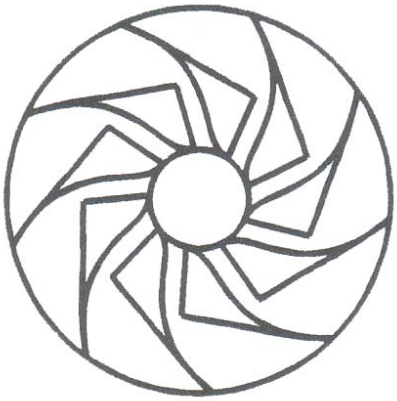
Johan Edlund



TURBOLADDNING

- Att turboladda en ottomotor

Sammanfattning

Ottomotorn är det vi i dagligt tal kallar bensinmotorn och sitter i de flesta personbilar. Alla vet väl också att förbränningsmotorer avger avgaser och dessa avgaser kan man ju faktisk dra nytta av istället för att bara släppa ut deras energi direkt ut i atmosfären. Genom att låta avgaserna dra en liten turbin vilken sedan driver en kompressor kan man få en motor med högre verkningsgrad och dessutom kan man göra motorerna mindre utan att de ger mindre effekt.
Kompressorn kommer att mata motorn med ett övertryck vilket gör att mer luft går in i cylindern, och eftersom luften blir varm av tryckhöjningen kan det vara lämpligt att kyla ned den i en intercooler.
Atmosfärstrycket ligger ju normalt på ungefär 1 bar, så om en turbo tex. har 1 bars laddtryck så kommer trycket i insugningsröret vara 2 bar eller PR, ”pressure ratio” (tryckförhållande på svenska) 2, själva trycket i sig är ganska ointressant ur kompressorns synvinkel. En grov tumregel är också att varje bars laddtryck ökar motoreffekten med 100%. Men man måste också av flera anledningar hålla laddtrycket på en begränsad nivå, hur högt trycket ska vara beror ju helt på vad man tänkt sig. I dag så är det ofta så att motorns styrbox justerar laddtrycket elektroniskt. Själva regleringen sker dock vanligen via en s.k. wastegateventil vilken släpper avgaser förbi turbinen och får då den att sakta in.
Under turbomotorns ungdomsår så var haverier ganska vanligt, idag är det lite annorlunda och en turbomotor håller lika bra eller kanske till och med bättre än en ej överladdad motor. Detta tack vare att påfrestningarna från överladdningen är mindre än de ökade belastningar man får om man ska ta ut effekten på något annat sätt som tex. genom att varva mer.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1 Historia	**5**
1.1 Bensinmotorn, Dieselmotorn och dess uppfinnare	5
1.2 Buchi's turbo	5
1.3 Turbo även på bensinmotorer	5
1.4 Utvecklingen tar fart	7
1.5 Bensinens historia	7
2 Grunder	**8**
2.1 Motorns uppbyggnad	8
2.2 Effekt, vridmoment och verkningsgrad	8
2.3 Vevrörelse	10
3 Bränslen och tillsatser	**13**
3.1 Bensin	13
3.2 Bensins innehåll	13
3.3 Oktantal	14
3.4 Knackning och glödtändning	16
3.5 Stökiometrisk blandningsförhållande	17
3.6 Energiinnehåll	17
3.7 Ångbildningsvärme	18
3.8 Organometalliska tillsatser	18
3.9 Oxygenater	18
3.10 Lustgas	19
4 Förbränningsrum	**20**
4.1 Swirl	20
4.2 Squish	20
4.3 Quench area	21
4.4 Kolven	21
4.5 Kupolformade förbränningsrum	21
5 Turbokompressorn	**23**
5.1 Boost threshold	24
5.2 Cruise	24
5.3 Lag	24
5.4 Turbokompressorns uppbyggnad	25
5.5 Radialturbinen	25
5.5.1 Hastighetstrianglar	26
5.5.2 Arbete	26
5.5.3 Turbinhusets storlek	27
5.6 Centrifugalkompressorn	27
5.6.1 Energi	28
5.6.2 Moment	28
5.6.3 Pressure Ratio	29
5.6.4 Komponenter	30
5.6.5 Surge	31
5.6.6 Anpassa kompressorns storlek	31
5.6.7 Centrifugalkompressorns begränsningar	31
6 Laddluftkylning	**32**
6.1 Storleken och hur det påverkar verkningsgraden	34
6.2 Intern volym	34
7 Laddtrycksreglering	**35**
7.1 Restriktor	35
7.2 Pop-off ventil	35
7.3 Anpassning av storleken på turbinhuset	36
7.4 Variabel geometri eller variabel nozzle area	36
7.5 Wastegate	36
7.5.1 Placering	37
7.5.2 Wastegateventilens konstruktion	38
7.5.3 Cracking Pressure	39
7.5.4 Manöversignal	39
7.6 Elektronisk laddtrycksreglering	39

8 Turbo layouts **41**
8.1 Asymmetrisk turboladdning 41
8.2 Sekventiell Turboladdning 41
8.3 Hyperbar Turbocharging 41
8.4 Turbocompound 41
8.5 Tvåstegsladdning 42
9 Grenrör **43**
9.1 Tid 43
9.2 Hastighet 44
9.3 Rör 44
9.4 Plattorna 44
9.5 Packningar 44
10 Avgassystem **45**
10.1 Rördiameter 45
10.2 Material 45
10.3 Downpipe 45
10.4 Katalysatorn 46
10.5 Ljuddämpare 46
11 Insug och rör **47**
11.1 Tryckrör 47
11.2 Gasspjäll 48
11.3 Runners och plenum 48
11.4 Avlastningsventil 50
12 Elektronisk bränsleinsprutning **51**
12.1 Vad är en ”map” 51
12.2 Luftmassemätare 53
12.3 Lufttemperatur 53
12.4 Barometer 53
12.5 Motortemperatur 53
12.6 MAP 53
12.7 Syrehalt i avgaserna 53
12.8 Trottelposition 54
12.9 Vevaxellägesgivare 54
12.10 Turbons varvtal 54
12.11 Joniseringsmätning i cylindern 54
12.12 Kamaxellägesgivare 54
12.13 Bränsle, tändning och laddtrycksreglering 54
12.13.1 Insprutningsventilen 57
12.13.2 Styrsystemet 58
12.13.3 Tändsystemet 59
13 Turbomotorn och hållbarheten **60**
13.1 Turbohaveri 60
13.2 Impeller och turbinskador 60
13.3 Spruckna toppar 61
13.4 Spruckna grenrör och turbinhus 61

Bilaga **62**
Några enkla program för beräkning 62

Referenser **64**

1 HISTORIA

1.1 Bensinmotorn, Dieselmotorn och dess uppfinnare

Till skillnad från ångmaskinen hade de nya förbränningsmotorerna förbränningen direkt i cylindrarna. På slutet av 1860-talet gjorde tyskarna Nikolaus Otto och Eugen Langen den första förbränningsmotorn med kompression. Till skillnad från tidigare motorer hade denna en betydligt högre verkningsgrad. Deras motor hade en verkningsgrad på 15 % vilket kan jämföras med tidigare motorer vilka som bäst hade runt 4 %. Den nya motorn fick namnet ottomotor och det var tack vare den man kunde börja använda kolvmotorer i någon större skala än enstaka experimentvagnar. En man vid namnet Rudolf Diesel experimenterade under 1890-talet med en motor som antänder bränslet med hjälp av tryck och värme. År 1895 hade Diesel fått fram en motor med en verkningsgrad på 17 %. Trots detta gav motorn bara en effekt av 14 hk vid 88 rpm vilket är väldigt lite för en 15 liters motor. Två år senare fick han upp verkningsgraden till 26,2 %, sex månader senare upp till 30,2 % och det var då intresset växte lavinartat. 1897 och 1898 tillverkades de första dieselmotorerna i bl.a. USA och Storbritannien. 1913 försvann Rudolf Diesel under en resa över Engelska kanalen. Mycket pekar på att han tog sitt liv.

1.2 Buchi's turbo

År 1909 uppfann en schweizare vid namn Alfred Buchi en anordning som med hjälp av avgaserna driver en kompressor vilket ökar trycket på insugningsluften. När insugningsluftens tryck ökar, ökar även kompressionen, vilken gör att både effekt och verkningsgrad ökar. I slutet av 1910 arbetade Buchi periodvis tillsammans med Rudolf Diesel. Diesel insåg möjligheterna med att överladda motorer. 1911-1914 gjordes de första testerna med turbo överladdning och 1916 presenterade han ett färdigt koncept och han hade också experimenterat med laddluftskylning (intercooler). Det dröjde 9 år innan turbon blev accepterad. De första turboladdade motorerna tillverkade i större skala gjordes i USA år 1935. Men det dröjde ända till 1960 innan turbon fick någon större användning, först i Scania och Volvos lastbilar. Scania hade dock gjort en turbomotor som användes i rälsbussar redan 1951. Det tog ett tag innan köparna började acceptera turbomotorerna men när de gjorde det hade Scania och Volvo ett antal års försprång mot sina konkurrenter.

1.3 Turbo även på bensinmotorer

1961 kunde man för 27 extra dollar få sin nya Corvair utrustad med turbo. Turbon gjorde att effekten steg från 80 till 98 hk. Men den extra effekten fanns tillgänglig först på högre varvtal, vid 5500 rpm satt turbon fart. Anledningen till detta var att om man använt en turbo som laddat redan vid lägre varv skulle laddtrycket bli för högt på de högre varvtalen.
1962 införde Oldsmobile turbo, anledningen var att den 180 hästars motor som fanns inte ansågs tillräcklig. Den turbomatade motorn fick bland annat

vatten/alkohol insprutning för att sänka insugstemperaturen, men inte ens det hjälpte, motorn hade helt enkelt fått mer än sin beskärda del av problem och modellen lades med efter två år.
Sedan amerikanarna övergett turbomotorer till fördel av de större V8:orna så blev det tyskarnas tur att dra igång en turbosatsning. Detta var på slutet av 60-talet och bilen var en BMW 2002 avsedd för banracing, 1973 kom gatversionen. Men BMW hade precis som amerikanarna en hel del problem med turbomotorerna, detta ihop med oljekrisen och att bilen inte direkt var lättkörd gjorde att produktionen avslutades redan ett år efter introduktionen.

Även Porsche hade en turbomotor under 70-talet, denna satt i 911 och var lite större än BMW:s motor, den var nämligen på tre liter. Detta gjorde motorn starkare på låga varv och mera lättkörd.

Men fortfarande saknas ett bra system för laddtrycksreglering då inte anpassning av turbostorleken fungerar lika på bensinmotorer som på dieslar. 1972 började man på Saab att experimentera med en turbomotor, bland annat kom man fram till en ventil som släpper avgaser förbi turbinen och reglerar på så sätt turbinens och kompressorns varvtal vilket sedan reglerar laddtrycket. Ventilen kallas wastegate och nu kan utvecklingen ta fart på riktigt.

Fig. 1.1, Turbomotor under testkörning i bänk.

1.4 Utvecklingen tar fart

Under 80-talet gick turboutvecklingen väldigt fort eftersom man använde turbo i nästan alla större racingklasser. Först in i F1 var Renault och de första motorerna var kanske inte så jättelyckade och kritiska röster höjdes. Men allt eftersom framgångarna blev större tystnade rösterna och snart var man tvungen att ha en turbomotor, i alla fall om man tänkt sig att vinna.
I slutet av 1990 kom Scania med turbocompound. Motorn var på 11,3 liter och hade turboladdning, turbocompound, intercooler, direktinsprutning och hade en verkningsgrad på 46 % vilken är den högst uppnådda med en serietillverkad motor.

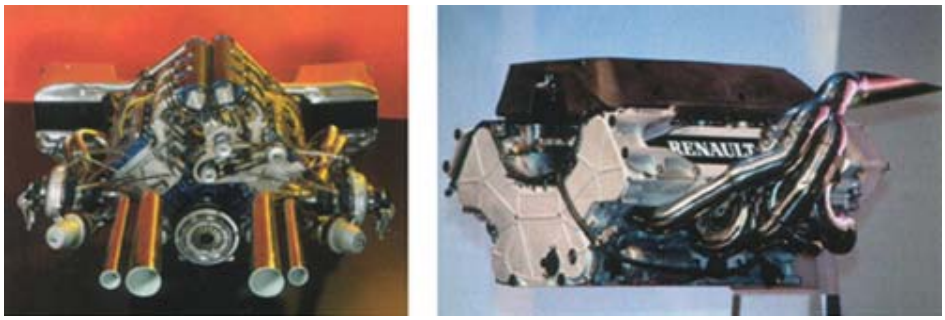


Fig. 1.2, Motorn till vänster är en Renault F1 motor med turbo som kom 1977. Motorn till höger är dagens F1 motor – utan turbo, men man kan lära sig mycket genom att studera dem.

