reduceras enligt följande för att minska temperaturens inverkan på batteriets livslängd:

Fulladdad specifik vikt, tempererat klimat: 1.265-1.285

D;o , subtropiskt klimat: 1.250-1.265

D;o ;, tropiskt klimat : 1.235-1.250

#### 3.1.2. Batteri spänning

Batterispänning kan användas som en grov indikation av batteriets laddningsstatus (Se föregående tabell, kapitel 3.1.1).

Viktigt: Batteriet ska lämnas "ostört" i flera timmar (ingen laddning eller urladdning) innan en rättvisande spänningsmätning kan göras

### 3.1.3. Amperetimeträknare

Detta är den mest praktiska och rättvisande metoden för att mäta ett batteris laddningsgrad. "Battery monitor" är en produkt som utvecklats för detta. Följande kapitel visar i detalj hur detta kan användas.

## 3.2. "Battery monitor" är en amperetimeträknare

"Battery monitor";s huvudsakliga funktion är att följa och indikera ett batteris laddningsgrad, framförallt undvika oväntad total urladdning.

En "Battery monitor" mäter det totala in- och utflödet av ström i batteriet. Integrering av denna ström under tiden (som, om strömmen vore konstant, innebär multiplicering av ström gånger tid) ger den totala mängden amperetimmar som tas ut från batteriet.

Till exempel: En urladdningsström på 10A under 2 timmar innebär ett uttag på  $10 \times 2 = 20\text{Ah}$ .

## 3.3. Batteriets verkningsgrad

När ett batteri laddas och urladdas blir det alltid förluster. Den totala energimängden som batteriet tar upp vid laddning är cirka 25 % högre än tillgänglig energi vid urladdning, vilket innebär en laddningseffektivitet på 75%. Hög laddning- och urladdningsström reducerar denna ytterligare. Den största förlusten beror på att spänningen är högre vid laddning än vid urladdning, och detta äger rum i synnerhet under absorptionsfasen. Batterier som gasar lite och har låg inre resistans är mest effektiva.

När ett batteri används i delvis laddat tillstånd (se exempel i kap. 2.5.6) kommer dess verkningsgrad att vara rätt hög: cirka 89%.

För att kalkylera Ah laddning eller urladdning för ett batteri använder "Battery monitor" endast ström och tidmätning, så kompensation för dess totala verkningsgrad behövs ej.

## 3.4. Verkningsgrad vid laddning

När ett batteri laddas, måste fler amperetimmar laddas i, än som kan användas vid urladdning. Detta kallas laddningsverkningsgrad, eller Ah eller coulomb effektivitet ( $1\text{Ah} = 3600\text{C}$ ).

Laddningsverkningsgraden är nästan 100 %, så länge ingen gasning sker. Gasning innebär, att en del av energin inte lagras i kemisk energi i plattorna. Utan används till att sönderdela vatten till väte- och syrgas (detta gäller också för "endast syrgas" fasen i slutet av ett slutets batteris laddningsfas, se kap. 2.3.2). Amperetimmar som lagrats i plattorna kan återvinnas men de som använts för att sönderdela vatten är förlorade.

Utsträckningen av dessa förluster, och därmed verkningsgraden, beror på:

A: Batteritypen: Låg gasavgång = hög verkningsgrad

B: Hur batteriet laddas. Om batteriet mest används i delvis laddat skick, (se exemplet i kap. 2.5.6) och endast ibland laddas upp till 100%, kommer verkningsgraden vara högre än om batteriet laddas upp till 100% efter varje urladdning.

C: Laddningsström och -spänning. När laddning sker med hög ström och därmed också hög spänning samt hög temperatur, kommer gasningen att börja tidigare och bli kraftigare. Detta reducerar laddningsverkningsgraden (och den totala effektiviteten också).

I praktiken kommer laddningsverkningsgraden att variera mellan 80- 95 %. En "Battery monitor" måste ta hänsyn till detta, annars kommer dess indikering vara för optimistisk. Om laddningseffektiviteten måste anges manuellt, är det tillrådligt att ange ett lågt värde, till exempel 85%, och justera senare efter praktik och användande.

## 3.5. Effekter på kapaciteten vid snabb urladdning

Som nämnts i kapitel 2.5.3 beror ett batteris kapacitet på urladdningens storlek. Ju snabbare urladdning, ju färre amperetimmar kommer att vara tillgängliga.

Redan 1897 kom en forskare vid namn Peukert på att relationen mellan urladdningströmmen  $I$  och urladdningstiden  $T$  (från helt urladdat till fulladdat) kan beskrivas ungefär enligt följande:

$$C_p = I^n \times T$$

Där "Cp" är en konstant och "n" är Peukert exponenten. Exponenten är alltid större än 1. Ju större "n" är, desto sämre värden uppvisar batteriet under kraftig urladdning.

Peukert's exponent kan kalkyleras enligt följande med mätningar på batteriet eller med hjälp av urladdningstabeller. Om vi vet eller mäter urladdningstid  $T_1$  och  $T_2$  för två mycket olika urladdningsströmmar ( $I_1$  och  $I_2$ ) så:

$$C_p = I_1^n \times T_1 = I_2^n \times T_2$$

Och därigenom:

$$n = \log(T_2 / T_1) / \log(I_1 / I_2)$$

Som visats i tabellerna i kapitel 2.5.3, kan en ökning av uttagen ström från C/20 till C/1 (Ökning av urladdningsströmmen ur ett 200Ah batteri från 200/20 = 10A till 200/1 = 200A) reducera tillgänglig kapacitet med så mycket som 50% för ett kolfiber eller gelbatteri.

En "Battery monitor" måste därför kompensera kapaciteten beroende på strömmens storlek. Detta är relativt svårt eftersom strömmen ur förbrukningsbatteriet inte är konstant.

### 3.6. Förloras kapacitet vid snabb urladdning?

I kapitel 2.5.3 visas ett exempel där ett batteri med uppgiven kapacitet för 20h var 200Ah, varigenom  $C_{20} = 20Ah$ . Den korresponderande urladdningsströmmen är:

$$I_{20} = C_{20} / 20 = 10A$$

Vid en urladdningsström på 200A var batteriet tomt efter 30 minuter. Så trots att vi började med ett 200Ah batteri var det tomt efter endast 100Ah.

Det här innebär inte att, med en urladdningsström på 200A, skillnaden i kapacitet på 100 Ah ( $C_{20} - C_1 = 200 - 100 = 100Ah$ ) har "försvunnit", utan att den kemiska processen (diffusion, se kap. 2.2.3) fortgår för sakta, så att spänningen sjunker oacceptabelt mycket. Ett batteri som urladdats med 200A, och är "tomt" efter 30 minuter kommer därför också, att vara (nästan) fullt igen efter att ha återladdats med 100Ah. Medan samma batteri efter en urladdning med  $I_{20} = 10A$  som är tomt efter 20 timmar kommer att vara nästan fullt efter återladdning med 200 Ah.

Faktiskt så kommer ett batteri som urladdats med mycket hög ström, återhämta sig och den kvarvarande kapaciteten återfås efter att batteriet vilat i flera timmar eller en dag.

### 3.7. Användbara funktioner med en "Battery monitor" BMV 501

Enligt min uppfattning så är förutom en voltmeter och alarmfunktion även förloppskontroll (Event counting) och loggning av data en mycket användbar funktion.

#### 3.7.1. Förloppskontroll

Förloppskontroll innebär att alla speciella händelser, framförallt sådana som är riskabla för, eller alternativt nödvändiga för batteriet, lagras i "Battery monitor";s minne.

Sådana händelser kan vara:

- Överspänning
- Underspänning
- Antal laddning-urladdningscykler
- 100% urladdning
- 100% Återladdning

#### 3.7.2. Loggning av data

Dataloggning innebär att, adderat till specifika händelser, batteriets status med jämna intervall lagras för att göra det möjligt att återskapa batteriets användande vid senare tillfälle.

## 4. Batteriladdning: Teorin

### 4.1. Inledning

Att skriva om batteriladdning vore lätt, om det fanns en metod, som oberoende av skick, användande och batterityp var tillfyllest för alla blybatterier. Men detta är inte fallet.

Extra faktorer som gör det komplicerat är att det ofta finns mer än en laddningskälla ansluten och att nettoladdningsströmmen ej är känd eftersom förbrukare är anslutna.

Spänningsbegränsad laddning är den bästa metoden för att undvika inverkan av förbrukare i högsta möjliga utsträckning. Och att arbeta med 2 spänningsgränser, absorptions- och hållspännings gränser som nämns senare i detta kapitel, är en bra och generellt accepterad metod att ladda batterier som blivit urladdade så fort som möjligt.

### 4.2. Trestegsladdning ( I U\*U )

#### 4.2.1) Forcerad laddning

När batteriladdning påbörjas, stiger spänningen omedelbart till cirka 2.1 V per cell ( 12.6 V för ett 12 V batteri och 25.2 V för ett 24V batteri) och ökar därefter långsamt tills den första spänningsgränsen nåtts.

Detta är den strömbegränsade, eller forcerade, fasen av laddningsförloppet, då batteriet tar emot all tillgänglig ström.

För stora batteribankar är det tillrådligt att begränsa strömmen till C/5 eller, ännu hellre, C/10, vilket innebär att 10-20% av den totala kapaciteten laddas per timme.. Till exempel 100-200A för en batteribank på 1000Ah. En billigare batteribank laddas ofta, fastän detta reducerar livslängden, med högre ström, till exempel C/3.

Ett djupt urladdat batteri kommer att acceptera strömmar av denna storlek tills det nått cirka 80% laddning. Det når då den första spänningsgränsen. Från och med det, så istället för att tillgodogöra sig all ström som "erbjuds" kommer batteriet att ta upp mindre och mindre ström ju mer laddningen fortgår. Därför kallas den första spänningsgränsen absorptions spänningen och den följande fasen av laddningscykeln för absorptionsfasen.

En hög forcerad laddning kommer att värma upp batteriet, öka gasningen och öka absorptionstiden som åtgår för att fulladda batteriet. Med andra ord: En hög laddström kommer endast att minska laddningstiden i viss utsträckning.

**I vilket fall som helst måste strömmen begränsas till högst C/5 eller mindre när gasningsspänningen nåtts (vid 20°C är gasningsspänningen cirka 2.4 V per cell, eller 14.4 respektive 28.8 V) . Annars kommer den aktiva massan att tryckas ut från plattorna på grund av kraftig gasbildning.**

#### 4.2.2. Absorptionsladdning

När den förinställda spänningsgränsen nåtts, kommer laddningen att begränsas till den ström batteriet tar upp vid denna spänning.

Under absorptionsfasen kommer strömmen kontinuerligt att minska tills det har blivit fulladdat.

Som förklarats i kapitel 2.2.3, innebär laddning (och urladdning) att en diffusionsprocess äger rum.

Diffusionsprocessen förklarar faktiskt en hel del om laddning och urladdning av batterier:

- När ett batteri urladdats snabbt men ej så djupt, har inte diffusionen nått djupt i det aktiva materialet och den kemiska reaktionen begränsas till ytan på plattorna. För att återladda, så kommer en kort eller ingen absorptionstid att vara nödvändig (ett batteri i en bil laddas med en fast 14V spänning).För att återhämta sig efter en lång och djup urladdning, kommer en lång absorptionsperiod att behövas för att återställa det aktiva materialet inuti plattorna.
- Startbatterier med tunna plattor behöver mindre absorptionsladdning än "heavy-duty" batterier med tjocka eller tubformade plattor.
- De miljontals ihåliga kolfibren i ett "Centurion, X-celler" kolfiberbatteri underlättar för elektrolyten att tränga in i plattorna. Kolfiberbatteriet behöver kortare absorptionstid eller lägre spänning än ett konventionellt "djup cykel" batteri.

- Absorption är en avvägning mellan spänning (Höjd spänning resulterar i starkare elfält som ökar diffusionshastigheten) och tid. Användandet av hög spänning kommer dock att hetta upp batteriet, öka gasbildningen till en nivå där det aktiva materialet frigörs från plattorna och, med slutna batterier, orsaka gasavgång (ventilering) vilket torkar ut och förstör batteriet.

Så vad innebär allt detta om absorptionsspänning och absorptionstid?

Vi kan skilja mellan 3 grupper av batterier:

1) Öppna bly-antimonbatterier

För dessa är området för avvägning mellan spänning och tid relativt stort, det sträcker sig mellan 2.33V per cell (14V) och en lång absorptionstid till 2.6V per cell (15.6V) och mycket kortare absorptionstid. För att undvika överdriven gasbildning ska, vid spänningar över 2.4C/cell, strömmen begränsas till som mest 20% (ännu hellre 10%) av batteriets kapacitet (till exempel 40A för ett 400Ah batteri). Detta kan ernås antingen genom strömbegränsning eller genom att begränsa graden av spänningsökning till omkring 0.1V per cell och timme (0.6V per timme vid 12V och 1.2V vid 24V batteri)

Det är viktigt att inse att batterier inte måste laddas fullständigt efter varje urladdning. Det är fullt acceptabelt att återladda till 80-90% (Delvis utförd laddningsförlopp, helst inkluderande viss gasning för att minska skiktningen) i genomsnitt och att fulladda en gång per månad. "Centurion X-celler;s kolfiberbatteri är mycket lämpligt för detta bruk eftersom det är mindre känsligt för sulfatering.

2) Spiralcells batteriet skiljer sig från övriga då det trots att det är slutet klarar stor variation på absorptionsspänningen.

3) Slutna (ventilreglerade) batterier har ett begränsat område för absorptionsspänning som **aldrig får överskridas**. Högre spänningar leder till gasavgång (ventilering), som kommer att torka ut och förstöra batteriet.

### 4.2.3. Hålladdning

Efter att batteriet fulladdats hålls det vid en lägre konstant spänning för att kompensera för själurladdning, eller, med andra ord, bibehålla det fulladdat.

Som tidigare nämnts, om den upprätthålls över längre tid (flera månader) bör hållspänningen inte variera mer än högst 1% från tillverkarens rekommendation och med hänsyn tagen till temperaturkompensering.

Förhöjd spänning leder till accelererat åldrande genom korrosion av den positiva plattan. Omfattningen på denna korrosion kommer, grovt räknat, att dubblas för var höjning av spänningen med 50 mV/cell (0.3 resp. 0.6V för 12 resp. 24V batterier).

För låg spänning kommer inte att hålla batteriet fulladdat och kan eventuellt leda till sulfatering.

Avseende hållspänning måste vi skilja på öppna och slutna batterier:

- 1) Rekommendationerna för hålladdning av öppna batterier varierar mellan 2.15-2.33V/cell (12.9-14V för ett 12V batteri) De öppna batterier som hittills diskuterats **har inte konstruerats för hålladdning under längre tid** (dvs. flera månader eller år). När de underhålls med spänning i övre änden av spannet 2.15-2.33V, kommer livslängden att förkortas på grund av korrosion av den positiva plattan och batterier med hög antimonhalt kommer att behöva fyllas med destillerat vatten ofta. När underhållsladdning sker med 2.15V per cell, kommer åldrande och gasning att vara under kontroll, men en regelbunden "upprätthållnings"laddning med en högre (absorptions-) spänning behövs för att upprätthålla full laddning. Med andra ord: Den övre änden av spänningsområdet 2.15-2.33V per cell fungerar bra under några dagar eller veckor, men inte för en vinterperiod på 6 månader.

Följande tabell visar hur mycket vatten som förloras genom gasning i ett relativt nytt "Centurion X-celler" kolfiberbatteri (Gasning ökar med batteriets ålder):



Batteri (fulladdat)	V/ cell	Batteri V	Gasbildning per 100 Ah batterikapacitet	Vattenförbrukning per 100 Ah batterikapacitet	Påfyllningsintervall	Förlorat vatten per laddningscykel	Ah "förlorat" per 100 Ah batterikapacitet
Ej anslutet	2,13	12,8	20 cm <sup>3</sup> /tim	0,1 L / år	5 år		44 / år
Hålladdn.	2,17	13	25 cm <sup>3</sup> /tim	0,1 L / år	5 år		54 / år
Hålladdn.	2,2	13,2	60 cm <sup>3</sup> /tim	0,3 L / år	1,5 år		130 / år
Hålladdn.	2,25	13,5	90 cm <sup>3</sup> /tim	0,4 L / år	1 år		200 / år
Hålladdn.	2,3	13,8	150 cm <sup>3</sup> /tim	0,6 L / år	10 mån.		300 / år
Absorption	2,33	14	180 cm <sup>3</sup> /tim	0,8 L / år	7 mån.	2 cm <sup>3</sup>	2 / cykel
Absorption	2,4	14,4	500 cm <sup>3</sup> /tim	2,2 L / år	3 mån	3 cm <sup>3</sup>	3 / cykel
Absorption	2,45	14,7	1 L / tim	4,2 L / år		4 cm <sup>3</sup>	4 / cykel
Absorption	2,5	15	1,5 L / tim	6,5 L / år			

Gasbildning och vattenförbrukning är beräknat för ett 6 cell (=12V) batteri.

Påfyllningsintervall är baserat på att 0.5 l vatten förloras per 100Ah. Vattenöverskottet i batteriet är cirka 1 liter per 100Ah.

Formlerna:

- 1 g vatten kan sönderdelas till 1.85 l syr- och vätgas
- 1 Ah "förlorat" till sönderdelning ger 3.7 l gas i ett 6 cells (12V) batteri.

Tabellen visar att en hållspänning på 13.5 V (13.5V rekommenderas ofta för de öppna batterier som nämns här, eftersom en lägre spänning inte fullständigt kompenserar självurladdning) eller högre kommer att resultera i att påfyllning måste göras mer än en gång per år. Observera att batterier med hög antimonhalt kan förbruka 2 till 5 gånger mer vatten!

Enligt min åsikt, så istället för att försöka hitta en delikat balans mellan otillräcklig spänning för att undvika självurladdning samt för kraftig gasning vid högre spänning, vore det bättre att lämna batteriet oanslutet och ladda det, beroende på temperaturen, åtminstone var 4 månad eller att begränsa hålladdningen till en mycket låg nivå, till exempel 2.17V per cell (13 resp.26V) och också återladda regelbundet med högre spänning. Denna regelbundna uppladdning bör ingå som fitness i batteriladdaren.

2) Alla ventilreglerade (slutna) batterier som nämnts kan hålladdas under långa perioder, även om vissa undersökningar har visat att en liknande behandling som föreslås för öppna batterier kommer att förlänga livslängden (se till exempel "Batterie Technik" av Heinz Wenzl, Expert Verlag, 1999).

### 4.3. Utjämning

Om de ej laddas tillräckligt, kommer batterier att skadas av följande anledningar:

- Sulfatering
- Skiktning (endast öppna batterier)
- Cell obalans (se kap. 2.5.6)

Slutna batterier, bilbatterier, semitraktionära batterier och "Centurion X-celler" kolfiberbatteriet kommer generellt att nå full laddning, inklusive utjämning, under absorptions laddningen eller när de hålladdats under tillräckligt lång tid.

Om de använts i delvis laddat skick under en viss tid, återhämtar de sig genom:

- upprepad ur- och uppladdning med tillräcklig absorptions spänning och tid.
- En absorptions- eller hålladdning under längre tid.
- En riktig utjämningsladdning, se nedan.

Kraftiga traktionära batterier behöver eventuellt en utjämningsladdning då och då.

En utjämningsladdning görs genom att först ladda batteriet som vanligt, och därefter fortsätta med en låg ström (3-5% av batteriets Ac kapacitet, dvs. 3-5A för ett 100 Ah batteri) samt låta spänningen stiga till 15-16V (30-32V för ett 24V batteri) tills den specifika vikten slutar öka. Detta tar cirka 3 till 6 timmar och alla celler ska därefter visa samma värde. Förvissa dig om att koppla ifrån alla förbrukare som är känsliga för överspänning under detta.

Hur ofta bör ett batteri utjämnas?

Det beror på typ och användande. För batterier med hög antimonhalt är det bäst att mäta specifika vikten efter en normal laddning :

- om alla celler är lika och håller 1.28, behövs ingen utjämning
- om alla celler ligger mellan 1.24 och 1.28, vore det bra att utjämningsladda när det passar, men det brådskar inte.
- Om specifika vikten är under 1.24 i vissa celler, är det rekommendabelt att utjämningsladda
- Om alla celler är under 1.24 är batteriet underladdat och absorptionstiden eller spänningen bör ökas.

På slutna respektive öppna lågantimon batterier kan specifika vikten antingen inte mätas eller så är den inte tillförlitlig. Den enklaste metoden att kontrollera om de verkligen är fulladdade är att mäta strömmen under absorptionsfasen. Laddningsströmmen ska minska stadigt för att sedan stabiliseras: ett tecken på att den kemiska omvandlingen av den aktiva massan slutförts och den återstående aktiviteten är gasning (sönderdelning av vatten till syre och väte).

#### 4.4. Temperaturkompensation

Som redan nämnts i kapitel 2.5.9, så spelar temperaturen en stor roll vid batteriladdning. Gasningsspänningen och därigenom de maximala spänningsgränserna för absorptions- och hållladdning är omvänt proportionella mot temperaturen.

Detta innebär att med en konstant spänning, kommer ett kallt batteri att få otillräcklig laddning och ett varmt att överladdas.

Båda fallen är mycket skadliga. Avvikelse på mer än 1% av den korrekta (temperaturberoende) hållspänningen kan resultera i en avsevärd förkortning av livslängden (enl. vissa studier upp till 30% när batteriet hålladdas över en längre tid), i synnerhet när spänningen är för låg och batteriet inte blir, eller förblir, 100% laddat så plattorna börjar sulfatera.

Å andra sidan kan överspänning leda till överhettning, och ett överhettat batteri kan drabbas av "termisk rundgång". Eftersom gasningsspänningen sjunker vid ökande temperatur, kommer absorptions- och hållströmmen att öka, vilket gör batteriet ännu varmare, och så vidare. Termisk rundgång förstör snabbt batteriet (gasningen frigör det aktiva materialet från plattorna) och det kan uppstå explosionsrisk vid intern kortslutning eftersom stora mängder väte- och syrgas frigjorts.

Laddningsspänningen som anges av europeiska batteritillverkare, avser en batteritemperatur på 20°C och kan hållas konstant så länge temperaturen är relativt konstant (15-25°C).

Trots att tillverkarnas rekommendationer varierar i viss utsträckning, är en temperaturkompensering på -4 mV/°C generellt accepterad som medelvärde. Detta innebär -24mV/°C för ett 12 V batteri och 48mV/°C för ett 24 V batteri.

Där en tillverkare (GNB i detta exempel) anger en absorptionsspänning på 28.2 V vid 20°C, måste spänningen reduceras till 27.7 V vid 30°C. Denna skillnad på 0.5 V kan definitivt inte negligeras.

När, i anslutning till en omgivningstemperatur på 30°C, den interna batteritemperaturen stiger ytterligare 10°C, vilket är fullt normalt under laddning, måste absorptionsspänningen sänkas till 27,2 V. Utan temperaturkompensering hade laddningsspänningen varit 28.2 V vilket snabbt skulle förstöra ett GNB batteri värt runt 90 000 kronor!