1.5 Bensinens historia

I slutet av 1800 talet var de flesta bränslena till bilar stenkolsdestillat eller lättare fraktioner från destillation av råolja. Under det tidiga 1900 talet producerade oljebolagen bensin som ett enkelt destillat från petroleum, men motorerna utvecklades och behövde ett bättre anpassat bränsle.
Under 1910 talet var det i vissa länder förbjudet att förvara bensin hemma så Charles F Keffering modifierade en motor så att den gick på fotogen. Fotogen var ju dessutom den största av alla oljeprodukter under den tiden eftersom man använde fotogen för belysning. Men fotogen motorn knackade och både kolvar och topplock gick sönder. Han tilldelade Thomas Midgley Jr jobbet att konfirmera att detta skedde på grund av att fotogen förångades och självantände. Men så var det inte, Midgley visade att knackningen berodde på en kraftig ökning av trycket efter tändning. Detta ledde till en lång sökning efter antiknacknings tillsatser, vilken slutade med att blytetraetyl. På mitten av 1920 talet låg oktantalen mellan 40 och 60 oktan.

2 GRUNDER

2.1 Motorns uppbyggnad

Ottomotorn är en förbränningsmotor. Bränslet är vanligen bensin men kan också vara etanol, metanol och nitrometan mm. Förbränningen sker direkt i cylindrarna vilket ger hög verkningsgrad till skillnad från ångmaskinen som förbränner utanför cylindrarna. Ottomotorer kan se ut och vara uppbyggda på många olika sätt.
Motorer för bruk i bilar har vanligen 3, 4, 5, 6, 8, 10 eller 12 cylindrar. Cylindrarna kan vara placerade på olika sätt. De kan vara placerade på rad, vilket kallas rak- eller radmotor. Raka motorer brukar inte ha fler än 8 cylindrar, vanligast är 3,4,5 eller 6. Cylindrarna kan annars vara placerade på två rader med en gemensam vevaxel, de ligger i så kallad V-form. Dessa har oftast mellan 60 och 90 grader mellan cylinderbankarna. Om vinkeln är lägre kan cylindrarna läggas "om lott". V-motorer har vanligen 6,8,10 och 12 cylindrar. Om det är 180 grader mellan cylinderbankarna så kallas motorn boxermotor.

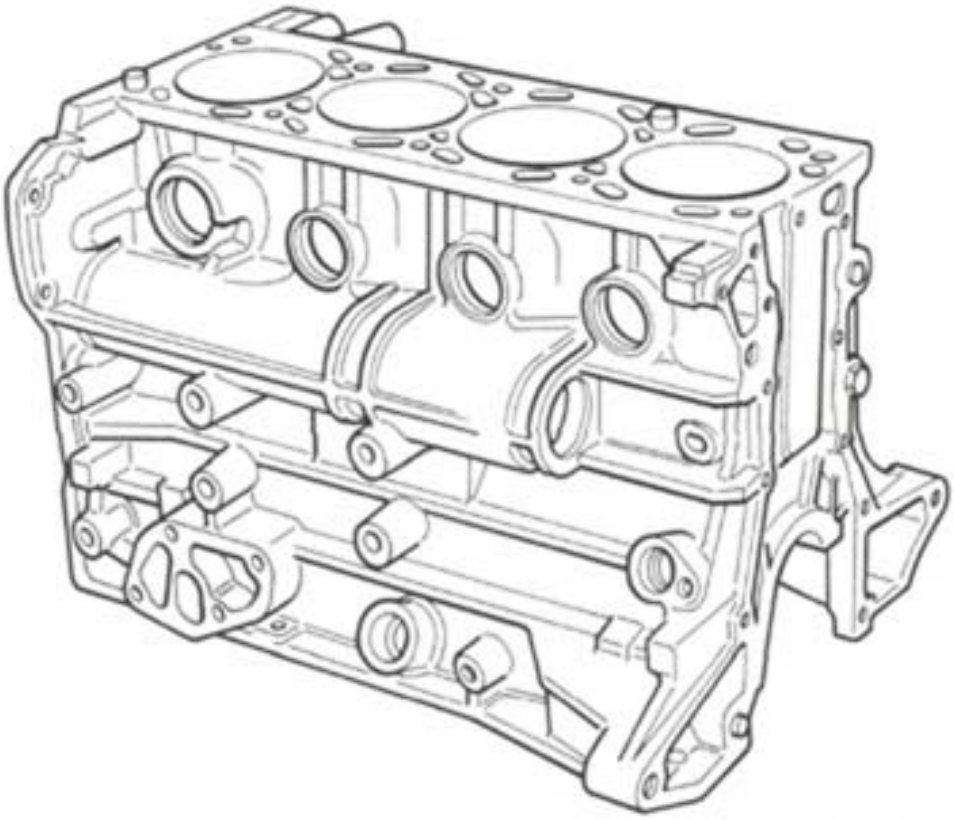


Fig. 2.1, Motorblock i gjutjärn till en fyrcylindrig Saabmotor. Utbuktningen på sidan är för att balansaxeln ska få plats.

Förutom bensin så behövs luft (syre) till förbränningen. Den optimala blandningen mellan luft och bensin kallas lambda 1. Vid lambda 1 är blandningsförhållandet 14,7:1, alltså 14,7 kg luft till 1 kg bensin. Eftersom mängden bränsle som kan förbrännas är i direkt förbindelse till hur mycket

luft det finns tillgång till kan man ju lätt enkelt räkna ut att en större motor har större potential att få ut mer effekt. Större cylindervolym eller slagvolym som det också heter kan bidra till mer effekt.
Motorns sammanlagda cylindervolym:

$$\pi r^2 \times h \times c$$

r är cylinderns radie, dvs. halva cylinderdiametern
h är slaglängd
c är antal cylindrar

π är ungefär 3,141592654

En viktig faktor till hög verkningsgrad är en hög kompression.
Den geotermiska kompressionen räknas ut:

$$\frac{Slagvolym + Kompressionsvolym}{Kompressionsvolym}$$

2.2 Effekt, vridmoment och verkningsgrad

Vad är vad och hur uppkommer det är de stora frågorna på det här området. Vi börjar med att ta en titt på effekt, och vi kommer nog mycket snart att se sambanden. Effekt är beroende av energi och tid, ju mer energi som omvandlas per tidsenhet desto högre effekt. Energi mäts enligt SI i Joule (J) och vanligt handelsbensin innehåller ca 44 MJ per kilogram. Observera att energiinnehåll inte ska blandas ihop med oktantal vilket är något helt annat. Effekten, P mäts i Watt (W) och som jag tidigare nämnde så var effekten beroende av energi och tiden. Detta ger 1 W = 1 J/s

Effekten i en kolvmotor beror på vridmoment och varvtal. Sambandet mellan effekt, vridmoment och varvtal kan skrivas:

$P = m\omega$ där ω är vinkelhastigheten i rad/s

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \times N$$

Vridmomentet i motorn kommer ifrån det effektiva medeltrycket i cylindern p och arean a den verkar på under slaget l (m). Trycket i cylindern i Pascal gånger arean i m^2 ger kraften F i Newton på vevstaken. Lägger vi nu dessutom till N så får vi effekten eftersom det, varvtalet ger tiden arbetet utförs på. Detta kan skrivas:

$P = plaN$ där $N = \frac{Cylinderantal \times Varvtal}{2}$

Man delar på 2 för fyrtaktare eftersom de måste göra två varv per arbetstakt.

Verkningsgraden är den tillsatta energin dividerat med den uttagna energin. Vi kan ta ett exempel, om vi förbränner ett kg bensin i en motor, bensinen har ju 44 MJ energiinnehåll och vi får ut 14 MJ rörelseenergi på vevaxeln så har motorn verkningsgraden eller effektiviteten 14 / 44 = 0,318 eller 1,8 %.

Ett högt kompressionsförhållande ger en hög verkningsgrad. Den teoretiska termodynamiska verkningsgraden kan beskrivas:

$$\eta = 1 - (1 / R_{comp})^{\gamma - 1}$$

R_{comp} är kompressionsförhållandet

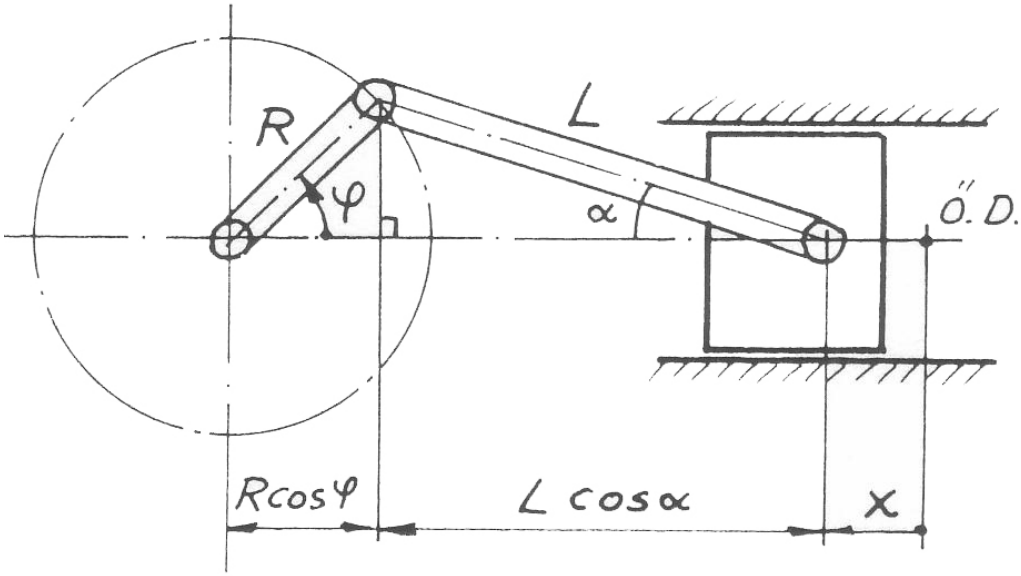
γ, gamma är spec. värmekapacitet c_p / c_v för luft (1,40) som en ideal gas, p är konstant tryck och v konstant volym.

För att uppskatta den totala kompressionen under laddtryck kan vi multiplicera kompressorns pressure ratio med den geotermiska kompressionen, däremot får man inte glömma att detta kan ej ge en ordentlig jämförelse mot den geotermiska kompressionen.
Tester har indikerat att den maximala verkningsgraden uppnås vid ett kompressionsförhållande av ungefär 17:1, eftersom att däröver kommer pumpförlusterna bli för stora, vilket gör att verkningsgraden istället sjunker.

2.3 Vevrörelse

Kolvarna är via vevstakarna fastbundna med vevaxeln, och det är här kolvarnas fram- och återgående rörelse omvandlas till en roterande rörelse. Vi ska titta på vart kolven befinner sig vid de olika vevaxelpositionerna samt hur kolvens max- och medelhastighet samt acceleration påverkas av vevaxelgeometrin.

Vad är det då som är med och påverkar detta, jo det är vevstakslängden L och vevradien R. När acceleration och hastighet blandas in så kommer också varvtalet n in i bilden. R tillsammans med L och vevvinkeln φ kommer att skapa en vinkel, α, denna anger hur mycket vevstaken lutar mot en linje mellan vevaxelns och kolvens origo. Vevvinkeln 0 = TDC, dvs. Top Dead Center eller på svenska övre dödläge. Vi kan generellt säga att vevstaken är 1,5 - 2,2 gånger slaglängden. Vevradien är 0,5 x slaglängden.