Vad ovanstående innebär, är att **temperaturkompensering är viktigt**, Och måste ingå i systemet, framförallt på stora och dyra förbrukningsbatterier samt där höga laddströmmar används.

**Alla laddningsspänningar som nämns i detta och andra kapitel bör temperaturkompenseras.**

## 4.5. Översikt

Följande tabell ger en översikt hur batterier kan återladdas efter en 50 % urladdning. I praktiken varierar rekommendationerna mellan tillverkare och beror också på hur batteriet används.

**Fråga alltid din leverantör om instruktioner!**

Typ	Legering	Ungefärlig absorptionstid vid 20°C efter 50% urladdning	Hållspänning vid 20°C
Fordon	Antimon (1.6%)	4 tim vid 2.50 V/ cell (15.0 V) 6 tim vid 2.45 V/ cell (14.7 V) 8 tim vid 2.40 V/ cell (14.4 V) 10 tim vid 2.33 V/ cell (14 V)	2.33 V/ cell (14 V) efter några dagar minska till: 2.17 V/ cell (13 V)
Spiralcell	Rent bly	4 tim vid 2.50 V/ cell (15.0 V) 8 tim vid 2.45 V/ cell (14.7 V) 16 tim vid 2.40 V/ cell (14.4 V) 1 Vecka vid 2.30 V/ cell (13.8 V)	2.3 V/ cell (13.8 V)
Semitraktionär	Antimon (1.6%)	5 tim vid 2.50 V/ cell (15.0 V) 7 tim vid 2.45 V/ cell (14.7 V) 10 tim vid 2.40 V/ cell (14.4 V) 12 tim vid 2.33 V/ cell (14.0 V)	2.33 V/ cell (14.0 V) efter några dagar minska till: 2.17 V/ cell (13.0 V)
Kolfiber X-celler, Centurion	Antimon (1.6%)	4 tim vid 2.50 V/ cell (15.0 V) 6 tim vid 2.45 V/ cell (14.7 V) 8 tim vid 2.40 V/ cell (14.4 V) 10 tim vid 2.33 V/ cell (14.0 V)	2.33 V/ cell (14.0 V) efter några dagar minska till: 2.17 V/ cell (13.0 V)
Traktionära (rörplattor)	Antimon (5%)	6 tim vid 2.50 V/ cell (15.0 V) 8 tim vid 2.45 V/ cell (14.7 V) 10 tim vid 2.40 V/ cell (14.4 V)	2.30 V/ cell (13.8 V) efter några dagar minska till: 2.17 V/ cell (13 V)
Ventilregl.gel Sonnenschein Dryfit A200	Kalcium	4 tim vid 2.40 V/ cell (14.4 V) Spänningen får inte överskridas!	2.30 V/ cell (13.8 V)
Ventilregl.gel Sonnenschein Dryfit A600	Kalcium	4 tim vid 2.34 V/ cell (14.04 V) Spänningen får inte överskridas!	2.25 V/ cell (13.5 V)
Ventilregl. AGM GNB Champion	Positiv platta: Antimon Negativ: Kalcium	4 tim vid 2.35 V/ cell (14.1 V) Spänningen får inte överskridas!	2.25 V/ cell (13.5 V)
Ventilregl AGM GNB Absolyte	Positiv platta: Antimon Negativ: Kalcium	4 tim vid 2.35 V/ cell (14.1 V) Spänningen får inte överskridas!	2.25 V/ cell (13.5 V)

### Notera:

- 1) I praktiken, när landanslutning inte är tillgänglig, kommer batterierna på en båt att laddas så fort som möjligt med förkortad absorptionstid eller ingen alls (drift i delvis laddat skick). Detta är acceptabelt, så länge som en fullständig laddning görs regelbundet.
- 2) När laddning sker med en spänning som överskrider gasningsspänningen, ska antingen strömmen begränsas till högst 5% av Ah kapaciteten hos batteriet eller laddningsprocessen noggrant övervakas och spänningen sänkas om strömmen förefaller öka över 5% av Ah kapaciteten.
- 3) När batterier hållladdas med 2.17 V per cell krävs en regelbunden uppladdning.
- 4) Om livslängd och överladdning:

Start- och bogpropellerbatterier laddas ofta parallellt med förbrukningsbatteriet (se kap. 5.2). Konsekvensen av detta är att dessa batterier ofta laddas med höga spänningar (15 V eller mer) trots att de redan är fulladdade. Om detta är fallet bör slutna batterier inte användas till dessa tillämpningar eftersom de kommer att ventileras och torka ut. Undantaget är spiralcells-batteriet.

Öppna och spiralcells-batterier kommer att överleva men åldras fortare. Den huvudsakliga faktorn som förkortar livslängden kommer att vara korrosion av den positiva plattan och korrosionshastigheten fördubblas för var ökning med 50 mV per cell. Det betyder att ett Optima batteri till exempel, som skulle ha en livslängd på 10 år vid dess rekommenderade hållspänning på 13.8 V, skulle åldras fyra gånger fortare vid 15 V ( $(15-13.8)/6/0.05 = 4$ ) minskande dess livslängd till 2.5 år vid konstant laddning med 15 V. Liknande resultat fås för öppna batterier. Trots att denna kalkyl är teoretisk och inte testad i praktiken, visar den ändå att konstant överladdning (vilket i praktiken endast sker under absorptionsfasen för förbrukningsbatteriet) av ett start- eller bogpropellerbatteri minskar dess livslängd oacceptabelt mycket.

## 4.6. Slutsatser: hur ska ett batteri laddas?

Som tidigare nämnts, finns det inget enkelt recept som kan appliceras för all batterier och driftfall.

Det finns inte heller någon större variation avseende driftförhållanden och batterityper än vad som kan finnas på en båt.

För att få en bättre uppfattning om hur batterier används och vad detta innebär för dess laddning, låt oss igen ta exemplet från kapitel 2.4. Vi förutsätter att en båt har 3 batterier ombord, ett förbrukningsbatteri, ett startbatteri och ett bogpropellerbatteri

Hur används dessa olika batterier och hur bör de laddas?

### 4.6.1. Förbrukningsbatteriet

I kapitel 2.4 och 2.5.6 beskrevs 3 olika driftfall:

1) Cyklisk användning i delvis laddat tillstånd, vid segling eller för ankar. Viktigt i detta fall är att ladda så fort som möjligt. Temperaturkompensation är nödvändigt för att undvika förtida haveri på grund av överhettning och kraftig gasning.

2) En blandning mellan hållbruk och korta, "grunda" uttag under gång för maskin eller förtöjd. Risken i detta fall är att en 3-stegsregulator (undergång) eller laddare (vid landanslutning) ofta "triggas" av dessa svaga urladdningar till att gå över i forcerad- och absorptionsladdning. Resultatet kan bli att batteriet kontinuerligt hamnar i absorptionsfasen och därigenom överladdas. Därför vore den ideala längden hos absorptionsfasen i proportion till djupet hos föregående urladdning. Idealt ska öppna batterier som hålladdas utan att urladdning sker, kopplas över till den lägre spänningen 2.17 V/cell och regelbundet "toppas" med absorptionsladdning på 2.4 V/cell eller mer.

På min trimaran är generatorns utspänning justerad till 28.8 V (2.4 V / cell).

Jag har emellertid höjt utspänningen på min WhisperGen (se kap. 7) till 29.6 V, vilket tillåter mig att snabbt ladda mina kolfiberbatterier till 90-95 % av dess kapacitet. Tack vare deras låga antimonhalt förblir gasningen begränsad även vid dessa höga spänningar. För var 20-30:de urladdningsförlopp så kör jag WhisperGen under en längre period, för att återladda till 100%.

3) För längre perioder lämnas batteriet fränkopplat eller hålladdat, under vintern till exempel.

Som visats i kapitel 4.2.3, kommer de flesta öppna batterier att snabbt förstöras om de hålladdas med 2.3 V/cell under än längre tid. Idealt ska de kopplas över till mellan 2.15-2.2 V per cell eller lämnas oanslutna och återladdas regelbundet. När medeltemperaturen är 20°C eller lägre minst var 4 månad. Vid högre temperaturer måste laddning ske oftare. Efter min personliga erfarenhet, och från ett flertal diskussioner med båt- och varvs ägare, föredrar jag också att låta **slutna Exide/Sonnenschein Dryfit A200 batterier och liknande** fränkopplade eller med lägre hålladdning än rekommenderade 13.8 V, därför att, även om de i teorin kan hålladdas under lång tid, de alltför ofta förstörts av överladdning.

### 4.6.2. Startbatteriet

Startbatteriet utsätts för 2 bruksfall:

- grund urladdning på grund av motorstart en eller två gånger dagligen
- ingen förbrukning alls. Det bästa vore att inte ladda heller, förutom en absorptionsladdning då och då.

I praktiken kommer startbatteriet ofta att laddas parallellt med förbrukningsbatteriet, vilket fungerar rätt bra så länge som rätt batterityp används och en viss minskning av livslängden accepteras (se not. Kap. 4.4).

### 4.6.3. Bogpropellerbatteriet

Vid användning kan urladdningen bli djup och snabb laddning behövas. Generellt är den mest praktiska lösningen att ladda det parallellt med förbrukningsbatteriet. Ofta används spiralcells batterier på grund av deras mycket goda förmåga att ge höga strömmar. Samma batterityp klarar en stor vidd av laddningsspänningar och är mycket tolerant mot överladdning.

## 5. Laddning av batterier med generator eller laddare

### 5.1. Generatoren

Huvudmaskinen på en båt är ofta försedd med en standard fordonsgenerator. Dessa har ofta inbyggda regulatorer med temperaturkompensering. Temperaturen mäts i regulatorn. Det här är ett godtagbart arrangemang för en bil, där batteriet kommer att hålla ungefär samma temperatur som regulatorn.

Dessutom, så kommer batteriet i en bil nästan alltid vara fulladdat. Batteriet kommer endast att urladdas lite under starten. Efter detta kommer generatoren att lämna tillräcklig ström, även vid tomgång, för att försörja alla förbrukare och återladda batteriet. Eftersom batteriet i princip aldrig urladdas djupt, och det ofta finns gott om tid för laddning, så är absorptionsfasen som nämnts i kapitel 4 överflödig. Generatoren laddar med en ström som beror på motorvarvtalet tills den förinställda hållspänningen nås. Därefter övergår generatoren till en konstant spänning. Generellt är spänningen förinställd till 2.33 V/cell vid 20°C, dvs. 14V för 12V system och 28V för 24V system.

Laddningsmetoden fungerar perfekt om följande faktorer gäller:

- Batteriet är ett startbatteri med raka plattor
- Batteriet är nästan alltid fulladdat
- Temperaturskillnaden mellan batteri och generatorregulatorn är mindre än 5°C
- Spänningsfallet mellan generator och batteri är försumbart( dvs. mindre än 0.1 V inklusive brytare, diodisolatorer mm)

Problem uppstår så fort ovanstående faktorer inte uppfylls.

Följande kapitel diskuterar i korthet batteriladdning med generator.

För en grundlig genomgång av generatorer, regulatorer, diodisolatorer och liknande utrustning, rekommenderar jag läsning av Nigel Calder:s referensarbete "Boatowners mechanical and electrical manual" liksom en titt på hemsidorna för Ample Power([amplepower.com](http://amplepower.com)), Balmar([balmar.net](http://balmar.net)) och Heart Interface([xantrex.com](http://xantrex.com)).

### 5.2. När generatoren ska ladda flera batterier

#### 5.2.1. Inledning

Minimigränsen för en båt är 2 batterier: ett för motorstart och ett förbruknings (el. belysnings-) batteri. För att försäkra sig om att motorn alltid kan startas måste alla tillbehör (navigationsutrustning, belysning, autopiloter, kylar mm.) kopplas till förbrukningsbatteriet. Startbatteriet ska inte ha någon annan last än startmotorn på huvudmaskinen och får absolut aldrig tillåtas bli urladdat, annars kan motorn inte startas.

Ofta finns ett 3 batteri ombord, bogpropellerbatteriet, och det kan till och med finnas ett fjärde, navigationselektronikbatteriet.

Batterierna är separerade från varandra genom dioder, reläer eller andra konstruktioner som kommer att överses i nästa kapitel. I större system har ofta startbatteriet en egen generator. Batterispänningar kan också vara olika, till exempel 12 V (start och elektronik) och 24 V (förbrukning och bogpropeller).

#### 5.2.2. Problemet

När man använder en standard bilgenerator regulator vid laddning av flera batterier, kommer följande problem att uppstå:

- På en båt är kablarna ofta mycket längre än på en bil så spänningsfallet mellan generator och batteri( t. ex., spänningsfallet i en 5m lång kabel med arean 10kvm är 0.5V vid 50 A).

- Diodisolatorer orsakar ytterligare spänningsfall: 0.4-0.8V för kiseldioder, 0.1-0.4 V för FET transistorer som används som dioder.
- Generatoren i motorrummet registrerar en temperatur på 40°C eller till och med mer, när förbrukningsbatteriet som ligger lägre i båten är mycket kallare, t, ex 20°C. Detta orsakar ytterligare underspänning på cirka 0.6 respektive 1.2V för 12 respektive 24 V system.
- Förbrukningsbatteriet kommer normalt att laddas ur ganska djupt och borde egentligen laddas med en hög(absorptions-) spänning. Detta är i synnerhet fallet då generatoren på huvudmaskinen är den enda laddningskällan och körs lite varje dag för att ladda batterierna.
- I motsats därtill så är i allmänhet start- och ofta också bogpropellerbatterierna fulladdade och inte i behov av någon absorptionsladdning.
- Ofta används olika batterityper för förbrukning, start och bogpropeller. Dessa olika batterier har alla olika laddningskrav.

### 5.2.3. Ett flertal lösningar

Det vore att överdriva att hävda att det finns lika många lösningar som det finns båtar, men det finns definitivt många sätt att mer eller mindre undvika ovan nämnda problem. Åtskilliga, men säkert inte alla, kommer att diskuteras i det följande:

#### 5.2.3.1. Göra det lätt och billigt?

I ett litet system(förbrukningsbatteri på upp till 400 Ah, startbatteri upp till 80 Ah) , använd inte en skiljediod utan istället det välkända Bosch 80 A reläet eller liknande som parallellkopplar batterierna när motorn är igång. Fördelen är enkelheten och priset: generatoren behöver inte modifieras eller bytas ut. Nackdelen är något längre uppladdningstid för förbrukningsbatteriet eftersom den forcerade laddningen kommer att stanna vid cirka 30 % urladdningsdjup (eller värre ifall spänningsfallet i ledningarna är högt eller generatorspänningen låg på grund av hög temperatur) och därefter övergå till hålladdning. Detta innebär att batteriet kommer att arbeta mellan 30 och 70 % urladdning. Lösningen är att överdimensionera förbrukningsbatteriet med 20-50 % och fulladda det när landström är tillgänglig.

#### 5.2.3.2. Öka generatorspänningen

De flesta generatorer med inbyggd regulator kan modifieras så att de lämnar högre spänning. Att koppla in en diod i serie med spänningsavkännings ingången på regulatorm höjer utspänningen med cirka 0.6 V. Detta är ett arbete för en specialist, som vi inte kommer att beskriva här; men det är en låg kostnadsåtgärd som tillsammans med vad som föreslagits i kap. 5.2.3.1 , kommer att ladda batterierna rätt så fort. Påtaglig överladdning riskeras endast då man går för maskin mycket var dag, och även då kan problemet lösas med att tillfälligt stänga av generatoren ( Men koppla **aldrig** ifrån huvudanslutningen med motorn igång, eftersom spännings”spiken” som uppstår då kan förstöra dioderna i generatoren).

#### 5.2.3.3. Flerstegsregulatorer med spänning- och temperaturkompensering

När man väljer en flerstegsregulator( forcerad-absorption-hålladdning, se kap. 4) föreslår jag att man söker bästa möjliga och väljer en modell med:

- Spänningsavkänning. Detta kräver en speciell avkänningskabel för att mäta spänningen direkt på förbrukningsbatteriets anslutningar eller anslutningsplinten. Spänningsfall i ledningar och diodisolatorer kommer automatiskt att kompenseras.
- Temperaturkompensation. Detta innebär att en temperatursensor måste monteras på förbrukningsbatteriet.

Denna lösning väljs ofta, då en generator med extra hög effekt installeras.

#### 5.2.3.4. Startbatteriet

Lösningarna som föreslås i kapitel 5.2.3.2 eller 5.2.3.3 kommer att förbättra laddningen av förbrukningsbatteriet, men hur går det för startbatteriet?

Låt oss förutsätta att motorn är igång och batterierna laddas parallellt via relä, diod eller FET isolator: Nästan all laddström kommer att gå till förbrukningsbatteriet eftersom detta batteri har störst kapacitet, lägst resistans och är helt eller delvis urladdat. Detta innebär att spänningsfallet över kablar och isolator kommer att vara högre mellan förbrukningsbatteriet och generatoren än mellan startbatteriet och generatoren.

Det kan mycket väl inträffa att, för att åstadkomma en absorptionsspänning på låt säga 14.4 V till förbrukningsbatteriet, så kommer generatorns utspänning att öka till 15.4 V (dvs. ett spänningsfall på 1V mellan generator och förbrukningsbatteri).

Med 15.4 V utspänning från generatorm, kan spänningen till startbatteriet mycket väl vara 15 V (!) eftersom endast en liten procent av strömmen går dit: Resultatet är att startbatteriet, fastän det redan är fulladdat, kommer att "tvingas" till 15 V när det borde bli hålladdat med låt oss säga 13.8 V.

Vad kan man då göra?

- a) Förbättra situationen genom att reducera spänningen så långt det är möjligt och låta det bero. Startbatteriet kommer kanske att behöva bytas tidigt, beroende på hur ofta ovanstående situation inträffar och vilken typ av startbatteri som används. Gel batterier är inte att rekommendera här, eftersom de är rätt känsliga för överladdning ( de ventilerar och "torkar" ut). Ett öppet batteri (billigt) kommer att överleva, om påfyllning av vatten sker när det behövs, och ett Optima AGM spiralcells batteri är också ett bra val då det är tolerant mot variationer i laddspänning och okänsligt för överladdning. Se kapitel 4.4 för en uppskattning av livslängd vid överladdning.
- b) Koppla en eller två dioder i serie med kablarna till startbatteriet för spänningssänkning. Nu kommer risken istället vara underladdning, om förbrukningsbatteriet endast laddas tillräckligt för att nå absorptionsspänningen tillfälligtvis ( tänk på en segelbåt på en långresa).
- c) Montera en serieregulator på kablarna till startbatteriet, som "Eliminator" från Ample Power:
- d) Ladda startbatteriet med en egen generator:

### 5.2.3.5. Bogpropellerbatteriet

Optima är det perfekta batteriet för denna tillämpning. Det kan leverera ytterst höga strömmar och klarar höga laddströmmar liksom stor variation på laddningsspänning. Så alternativ a) i kap. 5.2.3.4 tillråds.

## 5.3. Batteriladdare. Från växel- till likström

### 5.3.1. Inledning

I kapitel 3 och 4 har vi omtalat hur batterier ska laddas och hur de fallerar om de inte laddas korrekt. I kapitel 5.2 framgick det, att laddning med generator på motorn är en fråga om kompromisser.

Med batteriladdare är frågan något mindre komplicerad, eftersom flertalet laddare med hög utström har spänning- och temperaturavkännings möjlighet. En del har också 2 eller 3 utgångar och nästan alla har 3 stegs laddning.

Den finns en stor mängd laddare att välja mellan och det är mycket lättare att välja specifika laddare för olika batterier än att lägga till ytterligare generatorer på motorn.

### 5.3.2. Optimerad laddning

Jag hoppas det framgått klart i föregående kapitel att batteriladdning kräver noggrann omtanke, speciellt då användandet varierar med tiden.

Victron Energy har, i sina nyaste laddare phoenix 12/50 och 24/25; utnyttjat all kunskap som fåtts av praktisk erfarenhet, diskussioner med batteritillverkare och många laboratorieprov med en stor mängd batterier.

Laddarna har 3 utgångar:

- Två utgångar som tillsammans kan lämna märkströmmen 50 eller 25 A.
- En strömbegränsad utgång (4 A) med 0.4 V lägre utspänning för laddning av startbatterier.

Temperatur och spänningsavkänning är självklart standard.

Det innovativa med dessa laddare är deras mikroprocessorkontrollerade "adaptive" batteri styrsystem:

- Användaren kan välja mellan 5 olika laddningsmetoder beroende på vilken batterityp som ska laddas. Alla metoder kan finjusteras manuellt för att passa en specifik batterityp/fabrikat.
- Vid laddning av ett batteri, så kommer Phoenix laddaren att automatiskt kompensera absorptionstiden i enighet med föregående urladdnings djup.
- Om absorptions spännings inställningen överskrider 14.4 (28.8) V, kommer "battery safe" läget att aktiveras, spänningsökningen efter att 14.4 V har nåts kommer att begränsas för att begränsa gasbildningen. "Battery safe" funktionen medger mycket hög laddning utan risk för skador av gasbildning.
- Laddinställningarna för öppna batterier inkluderar två olika hållspänningar. Om endast en mindre urladdning sker, hållladdas med 2.3 V/ cell (13.8 resp. 27.6 V) med regelbundna absorptions laddningar. Om ingen förbrukning äger rum kommer efter en tid, beroende på graden av den tidigare urladdningen, laddaren att gå över till "Storage" (förvarings) läget, hållspänningen minskas till 2.17 V/ cell (13 resp. 26 V) med regelbundna korta absorptionsladdningar. "Storage" läget kommer att underhålla öppna batterier under vinteruppehållet utan att någon omvårdnad ( annat än påfyllning med vatten innan uppehållet).

### 5.3.3 Laddar flera batterigrupper

Problemet har beskrivits i kapitel 5.2. Det finns 2 möjligheter, det näst bästa möjligheten är en batteriladdare med flera uttag.

#### 5.3.3.1 Batteriladdare med flera uttag

Det enklaste och vanligaste konstruktionen är en batteriladdare med 2 eller 3 uttag, som kan ge den maximala strömmen ur varje uttag. Isolerade från varandra med dioder. Laddspänningen är reglerad på den primära sidan från dioden och spänningen är något högre för att kompensera dess spänningsfall över dioder och kablar som finns mellan laddare och batteriet.

Spänningsfall vid full laddström kan bli så mycket som 1,5 V. När batteriet är nästan fulladdat och strömmen är liten är spänningsfallet ungefär mellan 0,3-0,5 V. Detta har till följd att laddspänningen vid full laddning är för låg. 14,4 V blir ungefär 13V. Detta är OK så länge det är bara småförbrukare anslutna till batteriet. När laddningsfasen är nästan färdig och spänningsfallet är litet kan absorptions spänningen bli rätt igen (14,4 V).