Kolven befinner sig (mätt vid kolvbultens origo) vägen över vevaxelns origo:

$$R \cos \varphi + L \cos \alpha$$

eller vägen under övre dödläge:

$$L + R - L \cos \alpha - R \cos \varphi$$

Sinussatsen ger:

$$\frac{\sin \alpha}{R} = \frac{\sin \varphi}{L}$$

$$\sin \alpha = \frac{R}{L} \times \varphi$$

Kolvhastigheten är en avgörande faktor för slitage av cylinder, kolv och dess ringar. Vid en enkel överslagsräkning brukar man räkna på kolvarnas medelhastighet, är man noggrann så räknar man även med maxhastighet, samt när den inträffar. Kolvens acceleration har stor inverkan på belastningen av motorns interna komponenter såsom vevstakar, vevaxlar lager med mera. Den här belastningen beror på trögheten hos motorns egna delar och dessa påfrestningar kan vid högre varvtal vara högre än påfrestningarna av kolvarnas tryck. Max acceleration inträffar vid TDC då kolvens hastighet är noll.

Kolvens medelhastighet är:

$$\frac{2\,s\,n}{60}\,m/s$$

Max acceleration (vid TDC):

$$R \times \left(\frac{\pi\,n}{30}\right)^2 \times \left(\frac{1+R}{M}\right)$$

Max hastighet inträffar vid, efter TDC:

Q och vid 360 - Q

$$\cos Q = \frac{\sqrt{8A^2+1}-1}{4A}$$

Max hastighet är:

$$R \times \frac{\pi\,N}{30} \times \frac{\sin Q}{\frac{R/M}{2}} \times \sin 2Q$$

Om man använder så lång vevstake som möjligt kommer accelerationen bli så låg som möjligt, vilket också innebär att påfrestningarna blir lägre eftersom:

$$F = m\,a$$

Om man dividerar accelerationen med 9,82 (tyngdkraftens acceleration i Sverige) så kan man få fram hur många g man utsätter delarna för.

I bilagan finns koden för ett program till miniräknare som kan göra just dessa beräkningar för vevrörelse.

3 BRÄNSLEN OCH TILLSATSER

3.1 Bensin

Det vanligaste bränslet för bilar är bensin. Till det finns ett flertal anledningar, bl.a. möjligheten att producera så pass stora mängder bränsle. Sedan får inte ett bra bränsle vara för dyrt att producera, måste klara alla krav man tekniskt sett ställer. Det måste ha hög motståndskraft mot knackning, det ska ha högt energiinnehåll samt att det måste vara lättförvarat. Problemet med bensin ligger i avgaserna, men idag finns det inget annat bränsle som kan leva upp till alla krav så pass bra som bensin gör, om vi bortser från diesel. Bensin framställs huvudsakligen ur petroleum genom fraktionerad destillation. Svårflyktiga kolväten med långa molekyler som också erhålls, spaltas till bensinkolväten genom krackning. Man kan också producera bensin genom att hydratisera kol.

3.2 Bensins innehåll

Bensin består av en mängd olika kolväten (HC) vilka under förbränning bildar vatten (H2O) och koldioxid (CO2). Men eftersom förbränningen i en motor inte är perfekt så bildas också kolmonoxid (CO), vilket också är ett bränsle eftersom det kan vidare kan förbrännas till koldioxid, kolmonoxid är giftigt och användes som drivmedel under bl.a. andra världskriget då det var brist på bensin, då under namnet gengas. Bensin kan innehålla över 500 kolväten vilka har kokpunkter mellan 30 och 220°C vid atmosfärstryck.

Kolväten kan delas in i två huvudgrupper, alifater och arener. Alifaterna kan sedan delas in i mättade och omättade kolväten. De mättade kolvätena kan ha linjär, grenad eller cyklisk struktur. Generellt sett är mättade kolväten mycket stabila och brinner mycket rent.
Kolväten med linjär struktur har låga oktantal, ett exempel på ett sådant kolväte är normal heptan.
Grenade kolväten har högre oktantal, ett exempel på ett sådant kolväte är iso oktan.
Cykliska (naftalener) har höga oktantal, ett exempel på ett sådant kolväte är cyklohexan.
Bland de omättade så finns alkenerna (s.k. olefiner), alkynerna (s.k. acetylener), arener (s.k. aromater), polynukleära aromater (s.k. PNA eller PAH).
Omättade kolväten har höga oktantal men är ostabila och brinner med en rökaktig flamma. Arener har under senare år börjat användas som tillsats istället för alkylbly.

3.3 Oktantal

För att få en hög verkningsgrad måste bränsle/luftblandningen ha komprimerats innan förbränning. Då en turbo är närvarande så är trycket under laddtryck oftast ännu högre än i en sugmotor. Eftersom man inte vill att blandningen ska antända utom med hjälp av tändstiftet så måste bränslet tåla den behandling den utsätts för utan att tända. Detta motstånd mäter man i oktan. Genom att testa ett bränsle får man fram hur motståndskraftigt bränslet är, sedan jämför man med n-heptan och 2,2,4-trimetylpentan, eller iso oktan som det ofta kallas idag. Dessa fick oktantalen 0 och 100 och är utgångspunkterna man använder. För själva testen använder man en speciell motor, en encylindrig förgasarmotor på 612 cm^3 med variabel kompression (4:1 – 18:1). Denna motor är känd under namnet Cooperative Fuels Research motorn. Testet kan ske med olika förutsättningar och de standardiserade metoderna är Research Octane Number (RON) och Motor Octane Number (MON). MON metoden har mycket svårare förutsättningar vilket resulterar i lägre oktantal jämfört mot RON. Just detta gör också att RON passar mycket bra för allmän användning medan MON passar för tävlingsbruk. Genom att ta RON + MON och sedan dividera med 2, så får man fram vad som kallas ”antiknock index”. Detta, motståndskraften mot knackning är relaterat till självantändningstemperaturen, AIT, men däremot inte till bränslets energiinnehåll eller flamhastigheten vilket ibland vissa tror. RON – MON ger ett värde som kallas känslighet. Det ger information om hur bränslet reagerar då förutsättningarna ändras, hur känsligt bränslet är helt enkelt.

15% n-paraffiner	RON	MON	Kokpunkt	Densitet	AIT
n-butane	113	114	-0,5	gas	370
n-pentan	62	66	35	0,626	260
n-hexan	19	22	69	0,659	225
n-heptan	0	0	98	0,684	225
n-oktan	-18	-16	126	0,703	220
n-dekan	-41	-38	174	0,730	210
n-dodekan	-88	-90	216	0,750	204
n-tetradekan	-90	-99	253	0,763	200
30% iso-paraffiner					
2-metylpropan	122	120	-12	gas	460
2-metylbutan	100	104	28	0,620	420
2-metylpentan	82	78	62	0,653	306
3-metylpentan	86	80	64	0,664	
2-metylhexan	40	42	90	0,679	
3-metylhexan	56	57	91	0,687	
2,2-dimetylpentan	89	93	79	0,674	
2,2,3-trimetylbutan	112	112	81	0,690	420
2,2,4-trimetylpentan	100	100	98	0,692	415
12% cykloparaffiner					
cyklopentan	141	141	50	0,751	380
metylcyklopentan	107	99	72	0,749	
cyklohexan	110	97	81	0,779	245
metylcyklohexan	104	84	101	0,770	250
35% aromater					
bensen	98	91	80	0,874	560
toluen	124	112	111	0,867	480
etylbensen	124	107	136	0,867	430
metaxylen	162	124	138	0,868	463
paraxylen	155	126	138	0,866	530
orthoxylen	126	102	144	0,870	530
3-etyltoluen	162	138	158	0,865	
1,3,5-trimetylbensen	170	136	163	0,864	
1,2,4-trimetylbensen	148	124	168	0,889	
8% olefiner					
2-penten	154	138	37	0,649	
2-metylbuten-2	176	140	36	0,662	
2-metylpenten-2	159	148	67	0,690	
cyklopenten	171	126	44	0,774	
1-metylcyklopenten	184	146	75	0,780	
1,3-cyklopentadiene	218	149	42	0,805	
dicyklopentadiene	229	167	170	1,071	

Eftersom bensin kan innehålla över 500 kolväten skulle det vara en omöjlighet att presentera alla här. Tabellen ovan beskriver de olika grupperna kolväten som ingår samt på ett ungefär hur stor andel de utgör i en ”vanlig” bensin. Kolvätena som nämns är några exempel i de olika grupperna. Vissa av kolvätena som nämns ska inte finnas med i bensin, dessa är n-dekan, n-dodekan och n-tetradekan som däremot är vanliga i fotogen. Av denna anledning ska man inte blanda i fotogen i bensinen, de tidigare nämnda n-paraffinerna vill man inte ha i bensinen. Några andra ämnen som inte ingår i bensin förutom i möjligtvis mycket små mängder är de tre sista olefinerna, dock har dessa bland de högsta oktantalen som uppmätts.

3.4 Knackning och glödtändning

Eftersom det nämnts en hel del om motståndskraften mot knackning under det här kapitlet, kanske en förklaring av fenomenet skulle vara på sin plats, och med tanke på dess släktskap med glödtändning så är det väl lika bra att ta upp det på en gång.
Glödtändning uppkommer om bränsle/luftblandningen upphettas för mycket. Detta sker inte genom att temperaturen i hela cylindern är för hög utan genom så kallade ”hot spots” där temperaturen är högre än i övriga förbränningsrummet. För att glödtändning skall kunna ske behövs en temperatur av 700-800°C. Bränslet kommer då antändas och trycket blir högre än normalt, dessutom kommer gasen att finnas i förbränningsrummet under längre tid vilket tillåter att mera värme överförs från gasen. Om mera värme överförs så stiger temperaturen i cylindern vilket gör att glödtändningen kan fortsätta ske.
Då en tryckvåg träffar cylindern med mycket hög hastighet så kommer det resultera i en vibration av cylinderväggen, den kommer att oscillera, vilket ger ut ett ljud som kan liknas vid en knackning. Från den punkt då tändstiftet antänt gasen kommer den röra sig utåt från tändstiftet. Flamfronten kommer vara mycket varm och kommer ha stor area (på grund av turbulensen i cylinder), den kommer då att komprimera och överföra värme till den oförbrända gasen så att den antänds. Detta kommer att ske ända fram till då den kvarvarande färska gasen utsätts för sådan hetta att den antänds. När den tryckvågen som bildas kommer att träffa flamfrontens tryckvåg kommer tryckvågor uppkomma, vilkas hastighet kommer att vara mycket hög (1000-1200 m/s). Dessa träffar sedan cylinderväggen som kommer att börja oscillera. Däremot kommer inte cylindertrycket stiga alltför mycket då knackning uppkommer till skillnad från glödtändning.

3.5 Stökiometrisk blandningsförhållande

Det stökiometriska blandningförhållandet är förhållandet mellan mängden bränsle och luft vid en ideal förbränning, lambda 1. Ju lägre blandningsförhållandet är desto mindre luft behövs för att tillsätta samma mängd bränsle. Eftersom man relaterar till mängden luft, och inte mängden syre vilket användes vid förbränning så är detta beroende på luftens komposition.

Stoichiometric Air Fuel Ratio	
6,4	Metanol
9,0	Etanol
11,7	MTBE
12,1	ETBE, TAME
14,6	Bensin utan oxygenater

Komposition av luft vid havsnivå, data från 1976			
Gas	Andel, volym	Molvikt, kg/mol	Relativ massa
N2	0,780840000	28,013400	21,873983
O2	0,209476000	31,998800	6,702981
Ar	0,009340000	39,948000	0,373114
CO2	0,000314000	44,009800	0,013919
Ne	0,000018180	20,179000	0,000365
He	0,000005240	4,002602	0,000021
Kr	0,000001140	83,800000	0,000092
Xe	0,000000087	131,290000	0,000011
CH4	0,000002000	16,042760	0,000032
H2	0,000000500	2,015880	0,000001
Luft			28,964419

3.6 Energiinnehåll

Bränslets energiinnehåll är den mängd energi som frigörs vid förbränning. Vanligtvis så mäts detta i MJ / kg bränsle. Speciellt viktigt kanske förhållandet mellan energiinnehåll och det stökiometriska blandningsförhållandet är då detta tillsammans med verkningsgrad påverkar effekten en motor ger utan att luftflödet genom motorn ändras.