##### Temperaturkompensation

Temperaturkompensationen är inte särskilt noggrann därför att vi har skilda batterigrupper. De har olika temperaturer och temperaturkompensationen är mycket viktig när ventilreglerade batterier (Sonnenschein) används se kapitel 4.4.

##### Spänningssens

Kompensation för spänningsfall fungerar bara på det batteriet som är inkopplat. Det finns en fara med att de övriga batterierna får över eller under laddning. Se punkt 4 kap.4.5.

#### 5.3.3.2 En laddare för varje batterigrupp

Detta är den bästa lösningen, då har vi temperatur och spänningssens på varje batterigrupp, men det kostar mer. En kompromiss är en laddare för förbrukningsbatterier med temp och voltsens och en batteriladdare med 2 uttag för de övriga batterierna.



## 6. El-utrustning och energiförbrukning

### 6.1. Inledning

Nu när vi vet, mer eller mindre, hur batterier laddas är det dags att diskutera förbrukare, som kommer att urladda batteriet. För att bättre förstå inverkan på energiförbrukningen av olika förbrukare ombord, så föreslås indelning i tre kategorier:

- **Kontinuerliga förbrukare**, vilket till exempel vara standby förbrukningen hos en VHF eller gränsvåg, kylar och frysar
- **Förbrukare under längre tid** ( lanternor, autopilot, belysning, water maker, luftkonditionering) som förbrukar energi mellan en och flera timmar per dag.
- **Förbrukare under kort tid** ( pumpar, elvinschar, bogpropeller, mikrovågsugn, tvättmaskin, diskmaskin, elspis) som förbrukar energi mellan några sekunder upp till cirka en timme per dag.

**Enligt min erfarenhet underskattar alla, inklusive mig själv, den dagliga energiförbrukningen hos kontinuerliga eller långvariga förbrukare, och överskattar energiförbrukningen hos kortvariga förbrukare.**

### 6.2. Kraft och energi

Framförallt då elen levereras av ett batteri, är det viktigt att skilja på kraft och energi.

Kraft är omedelbar. Det är energi per sekund, och mäts i Watt (W) eller kilowatt ( 1 kW = 1000 W ).

Energi är kraft gånger tid. Ett batteri lagrar energi, inte kraft.

Liten kraft men under lång tid kan resultera i stor energiförbrukning och tömma ett batteri. Energi mäts i wattimmar (watt x tid = Wh) eller kilowattimmar ( 1 kWh = 1000 Wh ).

Energi är också produkten av batterikapacitet (amperetimmar) och spänning: Wh = Ah xV och kWh = Ah x V x 1000.

Så en kraft på 2 kW under 1 timme är 2 kWx1 timme= 2 kWh elenergi, och detta innebär 2 kWh /12 V=2000 Wh/12 V = 167 Ah från ett 12 V batteri.

2 kW under en sekund ( dvs. 1/3600 av en timme) kommer att förbruka (2000/3600)/12 = 0.046 Ah. Nära nog ingenting!

2 kW under 1 minut (dvs. 1/60 av 1 timme) förbrukar (2000/ 60 ) /12= 2.7 Ah. Ett batteri från en laptop skulle klara detta (om det kunde leverera så hög ström)!

2 kW under 10 timmar förbrukar 2000x10/12 = 1667 Ah. Ett mycket stort batteri!

Som en förberedelse för kommande kapitel, kommer några exempel på kraft och energiförbrukning i hushållstillämpningar att visas i nästa kapitel.

### 6.3. Kylning

#### 6.3.1. Inledning

Alltför ofta är kylning ombord en mardröm eller åtminstone huvudvärk.

På små båtar tar ofta kylskåpet mer energi från batteriet än alla andra förbrukare tillsammans.

På en medelstor båt är det kylan och frysen som tömmer batteriet.

På stora båtar är det luftkonditioneringen som orsakar att ett elverk måste vara igång dygnet runt.

För att förstå varför, och vad man kan göra åt det, måste vi ha den teoretiska bakgrunden. Detta är innehållet i nästa kapitel.

### 6.3.2 Värmepumpens teori

Nästan alla kylsystem bygger på kompressorprincipen.

Funktionen är som följer:

Kompressorn. Som drivs av en lik- eller växelströmsmotor komprimerar gas (freon, tills det förbjöds för att det förstör ozonlagret i övre atmosfären) som sedan kyls i det som kallas kondensorn. Kondensorn är ofta en kylare med fläkt inrymd i skåpet under diskbänken eller en mycket större kylare med naturlig cirkulation på kylens baksida (vanligt hushållskylskåp) eller också kan den vara vattenkyld. I kondensorn kondenseras gasen till vätska och i den processen förlorar den värmeenergi. Vätskan förs sedan till förångaren, vilket är det som är kylelementet i kylan eller frysen. Där reduceras trycket och vätskan förgasas. För att göra detta åtgår värme, som tas upp från kylan/frysen. Gasen återgår därefter till kompressorn och så vidare.

Mängden energi som behövs för att förflytta en viss mängd värme från omgivningen med en värmepump kan kalkyleras med formeln:

$$\text{CoP} = n_r \times n_c = n_r \times T_{\text{low}} / (T_{\text{high}} - T_{\text{low}})$$

Där CoP är "Coefficient of Performance", ("prestanda faktor").  $T_{\text{low}}$  är temperaturen i förångaren uttryckt i grader Kelvin ( $^{\circ}\text{C} + 273$ ),  $T_{\text{high}}$  är temperaturen i kondensorn, likaledes uttryckt i grader Kelvin, och  $n_r$  är en faktor (verkningsgrad, alltid mindre än 1) som anger praktisk CoP jämfört med teoretisk CoP.

(Observera: Formeln för CoP som anges här är en förenkling av vad som verkligen sker, men den är ändå ett godtagbart verktyg för att finna vilka åtgärder som kan utföras för att minska elförbrukningen).

Ett exempel för ett kylskåp:

Temperatur "kalla sidan" (detta är inte temperaturen i kylskåpet utan temperaturen i förångaren)  $-5^{\circ}\text{C}$ , dvs.  $T_{\text{low}} = 268^{\circ}\text{K}$ .

Temperatur "varma sidan" (kondensorn):  $45^{\circ}\text{C}$ , dvs.  $T_{\text{high}} = 318^{\circ}\text{K}$

Verkningsgrad 25%

I detta fall är CoP :

$$\text{CoP} = 0.25 \times 268 / (318 - 268) = 1.34$$

Det innebär att för varje kWh som läcker in genom isoleringen i kylan eller förbrukas då varm mat eller dryck ställs in,  $1 / 1.34 = 0.75$  kWh elenergi förbrukas för att "pumpa" ut denna värmemängd.

### 6.3.3 Kylan och frysen i praktiken

När den är i drift, förbrukar kylan eller frysens kompressormotor omkring 50 W, 4.2 A från ett 12V batteri. Kompressorn styrs av en termostat som slår till vid en för inställd temperatur och slår ifrån då temperaturen har sänkts några grader under det inställda värdet. Förhållandet mellan drift och stillestånd kallas drifttid.

En drifttid på 50% resulterar i en daglig förbrukning på 50 Ah och en drifttid på 25% motsvarar 25Ah förbrukning.

Vi vill ha en låg energiförbrukning. Hur kan det åstadkommas?

- 1) **Förbättra CoP**; antingen genom att öka temperaturskillnaden mellan förångare och kondensorn, eller genom att öka kompressorns verkningsgrad. Om till exempel kondensorns temperatur reducerades till  $20^{\circ}\text{C}$  med sjövattnenkyllning (vilket kräver en högkvalitativ värmeväxlare), istället för  $45^{\circ}\text{C}$  som är vanligt när kondensorn är placerad under en diskbänk, skulle vi få:

$$\text{CoP} = 0.25 \times 268 / (293 - 268) = 2.68$$

Så, i sådant fall skulle endast  $1 / 2.68 = 0.37$  kWh behövas per "inläckande" kWh: Med andra ord endast hälften så mycket el

Ytterligare förbättring skulle vara möjlig om vi kunde öka förångarens yta i kylan så att några grader över nollan skulle kyla den lika väl som  $-5^{\circ}\text{C}$  i föregående exempel.

Därtill skulle kompressorns och motorns effektivitet kunna ökas. Det här ställer sig svårt, då alla små kompressor har liknande specifikationer.

## 2) Förbättra isoleringen

Låt oss först se hur mycket energi som behövs för att kyla ned mat och dryck i en kyl.

Här är det viktigt att veta att vatten har en specifik värme på 1.16 Wh per °C

Specifika värmen på mat och annan dryck är nästan detsamma. Detta innebär, att för att kyla ned 1 l vatten eller annan dryck eller 1kg mat 1°, måste vi avlägsna 1.16Wh värme.

Så, om du ställde in 5 liter mineralvatten, som värmts upp av solen till 35°C; i kylan och lät det svalna till 10°C skulle:

$5 \times (35 - 10) \times 1.16 = 0.145 \text{ kWh}$  energi förflyttas från kylskåpet.

Vid en CoP på 1.34 behövs  $0.145 / 1.34 = 0.108 \text{ kWh}$  elenergi, lika med  $0.108 / 12 = 9 \text{ Ah}$  från ett 12 V batteri. Inte allt för dåligt, 9 Ah, fastän vi har förutsatt en mycket låg CoP.

Slutsats:

Det är dålig isolering och/eller dålig CoP (verkningsgrad) ,inte nedkylning av mat och dryck, som orsakar hög energiförbrukning hos kyl och frys ombord.

Därför: **Isolera!**

Det som idag sätter standarden för energiförbrukning är vanlig hushållsutrustning, som nuförtiden har utmärkt isolering.

Den årliga energiförbrukningen hos en modern kyl är omkring 100 kWh, vilket kan översättas till  $100/365 = 0.27 \text{ kWh}$  per dag,  $0.27 \times 1000 / 24 = 11 \text{ W}$  (!) i genomsnitt. Om ett sådant vore försedd med en 12 V motor; skulle energiåtgången vara  $0.27 \times 1000 / 12 = 23 \text{ Ah}$  från batteriet. Den årliga förbrukningen hos en frys är ungefär det dubbla, vilket skulle innebära 46 Ah per dugn från ett 12 V batteri.

Om det i vilket fall finns kontinuerlig växelström från en inverter (se kap. 8) så är det definitivt tillrådligt att installera vanlig hushålls kyl- och frys.

## 6.3.4 Luftkonditionering

Luftkonditionering kräver enorma energimängder. Speciellt mindre anläggningar, med mellan 1-6 kW kyleffekt (3400-17000 Btu) har generellt låg verkningsgrad. Om ett elverk ändå är igång, är det inget problem, utom kanske för bränsleförbrukningen. Men omedelbart luftkonditioneringen även måste kunna fungera med batterikraft, blir verkningsgraden oerhört viktig.

Precis som kyl och frys, är luftkonditioneringen en värmepump med en kompressor, en kondensor (alltid vattenkyld på båtar på grund av den höga effekten) och en förångare.

Vad säger oss då CoP formeln om luftkonditioneringen?

Låt oss förutsätta att:

- Kondensorns temperatur är 27°C (kylvattnet 25°C)
- Förångarens temperatur är 15°C (rumstemperatur 25°C)
- Verkningsgraden 25%

CoP blir då  $= 0.25 \times 288 / (300 - 288) = 6$

Tja, i praktiken ligger CoP för en liten anläggning mellan 2 och 3!

Det är beror i huvudsak på att kondensorns temperatur är mycket högre, och förångarens mycket lägre, än vi förutsatte.

Om vi antar att CoP är 2.5, kommer 2 kW kylning att kräva  $2/2.5 = 0.8 \text{ kW}$  el, vilket skulle, under 10 timmar, förbruka  $0.8 \times 1000 \times 10 / 24 = 333 \text{ Ah}$  från ett 24 V batteri.

Victron energy marknadsför en 2kW luftkonditionering som optimerats för låg energiförbrukning istället för lågt pris. Den har en CoP på 5.7, som enligt min åsikt fortfarande ger rum för ytterligare förbättring, men åtminstone reducerar förbrukningen till hanterligare 0.35 kW, eller 146 Ah under en 10 timmars period. Se kapitel 9 för installationsexempel.

## 6.4. El Winschar, ankarspel och bogpropellrar

Alltmer vanliga även på mindre båtar, så drar dessa produkter hög ström, men bara under en kort period.

En vinsch eller ankarspel på en 15 m båt drivs i allmänhet av en motor på 1 hk (1hk = 0.736 W)

-

- och förbrukar nominellt  $736/12 = 61$  A från ett 12 V batteri ( strömförbrukningen kan öka till flera hundra ampere vid stor överlast). Om vinschen används under en minut förbrukar den  $61/60 = 1$  Ah (se kap.6.2) . Så, energiförbrukningen spelar ingen roll, men det är däremot viktigt att dimensionera säkringar, reläer och batterier för den höga strömmen och eliminera brandrisk på grund av överhettning.
- En bogpropeller förbrukar ofta ännu mer kraft, t. ex. 300 A från ett 24 V batteri, om motorn är på 10 hk. Strömförbrukningen blir  $10 \times 736/24 = 300$  A. En minuts drift ger  $300/60 = 5$  Ah från batteriet.

## 6.5 En batteridriven tvätt- eller diskmaskin?

Ett tvättprogram vid 60°C med en vanlig tvättmaskin kräver 0.9 kWh elenergi, eller  $900 / 24 = 38$  Ah från ett 24 V batteri. Vid 40°C minskas detta till 0.6 kWh,  $600/24 = 25$  Ah . Energi som erfordras för en diskmaskin är av samma storlek.

Den mesta energin åtgår till uppvärmning av vatten(därav den stora skillnaden i förbrukning mellan ett 60°C och ett 40°C program) och att använda varmvatten ( mata maskinen med varmt vatten istället för kallt) skulle än mer reducera förbrukningen, ned till några få hundra Wh!

En normal torktumlare tar dock 3kWh, vilket innebär  $3000/24 = 125$  Ah vid 24 V. Detta därför att förvärmad luft används för att avdunsta all kvarvarande fukt. Än så länge känner jag inte till någon torktumlare som värmer luften med en varmvattenväxlare istället för el....

Ett tvätt-tork program hos en liten kombimaskin som ofta används på båtar förbrukar cirka 2.7 kWh.

## 6.6 Trodde ni det var möjligt med en batteridriven spis?

Det gjorde inte jag, innan jag räknade på det och bekräftade det i praktiken.

Sedan dess har jag en 2 plattors induktionshäll på min trimaran, försörjd av ett 24 V, 105 Ah X-celler kolfiberbatteri och en 2 kW Victron Multi.

Jag måste dock medge, att 105 Ah är ett gränsfall. För att laga ett l mål mat, måste jag först starta min WhisperGen och förvissa mig om att batteriet är uppladdat till minst 80 %. Men ,trots allt så fungerar det, även om urladdningsströmmen når 200 A när bägge 2 kW plattorna går på full effekt.

I jämförelse med andra elspisar, föredrar jag induktionstypen. Med induktionsuppvärmning är det inte plattan som blir uppvärmd, utan endast botten på kastrullen. Uppvärmningen blir därför väldigt snabb och plattan blir inte varmare än kastrullens botten vilket ökar säkerheten. Av denna anledning är induktion också cirka 20%b effektivare än andra elplattor( det är inte bara teori, jag har provmätt). Men nu till den teoretiska bakgrunden, som är mycket enkel:

Som fastslagits i kapitel 6.3.3 så har vatten en specifik värme på 1.16 Wh per °C. För att få 1 liter vatten till kokning erfordras således  $1.16 \times (100-20) = 93$  Wh. I praktiken tar detta mer än 100 Wh, beroende på kastrullens värmekapacitans och andra förluster, vilka kan kompenseras för genom att börja med varmvatten från beredaren. Så, siffrorna man bör lägga på minnet är 100 Wh per liter.

Och nu till den riktiga matlagningen:

Idag ska vi göra spaghetti med hemgjord sås och pudding till efterrätt. Vi lagar mat för fyra personer.

För spaghetin kokar vi 4 liter vatten, tillsätter spaghetin, låter det koka igen lämnar det att koka svagt i 8 minuter. Energiåtgång: 400 Wh för att koka vattnet, 100 Wh för att koka upp igen, och 400 Wh under 8 minuter för att hålla spaghetin kokande, totalt  $400+100+(400 \times 8) / 60 = 550$  Wh..

Till såsen börjar vi med att fräsa lök (150 Wh) tillsätter kött och fräser upp den igen(150 Wh), därefter lägger vi till färska tomater, örter o. Dyl. och låter såsen koka upp( ca 1 liter, dvs 100 Wh) varefter vi låter den sjuda i 20 minuter( 200 W under 20 minuter),totalt  $150+150+100+(200 \times 20) / 60 = 470$  Wh.

Till desserten värmer vi 2 liter mjölk som kommer direkt ur kylan (300 Wh) plus 3 minuters sjudning( 30 Wh) ,totalt  $300+30 = 330$  Wh.

Total energiåtgång  $550+470+330 = 1350$  Wh eller  $1350/24 = 56$  Ah från ett 24 V batteri.

Jag har bekräftat detta i praktiken och resultatet är att för de flesta måltider med 3 varmrätter och tillagat för 4 personer behövs i verkligheten 1200 till 1400 Wh , eller 50-60 Ah från ett 24 V batteri.

## 6.7 Dyk kompressorn

Jag gillar att dyka. Vad jag däremot inte gillar är att efter dykningen behöva hissa ankar ,gå till en hamn och släpa mina gastuber till en dyk klubb för att fylla dem. Varför inte installera en dyk kompressor ombord?

En liten dykluftkompressor drivs av en elmotor på cirka 3 kW och startströmmen är runt tio gånger märkströmmen. Den kommer förmodligen att lösa ut säkringen i landanslutningen och ett elverk måste vara mycket överdimensionerat för att klara av startströmmen.

Lösningen är att driva kompressorn med en 3-fas motor, kopplad till en frekvensomformare med 3-fas utgång för motordriften och 1-fas matning som kopplas till inverter, elverk eller landanslutning. En- till trefas frekvensomformare( finns at få upp till 3 kW från flera tillverkare, som Asea, Hitachi eller Mitsubishi) eliminerar startström stöten och medger att 3-fas motorn drivs av 1-fas matning.

Kan förbrukningsbatteriet + en inverter användas för att driva kompressorn? Svaret är ja, jag gör det själv jämt och ständigt. Det tar cirka 30 minuter att fylla en tub, vilket kan översättas till  $(3 \text{ kW}/24 \text{ V}) * 0.5 = 62 \text{ Ah}$  från ett 24 V batteri.

## 6.8 Hur hanterar man tillslagsströmmen i en växelströmsmotor?

Elmotorer i kW storlek har mycket höga tillslagströmmar och en inverter eller elverk måste överdimensioneras betydligt för att driva dem(Exempelvis pumpar, luftkonditionering och dyk kompressorn som nämnts i föregående kapitel). Som vi visat i förra kapitlet, är en möjlig lösning att använda 3- fasmotorer och 1- till 3-fas frekvensomvandlare.

## 6.9 Slutsatser

**Kylskåpet, som är en kontinuerlig förbrukare, kan, om det inte är välkonstruerat, tömma batteriet och förbruka mer energi än kraftiga men kortvariga förbrukare som tvättmaskiner, diskmaskiner eller till och med elpisar.**

## 7 WhisperGen

### 7.1. Vad är "WhisperGen"?

WhisperGen är en stirlingmotordriven värmare och generator ( **Micro Combined Heat and Power generator, MCHP** ) .

Detta innebär att en WhisperGen producerar tillräckligt med el och värme för en familj, vare sig det är på en båt, i en husbil eller ett hus utan fast elnät.

#### **WhisperGen är en batteriladdare.**

En WhisperGen levererar 750 W likström vilket är lika med:

- 18 kWh elenergi per dygn, eller
- 1500 Ah per dygn vid 12 V, eller
- 750 Ah per dygn vid 24 V

Med andra ord är WhisperGen en 12 V, 60 A eller 24 V, 30 A laddare som drivs med diesel istället för 230 Vac.

I likhet med en vanlig laddare har WhisperGen en 3-steps laddningskurva ( forcering, absorption, hålladdning) . Precis som en batteriladdare arbetar WhisperGen utan att märkas, inget ljud, ingen rök och ingen lukt.

Men i motsats till en vanlig batteriladdare har WhisperGen en inbyggd "battery monitor" och kan programmeras att starta automatiskt när batteriet nått en inställd urladdningsnivå samt åter stoppa när laddningen är fullbordad. Istället för att följa en fast tidsgräns för absorptionsladdningen kan WhisperGen programmeras att stoppa när batteriet s laddström gått ned till en bestämd nivå.

WhisperGen producerar mindre energi än ett konventionellt elverk men kräver också mindre underhåll och har avsevärt längre livslängd: Den har konstruerats för 6 års kontinuerlig drift.

Som kommer att framgå i kapitel 10 till 12, så är dess låga utström, tillsammans med dess låga bränsleförbrukning och möjligheten att vara i drift dygnet runt utan att märkas en stor fördel jämfört med et konventionellt elverk.

#### **WhisperGen är en värmare**

Alla dieseldrivna elverk avger värme, WhisperGen särskiljer sig därför att:

- Som bäst kan 50 % av värmen producerad av ett standard elverk återvinnas, resten förloras med avgaserna. Eftersom elverket bara används under korta perioder, kan det inte ersätta en värmare som måste vara operativ dygnet runt.
- 
- Mer än 90 % av värmen producerad i WhisperGen är användbar, eftersom även avgasvärmen tas tillvara. Faktiskt är verkningsgraden hos WhisperGen till och med större än hos vanliga dieselvärmare, eftersom avgastemperaturen är lägre ( 80°C) . Precis som värmaren, kan WhisperGen vara i drift dygnet runt. Värmeproduktionen i WhisperGen kan regleras och den kan leverera värme oavsett om det finns behov av el eller ej:

### 7.2. Hur den fungerar

WhisperGen är baserad på en 4-cylindrig stirling motor (yttre förbränning) som omväxlande värmer och kyler en viss volym kvävgas. När gasen värms respektive kyls, tvingar det därigenom varierande trycket kolvarna att röra sig upp och ned. Denna rörelse överförs via en speciell mekanik, kallad "Wobble Yoke" till roterande rörelse som sedan driver en generator som producerar likström som kan ladda batterierna.

En dieselbrännare som är i kontinuerlig drift håller de fyra topplocken varma. Kvävgasen värms var gång den trycks upp i övre delen av cylindrarna och kyls i deras nedre del av kylvätska som cirkulerar i blocket.

Flödet av luft och dieselolja i brännaren optimeras av en mikroprocessor. Detta ger maximalt effektiv förbränning och minimala utsläpp. Mikroprocessorn kontrollerar alla funktioner i WhisperGen och visar realtidsinformation om systemet på en kontrollpanel där användaren också kan ändra inställningarna.

## 7.3. Funktioner och finesser i detalj

### 7.3.1. Komfort

Den kontinuerliga förbränningen resulterar i en ljudlös drift. Därigenom kan WhisperGen installeras i en båt eller ett hus så att den är totalt ohörbar. Eftersom motorn och generatoren är hermetiskt täta och fungerar utan oljesmörjning, så bildas inga ångor eller lukter.

### 7.3.2. Underhåll

Rutinunderhållet begränsas till inte mycket mer än att rengöra brännaren var 1000 timme ( 6 veckors kontinuerlig drift).

### 7.3.3. Livslängd och tillförlitlighet

WhisperGen har en konstruktionslivslängd på 20000 timmar(= 2.5 års kontinuerlig drift) innan genomgång av motorn behövs. WhisperGen:s motor är mekaniskt mycket enklare än en dieselmotor, inga ventiler, ingen kamrem och ingen insprutningspump.

### 7.3.4. Användbar värme produktion

Avgaserna från WhisperGen är inte förorenade med oljester och är sotfria, tack vare den mycket avancerade brännaren. Detta gör det möjligt att återvinna restvärmen med en relativt enkel värmeväxlare (ingår i WhisperGen). Som resultat har WhisperGen en verkningsgrad som varmare på cirka 95% och avgaserna kyls till 80°C.

### 7.3.5. Säkerhet och bekvämlighet

En mikroprocessor styr och övervakar systemet(kylflöde och temperatur, avgastemperatur, flamdetektor, syrgasinnehåll i avgaserna) och medger fullständigt automatisk drift både som batteriladdare och som varmare.

Batteri management modulen kontrollerar batteriets laddningstillstånd( inget behov av en separat "battery monitor") och startar WhisperGen vid en förinställd urladdningsgräns.

Värme management modulen startar WhisperGen när varmvatten (termostat på varmvattenberedaren) eller rumsuppvärmning behövs.

Detta för oss till en av de viktigaste egenskaperna hos WhisperGen:**Den kan lämnas igång utan översyn i dagar, veckor eller till och med månader.** Inget mer behov av att tömma kyl och frys när man gör en utflykt i land och lämnar båten förtöjd utan landanslutning.

### 7.3.6 Miljö

Det står klart att WhisperGen är betydligt mer miljövänlig än ett vanligt dieselelverk. Speciellt när man tänker på att all överskottsvärme kan användas.

### 7.3.7. Mindre vikt och utrymme

WhisperGen:s vikt är 90 kg, avsevärt lägre än de 200-260 kg ett 6-12 kW elverk väger. Men den stora fördelen är den reduktion som blir möjlig för batteribankens vikt och utrymme med i genomsnitt 50 % . Där ett batteri på 24V, 800 Ah normalt skulle installeras (vikt ca 800 kg) behöver ett system med WhisperGen 24V , 460 Ah(248 kg). Se kapitel 10 för exempel.

### 7.3.8 Lutning

WhisperGen kan fortsätta fungera oavsett lutningsvinkel, eftersom den saknar oljesump och oljepump.

## 8. "Micro Power" framställning, Tänk annorlunda!

### 8.1. Inledning

I denna bok syftar "Micro Power" framställning på kraftgenerering för system som förbrukar, i medelvärde, mellan några få hundra upp till 10 kW elkraft. Över en 24 timmars period är detta lika med mellan  $24 \times 0.2 = 4.8$  kWh och  $24 \times 10 = 240$  kWh elenergi. Som kommer att visas är 240 kWh den övre gränsen för den mängd elenergi som förbrukas för några familjers komfortabla liv, vare sig i ett litet samhälle med ett eller flera hus, i en husbil eller ombord en båt.

Det är inom dessa gränser som åtskilliga nya tekniska utvecklingar gör det värt mödan att "tänka om" kraftgenerering.

En mycket viktig egenskap hos de användningsområden som betraktas här är att mängden elkraft vissa tider kommer att vara nära noll, och vid andra tillfällen öka till flera gånger medelvärdet. När ett bränsle drivet elverk används för att leverera den behövliga elen, måste det vara dimensionerat att klara den största förväntade lasten, och kommer att vara nära nog obelastat större delen av tiden. Mycket ineffektivt vad avser slitage och bränsleförbrukning, för att inte tala om oljud, underhåll och nedsmutsning.

Ett problem som är specifikt för båtar är landanslutningen. Dess avsäkring är oftast otillräcklig för att driva en tvättmaskin, en elspis eller en luftkonditionering. Om man korsar Atlanten är spänningen annorlunda och frekvensen 60 Hz istället för 50 Hz, och tvärtom.

Av ökande betydelse på båtar är också vikt och volym.

I följande kapitel presenteras och diskuteras ny teknik och nya koncept för att förbättra "Micro Power" generering. Bland dessa är WhisperGen till vilken följande kapitel har dedikerats.

### 8.2. Ny teknik gör likströmskonceptet attraktivare.

#### 8.2.1. Likströmskonceptet

I likströmskonceptet är batteriet systemets kärna. All kraft som produceras eller togs från landanslutningen omvandlas eller produceras som likström. Alla kraftkällor är anslutna till en "DC bus" (samlingskäten) till vilken även batteriet är anslutet. Likaledes är alla förbrukare likströmsdrivna eller matade från en inverter som ansluts till samlingskäten.

I likströmskonceptet är batteriet en buffert som kompenserar för obalans mellan produktion och förbrukning.

Faktiskt använder alla småbåtar likströmskonceptet.

Kraften genereras av en eller flera generatorer på huvudmaskinen, ofta också av någon alternativ källa som solcell, vindkraftverk eller släpgenerator. Alla elkällor ansluts till en samlingskäten till vilken även batteriet är anslutet. Alla förbrukare som navigationselektronik, belysning mm. matas från samlingskäten.

Allt eftersom elektronisk kraftomformning förbättras, kopplas mer och mer hushållsutrustning, som kräver växelström, till Likströmsmatningen via en inverter.

I några följande kapitel presenteras 3 nyutvecklingar som påtagligt ökat attraktiviteten hos likströmskonceptet.

#### 8.2.2 Lågspänningsgeneratorer

Förutom konventionella 50/60 Hz elverk, så levererar vissa tillverkare även lågspänningselverk. Lågspänningsgeneratorer är mindre, lättare och har högre verkningsgrad än växelspänningselverk.

Dessutom kan varvtalet regleras efter strömåtgången, så förbränningseffektiviteten förblir hög även vid mindre belastning.



## 8.2.3 .WhisperGen

WhisperGen har introducerats i föregående kapitel.. Den är ett lågspänningsselverk, men ett mycket speciellt sådant som ökar komforten ombord till en överträffad nivå.

## 8.2.4. Obegränsad inverterkraft

Sinus invertrar har nu blivit allmänt accepterade och finns att få i med allt högre effekt.

Nytt är möjligheten att parallellansluta inverters.

Victron Energy har utvecklat invertrar och kombinerade inverter/laddare (dubbelriktade omvandlare) som kan parallellkopplas i antingen 1- eller 3-fas konfigurationer.

Inverter/laddar modulen är Multi 12/2500/120 eller 24/3000/70, som har en kontinuerlig uteffekt på 2 kW vid 12 V respektive 2.5 kW vid 24 V. Upp till 6 moduler kan parallellkopplas per fas. För att ta ett exempel med 24 V modellen, kan följande uteffekter nås:

En fas 6xMulti 24/2500	Kontinuerlig effekt 6x 2.5 = 12.5 kW	P 30 18 kW	Maximal effekt 30 kW
Trefas 18xMulti 24/2500	Kontinuerlig effekt 18x2.5 = 45 kW	P 30 54 kW	Maximal effekt 90 kW

Med andra ord: Den möjliga uteffekten är nära nog obegränsad för de tillämpningar vi diskuterar här.

När det tidigare var nödvändigt att installera ett elverk , kan parallellkopplade invertrar nu vara ett alternativ.

## 8.3. Förbättring av växelströmssystem med ”Power Control” och ”Power Assist”

### 8.3.1. Växelströmskonceptet

I växelströmskonceptet utgör ett eller flera elverk hjärtat i systemet.

Närhelst växelström behövs, startas ett elverk. Generatorns märkeffekt måste vara tillfyllest för den största förväntade lasten.

Generellt används generatoren också, i kombination med en laddare, för att ladda ett eller flera små batterier för navigationselektronik, belysning, små likströmspumpar mm.

Likaledes måste landanslutningen vara dimensionerad för största förväntade last. Landanslutningen måste därtill ha samma frekvens, om inte, behövs en frekvensomvandlare.

Växelströmskonceptet föredras där stora mängder kraft behövs.

### 8.3.2 Växelströmssystem med elverksfria perioder

När kraftförbrukningen minskar. Bli nackdelarna med växelströmskonceptet mer uttalade. Generatoren kommer att vara i drift utan last under längre tid, eller måste startas och stoppas ofta, ofta i drift utan någon direkt belastning. Detta innebär förstås mycket oljud föroreningar, dålig bränsle ekonomi samt mer slitage och underhåll vid låg elkonsumention.

Ett sätt att förbättra detta är genom att ha generatorfri period, detta kräver, förutom ett elverk, ett stort batteri, batteriladdare och en inverter. När elverket är avstängt, fördörs alla förbrukare av energin som lagrats i batteriet. Då och då, generellt när mycket elkraft ändå behövs, startas elverket och används då också till att återladda batteriet.

Om än mycket bättre än ”endast elverk” lösningen, finns det fortfarande plats för vidare förbättringar. Detta är vad nästa kapitel tar upp.

### 8.3.3 ”Power Control”

Växelströmskonceptet med en generator fri period är bättre ju kortare period elverket är i drift. Det innebär att det måste finnas rejält med kraft till likriktarna för batteriladdning. Elverket måste dimensioneras för den maximala lasten **plus** likriktarnas krafttåg.

En effektivare lösning är "Power Control".

Med "Power Control" mäts elverkets utström kontinuerligt och strömmen till batteriladdning justeras därefter så att den totala lasten inte överskrider en förinställd gräns.

Detta är en finess som levereras med fjärrkontrollpanelen till Phoenix Multi .

Ett exempel:

En båt är utrustad med ett elverk och en Phoenix Multi 24/3000/70.

Elverket används för drift av en tvättmaskin som förbrukar 2 kW när vattnet värms, och endast 150 W när bara motorn går.

Genomsnittsförbrukning: 500 W.

Batteriet som ska laddas är på 24 V, 400 Ah, maximal laddström från Multi;n är 70 A.

Maximalt förväntad växelströmslast: 2 kW för tvättmaskinen plus 2.1 kW för batteriladdningen ( $70 \times 30 = 2.1$  kW). Märkström som erfordras för generatoren:  $2 + 2.1 = 4.1$  kW minimum, om man vill ha möjlighet att köra tvättmaskinen och ladda batterierna samtidigt. I praktiken så, för att undvika att köra elverket med full last ( och riskera överlast) , bör man välja en 5 kW modell.

Alternativt kan laddningen avbrytas när man tvättar. Detta skulle öka tiden man måste köra elverket och resultera i en medelbelastning på endast 500 W under tvättningen. Generator som behövs: minimum 2 kW, I praktiken 3 kW.

Med "Power Control" finessen hos Multi;n kan man fortfarande använda ett 3 kW elverk och samtidigt tvätta och ladda batteriet. Med hjälp av Multin;s fjärrpanel kan strömgränsen sättas till exempelvis 10,5 A, vilket skulle begränsa generatorns utström till säkra  $10.5 \times 230 = 2.4$  kW, vilket är 80% av märkeffekten 3 kW. Efter att man startat elverket går Multin automatiskt över från inverter- till batteriladdnings drift och laddar batteriet med 70 A.

När tvättmaskinen startas, kommer Multin att fortsätta ladda med 70 A så länge som endast motorn är igång (80% av tiden). Lasten på elverket blir då  $150 \text{ W} + 2.1 \text{ kW} = 2.25 \text{ kW}$ , mindre än den förinställda gränsen på 2.4 kW.

Så snart värmaren slår till, (20 % av tiden) förbrukar tvättmaskinen 2 kW så att endast  $2.4 \text{ kW} - 2 \text{ kW} = 400 \text{ W}$  återstår för batteriladdning. Med "Power Control" kommer då Multin att **automatiskt** reducera laddströmmen till cirka  $400 \text{ W} / 30 \text{ V} = 13 \text{ A}$ .

Exemplet visar att "Power Control" medger att elverket utnyttjas mycket effektivare. 80% av tiden då tvättmaskinen var igång, laddades också batteriet med maximal tillgänglig ström.

Utan "Power Control" skulle likriktart fått stängas av under hela tvättperioden.

Likaledes skulle laddningen reduceras, men inte avbrytas, när man använder en mikro,vattenkokare en växelströms driven water maker eller liknande.

Exemplet ovan kan också användas för landanslutningen. Strömgränsen ställs då efter säkringen som skyddar uttaget, Detta måste förstås vara tillräckligt högt för att försörja den högsta förväntade förbrukningen ombord. I vårt exempel vore det tvättmaskinen, så den minsta möjliga gränsen vore  $2 \text{ kW} / 230 \text{ V} = 9 \text{ A}$ .

Ofta är säkringsstorleken lägre, till exempel 6 A eller till och med 4 A, vilket inte räcker till tvättmaskinen. Detta för oss till "Power Assist", ämnet för nästa kapitel.

### 8.3.4 Växelströmsystem med "Power Assist"

Nästa nivå i elverk- och landanslutnings stöd är att verkligen hjälpa generatoren eller landanslutningen när de annars skulle överlastas. Detta är vad Phoenix MultiPlus gör.

För att fortsätta vårt exempel, kanske man vill köra en 2 kW luftkonditionering och samtidigt diska, vilket ger en toppförbrukning på 4 kW. Eller värma vatten i en vattenkokare ( 2 kW), helt enkelt brygga kaffe (1 kW), eller använda elspis istället för gasspis ( 6 kW).

Med MultiPlus är allt detta möjligt. När växelströmsbehovet överskrider den förinställda gränsen, kommer Multin att sluta ladda batteriet och fungera som en inverter parallellt med land- eller generator anslutningen.

I vårt exempel skulle generatoren förstärkas från 3 kW till  $3 + 2.5 = 5.5$  kW. Som visas i följande kapitel, så kan vikt och bränsle behovs minskningen bli avsevärd.

**Genom att lägga till ytterligare kraft som tas från batteriet kan MultiPlus lösa problem med otillräcklig land- eller generator kraft. Andra fördelar med att använda Combi eller Multi tillsammans med ett elverk.**

### 8.3.5 Andra fördelar med att använda Multi tillsammans med ett elverk.

I föregående kapitel förklarade vi fördelarna med "Power Control" och "Power Assist": möjligheten att använda ett mindre elverk, eller reducera antalet drifttimmar, att kunna öka växelströmsbelastningen, eller att förstärka landströmmen.

## .Avbrottsfri växelström

Växelström kommer alltid att vara tillgänglig, antingen från Multi;s eller från generator- eller landanslutning. En digital klocka eller inställningar på en video kommer inte att behöva återställas varje gång elverket stoppas.

## Omedelbar växelströms tillgänglighet

Om man installerat tillräcklig Multi kraft kan vilken växelströmsförbrukare som helst omedelbart slås på utan att man behöver starta elverket först.

## Tillförlitlighet

När flera Multi;s är parallellanslutna, kan en trasig enhet( Om än inte speciellt sannolikt att det inträffar) isoleras från de friska. Ytterligare tillförlitlighet ernås på grund av att både Multi;s och elverk kan leverera växelström. Slutligen finns minst 2 kälor till likström för batteriladdning, en eller flera Multi;s och generatoren på huvudmaskinen.

### 8.3.6 Landanslutning

Vi har sett att ett sätt att hantera otillräcklig land el är MultiPlus. I praktiken kan, på grund av begränsad dynamisk respons, landanslutningen förstärkas till 2x eller som mest 3x dess avsäkring. .Ostabil eller låg spänning kan också utgöra ett problem med landanslutningar.

**Det rekommenderas därför att använda "likströmskonceptet" för landanslutningen.** Med andra ord: använd en batteriladdare som omvandlar landströmmen till likström för att åter omvandla likströmmen till växelström med Multi invertrarna som ändå finns ombord. Förbrukningsbatteriet kommer att leverera ytterligare energi när mycket kraft förbrukas ombord, och återladdas av likriktarna under perioder med låg förbrukning.

För mer detaljer se kap. 8.4.3

## 8.4. Att tänka annorlunda

### 8.4.1. Daglig energiåtgång

Både för likströmskonceptet eller det batteriassisterade växelströmssystemet är den första frågan man ska ställa inte "Vad är den maximala förbrukningen som kan förväntas?" och dimensionera invertrar och elverk därefter. Istället ska frågan vara "hur stor är den dagliga energiförbrukningen?".

Det är det dagliga energibehovet som bestämmer storleken på el källorna.

Den dagliga gångtiden för energiproduktionen bestäms med följande formel:

**Gångtid ( timmar) = Dagligt energibehov ( kWh) /Uteffekten på elproduktionen (kW)**

Alternativt , om behovet är att begränsa gångtiden till en viss tidsrymd, är formeln:

**Uteffekten på elproduktionen = dagligt energibehov/gångtid**

Några exempel:

#### 8.4.1.1. Dagligt energibehov: 4 kW ( se kap. 9)

Källa: Generator på huvudmaskinen som ger 100 A till ett 12 V system, d.v.s.  $100 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 1.2 \text{ kW}$

Dagligt gångtidsbehov:  $4 \text{ kWh} / 1.2 \text{ kW} = 3.3 \text{ timmar}$

I praktiken kommer tiden att behöva vara något längre på grund av förluster i systemet och förmodligen en reducerad strömuttagning hos batteriet mot slutet av laddningsperioden men som en första uppskattning är kalkylen ok).

#### 8.4.1.2. Dagligt energibehov: 4 kW (se kap. 9)

Källa: WhisperGen (uteffekt 0.75 kW)

Dagligt gångtid:  $4/0.75 = 5.3 \text{ timmar}$

#### 8.4.1.3. Dagligt energibehov: 14 kWh (se kap. 10)

Källa: WhisperGen

Daglig gångtid:  $14/0.75 = 19 \text{ timmar}$

#### 8.4.1.4. Dagligt energibehov: 14 kWh ( se kap. 10)

Källa: Dieselelverk, men ska inte behöva vara i drift mer än 4 timmar per dag.

Minimal storlek på generatoren:  $14 \text{ kWh} / 4 \text{ tim.} = 3.5 \text{ kW}$

## 8.4.2. Batterikapacitet

När kraft produktionen är begränsad till några få timmar per dag (generator på huvudmaskinen eller ett elverk med stilleståndperioder) avgörs storleken på batteriet av den mängd energi som det måste kunna leverera under den tid då huvudmaskinen eller elverket är stoppat, den elverksfria perioden.

I praktiken, tack vare de korta återladdningsperioderna, kommer batteriet endast att laddas till 80% (20% urladdning) och bör inte urladdas djupare än 70% (70% urladdning). Detta innebär en utnyttjad batterikapacitet på  $70\% - 20\% = 50\%$ . Vi bör inkludera en säkerhetsmarginal: när batteriet urladdats till 70 % finns ingen marginal om något oförväntat sker. Det finns ingen generell regel för säkerhetsmarginalens storlek, men låt oss säga 10 %. Detta ger oss 40 % användbar kapacitet och ett urladdningsdjup på 60 %. Därtill får vi räkna med en faktor på 0.8 för den 20 % kapacitetsförlust som uppstår då batteriet åldras:  $40\% * 0.8 = 32\%$ .

Slutligen så måste, om vi urladdar batteriet fortare eller långsammare än angivet ( den angivna urladdningstiden är oftast 20 timmar, se kap. 2.5.3) en annan korrektionsfaktor användas. I de flesta fall är tiden mellan laddningarna 8 till 12 timmar, och 32 % urladdning under 8 timmar är ekvivalent med  $32 \times 24 / 8 = 96\%$  urladdning under 20 timmar. Våldigt nära 100 %, så ingen ytterligare korrektion behövs för batterier där kapaciteten anges vid 20 timmar, och en positiv sådan för traktionära batterier, för Sonnenschein A60 och för GNB Absolyte högkapacitets celler (se kap. 2.5.3). (Jag kan tänka mig att nu släpper en suck av lättnad här: Den användbara kapaciteten hade gått ned till nästan noll om än fler korrekationer hade måst göras).

Nästa steg är att fastställa hur mycket kraft som åtgår och när. Detta är målet med följande kapitel.

Slutsats:

Beräkna batterikapacitet är rätt så komplicerat. Syftet med denna bok är att se på helheten, så vi behöver en tumregel. Tumregeln som fåtts genom praktisk erfarenhet är att då laddning sker 2 gånger per dag, bör batterikapaciteten vara minst den dubbla dagliga förbrukningen.

Om till exempel daglig konsumtion är 128 Ah (se kap.9.3) ska batterikapaciteten vara 256 Ah

Om vi antar att en konstant förbrukning under ett dygn, så utsätts vårt 256 Ah batteri för en urladdning på  $128/2 = 64$  Ah över 12 h

Tumregeln som fåts från teorin är att användbar kapacitet är 32 % av den nominella. Anta att den maximala perioden mellan urladdningarna är 12 timmar och förbrukningen är  $128/2 = 64$  Ah under denna period, så skulle 32 % innebära att vi behöver ett batteri på  $64 \text{ Ah} / 0.32 = 200$  Ah. Den positiva skillnaden mellan praktik och teori på  $256 - 200 = 56$  Ah kan ses som en kompensering för att urladdningsströmmens storlek inte är konstant utan beror på vilka förbrukare som används och när detta sker.

Uppladdningsperioderna kommer också att variera i längd.

Med andra ord: Teorin leder till samma resultat som tumregeln.

Nu har vi två enkla metoder att beräkna hur stort förbrukningsbatteri som erfordras:

- 1) **Kapaciteten bör vara minst 3 gånger den förväntade förbrukningen under den elverksfria perioden ( $100\% / 32\% = 3.1$ ).**
- 2) **Om förbrukningsbatteriet laddas 2 gånger per dag, ska dess kapacitet vara minst den dubbla förbrukningen.**

Två exempel:

Maximal energimängd som tages från batteriet under den elverksfria perioden: 4 kWh

Minimal kapacitet (12 V system):  $4 \text{ kWh} \times 3 / 12 = 1000$  Ah

Minimal kapacitet (24 V system):  $4 \text{ kWh} \times 3 / 24 = 500$  Ah

Daglig energi som uttages från batteriet: 4 kWh, dvs.  $4000 / 12 = 333$  Ah för ett 12 V system.

Uppladdningar per dag: 2

Minimal batteristorlek (12 V system):  $333 \times 2 = 666$  Ah

**Med en WhisperGen ombord , så blir beräkningarna annorlunda, framförallt då WhisperGen är i drift under långa perioder. Då finns en nästan kontinuerlig energi tillförsel och det har visat sig i praktiken att batteriets kapacitet kan reduceras till 50% eller mer.**

Personligen så seglar jag min trimaran utrustad med en WhisperGen och ett kolfiberbatteri på 105 Ah/ 24 V. Utan WhisperGen men istället med användande av generatorm på motorn, hade ett 600 Ah/24 V batteri behövts!