Bränsle	Energiinnehåll MJ / kg	Ångbildningsvärme MJ / kg	Syreinnehåll wt %
Metanol	19,95	1,1540	49,9
Etanol	26,68	0,9130	34,7
MTBE	35,18	0,3220	18,2
ETBE	36,29	0,3100	15,7
TAME	36,28	0,3230	15,7
Bensin	42 - 44	0,2970	0,0

3.7 Ångbildningsvärme

Ångbildningsvärme är precis som det låter den värmemängd som går åt att få bränslet att förångas. Ett högt värde innebär att bränslet behöver en stor mängd värme att förångas vilket innebär att bränslet har utmärkta kylande egenskaper. Nackdelen med ett högt värde är att då motorn inte uppnått driftstemperatur, då har motorn svårt att tillföra bränslet den värme som behövs för att få bränslet att förångas. Eftersom inte vätskor brinner, endast gaser så blir detta ett problem. Om inte värdena är alltför extrema så räcker det vanligen att extra bränsle tillsätts så kommer tillräckligt mycket bränsle att ha förångats för att förbränning skall kunna ske.

3.8 Organometalliska tillsatser

Organometalliska tillsatser är organiska metallföreningar. Den mest välkända av alla dessa är troligtvis alkylbly (tetra etyl bly, tetra metyl bly), vilken var den första väl fungerande organomatalliska tillsatsen. Alkylbly fungerar genom att blyet binder upp HO2 vilket gör att lågoktaniga kolväten inte bildas lika lätt i cylindern före förbränning. Om man tillsätter 0,1 g bly till en liter 96 Oktanig (RON) blyfri bensin kommer oktantalet öka till ca 98, men om man tillsätter 0,2 gram kommer däremot oktantalet bara öka till 99, dvs. att effekten av tillsatsen avtar ju mer man har i. Men största problemet ligger nog i dess hälsovådlighet samt oförmåga att fungera tillsammans med katalytisk avgasrening.

3.9 Oxygenater

Oxygenater är bränslen som innehåller syre. Eftersom de innehåller syre så behövs det en mindre mängd luft för att förbränna bränslet vilket resulterar i att oxygenater har lägre stökiometriska blandningsförhållanden. Men de har även lägre energiinnehåll eftersom en del av bränslet inte kan förbrännas då det redan oxiderats. Förutom det lägre SAFR och energiinnehållet så har dessa bränslen också generellt sett mycket god motståndskraft mot knackning. Till oxygenaterna tillhör bland annat etanol, metanol, metyl tertiary butyl eter (MTBE), etyl tertiary butyl eter (ETBE) och tertiary amyl metyl eter (TAME).

Oxygenater	RON	MON	Densitet	Kokpunkt	AIT
metanol	133	105	65	0,796	385
etanol	129	102	78	0,794	365
iso propyl alkohol	118	98	82	0,79	399
metyl tertiary butyl eter	116	103	55	0,745	
etyl tertiary butyl eter	118	102	72	0,745	
tertiary amyl metyl eter	111	98	86	0,776	

Ett annat exempel på en oxygenat är Nitrometan, CH3NO2, vilken används bland annat i dragracing. Nitrometan har ett mycket lågt stökiometriskt blandningsförhållande, SAFR, på endast 1,7:1 Det, trots det mycket låga energiinnehållet på endast 11,2 MJ / kg ger ett energiinnehåll / SAFR förhållande på 6,6 (jämför med t.ex. iso oktans 2,9) vilket gör att man kan ta ut mer effekt utan att behöva tillföra mer luft En inblandning av 50 % nitrometan i metanol gör att man kan öka effekten ca 45 % jämfört mot

ren metanol. Förutom effektökningen så innebär nitrometan inblandningen att motståndskraften mot knackning ökar.

3.10 Lustgas

Syreinnehåll i bränslet är inte det ända sättet att tillsätta extra syre, ett annat sätt är att tillsätta det i insugsluften i form av en vätska eller gas. Lustgas är just ett sådant sätt. Lustgas är ett mytomspunnet sätt att öka på motoreffekten som härstammar ifrån andra världskriget då det användes till att kortvarigt öka motoreffekten i stridsflygplan. Den var också ett bra men kortvarigt botemedel mot den låga syrehalten som finns på höga höjder.

Ren lustgas är giftigt, det resulterar i kvävning och andningsuppehåll vid inandning. Lustgas som används i motor sammanhang är ren lustgas och kan jämföras med den med syrgas utblandande 10 procentiga lustgasen som används av sjukhusen. Om man efter förlust av medvetandet fortfarande inandas lustgas kommer troligen döden inträffa. Lustgas reducerar också mängden vitamin B12 vilket i sig kan leda till döden. Om inte döden inträffar är chansen god att man tillfrisknar helt utan symtom.

Lustgas tillverkas genom att ammoniaknitrat (NH4NH3) upphettas till ca 260 grader C under lågt tryck. Då kommer det bildas gasformigt divätemonoxid och dikvävemonoxid, eller lite enklare uttryckt vattenånga och lustgas. Ångan kondenseras bort och lustgasen renas sedan från föroreningar. Därefter kompresseras, torkas och omvandlas den till flytande gas vilken sedan kan förpackas i tuber vilka kan på grund av trycket kan hålla dem flytande.

Den kanske största fördelen att använda ett lustgassystem på en turbomatad motor är den kylande effekten som den har. Lustgasen har en temperatur av -88 C när det sprutas in vilket kan göra att temperaturen kan sänkas med upp till 24 C. Gasen kan också hjälpa till att få upp effekten på de varvtal turbon inte laddar samt att minska spool-up tiden.

Lustgas, tvärtom mot vad vissa myter säger så kan det inte brinna eller explodera. Själva tuben kan däremot explodera om den utsätts för hög värme som i till exempel en brand. Men då är det inte gasen som exploderar utan bara tuben som exploderar eftersom den inte tål trycket vilket kommer öka av den högre temperaturen. Lustgas kan inte heller brinna eftersom en brand är en oxidation och lustgas har ju redan oxiderat, det hörs ju till och med på namnet; dikväveoxid.

Kvävet och syret i gasen separerar vid temperaturer över 650 C, detta sker när energi tillförs:

$$2\,N_2O + energi \longrightarrow 2\,N_2 + O_2$$

Förutom gasens temperatur vid insprutning kommer den energi som går åt att separera syret från kvävet bidra till den nedkylning som sker.

4 FÖRBRÄNNINGSRUM

Ett förbränningsrum bör vara utformat så att tömning och fyllning sker så bra som möjligt under motorns hela varvtalsområde. Dessutom ska bränsle/luft blandningen i cylindern vara turbulent så att förbränningen kan ske snabbt och effektivt.

Sedan inverkar förbränningsrummets utformning på hur höga laddtryck man kan använda. Att ha centralplacerade tändstift tillsammans med fyr, fem eller sexventilsteknik samt en topp av crossflow typ är faktorer som gör att man kan få en effektiv förbränning, och att man kan använda höga laddtryck tillsammans med hög kompression. För hög kompression är ju önskvärt, har man väldigt låg kompression kommer motorn att gå dåligt då den inte har laddtryck samt på låga varvtal då inte turbon jobbar.

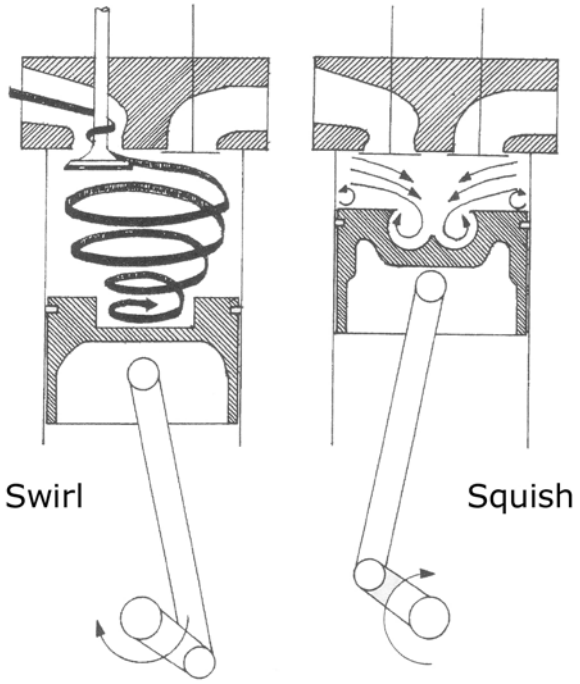
4.1 Swirl

Swirl bildas i cylindern under insugningsfasen. Detta är ett luftflöde som rör sig nedåt mot kolven i en cirkel kring cylinderns axel (se Fig. 4.1)

4.2 Squish

Squish uppkommer under insugningsfasen. Luften rör sig nedåt och in mot cylinderns axel (se Fig. 4.1). Med hjälp av squish zones (vanligen samma som quench area) kan man i slutet av kompressionsfasen skapa turbulens i cylindern.

Fig. 4.1, Swirl och squish.



4.3 Quench area

Quench area är den area med vilken kolven och toppen nästan rör varandra då kolven står i TDC. Detta gör att arean blir väldigt stor mot volymen, vilket ger en kylande effekt för gasen som finns fångad därimellan

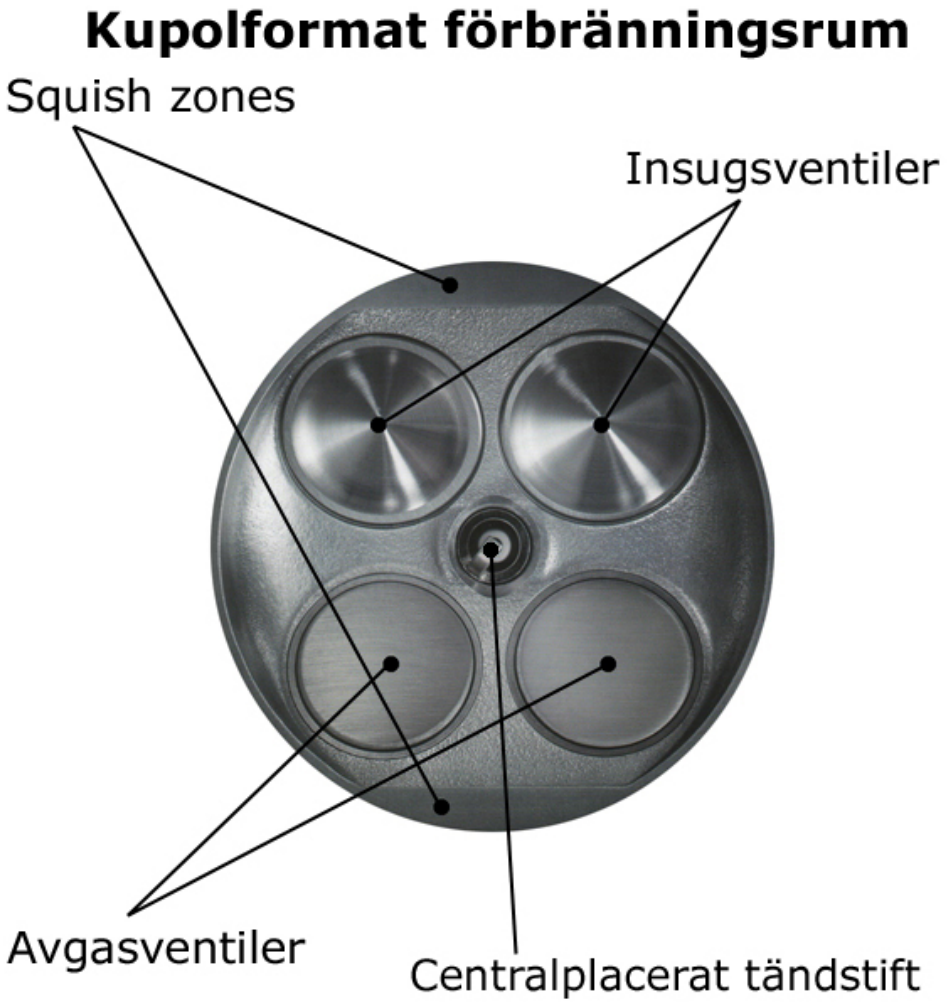
4.4 Kolven

Kolvens uppgift är att omvandla cylindertrycket till en nedåtgående kraft, men kolven utgör också en del av förbränningsrummet och måste vara utformad på ett sådant sätt att den hjälper förbränningen. Vanliga utformningar är kolvar med flata toppar, negativ dome, positiv dome mm. Kolvarna kan tillverkas i olika material, dock rör sig det nästan uteslutande om aluminiumkolvar (stålkolvar med aluminiummantel används i vissa lastbilsdieslar) vilka kan vara gjutna eller smidda. Gjutna kolvar kan också tillverkas i ett värmebehandlat aluminium så som T6 legeringar. Kolvar i T6 eller smidda är ungefär lika starka fast de i T6 har en liten fördel i styrka kring kolvringsområdet, samt att man slipper smidda kolvarnas problem med att de behöver större kolvspel. Kolvringsområdet på en kolv är viktigt, eftersom en turbomotor har högre förbränningstryck så innebär det högre påfrestningar på kolvringar och dess infästning mot kolven, kolvringsområdet.
Ett annat material man kan använda till kolvar är keramik, dessa är dessvärre både känsliga och dyra, men väldigt lätta och det är önskvärt eftersom ju tyngre kolvarna blir ju större blir påfrestningarna.
Man kan öka kolvarnas hållbarhet genom att sänka deras drifttemperatur, detta kan ske med t.ex. keramisk beläggning (”coatning”) eller genom att utnyttja olja att kyla dem med. Om man sänker drifttemperaturen blir materialet starkare, men risken för ”hot spots” minskar också.