### 8.4.3. Landanslutning

Där generatorns storlek valts efter den maximala förbrukningen som förväntas så, helt naturligt, måste även landanslutningen klara detta.

Låt oss anta att mikrovågsugnen, som förbrukar 1500 W, är den största förbrukaren ombord.

Vid 1500 W kommer mikron att ta  $1500 / 230 = 6.5$  A från ett 230 V uttag. Redan detta är mer än den vanliga avsäkring på 6 eller 4 A. Om samtidigt varmvattenberedaren slår till (4-5 A) och din kaffebryggare (4 A) börjar sprida den ljuvliga doften av nybryggt kaffe, kommer elförbrukningen att stiga till  $6.5 + 4 + 5 = 15.5$  A.

Med andra ord : Du är inte långt ifrån att utlösa även ett 16 A landuttag.!

För att inte nämna en diskmaskin (9-13 A), en diskmaskin (även den 9-13 A) eller en elspis (16-26 A, eller till och med behov av 3-fas).

**Resultatet är att elverket måste startas även när man ligger förtöjd i en marina.** Inte ett sätt att skaffa sig vänner på grannbåtarna. Dessutom blir det allt vanligare med förbud mot elverksanvändning i marinor.

**Lösningen är att tänka annorlunda och applicera likströmskonceptet för landanslutningen.**

Återigen är då frågan inte "vad är den maximalt förväntade växelströmsförbrukningen?" utan istället "vad är den dagliga energiförbrukningen?".

Mikron tog till exempel 6.5 A, men endast under 5 minuter som mest. Om denna ström kunde utjämnas under 50 minuter, skulle 6.5 A reduceras till en tiondel (0.65 A) men under en tio gånger längre period: 50 minuter istället för 5 minuter.

**Detta är exakt vad likströmskonceptet gör: använder förbrukningsbatteriet till att utjämna toppar i kraftförbrukningen.**

Exemplet som visats i kapitel 9, där mikron verkligen är den största förbrukaren, visar att den dagliga energiförbrukningen när båten är förtöjd är 1.6 kWh, vilket kan översättas till en genomsnittsförbrukning på  $1600 / 24 = 66$  W, eller 5.6 A från ett 12 V förbrukningsbatteri. 66 W är en ström på endast  $66 / 230 = 0.3$  A från landanslutningen!

I praktiken kommer, på grund av förluster och viss reserv för batteriladdning, landströmmen att bli 2 till 4 gånger högre men även 1 A är nästan försumbart.

Exemplet från kapitel 10 visar att med mer elutrustning ombord, kan landströmsbehovet minskas från 8 kW (3-fas 16 A uttag krävs) till endast 1.3 kW (6 A, 230 V uttag).

Vad exemplena visar är att med likströmskonceptet reduceras landströmsbehovet till mellan en fjärdedel och en tiondel, vilket gör det mycket lättare att finna en passande plats i dagens överfulla marinor.

**Men reduktion av landströmsbehovet är inte den enda fördelen med likströmskonceptet, här följer den kompletta listan:**

**Reducering av landströmsbehovet med ända till en tiondel**

Som kommer att visas i följande kapitel, kan likströmskonceptet verkligen resultera i en häpnadsväckande reduktion av landanslutningsbehovet.

Det genomsnittliga kraftbehovet är generellt mindre än en fjärdedel, eller till och med, beroende på kraftförbrukningens karaktär, en tiondel av toppförbrukningen. Batteriladdaren för landanslutningen kan därför vara ganska liten och dess kostnad en liten utgift jämfört med den totala kostnaden för elsystemet ombord.

Ett mindre uttag kommer att vara mycket enklare att finna i en full marina än ett 16 A 1- eller 3 fas uttag!

**Inbyggd stabil och avbrottsfri växelström**

Vad som än händer med landanslutningen, så är batteriet (och invertern) källan till all växelström ombord.

**Inbyggd frekvens- och spännings konvertering**

Batteriladdare fungerar både med 50 och 60 Hz matning. Med en billig transformator eller en laddare som tillåter en stor variation i ingångsspänning (90-260 V) **kan man ansluta sig till land varsomhelst i världen, utan behov av dyra och klumpiga omvandlare.**

**Ökad tillförlitlighet**

Ibland anses Multi;s vara en riskfaktor, eftersom vid ett osannolikt haveri förloras både en inverter och en laddare. Med en landanslutningsladdare bör denna rädsla lugna sig.

#### **8.4.4 Landanslutning och WhisperGen**

Nu blev det väldigt enkelt: Ingen landanslutning behövs.

Ingen kommer att klaga på att WhisperGen används i en marina.

Det är förstås att rekommendera att man har en laddare ombord, ut ifall att....

## 9. Behov upp till 4 kWh per dygn ( 170 W medelförbrukning)

### 9.1. Inledning

Nu är det dags vi går ombord och ser hur saker fungerar i praktiken.

Alla båtar är förstås olika, beroende på användning, ekonomi och ägare. En del båtar är utrustade för att korsa Atlanten eller segla omkring i världen. Andra är avsedda att färdas längs floder och kanaler. Ytterligare går andra till sjöss för en dags fiske. En del båtar seglas och sköts av ägaren, andra är en del av en charterflotta. Sedan kan liknande elinstallationer finnas till exempel husvagnar och i hus utan elnät.

Jag har valt att använda havs båtar för exemplen i de följande kapitlen eftersom det är vad jag själv känner till bäst.

Det är inte speciellt svårt att använda resonemangen i detta och följande kapitel för andra tillämpningar.

Den första båten vi går ombord på är rätt enkel avseende elinstallationerna, och elförbrukningen har hållits så låg som möjligt. Det stämmer bra på en motorbåt på upp till 9 M, eller en segelbåt på 12 M.

Båten har ett 12 V system och vi börjar med en lista på all elutrustning och dess strömförbrukning.

### 9.2. Utrustning och strömförbrukning

**9.2.1. Navigationsutrustning** ( vindinstrument, logg, ekolod o. Dyl.): mindre än 0.2 A

**9.2.2. GPS:** Omkring 0.2 A

**9.2.3. VHF**

Standby konsumtionen är låg (ca 0.1 A) .Sändning tar en hel del ström (ca 5 A) men är inte långvarig, så förbrukningen i Ah förblir låg.

**9.2.4. 3-färgs lanterna eller ankarlanterna:** 25 W (25 /12 V = 2.1 A)

**9.2.5. Autopilot**

Autopiloten kan vara en av de största förbrukarna ombord om den används under längre tid. Motors förbrukning är utan vidare 5 A. När den är i drift med en driftintermittens på 30% kommer genomsnittsförbrukningen bli  $5 \times 0.30 = 1.5$  A. Kom ihåg att detta är en mycket grov uppskattning. I praktiken kommer förbrukningen att bero på båten, dess trim, väder och vind mm.

**9.2.6. Radio**

Speciellt på längre kryssningar, kommer (bil-) radion ofta att vara på. Dess förbrukning är cirka 1 A.

**9.2.7. Belysning**

Numera består kabinbelysningen av halogenlampor ( 10 till 20 W) och lysrör (ca 8 W). Glödljus är inte att rekommendera eftersom de tar upp till 5 gånger mer ström för att åstadkomma lika mycket ljus. Om man antar att det finns 10 lampor som används sporadiskt, kommer förbrukningen att begränsas till cirka 10 Ah per dygn.

**9.2.8. Kylskåp**

Kylning har diskuterats i kapitel 6.2

I detta exempel antar vi att vi har ett kylskåp ombord med en 50 W kompressor som har en driftintermittens på 50%. Enligt min erfarenhet är detta en genomsnittlig kyl avseende energiförbrukning när man seglar i tempererade vatten.

### 9.3. Förbrukning per dygn under segling

Vår utgångspunkt är en 24 timmars period under segel (När man går för maskin är inte strömförbrukningen viktig, eftersom generatoren på maskinen lätt klarar av förbrukningen.)

Nu ska vi fastställa vilken batterikapacitet som behövs för att försörja alla förbrukare under ett dygn.  
I tabellen som följer har förbrukarna delats in i kontinuerliga (C), långvariga (L) och kortvariga (S).

Förbrukare	Förbrukning		Tid / dygn	Drift i %	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere	Timmar	%	kWh	Ah (12 V)
C Navigationsinstrument		0,2	24			5
C GPS		0,2	24			5
C VHF, Stdby		0,1	24			2
S VHF, sändning		5	0,2			1
C Kyl, luftkyld värmeväxlare	50	4,2	24	50		50
L 3-färgslanternor el. ankarlanternor	25	2,1	8			17
L Autopilot		5	20	30		30
L Radio		1	3			3
S Belysning	200		0,6			10
S Övrigt						5
Total förbrukning per dygn					1,5	128
Medelförbrukning per dygn	64	5,3				
Minsta erforderliga batterikapacitet, förutsatt omladdning 2 gånger/ dygn. (Se kapitel 8.4.2.)						256

Notera att kylan är den överlägset största förbrukaren. Kylens strömförbrukning kan halveras om man använder en vattenkyld kondensator istället för en luftkyld samt förbättrar isolationen. Förbrukningen per dygn skulle då reduceras till 103 Ah. Att använda ett gasoldrivet kylskåp (endast användbart på motorbåtar i skyddade vatten) skulle ytterligare reducera förbrukningen till 78 Ah.

## 9.4. Till ankars eller förtöjd utan landanslutning

Återigen utgår vi från en 24 timmars period, men följande gäller både motor- och segelbåtar.

Förbrukare	Förbrukning		Tid /dygn	Drift %	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere	Timmar	%	kWh	Ah (12 V)
C Kyl luftkyld värmeväxlare	50	4,2	24	50		50
L Ankarlanternor	25		8		0,2	17
L Radio		1	3			3
S Belysning, tio 20 W lampor	200		0,6			10
S Övrigt						5
Total förbrukning per dygn					1,0	85
Medelförbrukning per dygn	42	3,5				
Minsta erforderliga batterikapacitet förutsatt omladdning 2 gånger/ dygn. (Se kapitel 8.4.2.)						170

## 9.5. Extra tillbehör

Även på den relativt lilla båt vi diskuterar här finns ofta (eller så vill besättningen ha!) extra utrustning för säkerhet och komfort. Några få sådana föreslås nedan. För vissa behövs en inverter. Eftersom en inverters verkningsgrad är mer än 90%, överser vi med förlusten i energi beräkningarna.

### 9.5.1. Elektroniska navigationssystem

Rätt vanliga numer även på små båtar

### 9.5.2. SSB

Mycket användbar på oceanseglingar



### 9.5.3. Radar

Ökar säkerheten vid segling under natten eller dåligt väder.

### 9.5.4. Mikrovågsugn

En mikrovågsugn drar en hel del ström ( upp till 1.5 kW) för en kort period. När mikron används 12 minuter om dagen blir dess förbrukning i Ah vid 12 V:  $1500 \times 0.2 / 12 = 25$  Ah.

### 9.5.5. Uppvärmning

Man ska alltid välja en dieselvärmare så att förbrukningen begränsas till en dieselpump och en fläkt. Strömförbrukningen hos dessa hålls nere till cirka 5A.

### 9.5.6. Luftkonditionering

Victron Energy har en luftkonditionering som optimerats för minsta möjliga energiförbrukning ( se kap. 6.2.4). Den når en CoP på 5.7, dubbelt så bra som vanligt. Dess strömförbrukning vid 12 V är 30 A och dess kylningsförmåga 2 kW (6800 Btu). Vid en gångtidsintermittens på 50%, är genomsnittsförbrukningen 15 A. Detta är lätt hanterligt framförallt om man ofta går för motor eller har tillgång till land el.

### 9.5.7. Watermaker

Några mycket effektiva Watermakers finns nu att få för 12 V likström. Strömförbrukningen är endast 10 till 20 A för 30-60 liter vatten per timme. Detta har gjort Watermakers (och därigenom en färskvattendusch på däck!) till ett realistiskt tillbehör för små båtar på långa resor.

Förbrukare	Förbrukning		Tid / dygn	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere	Timmar	kWh	Ah (12 V)
C Elektronisk navigations utrustning		2	24		48
C SSB		12	0,1		7
L Radar		3	8		24
S Mikro	1500		0,2	0,3	25
L Värmare		5	6x0,5= 3		15
L Luftkonditionering, kyleffekt 2 kW	350		6x0,5= 3	0,5	(45)
L Watermaker, 150 L/ dygn		10	5		50
Förbrukning per dygn				2,0	169
Medelförbrukning per dygn	85	7			

Med all extrautrustning ombord (utom luftkonditioneringen) blir det totala energibehovet per dag:

- Vid segling:  $1.5 + 2.0 = 3.5$  kWh, eller  $128 + 169 = 297$  Ah
- Till ankars:  $1.0 + 2.0 = 3.0$  kWh, eller  $85 + 169 = 254$  Ah

Vilket kan översättas till följande minimal batterikapacitet och genomsnittlig urladdningström:

- Vid segling:  $297 \times 2 =$  ungefär 600 Ah och 12.3 A urladdningström
- Till ankars:  $254 \times 2 =$  ungefär 500 Ah och 10.5 A urladdningström

Nu ska vi se hur vi producerar den behövliga energin, för den "enkla" båten (1.0-1.5 kWh behov) och den "fullt utrustade" båten (3.0-2.5 kWh behov).

## 9.6. Laddning av batteriet

### 9.6.1. Laddning med motorn

Huvudmaskinen har vanligen en 14 V/ 60 A generator. Detta innebär att generatorm lämnar 60 A vid 6000v/m. Anta att utväxlingsförhållandet mellan remskivorna är 2:1, så måste motorn hålla ett varvtal på 3000 v/m för att nå 60 A laddström.

I praktiken gör ingen så, för det blir för mycket ljud. För laddning hålls motorn vanligen mellan 1500-2000 v/m. Laddningsströmmen blir då 40-80 % av märkeffekten, dvs. 30 till 50 A.

Det innebär att för att ladda förbrukningsbatteriet, 2-3 timmars drift behövs för den "enkla" båten, och 7-8 timmars gångtid för den "fullt utrustade".

Inte så lockande förutsättningar såvida inte:

- Du har för avsikt att gå för maskin en bra bit varje dag.
- Båten används mest för dagsturer.

Om syftet är att bo ombord i dagar eller veckor utan landanslutning, så är behovet att använda motorn för batteriladdning flera timmar per dag (dvs nästan utan belastning) dåligt för motorn och mycket otrevligt för besättningen och eventuella grannar.

Hur kan detta förbättras?

**9.6.2. Öka batterikapaciteten** så du kan segla eller ligga till ankars flera dagar. Detta är en enkel och billig lösning som endast är meningsfull om du alltid har för avsikt att gå för maskin under längre tid inom några dagar, eller kommer att ha en landanslutning tillgänglig.

### 9.6.3. En till eller en större generator (alternator)

Se först kapitel 4 och 5 för vilka villkor som gäller.

Att öka laddströmmen till 80 A skulle resultera i 1-2 timmars laddningstid för den "enkla" båten vilket är acceptabelt. Men kom ihåg att det finns en gräns för laddströmmen som ett batteri klarar utan att förstöras, se kap. 2.5.6.

Bilbatterier, Optima, X-celler kolfiberbatterier och Sonnenschein Dryfit A200 eller Sportline VRLA batterier kan laddas med C/3 tills 80 % laddning, med en absorptionsspänning på 2.4 V/ cell (framförallt VRLA batterier måste temperaturkompenseras tack vare värmeutvecklingen vid så kraftig laddning!). Laddning med 80 A och C/3 kräver ett batteri på  $80 \times 3 = 240$  Ah vilket är mindre än de 258 Ah som behövs för den enkla segelbåten. Som nämnts tidigare, så leder större kapacitet till ökad livslängd. Andra batterier bör laddas med C/5 eller mindre så minst  $80 \times 5 = 400$  Ah krävs.

Att begränsa motorns gångtid till 2 timmar (2 omgångar om 1 timme) på den fullt utrustade båten skulle erfordra en 150 A generator och ett batteri på  $297 \text{ Ah} \times 2 = 594$  Ah (fortfarande endast 3st. X-celler kolfiberbatterier på 230 Ah), eller, om den högsta laddströmmen är C/5, ett  $150 \times 5 = 750$  Ah batteri.

Notera också att generatorer har låg verkningsgrad (ca 50 %) vilket innebär att  $150 \times 15 / 0.5 = 4.5$  kW kommer att tas från maskinen.

#### Två anmärkningar om verkningsgrad:

- 1) I avsikt att kalkylera med förlusterna i batteriet (Energi effektivitet hos batteriet i delvis laddat tillstånd, ca 80%, se kap. 3.3), i kablar, i diodisolatorer, likriktare och för vissa förbrukare, förlusten i en inverter mm, beräknas en laddningsspänning på 15 respektive 30 V i alla kalkyler för batteriladdning. Med andra ord: verkningsgraden antas vara på  $n = 12 / 15 = 80\%$ .
  - Urladdning av ett batteri med 150 Ah vid 12 V innebär en energiförbrukning på  $150 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1.8$  kWh
  - Återladdning med 150 Ah vid "15 V" innebär en energitillförsel på  $150 \text{ Ah} \times 15 \text{ V} = 2.25$  kWh
  - Skillnaden,  $2.25 - 1.8 = 0.45$  kWh förloras i processen.
- 2) En energikonsumtion på 4 kWh, som är fallet i detta kapitel, som till 100 % tas från batteriet fordrar  $4 \text{ kWh} / 0.8 = 5$  kWh från generatormotorn. Med en generator och remdrifts verkningsgrad på 50 %, måste motorn ge  $5 \text{ kWh} / 0.5 = 10$  kWh. Då går dessutom motorn med en belastning på endast 10-20%, vilket innebär en förbränningsverkningsgrad på något som 10%...  
Verkningsgrad för hela kedjan:  $n = 0.8 \times 0.5 \times 0.1 = 0.04$  (4 %).

### 9.6.4. Solceller

Under till exempel somrarna i Nederländerna kan solceller, horisontellt monterade, ge ungefär 300 Wh per dag och kvadratmeter (1kvm = 2 st 50 W paneler). Det räcker för att ladda batteriet med 25 Ah per dag och kvadratmeter. I medelhavsområdet stiger det till ca 35 Ah, och i västindien till 50 Ah. Solceller kan därför ge ett avsevärt bidrag, Speciellt på flerskrovsbåtar och motorbåtar som ofta har gott om däcksyta som kan utnyttjas.

### 9.6.5. Vindkraftverk

Ett vindkraftverk med en propeller diameter på 1 meter levererar cirka 25 W (2 A till ett 12 V batteri) vid en vindhastighet på 10 knop. Ett tillskott på 40-80 Ah per dygn är en möjlighet att räkna med. Där strömförbrukningen är låg, kan solceller och vindkraftverk ge ett avsevärt tillskott och reducera drifttiden för motorn radikalt.

På något större båtar är solceller eller vindkraftverk en mycket bra lösning, för att ladda batterier och hålla dem 100 % laddade under perioder när ingen är ombord och båten inte är i bruk. Men, bra regulatorer är ett måste! För att skydda batterierna från överladdning.

### 9.6.6. Släpgenerator (på axel eller bogserad)

Under segling kan ström genereras med en propelleraxelgenerator (nackdel: ökat vattenmotstånd, oljud och slitage) eller med en liten fristående generator som hängs över relingen eller bogseras. Den senare kan ge runt 12 W, eller 1 A per knops fart genom vattnet, dvs. 40-100 Ah till ett 12 V batteri under ett dygn, vilket är tillräckligt för att täcka förbrukningen vid segling jämfört med förbrukningen när man ligger förankrad.

Det med cirka 30 kg ökade vattenmotståndet kommer dock att sänka farten med ungefär 0.5 knop.

### 9.6.7. Landanslutning

Det bästa sättet att ansluta landström är via en likriktare, eller med andra ord, använda likströmskonceptet (se kap. 8.2.1 och 8.4.3). Som visas nedan, så är tumregeln att likriktaren ska kunna leverera minst den dubbla dagliga energiåtgången, och 3-4 gånger energiåtgången om batteriet måste kunna laddas under en dag.

För till exempel den fullutrustade båten är förbrukningen förtöjd (vilket innebär att ingen kraft förbrukas av lanternor, navigationsutrustning, SSB eller watermaker) 132 Ah eller 1.6 kWh.

- Vid dubbling av daglig förbrukning, ska laddaren kunna ge  $1.6 \text{ kWh} \times 2 / 24 = 133 \text{ W}$ , vilket vid 12 V innebär  $133 / 12 = 11 \text{ A}$ . Genomsnittsförbrukningen är  $11 / 2 = 5.5 \text{ A}$ , vilket lämnar 5.5 A för uppladdning av batteriet. Den minimala batterikapaciteten var 500 Ah, så uppladdning från 50% urladdning till 80-90% laddning (som ska följas av en tillräcklig absorptions period, se kap. 4.4) skulle ta cirka  $(500/2)/5.5 = 46$  timmar.
- 
- Vid fyra gånger daglig energiförbrukning ska likriktaren leverera 22 A, vilket lämnar 16.5 A för uppladdningen av batteriet. Att ladda till 80-90% skulle då ta 15 timmar.

I praktiken installerar man antingen en 25 A eller en 50 A likriktare. En 50 A likriktare tar som mest  $50 \text{ A} \times 15 \text{ V} / 230 \text{ V} = 3.3 \text{ A}$  från landanslutningen, så även 4 A räcker.

Ett problem kan vara att en varmvattenberedare förbrukar ytterligare 5 A landström. Lösningen: anslut beredaren till batteriet via en inverter.

### 9.7. Slutsatser

- En eller flera alternativa energikällor såsom solceller, vindkraftverk eller släpgenerator kan bidra med ytterst påtagliga 1-2.5 kWh (100-200 Ah vid 12 V) till den dagliga energiförbrukningen.
- Den praktiska gränsen för daglig uppladdning av ett 12 V batteri med generatoren på motorn är cirka 4 kWh, eller 300 Ah vid 14 V. **Detta är dock tillräckligt för all extra lyx som beskrivs i kapitel 9.5!** Vid 24 V och åter en generator på 150 A (en belastning för motorn på 8.4 kW!) kan man öka den dagliga förbrukningen till 8 kW.
- En ineffektiv kyl (50 W kompressor som går utan avbrott) konsumerar upp till 100 Ah av din högt värderade batterikapacitet.
- Implementering av likströmskonceptet även för landanslutningen begränsar landströmbehovet till 4 A.

## 10. Behov upp till 14 kWh per dag (medelförbrukning 600 W)

### 10.1. Inledning

I kapitel 9 såg vi att för upp till 4 kWh förbrukning per dag, är ett ganska enkelt likströms system helt tillfredställande. Förutom grundläggande förbrukare, för vilka cirka 1.5 kWh behövdes, var 2.5 kWh per dag tillgängligt för drift av extra utrustning, som höjer säkerheten eller förbättrar komforten ombord.

Den erforderliga batterikapaciteten varierade mellan 250 Ah/12 V för den "enkla" båten, till 600 Ah/12 V för den "fullt utrustade" båten.

Även över 4 kWh per dygn, kan ett system med kraftfulla generatorer på huvudmaskinen vara möjligt (och huvudmaskinen är tillförlitligare än ett litet 3000 v/m elverk). Med hänsyn till oljud, tillförlitlighet och verkningsgrad är det emellertid definitivt värdefullt att undersöka alternativen.

De tillgängliga alternativen är:

- Ett växelströms elverk för direkt drift av växelströmsförbrukare: växelströmskonceptet.
- Ett mindre batteriassisterat elverk: det batteriassisterade växelströmssystemet
- Ett lågspänningselverk eller en WhisperGen: Utveckling av likströmskonceptet i föregående kapitel till högre effektförbrukning.

En daglig energiförbrukning på 14 kWh är rätt så stor och kan mycket väl vara din medel förbrukning i ditt hem på land. Kontrollera din elräkning!

Vad gäller båtar, så tittar vi på motorbåtar och katamaraner på upp till 15 m (49 ft), och enskrovs segelbåtar på upp till 18 m (59 ft).

Följande uträkningar avser ett 24 V förbrukningsbatteri. För att omvandla detta till 12 V, fördubbla helt enkelt alla ström- och Ah-angivelser.

Inledningsvis: Lista över standardutrustningen

## 10.2. Utrustning, minimalt

### 10.2.1. Navigationsutrustning

En navigationsdator är nära nog standard på en större båt. Inkluderande GPS, VHF, SSB, radar och Inmarsat, så stiger medelförbrukningen till mellan 2 och 5 A vid 24 V.

### 10.2.2. Lanterner: 25 W

### 10.2.3. Autopilot

Effektförbrukning beror på modell, sjöförhållanden, trimning osv.

I medelvärde: mellan 5-10 A i drift, gångtid cirka 30%

### 10.2.4. Kyl och frys

Vi antar att två 50 W kompressorer med sjövattnenkyllning installerats. Vidare antar vi att, för att hålla förbrukningen nere, stor möda har lagts på att isolera bra. Detta kan begränsa gångtiden på kylens kompressor till 25 %, och frysens till 50 %.

### 10.2.5. Belysning

Mer lampor och mera bruk av dessa än på en mindre båt

Genomsnitt: 20 Ah per dygn.

### 10.2.6. Radio

Kraftigare och fler högtalare än på den mindre båten, ungefär 2 A

### 10.2.7. Övriga förbrukare

Vi förutsätter mer bruk av pumpar (t, ex. för dusch) och arbetar med 10 Ah.

## 10.3 Segling

Som tidigare i kapitel 9, ska vi nu beräkna förbrukningen per dygn under segel.

Förbrukare	Förbrukning		Tid/ dygn	Drift %	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere			Timmar	%
C Navigationsutrustning		2	24		1,2	48
L Lanternor	25	1	8		0,2	8
L Autopilot		5	20	30	0,8	30
C Kyl o. frys, vattenkylda	50+50		24	25+50	0,9	38
S Radio		2	3		0,1	6
S Belysning	400		1,2		0,5	20
S Övrigt					0,2	10
Total förbrukning per dygn					3,8	160
Medelförbrukning per dygn					160	6,7
Minsta erforderliga batterikapacitet förutsatt omladdning 2 gånger/ dygn. (Se kapitel 8.4.2)						320

Vad vi kan lära oss av denna tabell:

- Genom att investera i effektivitet och isolering, så är energiförbrukningen hos kyl och frys nere på samma nivå som övriga förbrukare. Alltför ofta gör dålig konstruktion att kompressorerna går nästan hela tiden, vilket skulle förbruka ytterligare 60 Ah per dygn!
- Vid segling är den minimala energiförbrukningen på en 12-18 m båt ungefär 4 kWh / dygn. Detta är det samma som 160 Ah från ett 24 V batteri, eller 320 Ah från ett 12 V batteri.
- Den genomsnittliga strömförbrukningen är 6.7 A vid 24 V, försumbart under motorgång:

## 10.4 Till ankars eller förtöjd utan landanslutning

Följande tabell gäller både segel- och motorbåtar.

Förbrukare	Förbrukning		Tid/ dygn	Drift %	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere			Timmar	%
L Ankarlanterna	25		8		0,2	8
L Kyl o. frys, vattenkylda	50+50		24	25+50	0,9	38
S Radio		2	3		0,1	6
S Belysning	400		1,2		0,5	20
S Övrigt					0,2	10
Total förbrukning per dygn					2,0	82
Medelförbrukning per dygn					82	3,4
Minsta batterikapacitet förutsatt omladdning 2 gånger/ dygn.(Se kapitel 8.4.2.)						164

## 10.5 Extra tillbehör

Från listan på extra tillbehör i kapitel 9.5, har elektroniska navigationssystem, SSB och radar inkluderats i listan i kapitel 10.2. Förutom övriga extra tillbehör som nämnts i 9.5, finns några till att överväga, nu när vi tittar på en större båt.

### 10.5.1. Vattenkokare

Mycket bekväm för att koka vatten. Värme kapaciteten hos 1 liter vatten är 1.16 Wh per grad, se kap. 6.4. Så för att koka 1 liter vatten förbrukas cirka 0.1 kWh, dvs. 4.2 Ah från ett 24 V batteri.

### 10.5.2. Elspis

Att ha gasol ombord är riskfullt och att släpa omkring på gasolflaskor inget nöje. Med en 2-plattors häll på 2 kW vardera blir toppeffekten 4 kW (dvs. nästan 200 A vid 24 V). Fyrplattor kommer att kräva mellan 6-8 kW i toppeffekt. Att laga ett mål mat för fyra personer förbrukar ungefär 1.2 kWh, dvs. 50 Ah (se kap. 6.4)

### 10.5.3. Liten tvättmaskin

Detta har nämnts i kap. 6.3.

Energiförbrukningen för ett tvätt och tork program är cirka 2.7 kWh.

Större delen förbrukas till uppvärmning och torkning. Att varmfylla (försörja maskinen med varm- istället för kall vatten) och utelämna torkningen skulle reducera förbrukningen till cirka 0.5 kWh.

### 10.5.4. Liten diskmaskin

Förbrukning cirka 1 kWh.

Varmvatten matning reducerar energiförbrukningen till mindre än 0.5 kWh.

Vi ska nu beräkna total konsumtionen under ett dygn om all denna lyx används ombord, förutsättandes en besättning om fyra, och ett tropiskt klimat, så att istället för varmare utnyttjar vi en luftkonditionering.

I den första tabellen antar vi att istället för en högeffektiv likströms, används en konventionell nätspänningsmodell. I vårt exempel brukas den 12 timmar om dagen och kompressorn har en gångtid på 50%.

I likhet därmed, används en högtrycks watermaker istället för den mycket effektivare likströms vatten-hydrauliska typen.

Vi antar också att tvätt- och disk maskin används utan varmvatten matning.

Förbrukare	Förbrukning		Tid / dygn	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere	Timmar	kWh	Ah (24 V)
Mikrovågsugn	1500		0,25	0,4	16
Vattenkokare 6 L per dag	2000			0,6	25
Elspis, 4 personer	6000			1,2	50
Värmare		3	6x0,5= 3		(9)
Luftkonditionering, kyleffekt 4 kW	1400		12x0,5= 6	8,4	350
Watermaker, 200 L per dag				1,4	60
Liten tvättmaskin, varannan dag	2000			0,5x2,7	56
Liten diskmaskin, dagligen	2000			1,0	42
Fler pumpar					10
Förbrukning per dygn				25	609

Tabellen visar att framförallt luftkonditioneringen är kraftkrävande, trots att vi förutsatt endast 12 timmars drift per dygn. Med 8.4 kWh förbrukning om dagen, vilket kan översättas till 350 Ah per dag om den drivs (via en inverter), är den mer energi krävande än all annan utrustning tillsammans!

Ett batteri på 1500 Ah skulle krävas för att uppnå en generatorfri period på 20 timmar. Fastän sådana anläggningar finns, är det vanligare att köra elverket när luftkonditioneringen är igång, och acceptera oljudet, underhållet och bränsleåtgången.

Nu, det första steget för att reducera kraftkonsumtionen, om en luftkonditionering är ett måste, är att använda den högeffektiva likströmskonditioneringen som nämnts i kapitel 9.5.6 samt också byta Water maker:n till en mycket effektivare (och också tystare) likströms vatten-hydraulisk typ. Resultatet blir som följer:

Förbrukare	Förbrukning		Tid / dygn	Förbrukning per dygn	
	Watt	Ampere	Timmar	kWh	Ah (24 V)
Mikrovågsugn	1500		0,25	0,4	16
Vattenkokare 6 L per dag	2000			0,6	25
Eldspis, 4 personer	6000			1,2	50
Värmare		3	6x0,5=3		(9)
Luftkonditionering, kyleffekt 4 kW	700	29	12x0,5= 6	4,2	175
Watermaker, 200 L per dag		10	3,3	1,4	33
Liten tvättmaskin, varannan dag	2000			0,5x2,7	56
Liten diskmaskin, dagligen	2000			1,0	42
Fler pumpar					10
Förbrukning per dygn				9,6	407

Tillsammans med grundförbrukningen på en segelbåt, blir förbrukningen per dygn nu:

- Med luftkonditionering:  $160 + 407 = 567$  Ah per dygn
- Vid en genomsnittsström på:  $567 / 24 = 24$  A
- Total energiförbrukning per dygn:  $567 \times 24 = 13.6$  kWh
- Utan luftkonditionering:  $160 + 232 = 392$  Ah per dygn
- vid en genomsnittsström på:  $392 / 24 = 16$  A
- total energiförbrukning per dygn:  $392 \times 24 = 9.4$  kWh

## 10.6. Energi framställning

### 10.6.1. Med generator på huvudmaskin

Detta är definitivt möjligt, se kap. 9

### 10.6.2. Alternativa energikällor

Som förklarats i kapitel 9, så kan solceller vara ett utmärkt sätt att ladda batterierna under veckan.

När man seglar, kan solceller (1 kvm), vindkraftverk (1 meters diameter), och en släpgenerator tillsammans ge nästan 2.4 kWh (=100 Ah i ett 24 V batteri) under ett dygn. Med andra ord: Tillskottet från alternativa energikällor kan i betydande utsträckning reducera gångtimmarna för maskinen om inte mycket mer än den nödvändiga utrustningen används ombord.

Men när det dagliga energi behovet stiger ytterligare, måste andra sätt att producera el till. Alternativen kommer att diskuteras i nästa kapitel.

### 10.6.3. Med elverk

Den genom tiderna vanliga metoden att hantera högt effekt behov hos till exempel en tvättmaskin eller en elspis har varit att installera ett växelströms elverk, som startas vid kraftbehov. Elverket körs exempelvis varje kväll i 2-4 timmar då middagen lagas och tills disken är klar. Under dessa timmar kan man köra en tvättmaskin, torktumlare, Watermaker:n, ladda batterierna och värma vatten (antingen elektriskt eller med kylvattnet från elverket).

Om så behövs, kan elverket köras en till period om en eller två timmar varje frukost.

Generellt bör elverksperioden hållas så kort som möjligt, av följande skäl:

- Oljud och vibrationer
- Slitage och underhåll
- Förhindra drift med låg last, eftersom detta ökar förslitning och underhåll
- Bränsleförbrukning

Vidare, på grund av tillförlitlighet och uthållighet, är det att tillråda att välja en 1500 v/m (50 Hz) eller 1800 r/m (60 Hz) modell, med en motor med 2 eller fler cylindrar.

### Batteri storlek

När vi vet hur lång tid elverket kommer att vara i drift, i vårt exempel minst 4 timmar per dag, kan vi beräkna hur många Ah batteriet måste kunna lämna under den elverksfria perioden:

- a) Om under segel, ungefär  $24 - 4 = 20$  timmar med den grundläggande förbrukningen som fastslagits i kapitel 10.3, eller  $160 \times 20 / 24 = 133$  Ah
- b) Avseende annan utrustning, låt oss anta att mikron, vattenkokaren och två tredjedelar av luftkonditioneringens drift också kommer under den elverksfria perioden. Det innebär:  
 $16 + 25 + 175 \times 2/3 = 158$  Ah. Totalt  $133 + 158 = 291$  Ah. För detta behöver vi ett batteri på minst 600 Ah (2 omladdningar per dag, se kap. 8.4.2) och med lite reserv (tex . luftkonditionering under natten) blir detta 800 Ah.

En normal växelströms luftkonditionering skulle öka Ah från batteriet till  $133 + 16 + 25 + 350 \times 2/3 = 407$  Ah, vilket skulle öka batteristorleken till 1000 Ah!

### Inverters och batteriladdare

Som inverter, så är en Multi 24/3000/70 kombinerad laddare-inverter tillräckligt stor (eftersom elverket kan startas då mer än 2 kW behövs) men som laddare kan Multi;n endast lämna  $4 \times 70 = 280$  Ah under elverks perioden. Under den perioden måste 291 Ah laddas, plus ytterligare 4 timmars grund förbrukning, dvs  $6.7 \times 4 = 27$  Ah. Med lite marginal när vi 100 A laddström. Så, förutom Multin, behövs installation av en 24 V/ 50 A laddare.

### Elverket

Rör elspisen behövs 6 kW, plus  $100 \times 30 = 3$  kW för laddarna. Med viss marginal för att kunna driva åtminstone något mer (luftkonditionering t. Ex.) bör det rätta valet vara 12 kW.

### Landanslutning och frekvensomvandlare

I vårt exempel kan effektåtgången via landanslutningen begränsas till cirka 8 kW, eftersom det är gott om tid för batteriladdningen. Emellertid innebär 8 kW att en 3-fas anslutning behövs, så det är ett gott skäl att även välja ett 3-fas elverk, trots de fasbalans problem som kan uppstå.

Ström från land i Amerika innebär en frekvensomvandlare, även den på 8 kW.

Halv vägs genom dessa beräkningar kommer du troligen att tänka att det inte är möjligt med detta på en 15 m segelbåt eller 13 m motorbåt. Systemen blir för stora, för dyra, tunga och komplicerade! Jovisst!

I konsekvens därmed, så finner man bara installationer som beskrivits ovan på ganska stora båtar, till exempel segelbåtar på 20 m, eller 15 m motorbåtar.

### Vad kan göras för att det ska fungera på mindre båtar?

- 1) Den självklara lösningen är att släppa elspisen och använda gasol istället. Då kan ett 6 kW elverk som är i drift 4 till 8 timmar om dagen, beroende på luftkonditioneringsbehovet, räcka (ofta minskas elverket ännu mer, till en encylindrig 3.5 kW modell), att då använda någon utrustning med nätspänningsdrift såsom luftkonditionering, watermaker eller dykluftkompressor blir problematiskt eftersom generatören inte klarar av startströmmarna.
- 2) För det andra, luftkonditioneringen (växelström) kan begränsas till att användas till elverkets drift tid, eller bytas till en högeffektiv likströms modell.
- 3) Och för det tredje, så genom att implementera likströmskonceptet vid landanslutning (se kap. 8.2 och 8.4.3) kan landanslutningens effektbehov minskas från 8 kW till 1.2 kW ( i Europa innebär det ett 1-fas, 6 A uttag(. Frekvensomvandling blir då en inbyggd funktion i systemet. För att använda likströmskonceptet ska landanslutningen kopplas till en 40-50 A likriktare som laddar batterierna och alla växelströmsförbrukare ombord anslutas till 2 eller 3 parallellkopplade inverters på 2.5 kW styck( eller hellre Multi;s, se nästa kapitel).

Två alternativ till för att reducera elverkets märkeffekt omtalas i nästa kapitel.

## 10.6.4. Power Control och Power Assist

**Att använda Multi;s och Power Control** tillsammans med ett elverk har följande fördelar (se också kap. 8):

- Avbrottsfri växelström. När elverket är avstängt, levererar Multi's växelströmmen ombord. Efter att elverket startats, kommer belastningen automatiskt att kopplas över till generatören och Multi;n övergår till batteriladdning. Motsatsen sker när elverket stoppas.
- PowerControl funktionen eliminerar risken för att elverket överlastas. Batteriladdningsströmmen kommer automatiskt att reduceras om, tillsammans med andra förbrukare, effektförbrukningen hos Multi;s (vilket med 2 st Multis kan bli så högt som  $2 \times 70 \text{ A} \times 30 \text{ V} = 4,2 \text{ kW}$ ) skulle överlasta generatören.



## PowerAssist: MultiPlus som elverks booster

Detta är en option hos Phoenix MultiPlus som medger paralleldrift med elverk eller landanslutning (se också kap. 8).

Låt oss först se på paralleldrift med ett elverk, till exempel 6 kW elverk på den seglande båten i föregående kapitel.

Att driva två Multi;s parallellt med elverket skulle öka den kontinuerliga växelströms uteffekten från 6 kW till 11 kW, och öka toppeffekten till mer än 15 kW. Detta återger oss elspisen ombord. Närhelst effektbehovet minskas till mindre än den för inställda gränsen (som i vårt exempel skulle vara 5 kW för 6kW elverket, i avsikt att inte belasta generatorm kontinuerligt med full last) kommer Multi;s att ta överskottseffekten från generatorm till laddning av batterierna, upp till  $2 \times 70 \text{ A} = 140 \text{ A}$ .

I likhet därmed, så vid parallellkoppling med landanslutningen, som till exempel kan ha en märkström på 16 A (i Europa innebär detta  $16 \times 230 = 3680 \text{ W}$ , eller 3.7 kW), ökas den tillgängliga effekten till 8 kW.

### 10.6.5 En ännu bättre lösning är att använda likströmskonceptet för landanslutningen.

Likströmskonceptet minskar landanslutningens effektbehov till ungefär den dubbla medelförbrukningen ombord (se kap. 8.4.3). Om genomsnittsförbrukningen är 600 W eller mindre (= 14 kWh eller mindre per dygn) kan en 50 A laddare (strömgränsen satt till 1200 W/30 V = 40 A) ansluten till ett 6 A uttag leverera den behövliga energin. Två eller till och med tre Multi;s (samma som ska fungera parallellt med elverket till sjöss) i inverter mode försörjer alla växelströmsförbrukare ombord.

Av utströmmen på 40 A från laddaren, kommer cirka 20 A vara tillgängligt för laddning av batteriet på 800 Ah. Om man startar vid 50 % urladdning, kommer batteriet vara fullt efter  $400/20 = 20$  timmar.

Likströmskonceptet kommer att kompensera för eventuella störningar på landanslutningen och eliminera behovet av en frekvensomvandlare när man förtöjer på andra sidan Oceanen.

### 10.6.6 Elverk på mindre båtar: slutsatser

Att dimensionera ett elverk efter toppförbrukningen som kan behövas resulterar i ett stort och tungt sådant, och landanslutningen som behövs kommer att vara större än vad som normalt kan erhållas. Om, därtill, en frekvensomvandlare behövs blir systemet extremt dyrt och klumpigt. Istället för att kompromissa avseende komforten ombord, kan ny teknik användas till att reducera kostnad, storlek och vikt på kraftsystemen.

Genom att lägga till ett 800 Ah batteri, 3 Multi med PowerAssist och en 50 A likriktare har vi kunnat:

- införa 2 elverksfria perioder per dygn på totalt 20 timmar
- Reducera elverkets storlek från 12 kW (3-fas) till 6 kW (1-fas).
- Reducera landströmkravet från 8 kW (3-fas, 16 A) till endast 1.3 kW (230 V, 6 A uttag).
- Eliminerat frekvensomvandlar behovet.
- Uppnått avbrottsfri växelström ombord.
- Påtagligt ökat tillförlitligheten och därigenom säkerheten.

### 10.6.7. Lågspännings elverk

Förutom konventionella 50/60 Hz växelströms elverk, så levererar vissa tillverkare också lågspännings elverk.

Uteffekter på upp till 10 kW, vilket innebär en laddnings ström på runt 300 A vid 24 V, finns att få. Lågspänningselverk är mindre, lättare och har högre verkningsgrad än vanliga elverk. Dessutom kan varvtalet varieras efter belastningen, så verkningsgraden förblir hög även vid lägre belastning. Meningen är att man använder lågspänningselverket för batteriladdning och invertertra försörjer växelströms förbrukarna. Storleken på elverket är en fråga om hur lång drift tid per dag som accepteras, Med en energi förbrukning på 14 kWh per dygn, skulle till exempel ett 6kW elverk behöva gå 2-3 timmar om dagen.

## 10.6.8. WhisperGen

WhisperGen kan leverera 30 A likström där ett genomsnitt på 24 A behövs. En komfortabel marginal som medger att hårtorken och brödrosten också kan tas ombord utan problem.

Låt oss se igen, denna gång med ett WhisperGen, hur vi kan planera hushålls sysslorna ombord. Faktiskt blir livet mycket enklare, eftersom vi inte längre styrs av elverkets driftperioder för användning av stora hushålls förbrukare. Vi kan tvätta kläder och diska närhelst det passar, och laga mat på kvällen, till lunchen eller både och.

För att öka vår förståelse av systemet, låt oss gå tillbaka till exemplet med den fullt utrustade båten och anta att vi lagar en middag med två varmrätter (50 Ah behov).

Toppen i strömförbrukningen sker under kvällen Detta är när maten lagas, ljuset är tänd och luftkonditioneringen går för fullt. Förutom den grundläggande förbrukningen, är konsumtionen därför:  $50+20+117 = 220$  Ah under perioden 18.00 till 23.00 på kvällen. Den grundläggande förbrukningen under denna period är navigations instrument, lanternor, autopilot och låt oss säga 10 Ah för "diverse", dvs.  $5 \times (2+1+1.5)+10 = 33$  Ah. Så totalt blir det:  $220+33 = 253$  Ah.

### Välja batteristorlek

Under 5 timmar ger WhisperGen  $30 \times 5 = 150$  Ah, så totalt laddas batteriet ur med  $253-150 = 103$  Ah med en topp som stiger till 150 Ah direkt vid matlagning. Om vi antar att batteriet var nästan fulladdat i början av kvällen så, inklusive en trygg marginal, bör det vara möjligt att klara sig med ett 400 Ah gelbatteri eller (lägre kostnad och vikt) ett 460 Ah kolfiber batteri. Detta är halva storleken jämfört med det 800 Ah batteri som behövdes med elverket!

Batterigruppen kan bestå av 4 st. 12 V, 200 Ah blockceller, antingen gel eller semitraktionära, eller 4 st. 12 V, 230 Ah kolfiberbatterier. Relativt lätt ( $4 \times 70 = 280$  kg för Sonnenschein A400 eller  $4 \times 62 = 248$  kg för X-celler kolfiberbatterier) och lågt pris. 800 Ah batteriet skulle oftast bestå av 12 st, 2V, 800 Ah VRLA eller AGM celler. Dyrt och tungt (800 kg).