4.5 Kupolformade förbränningsrum

Den första av fördelarna med kupolformade förbränningsrum är ganska självklar – Man får plats med större ventiler helt enkelt. Men det finns fler fördelar,

Fig. 4.2, Kupolformat förbränningsrum med fyrventilsteknik och centralt placerade tändstift.

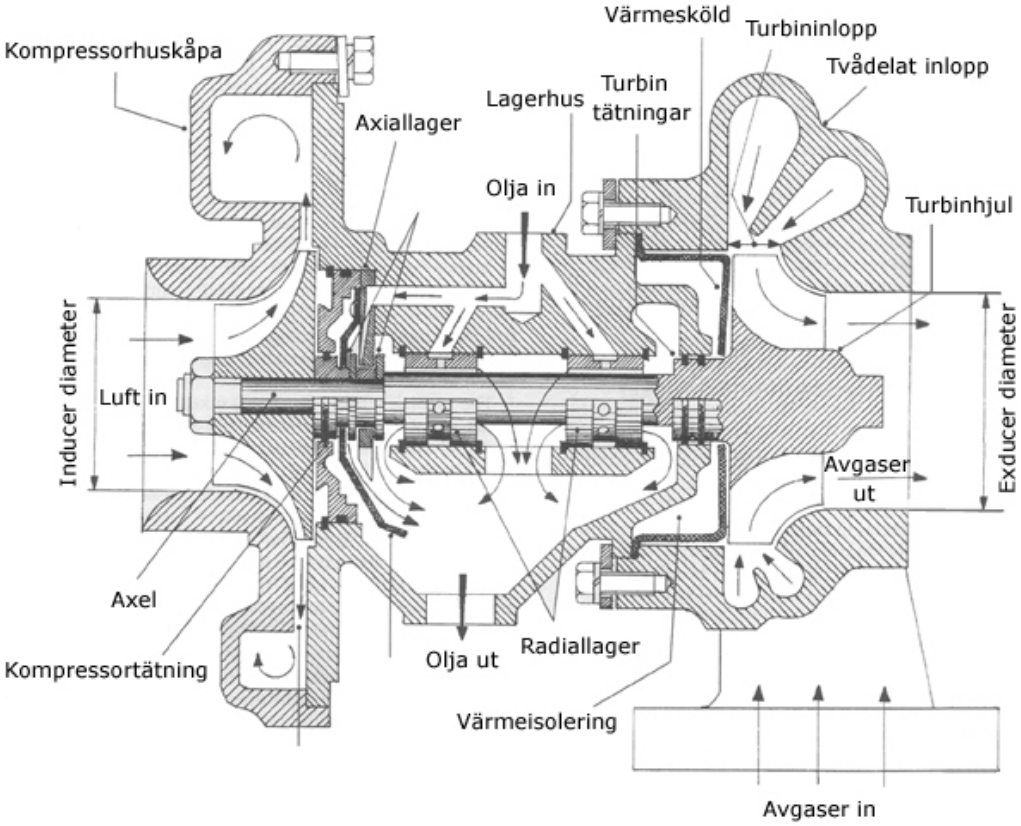


5 TURBOKOMPRESSORN

Turboladdning går precis som kompressormatning ut på att trycka in mera luft i en liten motor så att mer bränsle kan förbrännas, kort sagt kan man säga att man gör en liten motor ”stor”. Fördelen är att man behåller den lilla motorn, eftersom en liten motor är generellt effektivare än en större.
Att turbo är effektivare är kompressor beror på att turbon tar energin till kompressorn från avgaserna och inte från den nyttogjorda energin på vevaxeln som en kompressor.
Detta kan ganska lätt förstås om man tittar på ottomotorns energifördelning.

Ottomotorns energifördelning:
30% - vevaxeln
7% - friktion, pumpning och dynamiska förluster
9% - värmeförlust till den närliggande luften
16% - värmeförlust till motorns kylsystem
38% - värmeförlust till avgaserna

Turboaggregatet kan ta vara på 1/3 av avgasernas energi. Detta ger lite drygt 40% av vevaxeleffekten på turboaxeln. Om vi som exempel tar en motor med 200 hk på vevaxeln, så har den ungefär 80 hk på turboaxeln vilkens enda uppgift är att förse motorn med luft.
Turbon har också en nackdel, trycket som byggs upp före avgasturbinen motverkar fyllning av cylindern. När trycket i avgasgrenröret överstiger trycket i cylindern under utblåsningsfasen kommer effekt från vevaxeln att gå åt till att mota ut avgaserna vilka normalt flödar ut självmant.



5.1 Boost threshold

Boost threshold defineras som det lägsta varvtal då turbon kan ge laddtryck om fullgas ges. När varvtalet ligger under boost threshold så finns det inte tillräckligt med avgaser för att driva turbinen med sådan hastighet som kompressorn behöver för att ge ett laddtryck. Eftersom turbon inte kan ge något laddtryck under detta varvtal så kommer motorns vridmoment under dessa varvtal nästan vara lika som för samma motor fast utan turbo.

5.2 Cruise

Eftersom en turbo endast ger laddtryck då det behövs kommer turbon under alla andra tillfällen endast ligga och snurra med. Detta kallas cruise, från engelskans ”glida fram”. Just detta bidrar att man kan ha en mycket stark turbomotor utan att bränsleförbrukningen blir alltför hög eftersom effekten minskar om den inte behövs.

5.3 Lag

Alla turboaggregat har lag, eller spool-up som det även kallas. Då gasen ökas kommer gasspjället släppa in mer luft och spridarna kommer mata på med mer bensin till motorn. Detta gör att avgasmängden ökar vilka sedan sätter extra fart på turbon. För att ge en viss mängd luft vid ett givet laddtryck så kommer turboaggregatet behöva ett visst varvtal. P.g.a.

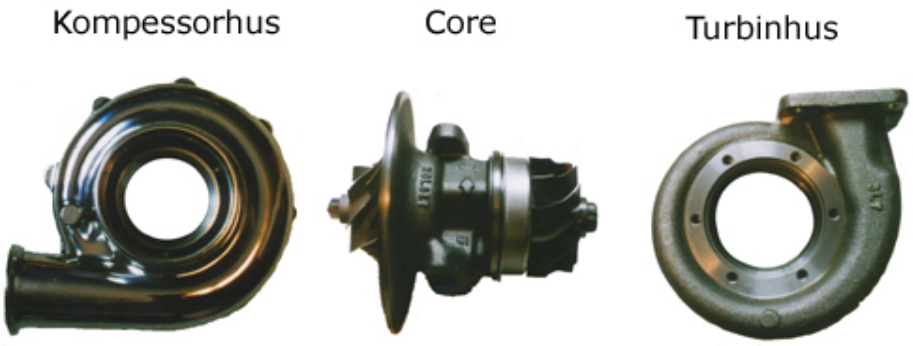
tröghetsmomentet i turbin, impeller och axel så kommer det ta ett litet tag att varva upp. Ibland när man pratar om lag så är det egentligen boost threshold man pratar om eftersom turbons lag inte har något att göra med vid vilket motorvarv turbon kan börja ladda vid. Lag för en större turbo behöver inte heller vara längre än för en mindre då detta beror på vilket varvtal turbon håller vid cruise och vilket varvtal som behövs för att ge det önskade laddtrycket samt tröghetsmomentet i turbon rörliga delar. Massströghetsmomentet kan beskrivas:

$$M = J \times \varepsilon$$

Där M är vridmomentet som behövs för att ge en kropp med tröghetsmomentet J (i kgm²) vinkelaccelerationen ε (rad/s²). Ur detta kan man sedan få fram spool-up tiden om man känner till de roterande delarnas massaströghetsmoment (detta är väldigt komplicerat att själv beräkna med tanke på delarnas utformning), cruise-varvtalet, varvtalet då det önskade laddtycket och luftflödet finns tillgängligt samt momentet som avgasturbinen överför. Eftersom massaströghetsmomentet, J, har med radien i kvadrat att göra så talar detta till nackdel för ett aggregat med mycket stor turbin och impeller. Turbinen svarar för den största delen av massaströghetsmomentet då impellern är mycket lätt och axeln befinner sig på ett så kort avstånd från rotationens centrum.

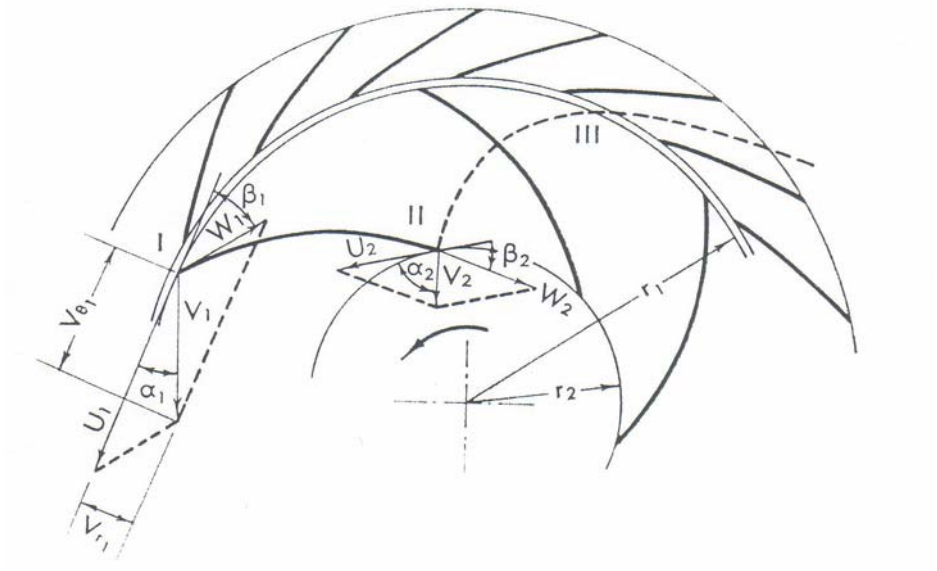
5.4 Turbokompressorns uppbyggnad

Turboaggregatet skulle grovt kunna delas upp i tre delar, dessa är turbinhus, kompressorhus och core, i den sistnämnda är turbin och kompressor upphängda i. Turbinhus och lagerhus brukar vanligen vara i legerat gjutjärn så att de tål höga temperaturer. Lagerhus i aluminium förekommer också. Turbinhjulet tillverkas i något varmhållfast material som t.ex. inconel. Impellern tillverkas i aluminium eller titan, kompressorhuset i aluminium eller magnesium.



5.5 Radialturbinen

Den turbintyp som används i turboaggregat är radialturbiner av centripetal typ, dvs. att gaserna rör sig in mot turbinaxelns origo. För att inte göra det alltför avancerat så antar vi att flödet runt turbin och även senare runt kompressorn är endimensionellt. Historiskt sett så antog man att flödet mellan turbin och kompressorblad var endimensionellt ända fram till man började konstruera axialturbiner i början av 1920 talet.