Utan luftkonditionering kan WhisperGen stå för elförbrukningen under kvällen, undantaget matlagningen. Det innebär en maximal förbrukning ur batteriet på 50 Ah, direkt efter matlagningen. Låter otroligt, eller hur?

Men i praktiken har dt visat sig stämma:

Jag seglar min trimaran, utrustad med en WhisperGen (under kojens i den förliga hytten), en 2-plattors induktionshäll och massvis med andra eltillämpningar, med ett kolfiberbatteri på 24 V, 105 Ah. Den enda nackdelen med att använda ett så litet batteri är att WhisperGen måste startas och få tid att ladda batteriet till åtminstone 80 % innan man lagar mat.

### Inverterar och batteriladdare

Inverter ( Multi) effekten som behövs beror på vilken elutrustning som används ombord. En 4-plattors elspis skulle kräva 3 parallellkopplade Phoenix 24/3000 inverters. Med en gasolspisräcker 1 eller 2:

### Landanslutning

Med en WhisperGen ombord är inte en landanslutning nödvändig. Vare sig grannar eller besättning kommer att klaga om WhisperGen används för el och värmeproduktion även i en marina. Så överfulla som hamnar ibland kan vara, kan det vara en stor fördel att inte vara beroende av en plats med eluttag.

Personligen har jag faktiskt aldrig använt landanslutning sedan jag fått ombord en WhisperGen.

Men för ökad tillförlitlighet är det klokt att ha ett alternativ, antingen genom att installera Multi, istället för "rena" inverterar och använda en av dessa som batteriladdare om det skulle bli nödvändigt, eller att lägga till en 25 eller 50 A laddare tillsystemet. Med hänsyn till landanslutningen gäller de förutsättningar som diskuterats i kapitel 10.6.5.

### Uppvärmning, varmvatten och WhisperGen;s verkningsgrad

Med en stor vattentank eller en Watermaker ombord, är mycket vatten tillgängligt. En varm dusch en eller två gånger om dagen, tvätt, disk varmt vatten för matlagning eller tebrygning innebär att cirka 50 l varmvatten förbrukas per person och dag. För att värma vattnet, inklusive förluster, åtgår cirka 5 kWh per person. Med fyra ombord uppgår detta då till  $4 \times 5 = 20$  kWh och en WhisperGen måste gå mer än 3 timmar för att producera detta. Under denna tid, då både el och värme används, kommer WhisperGen;s verkningsgrad att vara 95%. Övrig tid, för endast elproduktion; faller detta till ungefär 15 %. Med fyra personer ombord samt inget uppvärmningsbehov kommer WhisperGen;s verkningsgrad att bli enligt följande:

- I drift 3 timmar om dagen, producerande 200 l varmvatten och  $3 \times 30 = 90$  Ah ( 24 V system): Verkningsgrad = 95%
- I drift 6 timmar om dagen, producerande 200 l varmvatten och  $6 \times 30 = 180$  Ah: Verkningsgrad  $(95 \times 3 + 15 \times 9) / 12 = 55$  %
- I drift 12 timmar per dag, producerande 200 l varmvatten och  $12 \times 30 = 360$  Ah: verkningsgrad  $(95 \times 3 + 15 \times 9) / 12 = 35$

- I drift 20 timmar om dagen, producerande 200 l varmvatten och  $20 \times 30 = 600$  Ah: verkningsgrad  $(95 \times 3 + 15 \times 17) / 20 = 27\%$   
Vad ovanstående visar, är att även då WhisperGen är i drift 20 timmar om dagen med värmebehov under endast 3 timmar, så är verkningsgraden i nivå med ett dieselelverk med full belastning.

När uppvärmning också behövs, stiger verkningsgraden, till maximala 95%.

### Verkningsgraden hos ett dieseldrivet elverk

Verkningsgraden hos ett dieseldrivet elverk överskrider 30 % vid full last. Verkningsgraden sjunker då belastningen minskar. På en båt kommer elverket oftast att gå med låg belastning. Den typiska verkningsgraden kommer att vara 10 till 20 %. Verkningsgraden kan förbättras avsevärt med PowerControl och PowerAssist (se kap. 8.3.3 och 8.3.4).

## 10.6.9. Energiproduktion på en 9-15 m båt under gång eller till ankars

Även med den kompletta önskelistan enligt kap. 10.5 installerad, kan generatorerna på huvudmaskinen på en motorbåt med lätthet täcka den genomsnittliga förbrukningen på 24 A vid 24 V under gång. Med andra ord, Om man har för avsikt att gå för maskin flera timmar om dagen eller har landström varje natt, så kan en förbrukning på 14 kWh hanteras utan behov av ett elverk eller en WhisperGen.

Till ankars kommer förbrukningen att minska till cirka 22 A, eftersom navigationsutrustningen kommer att stängas av.

Om man ligger förankrad under längre tid, kommer ett elverk eller en WhisperGen att behövas, som nämns i kap. 10.6.3 till 10.6.6.

## 10.7. Slutsatser

Följande tabell summerar alternativen som diskuterats.

Producera upp till 14 kWh per dygn (600 W medel)			
	WhisperGen	6 kW elverk tillsammans med PowerAssist	12 kW elverk
<b>WhisperGen</b>			
Timmar per dygn	20		
Bränsleförbrukning Per dygn	14 liter		
Vikt	90 kg		
<b>Elverk</b>			
Timmar per dygn		3 till 8	4 till 8
Bränsleförbrukning		9 liter	11 liter
Buller		67 dBA	69 dBA
Vikt		250 kg	350 kg
<b>Batteri</b>			
Kapacitet	24 V/ 460 Ah	24 V/ 800 Ah	24 V/ 800 Ah
Vikt	248 kg	700 kg	700 kg
<b>Landanslutning</b>			
Behov	6 A	6 A (likströmskonceptet)	3-fas, 8 kW
Likriktare	50 A, 8 kg	50 A, 8 kg	50 A, 8 kg
50/60 Hz omvandling	Ja	Ja	Nej. Extra omvandlare behövs
<b>DC-AC invertrar</b>			
Uteffekt	7.5 kW (3xPhoenix inverter 2.5 kW)	7.5 kW (3xMultiPlus)	2.5 kW Multi
Vikt	54 kg	54 kg	18 kg
Total vikt komplett installation	400 kg	1012 kg	1076 kg
2 veckors bränsleförbrukning	196 L	126 L	154 L
Total vikt inkl. 2 veckors bränsle	565 kg	1118 kg	1205 kg

Vad kan vi lära oss av tabellen?

### 10.7.1 Låt oss först titta på den konventionella lösningen: ett 12kW elverk

Detta alternativ är tungt och tar upp mycket värdefullt utrymme.

Trots att elverket lätt kan driva en konventionell luftkonditionering, har vi här förutsatt en energiförbrukning på 14 kWh per dygn och därigenom en lågspännings konditionering. Med PowerControl, där laddningen automatiskt reduceras vid risk för överlast, kan ett mindre, t ex 9 kW, elverk räcka.

Den genomsnittliga belastningen för ett 12 kW elverk skulle bli:

- Vid 4 timmars drift per dag:  $14 / (4 \times 12) = 29\%$
- Vid 6 timmars drift per dag:  $14 / (6 \times 12) = 19\%$

Och för ett 9 kW elverk:

- Vid 4 timmars drift per dag:  $14 / (4 \times 9) = 39\%$
- Vid 6 timmars drift per dag:  $14 / (6 \times 9) = 26\%$

Landströms kravet skulle bli omkring 8 kW, om inte likströmskonceptet sätts i bruk, då räcker ett 6 A (= 1.38 kW) uttag.

### 10.7.2. En bättre lösning för utrymme och vikt är ett 6 kW elverk med PowerAssist

Implementering av PowerAssist tillsammans med ett 6 kW elverk skulle i vårt fall med den fullt utrustade båten kräva 2 st. Multi;s. Att använda Likströmskonceptet för land elen skulle kräva 3 st. Multi.

Med PowerAssist kommer merparten av växelströmmen att levereras direkt från generatoren och medelvärde för laddströmmen blir endast 74 A under en 4 timmars elverksdrift.

Om medelförbrukningen per dag oftast är betydligt lägre än 14 kWh, kan man välja ett 1-cylindrigt 3.5 kW elverk.

**Varning:** Speciellt små AC generatorsets med en synkrogenerator har en tendens att bli för varm när den går på full last. I detta fall kan man minska lasten med 30 % för att den inte ska gå sönder. Nästan alla AC generatorsets har en synkrogenerator. Den enda som inte har det är en Fisher Panda . De har en A synkrogenerator.

### 10.7.3. Lägst vikt, inget oljud, inga vibrationer, ingen rök, ingen lukt, varmvatten och värme inkluderade, mindre underhåll och helautomatisk drift är fördelarna med likströmslösningen tillsammans med WhisperGen.

Den enda nackdelen är att elproduktionen begränsas till 18 kWh per dygn, vilket dock, så länge man inte använder luftkonditioneringen mycket, räcker till.

# 11. Behov upp till 48 kWh per dygn (2000 W i genomsnitt)

## 11.1. Inledning

I kapitel 10 såg vi på båtar som förbrukade upp till 14 kWh per dag. Vi konstaterade att 14 kWh är tillräckligt för ett hushåll på 4-6 personer, vare sig ombord på en båt eller i ett hus, med all vanlig elutrustning tillgänglig, så länge som luftkonditionering antingen inte behövs eller endast används i begränsad utsträckning.

Vi såg också att en elförbrukning mellan 4 till 14 kWh är typisk för en motorbåt eller katamaran på 9-15 m, eller en enskrovs segelbåt på 12 till 18 m.

På båtar som är några få meter större, har elförbrukningen en tendens att öka oproportionerligt. Sådana båtar, vare sig chartrade eller inte, har ofta en professionell besättning och istället för 4-6 personer har båten 8-12 ombord. Kryssningar görs mest i subtropiska eller tropiska vatten, så luftkonditioneringen är i drift 12-24 timmar per dygn.

Kraftåtgången är oftast löst enligt följande:

- Ha i drift ett elverk dygnet runt, eller
- Installera ett stort batteri för att klara en elverksfri period på 8 till 20 timmar, och återigen använda elverket när stora förbrukare som elspisar, ugnar, tvättmaskiner och batteriladdare.

Den erforderliga landströmmen är också anseelig (och i hög grad begränsande för valmöjligheten när man söker plats i en marina) eftersom batteriet oftast inte används för att jämna ut förbrukningstoppar. En tung och dyr frekvensomvandlare kommer att behövas för att omvandla 50 Hz till 60 Hz eller tvärtom.

Låt oss först titta ombord på en båt med en daglig medelförbrukning på 48 kWh, vilket ger en medel effekt konsumtion på 2 kW.

## 11.2. Huvudförbrukare

De viktigaste kontinuerliga och långvariga förbrukarna:

- Kylar och frysar: 300 W i medel
- Luftkonditionering: 12 kW (41 000 BTU) driven av en eller flera kompressorer på tillsammans 3 kW

De viktigaste kortvariga förbrukarna:

- En 6-plattors elspis med ugn: topp effekt 12 kW
- En watermaker av högtryckstyp som ger 300 l vatten per timme: 3 kW (starteffekt 15 kW)
- Tvättmaskin och diskmaskin (-er): topp effekt mellan 6 och 12 kW
- En eventuell dykluftkompressor

Andra förbrukare är av mindre betydelse vid systemets dimensionering. Vi antar helt enkelt en medelförbrukning på 2 kW.

## 11.3. Energiproduktion

### 11.3.1. Med ett elverk i kontinuerlig drift

Om det förutsätts att alla andra stora, kortvariga förbrukare är frånsagna under matlagningen, och att i praktiken plattorna och ugnen aldrig kommer att gå på full effekt samtidigt, skulle ett 15 kW elverk vara det minsta möjliga. I praktiken skulle ett 20 kW (3-fas, för att stämma med landanslutningen) elverk installeras. Ofta förses dess motor med ett hydrauliskt kraftuttag för drift av bogpropeller.

Om man valt att köra ett elverk kontinuerligt, kan man lägga till ett andra, mindre elverk på låt oss säga 5 kW, för perioderna då förbrukningen är avsevärt lägre.

Batterier och batteriladdare skulle vara mycket små i detta fall.

Trots att det förefaller enkelt och billigt vid första blicken, har den här lösningen några allvarliga nackdelar:

- För att undvika ett "dött" skepp varje gång man skiftar mellan elverk och/ eller landanslutning, måste ett synkroniserings system användas.
- Ett 20 kW (32 A, 3-fas) landintag krävs.

- En dyr och tung frekvensomvandlare behövs för landanslutning på andra sidan Atlanten.
- Ett 20 kW elverk i kontinuerlig drift kommer att ha en medelbelastning på endast  $2/20 = 10\%$ ! Inte bra för generatoren och inte bra för bränsleförbrukningen. Att lägga till ett andra, mindre elverk skulle öka detta till omkring 20 %. Bättre, men långt ifrån bra.
- Och sedan förstås, oljud, vibrationer, lukt och förorening dygnet runt..... ( och kom ihåg att det blir fler och fler marinor och naturreservat där elverksdrift är förbjudet).

### 11.3.2. Med batteribackup för elverksfria perioder

Detta alternativ för oss tillbaka till 10.6.3 , men med större kraftbehov.

#### Batteristorlek

Batterikapaciteten kommer att bero på den önskade elverksfria perioden, och framförallt på om, eller hur mycket, luftkonditioneringen används under den elverksfria perioden. Låt oss här förutsätta att elverket körs minst två gånger per dag, närhelst spis och ugn används, när watermakern är i drift och när tvätt- eller diskmaskin används. Med andra ord., under cirka 8 timmar om dagen. Vidare antar vi att förbrukningen ur batterierna under den elverksfria perioden i medel är 1.5 kW (63 A), vilket ger  $1.5 \times (24-8) = 24 \text{ kWh} / 24 \text{ V} = 1000 \text{ Ah}$  uttag från batteriet dagligen. Enligt tumregeln i kapitel 8.4.2, behövs ett batteri på 2000 Ah.

Av dagsförbrukningen på 48 kWh, så är 24 kWh levererade av batteriet, och återstående 24 kWh direkt från elverket.

#### Elverket

Under 8 timmar måste elverket återladda 1000 Ah. Då behövs en laddström något över  $1000/8 = 125 \text{ A}$ , till exempel 175 A. För elverket innebär detta en belastning på  $175 \times 30 = 5.25 \text{ kW}$ . Detta kan göras med det tidigare nämnda 20 kW elverket, förutsatt att laddningen avbryts då toppeffekten erfordras för matlagning och några andra förbrukare samtidigt.

Energien som levereras från elverket kommer att bli  $1000 \text{ Ah} \times 30 \text{ V} = 30 \text{ kWh}$  för batteriet, plus 24 kWh som förbrukades direkt enligt ovan, totalt  $30+24 = 54 \text{ kWh}$  inkluderande batteriladdnings förluster.

Genom att lägga till ett 2000 Ah batteri har vi:

- Åstadkommit 2 elverksfria perioder om dagen på cirka 8 timmar vardera
- Reducerat elverkets drift tid från 24 till 8 timmar per dygn.
- Ökat medelbelastningen på ett 20 kW elverk från 2 kW till  $54/8 = 6.75 \text{ kW}$ , inräknat batteriförluster

Men vi behöver fortfarande ett 15 kW landintag och en frekvensomvandlare.

### 11.3.3. Använda parallellkopplade Multi med PowerControl och likströmskonceptet för landanslutning:

- **för automatisk belastningsberoende laddning**
- **för reduktion av landintaget till 3.5 kW**
- **och få frekvensomvandling nästan gratis**

Installation av 5 st. Multi mellan elverket och batteriet ger följande resultat:

- Istället för ett 3-fas elverk, kan ett 1-fas användas: landanslutningen blir också 1-fas (se nedan) och fasbalans problem undviks.
- PowerControl eliminerar risken för överbelastning av elverket. Batteriladdningsströmmen reduceras automatiskt om effektbehovet hos Multi;s (vilket kan vara så stort som  $5 \times 70 \text{ A} \times 30 \text{ V} = 10.5 \text{ kW}$  ). Vid snabbbladdnings behov, men generellt begränsar sig till 5.25 kW) tillsammans med övriga förbrukare annars resulterar i överlast.
- Avbrottsfri kraft. När elverket är avstängt eller kraften används för bogpropellen, kommer Multi att leverera växelströmmen ombord.. När elverket startats, kommer belastningen automatiskt att kopplas över till detta, och Multi;s gå över till laddning.
- Genom att implementera likströmskonceptet, kan landanslutningsbehovet reduceras från 15 till 3.5 kW (i Europa innebär det ett 1-fas, 16 A uttag istället för ett 3-fas) och frekvensomvandling är inbyggt i systemet. För impementering av likströmskonceptet, ska landströmmen kopplas till en 100 A laddare ( eller, för ökad tillförlitlighet, 3 st. 50 A laddare) som laddar batterierna och alla växelströmsförbrukare ombord försörjs av 5 parallellkopplade Multi. 5 Multi ger 10 kW kontinuerligt, och 15 kW kortvarigt. Vid en första titt kan 100 A synas vara väl litet:  $48 \text{ kWh per dygn kan översättas till } (48 \text{ kWh}/24 \text{ t})/24 \text{ V} = 83 \text{ A}$ .

Men å andra sidan är det mycket värdefullt att kunna försörja skeppet med ett 16 A 1-fas uttag.

I praktiken så kommer förbrukningen när man ligger förtöjd att vara högst 40 kWh per dygn och oftast mindre eftersom watermaker, navigationsutrustning mm. inte används, och besättningen mer eller mindre vistas på land. Som minst 30 A är därför tillgängligt för batteriladdning.

#### 11.3.4. Ett steg till: använda MultiPlus och PowerControl för att reducera elverkets storlek med 50%

Med ett behov på 54 kWh och elverksdrift minst 8 timmar om dagen, bör elverkets märkeffekt vara  $54/8 = 6.75$  kW, som med lite marginal för oss till 10 kW (se kap. 8.3 och 8.4).

Om vi har 5 parallellkopplade Multi;s tillsammans med elverket skulle kontinuerliga effekten öka till  $10 + (5 \times 2.5) = 22.2$  kW.

När växelströmsbehovet överskrider ett förinställt värde, till exempel 8 kW för att undvika att köra generatormed maxeffekt, kommer Multi;s att börja leverera extra växelström. Den tillgängliga energin från batteriet på 2000 Ah ( $24 \times 2000 \times 0.5 = 24$  kWh) är mer än nog för att täcka det kortvariga behovet på effekt i 8 till 20 kW området.

När behovet underskrider 8 kW kommer Multi;s att använda eventuellt effektöverskott från elverket till återladdning av batteriet. Den maximala laddströmmen från 5 parallellkopplade Multi är  $5 \times 70 = 350$  A, vilket skulle ta  $350 \text{ A} \times 30 \text{ V} = 10.5$  kW från elverket. Mycket mer än behövt och till och med mer än vad elverket kan leverera.

Den bästa lösningen för landanslutningen är återigen att välja likströmskonceptet som beskrivits i kapitel 11.3.3.

#### Elverket: slutsatser

Genom att till systemet komplettera med ett 2000 Ah batteri, 5 st Multi med Power Assist samt en 100 A likriktare har vi gjort det möjligt att:

- Införa 2 elverksfria perioder ombord på tillsammans 16 timmar
- Reducerat landelbehovet från 15 kW (25 A, 3-fas) till endast 1.3 kW (230 V, 6 A 1-fas uttag).
- Eliminerat behovet av en frekvensomvandlare
- Erhållit avbrottsfri kraft ombord
- Påtagligt ökat tillförlitligheten och därigenom säkerheten

#### 11.3.5. Lågspänningsselverk

Ett alternativ till nätspänningsselverket kan vara ett 10 kW lågspänningsselverk. Se kapitel 10.6.7.

#### 11.3.6. Använda WhisperGen för att reducera elverkets drift tid, minska batterikapaciteten och bränsleförbrukningen

Istället för ett nät- eller låg spänningsselverk, kan 3 WhisperGen, med en uteffekt på  $3 \times 750 \text{ W} = 2.25$  kW, installeras. Eftersom detta är en rätt så kostsam lösning ska vi inte gå in på denna möjlighet här.

Men det finns definitivt goda skäl att ha åtminstone ett WhisperGen ombord:

- Under de 16 timmar då elverket ej är i drift, kommer ett WhisperGen att leverera  $30 \text{ A} \times 16 \text{ timmar} = 480$  Ah, varvid batterikapaciteten kan minskas med  $2 \times 480$  Ah till 1000 Ah, därigenom minskas också vikten med nästan 1000 kg.
- Alternativt, med ett 2000 Ah batteri, kan elverksfria perioden förlängas till oavbrutna 16 timmar eller till och med mer om luftkonditioneringen inte används.
- Elverkets drift tid reduceras ytterligare, från 8 till cirka 6 timmar eller rent av 1-2 timmar då ingen luftkonditionering behövs.
- I drift dygnet runt, kan WhisperGen leverera allt varmvatten som behövs ombord. Förutom vid seglatser i tropiska vatten, kommer mellan 50-100 l varmvatten att användas per person och dag. Med 12 personer ombord uppgår detta till 600-1200 l, och kräver 6 till 12 kW för uppvärmning, vilket erhålles med 12-24 timmars WhisperGen drift.
- När båten lämnas för ankrad, kan WhisperGen, som kan vara i drift utan övervakning i flera månader, hålla batterierna laddade så det finns el för ankarlantanter, kylan och frysen. WhisperGen,s värme kan användas till att hålla varmvattenberedaren varm, förhindra fukt och håla båten frostfri.

**När man ser över alla fördelar, kan jag inte låta bli att fråga**

**”Hur blir det om man installerar 2 WhisperGen?”**

- Batterikapaciteten kan definitivt inte reduceras med ytterligare 960 Ah eftersom de resterande 80 Ah som skulle bli kvar inte är nog för effekt utjämning med hjälp av batteriet. En mer detaljerad effekt av förbrukningsprofilen skulle behöva göras för att fastställa den minsta möjliga batterikapaciteten. Högst sannolikt skulle 6 st 12 V, 230 Ah X-celler kolfiberbatterier (24 V, 690 Ah) räcka. Dessa batterier skulle bli intensivt upp- och urladdade (men mindre än på min katamaran) och hålla i endast 3-4 år. Men vikt, volym och kostnads fördelarna är avsevärda. 690 Ah X-celler kolfiberbatterier väger 372 kg och kostar ungefär 6300 kronor. Ett 1000 Ah slutet Sonnenschein A200 eller GNB Absolyte väger 1000 kg och kostar cirka 54 000 kronor. 2000 Ah alternativet väger 2000 kg och skulle kosta 117 000 kronor.
- Elverks drifttiden minskas förstås ytterligare, Om luftkonditioneringen utnyttjas i begränsad omfattning kommer båten att klara sig utan elverk dygnet runt.

## 11.4. Slutsatser

En jämförelse mellan alternativen för 48 kWh:

Producera 48 kWh (2 kW medel)			
	10 kW elverk med PowerAssist plus en WhisperGen	20 kW elverk med PowerControl och ett WhisperGen	20 kW elverk med en elverks fri period
<b>WhisperGen</b>			
Timmar per dygn	24	24	i.u.
Bränsleförbrukning per dygn	17 liter	17 liter	i.u.
Vikt	90 kg	90 kg	i.u.
<b>Elverk</b>			
Timmar per dygn	6	6	8
Bränsleförbrukning per dygn	15 liter	20 liter	30 liter
Bullernivå i maskinrummet	67 dBA (kan minskas med ljuddämpningskåpa)	69 dBA	69 dBA
Vikt	300 kg	450 kg	450 kg
<b>Batteri</b>			
Kapacitet	24 V 1000 Ah	24 V 1000 Ah	24 V 2000 Ah
Vikt	1000 kg	1000 kg	2000 kg
<b>Landanslutning</b>			
Avsäkring	1.3 kW	1.3 kW	15 kW
Transformator 110/230 V	6 A, 1-fas	6 A, 1-fas	32 A, 3-fas
Vikt 15 kW frekvensomvandlare	20 kg	20 kg	i.u.
	Behövs ej	Behövs ej	545 kg
<b>Likriktare/ inverter</b>			
Likriktare	5 x( Multi Plus)	10 kW x 4 (Multi)	
Invertrar	100 A 12 kg	100 A 12 kg	200 A 24 kg
Vikt	12,5 kW (5x Multi Plus)	10 kW (4x Multi)	2.5 kW
	90 kg	72 kg	18 kg
Total installations vikt	1512 kg	1662 kg	3037 kg
2 veckors bränsleförbrukning	448 liter	518 liter	420 liter
Total vikt inkl. 2 veckors bränsle	1888 kg	2156 kg	3507 kg

Värme från WhisperGen är inte med i beräkningen.

Vad kan vi lära oss av tabellen?



#### **11.4.1. 20 kW elverk med elverksfri period (högra kolumnen).**

Detta alternativ är tungt och batteriet på 2000 Ah dyrt, med risk för höga kostnader om ett misstag avseende batteriskötseln sker eller en olyckshändelse som till exempel en cell havererar.

Att enligt alternativet ha ett elverk igång dygnet runt är inte heller så attraktivt.

Ett andra elverk på till exempel 6 kW kan användas större delen av tiden, i snitt belastat med 1.5 kW, med det större elverket igång då större effekt behövs.

Förutom oväsen och förorening kommer kostnaden att vara hög: även ett lågvarvigt elverk måste renoveras var 8000 till 25 000 timme (1 till 3 år) och givetvis kräva regelbundet underhåll.

Frekvensomvandlaren är den andra tunga och dyra komponenten i denna konfiguration.

#### **11.4.2. Implementering av PowerControl och likströmskonceptet för landanslutning, samt lägga till ett WhisperGen För att reducera batterikapaciteten (mitt kolumnen).**

Implementering av likströmskonceptet löser problemen med landanslutningen (se kap. 11.3.3).

Genom att använda ett WhisperGen, kan batterikapaciteten reduceras till 1000 Ah, vilket minskar vikten med 1000 kg. Med ytterligare ett WhisperGen kan batteriet minskas till cirka 700 Ah och genom att då använda 6 12 V, 230 Ah kolfiberbatterier kan vikten minskas ännu mer, med 600 kg ned till 372 kg.

**Systemets totalvikt skulle då bli 1662-600 = 1062 kg, vilket är mindre än en tredjedel än vad en konventionell lösning hade krävt.**

#### **11.4.3. Utnyttja ett mindre elverk med PowerAssist, likströmskonceptet för landanslutning och ett WhisperGen (vänstra kolumnen)**

Den huvudsakliga skillnaden jämfört med alternativ 2 är det mindre elverket som reducerar vikten med 150 kg till. Ett andra WhisperGen och ett mindre batteri skulle minska vikten till ungefär 900 kg.

## 12. Behov upp till 240 kWh per dygn (10 kW medelförbrukning)

### 12.1. Inledning

I kapitel 11 såg vi att storleken, vikten och komplexiteten hos elförsörjningssystemet kunde reduceras i avsevärd utsträckning genom att konstruera ett välbalanserat system inkluderande ett litet elverk assisterat av Multi;s och ett relativt litet förbrukningsbatteri assisterat av ett eller flera WhisperGen.

I detta kapitel ska vi titta på ännu högre energibehov och se vilken roll WhisperGen och Multi;s kan spela.

### 12.2. Huvudförbrukare

En genomsnittsförbrukning på 10 kW gäller båtar på upp till 30 meter.

- Den största elförbrukaren är generellt luftkonditionering, som är i drift natt som dag vid seglatser i tropiska farvatten. Uppgiften kyleffekt skulle till exempel kunna vara 100 000 BTU (30 kW). Med ett CoP (Coefficient Of Performance, se kap.6.2) på 4 innebär detta att  $30/4 = 7.5$  kW förbrukas då luftkonditioneringen arbetar med full kraft. I snitt under ett dygn kommer förbrukningen att som mest vara 5 kW, och det förklarar omedelbart halva den totala energikonsumtionen.
- De andra huvudförbrukarna är köksutrustning, tvätt och tork, water maker och belysning. Strömförbrukningen är mindre under natten än på dagen, till exempel i proportion 5 till 15 kW.

### 12.3. Energi produktion

#### 12.3.1. Växelströmselverk

Huvudelverket kan, förslagsvis, ha en märkeffekt på 50 kW, tillräckligt för att klara effektbehovet på en stor fest. Ett mindre elverk på till exempel 8 kW kan användas då färre människor är ombord.

Denna uppsättning har samma nackdelar som nämnts i kapitel 11.3.1:

- För att undvika "dött skepp" vid omkoppling mellan elverk och/eller land, behövs synkroniseringsutrustning.
- Ett 50 kW landintag behövs
- En dyr och tung frekvensomvandlare behövs för landanslutning på andra sidan Atlanten.
- Ett 50 kW elverk i drift dygnet runt kommer att ha en medellast på endast  $10 \times 50 = 20$  %. Inte bra för generatoren och inte bra för bränsle ekonomin. Att lägga till ett andra, mindre elverk förbättrar detta till cirka 30 %. Bättre, men fortfarande dåligt.
- Och sedan förstås oljudet, vibrationer, lukt och föroreningar dygnet runt... (Och kom ihåg att allt fler hamnar och natur reservat förbjuder elverks drift).

#### 12.3.2. Lägga till ett batteri för en elverksfri period och batteriassisterad elverksdrift (PowerAssist)

Detta alternativ är endast rimligt om toppeffekten på 50 kW är en exceptionell situation och därtill kortvarig, med ett effektbehov under 20 kW större delen av tiden.

##### Batteriet

Om effekt förbrukningen kan begränsas till i genomsnitt 4.5 kW under längre tid, till exempel 8 timmar under natten och 6-8 timmar under dagen, skulle det dagliga energi uttaget från batteriet bli  $4.5 \times 16 = 72$  kWh eller  $72 \text{ kWh} / 24 \text{ V} = 3000$  Ah. Enligt tumregeln från kapitel 8.4.2, behövs ett batteri på 6000 Ah.

## Elverket, Multi;s och landanslutning

Nu måste vi tänka annorlunda, glömma toppeffektbehovet och istället se på den totala dagliga energiförbrukningen (se kap. 8.4).

Av de 240 kWh som krävs per dag, är i detta exempel 72 Ah levererade från batteriet och resterande 168 kWh direkt från elverket.

Energien som behövs för att åter ladda batteriet är  $3000 \text{ Ah} \times 30 \text{ V} = 90 \text{ kWh}$ .

Energimängden som dagligen måste levereras av elverket blir därigenom  $168+90 = 258 \text{ kWh}$ .

Elverket som är i drift minst 8 timmar per dygn ska ha en effekt på  $258 / 8 = 32 \text{ kW}$ .

Med lite marginal bör ett på 40 kW installeras.

Med installation av 5 Multi;s per fas ökas kontinuerlig uteffekt med  $15 \times 2.5 = 37.5 \text{ kW}$  till  $40+37.5 = 77.5 \text{ kW}$ .

När Växelströmsbehovet överstiger en för inställd gräns, till exempel 35 kW för att undvika att belasta elverket maximalt, kommer

Multi;s att börja leverera ytterligare kraft. Den tillgängliga energin hos batteriet på 6000 Ah ( $24 \times 6000 \times 0.5 = 72 \text{ kWh}$ ) är mer än tillräckligt, för att täcka den kortvariga förbrukningen mellan 35 till 50 kW.

När effektbehovet sjunker under 35 kW, kommer Multi;s att använda effekt överskottet från elverket till batteriladdning. Den maximala laddströmmen från 15 parallella Multi;s är  $15 \times 70 = 1050 \text{ A}$ , vilket skulle ta  $1050 \text{ A} \times 30 = 31.5 \text{ kW}$  från elverket. Mycket mer än vad som behövs: medel laddströmmen kommer att vara  $3000 \text{ Ah} / 8 \text{ tim.} = 375 \text{ A}$ .

En attraktiv egenskap hos Multi är att **de automatiskt kommer att balansera lasten på elverket**: Multi;s kommer att ta mest effekt från den fas (eller faser) som annars har lägst belastning..

En lösning för reduktion av landströmmen är att återigen använda likströmskonceptet. Den dagliga energiförbrukningen på 240 kWh kan översättas till ( $240 \text{ kWh} / 24 \text{ tim.} / 24 \text{ V} = 416 \text{ A}$  vid 24 V, vilket skulle kunna levereras av 6 st. 100 A likriktare. Landström behovet vore då 18 kW (32 A, 3-fas).

Alternativt, eftersom 18 kW inte är så mycket mindre än toppeffekten på 50 kW, kunde Multi arbeta som landströms assistans., vilket också skulle begränsa landström behovet till 18 kW, men frekvensomvandling blir då inte möjligt.

Genom att lägga till ett 6000 Ah batteri, 15 st. Multi med PowerAssist och 6 stycken 100 A batteriladdare har vi gjort det möjligt att:

- Införa två elverks fria perioder per dygn på totalt 16 timmar
- Reducerat elverkets storlek från 50 kW till 40 kW
- Reducerat landströmbehovet från 50 kW (75 A, 3-fas) till 20 kW (32 A, 3-fas)
- Eliminera behovet av en frekvensomvandlare
- Uppnått avbrottsfri kraft ombord
- I hög grad ökat tillförlitligheten och därmed säkerheten

### 12.3.3. En roll för WhisperGen?

Ja!

#### Reducera batteristorlek och vikt.

En eller flera WhisperGen kan användas för att minska batteristorleken och producera varmvatten. Den elektriska uteffekten är 0.75 kW, eller 30 A vid 24 V. Om man räknar med en användbar kapacitet på 50 %, kan förbrukningsbatteriet minskas med 60 Ah för varje timmes WhisperGen drift. Om man dimensionerat för en elverks fri period på 16 timmar per dygn, så kommer en WhisperGen att reducera batterikapacitetens kravet med 960 Ah, vilket också minskar vikten med nästan 1000 kg.

Vad händer om 3 WhisperGen installeras?

1) Batterikapaciteten kunde minskas till  $6000 \text{ Ah} - (3 \times 960 \text{ Ah}) = 3120 \text{ Ah}$ .  
Daglig energi från batteriet:  $(3120/2) \times 24 = 37 \text{ kWh}$ .

2) Elverkets märkeffekt kunde minskas enligt följande:

Energi som behövs för batteriladdning:  $(3120/2) \times 30 \text{ V} = 47 \text{ kWh}$ .

Energi levererad av 3 WhisperGen:  $24 \text{ t} \times 0.75 \text{ kW} \times 3 = 54 \text{ kWh}$ .

Energi som måste levereras av elverket:  $240-37+47-54 = 196 \text{ kWh}$ .

Erforderlig elverks storlek:  $196/8 = 25 \text{ kW}$ , med lite marginal :30 kW.

WhisperGen kommer också att producera  $3 \times 6 \times 24 = 432$  kWh värme, som kan ge 4500 l varmvatten eller Uppvärmning.

- 3) Systemets totalvikt minskas med 3000 kg.
- 4) Med begränsat antal ombord, behöver elverket inte köras alls eller bara några få timmar per dag.
- 5) Kraft och värme när skeppet lämnas förankrat. En eller flera WhisperGen kan användas när skeppet är förankrat för lite belysning, hålla batteriet fulladdat, kyl och frys igång, varmvattenberedaren varm och båten frostfri.

## 12.4. Alternativen för 10 kW genomsnittsförbrukning i jämförelse

<b>Produktion av 240 kWh per dygn (10 kW medel)</b>		
	<b>40 kW elverk med PowerAssist.Elverksfri period. Likströmskonceptet för landanslutning</b>	<b>Växelströmskonceptet</b>
<b>Elverk</b>		
Effekt	40 kW	1x50 kW + 1x10 kW
Drift per dygn	16 timmar	1x10 timmar 1x14 timmar
Bränsleförbrukning per dygn	95 liter	120 liter
Vikt	550 kg	1200 kg
Buller i maskinrum	70 dBA	
<b>Batteri</b>		
kapacitet	6000 Ah	400 Ah
Vikt	6000 kg	400 kg
<b>Landanslutning</b>		
Avsäkring	3 x 32 A	3 x 100 A
<b>Transformator vikt</b>	100 kg	i.u.
<b>Vikt, 50 kW frekvensomvandlare</b>	Behövs ej	1300 kg
<b>DC-AC invertrar</b>		
Effekt	37.5 kW (15 Multi)	6 kW
Vikt	270 kg	54 kg
<b>Likriktare</b>		
Ström	600 A	75 A
Vikt	80 kg	10 kg
<b>Total vikt</b>	7000 kg	2964 kg
<b>Bränsleförbrukning under 2 veckor</b>	1330 liter	1680 liter
<b>Total vikt inkl 2 veckors bränsle</b>	8117 kg	4375 kg
<b>3 WhisperGen för att minska batteristorlek</b>		
Kapacitet	3000 Ah	
Vikt	3000 kg	
<b>Totalvikt</b>	4000 kg	

Värme från WhisperGen är inte med i beräkningen.

Vad kan vi lära oss av tabellen?

Den främsta läxan är att med ett energibehov på 240 kWh per dygn, har vi nått gränsen för de nya komponenter och koncept som presenterats i denna bok.

Batteriet som behövs för att införa PowerAssist och likströmskonceptet blir riktigt klumpigt och mycket dyrt.

Endast då en elverksfri period är ett måste, eller energiförbrukningen oftast är betydligt mindre än 240 kWh per dygn, kan PowerAssist och likströmskonceptet utgöra ett attraktivt val.

## 13. Slutsatser

### 13.1. Elförbrukning på en båt

- På en liten båt är oftast kyl och frys de viktigaste förbrukarna. Att lägga lite pengar på bra isolering och ett vattenkyllt kylsystem kan reducera batterikapacitetsbehovet och laddningstid avsevärt.
- I likhet därmed, kan små luftkonditioneringsystem vara otroligt effektiva.
- Betydelsen för energiförbrukningen hos kontinuerliga och långvariga förbrukare (i huvudsak navigation och kyl utrustning) underskattas ofta
- Betydelsen för energiförbrukningen hos stora, kortvariga förbrukare (mikro, elspis, tvättmaskin, pumpar, elvinschar) överskattas ofta.

### 13.2. Energi produktion

- Det första steget för att öka energitillgången ombord är att välja en större eller flera generatorer på motorn och öka batterikapaciteten till minst 3 gånger generatorns utström (c/3 laddningsförhållande). Annars kommer batteriet att bli överhettat och inte kunna uppta den tillgängliga strömmen.
- När man konstruerar ett litet fristående kraftförsörjningssystem, ska man till en början ignorera den maximala effekten som behövs, för att istället se till det totala energibehovet under ett dygn.
- WhisperGen kan, trots att det endast ger 750 W, producera upp till 18 kWh per dag. Detta är tillräckligt för att täcka elbehovet för en familj eller en grupp på 4-6 personer vare sig det gäller en båt, en husbil eller ett hus utan fast elnät. WhisperGen har specifikt konstruerats för att leverera all behövlig el, varmvatten och uppvärmning för en familj.
- Ett problem som ofta glöms bort när ett elverk installeras är landanslutningen. Om inga andra åtgärder vidtas måste landintagets effekt stämma överens med (eller till och med överskrida, på grund av eluppvärmning av varmvattenberedaren) elverkets märkeffekt. Hur lätt är det att hitta en kajplats med ett 3-fas 16 A uttag?

### 13.3. Likströmskonceptet

- Vid likströmskonceptet är ett batteri kopplat mellan förbrukare och producenter av elkraft. Batteriet levererar ytterligare energi när behovet överskrider tillförseln, och tar upp energi när tillgången är större än förbrukningen.
- Med likströmskonceptet kan stora förbrukare (elspisen t.ex.) fungera med små producenter (WhisperGen eller ett 230V,4 A landintag)
- Likströmskonceptet fungerar som frekvensomvandlare

### 13.4. ”PowerAssist” det batteriassisterade växelströmskonceptet

- I likhet med likströmskonceptet, använder PowerAssist ett batteri för att ge eller ta upp elenergi, men här är länken mellan producent och förbrukare växelström istället för likström. En eller flera Victron Multi som är parallellkopplade med ett elverk kommer att ge extra kraft nät efterfrågan överskrider tillgången och förbruka växelström till laddning av batterierna när tillgången är större än förbrukningen.
- I likhet med likströmskonceptet, medger PowerAssist att stora förbrukare fungerar med mindre elverk eller landintag.
- Som likströmskonceptet sparas vikt och plats. Därtill kommer medelbelastningen på elverket att bli mycket högre. Detta ökar livslängden, minskar underhållet och minskar bränsleförbrukningen.
- PowerAssist går inte att använda för frekvensomvandling. Maximal flexibilitet uppnås genom att också ha likriktare i systemet och använda likströmskonceptet då man ansluter till land.

### 13.5. Förbrukningsbatteriet

- Den användbara kapaciteten är som mest 50 % av märk kapaciteten. Detta beror på att ett batteri inte ska regelbundet urladdas till mer än 70 % och i allmänhet inte kommer att laddas till mer än 80% (20% urladdat).
- På större båtar, där ett påtagligt stort batteri måste installeras för att få en elverksfri period, kan en eller flera WhisperGen användas för att minska vikt och kapacitetsbehovet, och på samma gång värma VV-beredare och när det är kallt även värma båten. Energi per timme från WhisperGen är 0.85 kWh eller 30 A vid 24 V. Om man räknar med att 50 % av batteriet kan utnyttjas, så medger varje driftimme med WhisperGen att kapaciteten minskas med 60 Ah vid 24 V. Om till exempel batteriet har dimensionerats för 16 timmars drift utan elverk, så kommer ett WhisperGen att medge en minskning av batteristorleken med 16x 60=960 Ah och därigenom också en viktreduktion på nästan 1000 kg.

# Innehållsförteckning

**AC-koncept**, 42;62;71

**AC-generator**, 56;57

Dearting, 61;

Effektivitet, 60

**Adaptiv laddning**, 32

**Luftkonditionering**, 36;50

**DC-generator**(Altenator), 30;50

**Effektivitet**, 51

Förbrukning, 50

**Batteri**

Absorptionstid, 28

AGM, 14

Bog propellerbatteri, 29;32

Kapacitet, 45;56;59;63;67

Kapacitet och urladdningstid, 16;22

Kapacitet och temperatur, 17

Kolfiber, 13

Verkningsgrad och laddning, 22

Laddningsspänning, 28

Korrosion, 12

Kostnad, 15

Cykler, 18

Diffusion, 24

Diffusionsprocessen, 12

Dimension och vikt, 16

Utjämningsladdning, 26

Öppna batterier, 13;21

Hållspänning 28

Gasning, 19;25

Gasningsspänning, 21

Gelé, 14

Bly-antimon, 13

Bly-kaesium, 13

Överladdning, 19;28

Snabburladdning, 16;22

Självladdning, 20

Förvittring, 12

Specifikvikt, 21

Spiralcell, 14;25

Startbatteri, 29;31

Stratifikation(skiktning), 4;19

Sulfatering, 13;18;19

Temperatur, 19

Temperatur kompensation, 27

Termisk rundgång, 27

Traktionära batterier, 13

Raka,cirkulära plattor, 13

Underladdning, 19

Ventilering, 25

Ventilerade VLRA,25

Bly-ventilerade VRLA, 13

Vatten/gas/Ah, 26

**Batterikapacitet**

Tillgänglig kapacitet, 45

**Batteri laddare**, 32

Adaptiv laddning,32

Battery safe mode, 33

Battery storage mode, 33

Ladda flera än en batterigrupp, 33

**Batteriladdning**,24

Absorption,24

Absorptionstid, 28

Forcerad laddning, 24

Hållladdning, 25

Hållladdningsspänning,28

Överladdning, 28

**Battery monitor**, 21

**Battery safe mode**, 33

"Prestanda faktor", 35

**Matlagning**, 37

**DC-luftkonditionering**, 10

**DC-koncept**, 10; 41;46;58

**DC-generator**, 41; 58

**Diskmaskin**, 37; 55

**Dykkompressor**, 38

**Effektivitet**

AC-generator, 60

Altenator, 51

WhisperGen, 59

**Elspis**, 37, 55

**Energi**, 34

14 kWh per dag, 53

240 kWh per dag, 67

4 kWh per dag, 48

48 kWh per dag, 62

Dieselbränsle, 16

Vatten,16, 55

**Energiförbrukning**

Luftkonditionering, 36, 50

Bog propeller, 36

Diskmaskin, 55

Dykkompressor, 38

Elspis, 55

Elektrisk matlagning, 37

Elwinch, 36

Frys, 35

vattenkokare, 55

Mikrovågsugn, 50

Kyl, 35

Tvättmaskin, 37, 55

Watermaker, 50

Ankarspel, 36

Frys, 35

**Frekvensomformare**, 57

**Elverksfria perioder**, 42

**Värmepump**, 35

**Syrapprovare**, 21



# Innehållsförteckning

Tillslagsströmmen i en växelströmsmotor, 38

## **Växelriktare**

Parallellkoppling, 10, 42

**Mikrovågsugn**, 50

**Multi**, 10;42;57

Power control, 42

**Multi Plus**, 10

Power Assist, 42

Flerstegsregulator, 31

**Peukert**, 23

**Kraft**, 34

**Power Assist**, 10;43;58;71

**Power control**,10; 42; 57

**Kylning**, 34

**Kyl**, 35

**Landström**, 44; 46; 52

DC-koncept, 46

Frekvens och spännings konvertering, 46

Reducerad landsströmsbehov, 46

**Solenergi**, 51

**Stirlingmotor**, 39

**Frekvensomvandlare**, 38

**Tvättmaskin**, 37; 55

**Släpgenerator**, 52

**Watermaker**, 50

**WhisperAir**, 10, 36

**WhisperGen**, 10; 39; 42 ;59

Effektivitet, 59

Lutning, 40

Underhåll, 40

Livslängd, 40

Vindkraftverk, 51