5.5.1 Hastighetstrianglar

I den här typen av turbin så är flödets riktning radiellt och mot axeln av rotationen. Turbinen på bilden ovan har en stationär kringliggande nozzlering med vanes. Turbiner i turboaggregat är vanligen ”vaneless”, dvs de har inga kringliggande vanes.
Observerar man bilden kommer man även se att hastigheten på flödet är relativt mot det roterande turbinhjulet, dvs. att den relativa hastigheten W, vilken under vila i relation till det roterande hjulet, kan man observera den absoluta hastigheten V, från en vektoraddition av W och periferihastigheten U i en så kallad hastighetstriangel. Rotorns blad avleder ett flöde från inlopp till utlopp, och sålunda producerar ett vridmoment.

5.5.2 Arbete

Det arbete turbinen utför för varje viktenhet gas, Ht, representerar differensen i energiinnehåll mellan turbinens inlopp och utlopp, detta kallas ”head”.

Head kan beräknas genom:

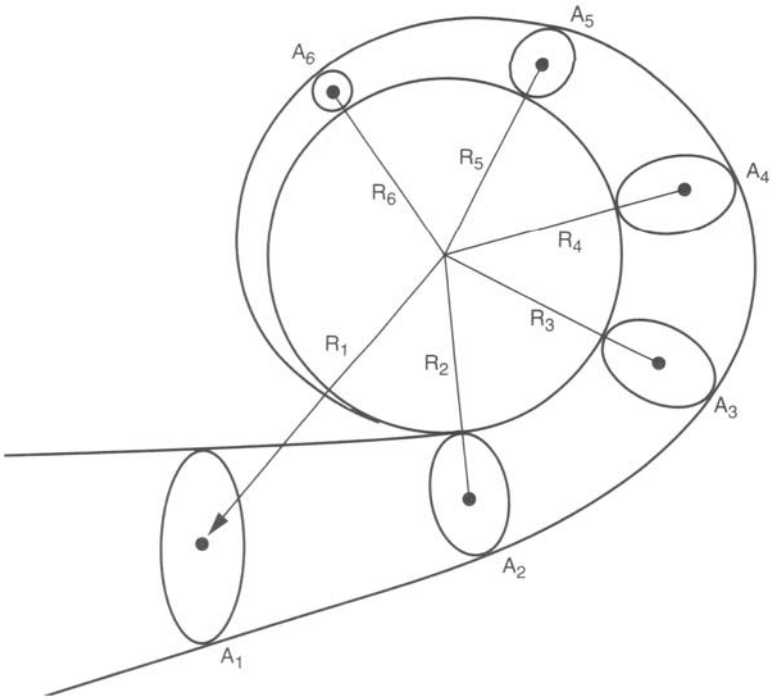
$$gH_t = U_1 V_{\theta_1} - U_2 V_{\theta_2}$$

V_θ är en komponent av den absoluta hastigheten på flödet.

$$H_t = H_s + H_d$$

5.5.3 Turbinhusets storlek

Hur ”stor” en turbo är defineras vanligen med A/R, detta är alltså area dividerat med radien enligt nedan.



En stor turbo kommer att komma under ett senare varvtal (boost threshold blir högre), men kommer då att fungera längre upp i registret också.
Två olika stora turbiner kommer vid samma gasmängd att producera lika mycket effekt om de har lika verkningsgrad, men den större kommer att göra det vid ett lägre varvtal och kommer också därmed att ge ett högre vridmoment vilket tillåter större kompressorer.

5.6 Centrifugalkompressorn

En centrifugalkompressor är väldigt effektiv, men samtidigt behöver den mycket höga varvtal för att arbeta. Detta, å andra sidan gör den en mycket lämplig kompressor för en turbokompressor eftersom radialturbinen även den arbetar med mycket höga varvtal.

5.6.1 Energi

Eftersom värme endast kan omvandlas till andra energiformer, under förutsättning av att gasen i fråga är en perfekt gas och har konstant temperaturkoefficient, Cp, kan följande uttryck antagas:

$$P = m\left[Jc_p(T_2^0 - T_1^0) + JQ\right]$$

Där P, är effekten som driver kompressorn, m, är massan gas som kompressorn tar in, Q, är värmeförlusten mellan mätpunkterna i inloppet och utloppet, J, den mekaniska värme ekvivalenten för massa. T_2^0 och T_1^0 är temperatur stagnationen mellan utlopp och inlopp. Temperatur stagnationen kan defineras som.

$$T^0 = T + V^2 / (2gJc_p)$$

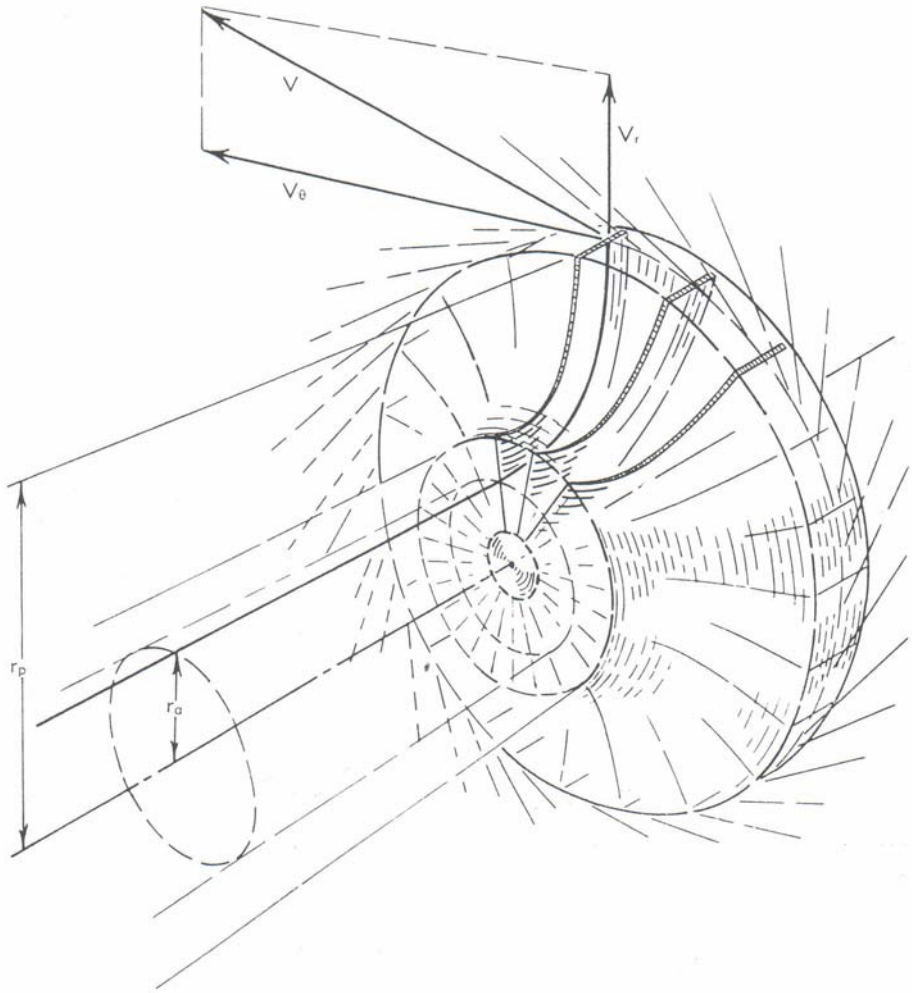
Där g är en dimensionskonstant, vilken är numeriskt lika accelerationen som sker då en kraft påverkar en massa.

5.6.2 Moment

Flödet i en impeller sker ungefär som angivet i figuren på nästa sida. Genom att anta att det är så kan man derivera Eulers turbinekvation med Newtons andra lag till:

$$\delta_\tau = \delta m(r_b V_{\theta_b} - r_a V_{\theta_a}) / g$$

Där δ_τ är det externa vridmomentet vilket appliceras på gasen som flödar i sektionerna mellan a och b. δm är flödet per tidsenhet. r är radien på sektionen (a och b). V_θ är den tangentiella komponenten av gasens hastighet.



5.6.3 Pressure Ratio

Pressure ratio, PR, är tryckförhållandet över kompressorn. Detta får man fram genom att dividera trycket efter kompressorn (absoluttrycket) med trycket före.

5.6.4 Komponenter

Vi kan dela upp centrifugalkompressorn i följande delar: inducer, impeller och diffusör.

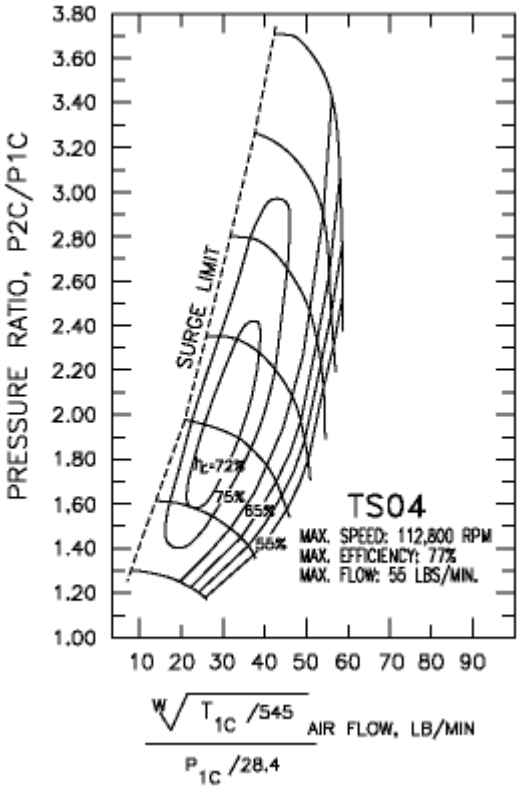
Inducer. Inducern är den del av impellern som befinner sig närmast inloppet, denna producerar en rotation för att matcha flödet i impellern. Impellern och inducern är tillverkade i en del och det finns inga klara gränser vart inducern slutar och impellern börjar, detta eftersom att de samarbetar som en enhet.

Impeller. Impellern kastar ut gasen från centrum it i diffusören. Detta sker med centrifugalkrafter som alstras av impellerns rotation. Flödet genom en impeller kan uppskattas:

$$\frac{dV_r}{d\vartheta} = 2r\omega$$

Där V_r är radiella hastigheten, ϑ är impellerbladens vinklar och r är radien.

Diffusör. Diffusören minskar lufthastigheten på luften som kommer från impellern. När hastigheten sänks byggs laddtrycket upp.



5.6.5 Surge

Att titta på kompressormappen kan i detta fall förklara en hel det. Surge, uppkommer då luftflöde och varvtal blir så lågt att det inte räcker för att uppehålla ett visst tryckförhållande. Detta gör att den komprimerade luften då kommer gå tillbaka genom kompressorn vilken resulterar i en kraftig retardation av kompressorn.

5.6.6 Anpassa kompressorns storlek

För att uppnå bästa resultat bör man väja kompressor med hjälp av dess kompressormap. X axeln visar luftflöde/tidsenhet och Y axeln PR, tryckförhålland. De olika linjerna bildar olika ”fält” där kompressorns verkningsgrad anges. För bästa resultat ska kompressorn jobba där verkningsgraden är bäst. Surge gränsen får aldrig underskridas. En motors luftbehov kan vi räkna ut med programmet ICEPOWER i bilagan eller utnyttja den formel den använder. Då kommer vi också använda ett visst laddtryck, detta ger upphov till en PR, och tillsammans kan vi med dessa två utläsa verkningsgrad. Luftflödet anges ofta i olika enheter, här är de vanligaste under normala atmosfärsförhållanden vis havsnivån (ungefärliga värden):

1 m^3/s = 2128 CFM

1 m^3/s = 146,51 lb/min

1 m^3/s = 1,1 kg/s

5.6.7 Centrifugalkompressorns begränsningar

Det primära problemet med centrifugalkompressorn ligger i svårigheten att uppnå hög verkningsgrad under höga PR. Man kan behålla en god verkningsgrad upp till ett PR av ungefär 5.
Anledningen till problemen har flera orsaker. Bland annat så blir gashastigheten ut från kompressorn mycket hög, vid PR 4,0 ca 1,1 Mach. Ett annat problem är att de höga varvtalen leder till höga periferihastigheter, vilket innebär stora påfrestningar på impellern. Om vi tar en impeller med diametern, rp, 100 mm roterande med ett varvtal av 100.000 rpm så uppgår periferihastigheten till 523 m/s. Av denna anledning är impellermaterialets styrke/viktförhållande mycket viktigt. Man kan beräkna belastningen:

$$F = m\omega^2 r$$

Där ω är vinkelhastigheten i rad/s, r är radien och m är massan.

Om en impeller med framåtvinklade blad används så kan köra med högre PR utan att öka periferihastigheten, men då kommer istället påfrestningarna på själva bladen öka då centrifugalkrafterna vill böja dem.

6 LADDLUFTKYLNING

En hög temperatur på insugningsluften är något som man inte vill ha. Kompressorn höjer temperaturen på luften, genom att välja en turbo där kompressorn har en så hög verkningsgrad som möjligt kan man hålla temperaturökningen till ett minimum. Sedan är man ju också tvungen att gjort rätt val angående turbostorleken så att kompressorn får arbeta inom det område då den är som effektivast. Men en temperaturökning kommer ändå att ske, men den kan vi minska genom att använda en intercooler. Om vi sänker temperaturen kommer luften ta mindre plats vilket gör att vi kan få in mer luft i cylindern, d.v.s. motorn kommer att ge mer effekt. Men det finns fler fördelar än så, topplockets temperatur sjunker vilket gör det starkare och mer hållbart. Den sänker temperaturen i förbränningsrummet såväl som avgasernas temperatur. Lägre temperatur i förbränningsrummet betyder mindre utsläpp av kväveoxider. En lägre avgastemperatur avlastar turbo, grenrör såväl som avgasventiler. Tendenserna för knackning minskar, vilket tillåter högre förbränningstryck.

En intercooler kan vara uppbyggd på två sätt, det är vatten-till-luft eller luft-till-luft. En vatten-till-luft intercooler kyler insugningsluften med vatten, detta kan vara vatten från ett separat kylsystem eller från motorns kylsystem.
Motorns kylvätska har ungefär temperaturen 80-90ºC, eftersom intercoolern inte i något fall kan kyla luften till lägre temperatur än kylmedlet så är motorns kylvätska mycket olämpligt, därför är det rekommenderat att intercoolern får ett eget kylsystem med egen kylvätska, pump och kylare.
Den andra typen är luft-till-luft intercoolern vilken direkt använder luft för att kyla insugningsluften.

Lufttemperaturen höjs efter kompressorn. Denna höjning beror på två saker, den höjning som sker pga. tryckökningen och den som sker pga. av att kompressorns verkningsgrad inte är 100 %. Detta kan beskrivas:

$$T_2 = T_1(1 + (PR^{0,283} - 1) / N_C)$$

T_2 är temperaturen efter kompressorn

T_1 är temperaturen före kompressorn, yttertemperaturen i bästa fall.

PR är pressure ratio

N_C är verkningsgraden för kompressorn

PR och N_C utläses ur kompressormappen för den tilltänkta turbon.

Alla temperaturer är i Kelvin (temp. i ºC + 273,15)

Den naturliga temperaturökning som sker vid en tryckökning kan beskrivas med gasernas allmänna tillståndslag:

$$pV / T = konst. \text{ eller } pV = nRT$$

Hur mycket intercoolern kan sänka insugstemperaturen beror på kylluften eller kylvätskans temperatur samt intercoolerns verkningsgrad. En intercooler med verkningsgraden Ni kommer att ge temperaturen T_3 efter intercoolern:

$$T_3 = T_2 - N_i(T_2 - T_1)$$

T_1 är temperaturen på kylmedlet, denna är i bästa fall lika med yttertemperaturen i automotiva applikationer man kan i vissa fall underskrida denna som i t.ex. båtar som använder havsvatten som kylvätska.

Kall luft mindre plats, dvs. densiteten ökar. Denna densitetsändring i kan vi beräkna:

$$\Delta\rho = \mathrm{T}_2 / T_3 - 1$$

Δρ är densitetsändringen

Effektökningen av intercoolern är lika med densitetsförändringen minus förlusterna intercoolern genererar. Förlusterna, P_{loss}, beror på mottryck i intercoolern. Mottrycket ger en tryckminskning över intercoolern. P_{loss} kan beräknas:

$$P_{loss} = 1 - P_1 / P_2$$

P_1 är abs. trycket efter intecoolern
P_2 är abs. trycket före intercoolern

$$\Delta P - P_{loss} = P_{gain}$$

P_{gain} är effektvinsten som resulterats av intercoolern. Annars kan man grovt uppskatta effektvinsten till 3% för varje 10ºC man sänker temperaturen. En intercooler blir endast försvarbart då temperaturen minskar med minst 20ºC, d.v.s. effekten ökar med ca 6%.

6.1 Storleken och hur det påverkar verkningsgraden

En större intercooler kan kyla mer än en liten, det verkar väl ganska logiskt. Men man kan inte få en dubbelt så effektiv intercooler genom att göra den dubbelt så stor. Med storlek så är det värmeöverföringsarean som menas, dvs. kylflänsarnas sammanlagda area. Om vi ökar storleken på en intercooler med 10% så kommer verkningsgraden på intercoolern att vara den tidigare verkningsgraden plus 10% av den tidigare förlusten, dvs. 100% minus den tidigare vekningsgraden. Så om vi har en intercooler med verkningsgraden 60% och vi gör den 10% större, kommer verkningsgraden att bli 0,6+0,1x0,4=0,64 eller 64%. Ökar vi storleken ytterligare kommer betydelsen att bli ännu mindre för då är den tidigare förlusten bara 36%.

6.2 Intern volym

Ju större en intercooler blir, ju större kommer också dess interna volym att bli. Denna volym plus volymen av tryckrören samt plenumet måste varje gång turbon ska bygga upp ett tryck fyllas med luft. Detta tar tid, vilket kan beskrivas:

$$t = V / Q \times 2$$

t är tiden i s
V är volymen i m³
Q är luftflödet i m³/s
2 härstammar ifrån luftflödesskillnaden mellan ”cruise” och ”boost”, vilken är ungefär 2.

7 LADDTRYCKSREGLERING

Om man inte hade något sätt att styra laddtrycket skulle laddtrycket kunna dra iväg till långt över vad turbon och motorn tål. Det finns fem sätt att reglera laddtryck på. Dessa är via anpassning av storleken på turbinhuset, wastegate, pop-off ventil, variabel geometri eller variabel nozzle area samt restriktor.

7.1 Restriktor

Restriktorer kan användas på flera sätt, man kan sätta dem före eller efter kompressorn, eller före eller efter turbinen. De begränsar laddtrycket på olika sätt men en sak har de gemensamt – restriktor är en dålig idé.

7.2 Pop-off ventil

En pop-off ventil är en fjäderbelastad ventil som sitter monterad efter kompressorn. När laddtrycket blir tillräckligt högt så kommer kraften (trycket gånger arean) att bli större än vad fjädern kan stå emot, ventilen kommer öppna, övertrycket åker ut i friska luften vilket gör att trycket sjunker och ventilen stängs. Detta system användes bland annat på BMW 2002 Turbo. Idag används det inte längre som laddtrycksreglering på grund av att systemet är väldigt primitivt eftersom turbon blir tvungen att fortsätta arbeta hela tiden. Däremot används det idag som en extra säkerhet mot höga laddtryck, bl.a. så används det i CART för att se till att ingen överskrider det i reglementet angivna maximala laddtrycket.

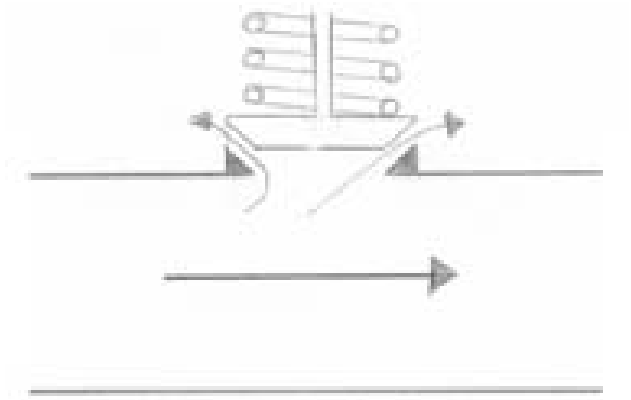


Fig. 7.1, Funktionsprincipen för en pop-off ventil.

7.3 Anpassning av storleken på turbinhuset

Detta är ju något man alltid måste tänka på, men om man ska använda det till laddtrycksreglering måste man också se till att laddtrycket inte kan bli för högt under alla varvtal och belastningar. Detta sätt har man länge använt på dieslar, även om man idag håller på att gå ifrån det. Men tyvärr fungerar inte det här lika bra på bensinmotorer som på dieslar, på bensinmotorer blir man tvungen att välja ett så stort turbinhus att man inte får laddtryck förrän på riktigt höga varvtal.

7.4 Variabel geometri eller variabel nozzle area

Genom variabel geometri, VG, eller variabel nozzle area som turboaggregatet på bilden nedan har, VNA kan man justera turbinens varvtal trots att samma mängd gas passerar den. Detta gör att man får ungefär samma funktion som att variera storleken på turbinhuset. Detta används främst på dieslar för personbilsbruk, bensinmotorer har så pass höga avgastemperaturer att nozzlarna och deras ledsystem oxiderar sönder av värmen.

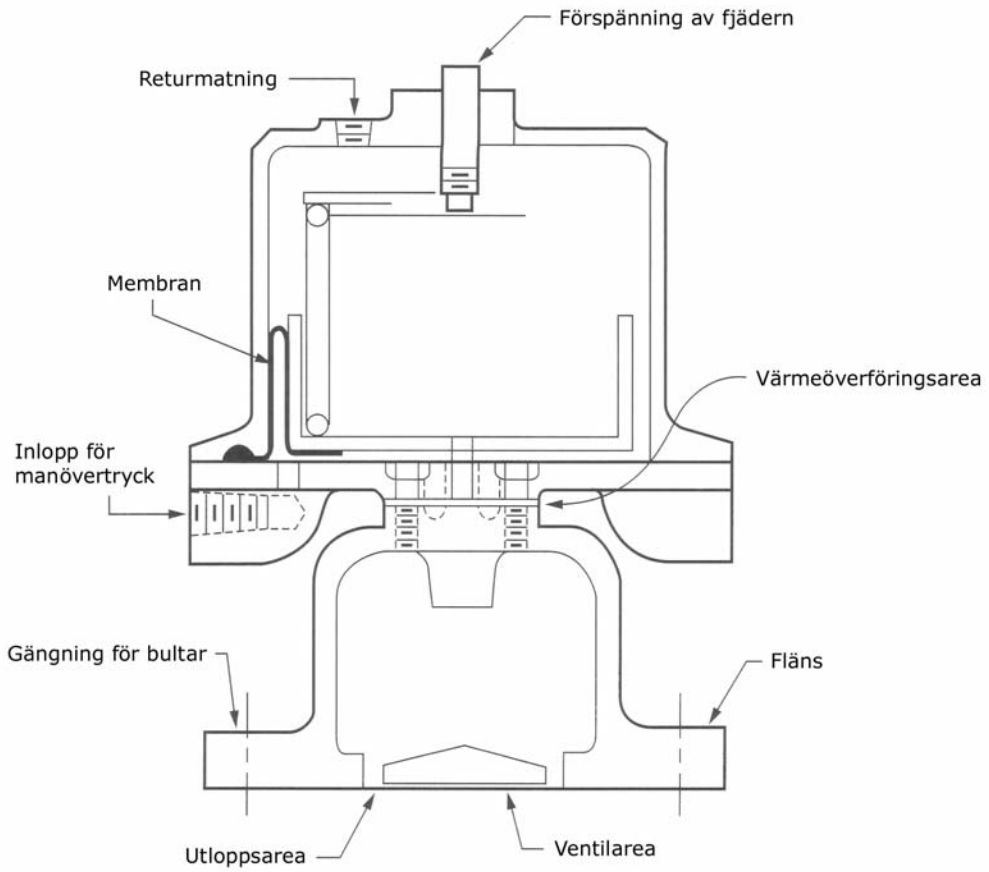
7.5 Wastegate

Denna svenska uppfinning är den vanligaste metoden för laddtrycksreglering bland bensinmotorer, men den förekommer även på vissa dieslar då man vill ha högre laddtryck på låga varvtal vilket man inte kan få genom anpassning av storleken på turbinhuset.
Wastegateventilen är ett mycket enkelt system som fungerar mycket bra. Man har en ventil på grenröret som öppnar och släpper avgaser förbi turbinen och på så sätt minskar gasflödet genom turbinen vilket i sin tur påverkar varvtalet på turbin och kompressor. Lägre varvtal på kompressorn ger lägre laddtryck.
Det finns idag två typer av wastegateventiler, integrerade eller separata. Den integrerade är inbyggd i turbon och är mycket vanlig på standardbilar då den är enkel och billig. Nackdelarna med inbyggd ventil är att placeringsmöjligheterna blir ganska begränsade och att gaserna går tillbaka direkt (eller i bästa fall efter en bit) efter turbinutloppet vilket stör flödet från turbinen. En separat wastegate har fördelen att man kan sätta den där den behövs bäst och att man inte behöver leda tillbaka avgaserna, och om man vill leda tillbaka gaserna kan man göra det där man anser det lämpligt.
En wastegate är alltså det lämpligaste alternativet för en bensinmotor, och helst ska denna vara av separat typ. Men vilken storlek ska ventilen ha, vart och vart ska den placeras och hur bör ventilen utformas?

Fig. 7.2, En välkonstruerad wastegate från HKS. Notera ventilsätet i den understa av plattorna. Monteringen sker med de rostfria pinnbultarna.

7.5.1 Placering

En separat ventil bör placeras på ett symmetriskt sätt, dvs. gaserna ska kunna ta sig ut via wastegateventilen istället för via turbinen utan att behöva gör några större riktningsändringar. Om man sätter ventilen på ett sådant sätt så att gaserna får svårt att flöda via wastegateventilen kommer det leda till problem med laddtrycksregleringen, speciellt på högre varvtal då höga gasflöden och hastigheter förekommer, i värsta fall kommer laddtrycket skena. En dålig placering kommer också kräva en betydligt större ventil än vad man egentligen skulle ha behövt.



7.5.2 Wastegateventilens konstruktion

Ventilen måste vara gjord i sådant material att de tål de höga temperaturer som förekommer, detta kan i vissa fall röra sig om temperaturer över 1000°C. Rostfritt eller en värmehållfast legering som nimonic eller inconel är ett bra val då den inte bara ska tåla temperaturen utan också leda värme dåligt så att manöverdelen av wastegateventilen får så låg drifttemperatur som möjligt. Av denna anledning försöker man få värmeöverföringsarean till manöverdelen så liten som möjligt, dessutom brukar man ha ett isolerande material mellan delarna för att ytterligare minska värmeöverföringen. Ventilen ska ha ungefär 75 % av arean för utloppet och kraften som verkar på ventilen på grund av avgastrycket måste verka åt samma håll som kraften som öppnar ventilen. Vanliga dimensioner för separata wastegateventiler är 30-50 mm. 30 mm till ca 250 hk, 40mm till ca 500 hk och 50mm till ca 1000 hk. För de flesta fall så bör man inte ha större ventil än 50mm, använd två istället, då får man dessutom snabbare regleringstid. Mindre ventiler än 30 mm är ovanligt då de flesta små aggregat har integrerad wastegate. Flänsen mot grenröret bör vara tjock och ventilen bör fästas med rostfria pinnbultar. Som alltid är flera mindre bultar att föredra framför färre men grövre bultar. Kolven som genererar ventilrörelsen bör vara stor och lätt. Lägre vikt betyder mindre tröghetsmoment vilket är en bra grund om man vill att ventilen ska svara snabbt. Genom förspänningen av fjädern kan man reglera grundladdtrycket (och därmed även max trycket) något utan att byta fjäder, man kan justera ca +- 0,1 bar.

7.5.3 Cracking Pressure

Cracking pressure är det laddtryck som får ventilen att lyfta från sitt säte, grundladdtrycket är vanligtvis 1/3 till ½ av det maximala laddtrycket. Högt grundladdtryck är viktigt eftersom så fort ventilen har öppnat en bit så går man miste om gas som annars hade kunnat driva turbinen.

7.5.4 Manöversignal

Man kan ta manöversignalen från två ställen, grenröret (med avgaser) eller från den trycksatta sidan efter kompressorn. Idag är metoden med avgaser mycket ovanligt utan den som används är den där man tar signalen efter kompressorn. Efter kompressorn har man fyra olika alternativ man kan ta signalen från, direkt i kompressorhuset, mellan kompressor och intercooler, mellan intercooler och insugningsgrenrör samt i insugningsgrenröret. Det är det tryck som finns där man tar signalen som kommer att verka på wastegateventilen därför kommer den bete sig lite olika beroende på vart man tar styrtrycket ifrån. Bäst reglering uppnås om man tar styrtrycket i eller direkt efter kompressorhuset, snabbast att få upp laddtrycket går det om man tar signalen direkt i insugningsgrenröret då turbon kan jobba för fullt ända fram till grundladdtryck uppnås i insugningsgrenröret, då kommer ventilen öppna och turbon kommer att jobba mindre och mindre tills laddtrycket stabiliseras vid det maximala laddtrycket. Sitter placeringen av utgången till styrtrycket kommer ventilen öppna tidigare som resultat av grundladdtryck uppnås tidigare, inga konstigheter med andra ord. Så vart ska man nu ta styrtrycket till wastegateventilen då – Jo, det är enkelt, direkt i kompressorhuset eller direkt därefter, i plenumet används endast för racing där hållbarheten inte är så viktig.

7.6 Elektronisk laddtrycksreglering

I motorer med moderna styrsystem vill man ofta överlåta regleringen av laddtryck till motorns styrsystem. Detta ger fördelen att man inte är begränsad till ett visst laddtryck under hela varvtalområdet då turbon jobbar utan att man kan ställa in laddtrycket som man önskar. Eftersom det inte är lika lätt att få en motor att knacka på låga varv som det är på höga så är väl det vanliga att man ökar på laddtrycket under de varvtalen, detta ger en motor med högt vridmoment. Man använder fortfarande wastegateventil bara att istället för att låta signalen gå direkt, låter man den nu passera en magnetventil (bilden till höger). Vid magnetventilen kan motorns styrsystem bestämma om luften ska ledas in i wastegateventilens manöverdel eller om den ska ledas tillbaka in före kompressorn. Detta gör att man kan variera laddtrycket från det minsta maximala laddtryck som

uppnås utan att regleringen ingriper och upp till så höga laddtryck som turbon kan ge. Vissa laddtrycksstyrningar kan vilja ha en utsignal från wastegateventilens returmatning, om inte så drar man den tillbaka före kompressorn.

8 TURBO LAYOUTS

Förutom att låta ett eller flera turboaggregat trycka luft i cylindrarna under lika villkor finns ett antal fler upplägg hur man kan turbomata en motor, även om det sättet är det vanligaste.

8.1 Asymmetrisk turboladdning

Asymmetrisk turboladdning sitter endast på Saabs V6:a, men man skulle kunna använda det även på motorer som inte är av V-typ. Meningen med asymmetrisk turboladdning är inte att få ut mer effekt ur motorn. Har man tänkt plocka ut mycket effekt kan man börja leta efter en annan layout. Genom att använda turbo kan man höja verkningsgraden och har man ingen effekthöjande ambition så kommer bränsleförbrukningen bli lägre, vilket är fallet här. Genom att använda en turbo som drivs av hälften av cylindrarna men matar alla kan man välja en mycket liten turbo, så liten så om man använt alla cylindrarna hade den blivit för liten. Så resultatet blir att bränsleförbrukningen sjunker jämfört mot motsvarande sugmotor.

8.2 Sekventiell Turboladdning

Till sekventiell turboladdning så använder man två turboaggregat, sedan har man ventiler som styr avgasflödet. Detta gör att man under låga varvtal och under dellast bara behöver använda ett aggregat, vilket innebär att man kan få snabb respons under förutsättning att ventilerna och dess styrsystem hänger med, dessutom blir boost threshold lågt. Man kan även använda olika storlekar på turboaggregaten om man så önskar.

8.3 Hyperbar Turbocharging

Hyperbar Turbocharging, HT, är tänkt till dieselmotorer. Genom att använda mycket höga laddtryck kan man få en hög verkningsgrad. Men man blir tvungen att sänka kompressionen vilket gör att man blir beroende av laddtryck redan från låga varv. Detta har man löst genom att man har en brännkammare före turbinen, luften tas via en bypass och bränslet sprutas in vi en spridare vilket sedan antänds av ett tändstift. Genom brännkammaren kan man använda mycket stora aggregat utan att turbon kommer sent, sedan är också responsen snabb. Tack vare stora aggregat kan man också ta ut hög effekt utan stor cylindervolym.

8.4 Turbocompound

Turbocompound är en extra turbin efter turbon, men denna är nedväxlad och sedan sammankopplad med vevaxeln. På så sätt hjälper den till att driva vevaxeln. Genom att på detta sätt ta reda på avgasenergi som annars hade gått förlorad kan man uppnå en hög verkningsgrad.

8.5 Tvåstegsladdning

Eftersom centrifugalkompressorn har problem med höga PR så kan man ladda i två steg, vilket gör att man kan få mycket höga laddtryck utan att behöva använda höga PR. Man har två aggregat, ett lågtrycks-, LP, och ett högtrycksaggregat, HP. Högtrycksaggregatet sitter närmast cylindrarna både på avgassidan och på kompressorsidan. Lågtrycksaggregatet sitter efter högtrycksaggregatet på avgassidan men före på kompressorsidan vilket gör att lågtrycksaggregatet kommer att trycka luft in i högtrycksaggregatet. Man har en wastegate per turbo men båda sitter på grenröret, den som styr laddtrycket för LP turbon släpper ut avgaserna efter den turbon och den som styr trycket för HP turbon släpper ut avgaserna mellan aggregaten. Om vi som exempel säger att vi har två aggregat vilka båda får jobba med PR=3,0, och lufttrycket ute är 1 bar så kommer laddtrycket bli 1 x 3 x 3 – 1 = 8 bar. Om man vill kan man även lägga till ett tredje aggregat och nå ännu högre laddtryck. Då man inte vill utsätta HP turbon för höga lufttemperaturer kan det vara klokt att använda en intercooler mellan aggregaten och sedan en efter HP aggregatet och plenumet. Tack vare de höga laddtryck som förekommer passar detta system bäst på dieslar eftersom de inte kan knacka som en bensinmotor (dieslar kan knacka men av andra anledningar, samt sättet de gör det skiljer sig från bensinmotorers).

9 GRENRÖR

Grenrörets uppgift är att på ett så effektivt sätt transportera avgaserna från topplockets kanaler till turbon. Dessutom ska detta ske på så sätt att spolningsfasen inte störs.
Ett grenrör kan byggas enligt två principer, puls eller konstanttryck. Till bilar är det den första av de två som gäller då konstanttrycksprincipen bäst lämpar sig till motorer kon håller konstant varvtal då den bidrar till långa spool-up tider, men även högre verkningsgrader då en turbin arbetar effektivare med en jämt gasflöde.

Eftersom man vill separera pulserna så länge som möjligt finns det turbinhus med två kanaler. Men man måste tänka på att ansluta rören rätt till dessa om man vill utnyttja de fördelarna de ger. För en fyrcylindrig motor så är det genom att para ihop 1-4 och 2-3.

Ju närmare cylindern man är desto varmare är avgaserna, detta innebär att de innehåller mera energi. Eftersom vi vill ha energi att driva turboaggregatet med så talar det mycket gott för en placering nära cylindrarna. En nära placering kommer också göra att den reflexpuls som bildas då tryckpulsen träffar turbon kommer att man kan få den att anlända så att den förstärker ursprungspulsen utan att störa spolningsfasen.

Men varför har alla tävlingsbilar turboaggregatet så långt ifrån cylindrarna, om det nu är så bra med att ha korta rör, jo det beror på att aggregatet har svårt för de höga inloppstemperaturerna som uppkommer med korta rör. Därför få man göra en kompromiss genom att göra rören långa. Rören ska då göras så långa att reflexpulsen anländer efter att avgasventilen stängt.

$$\frac{Hastighet}{Tid} = Avstånd$$

9.1 Tid

Tiden varierar beroende på kamaxel och motorvarvtal. Bland dessa två är det väl i första han varvtalet som ger problem eftersom detta varierar, därför kan man endast få fullgott resultat under ett smalt varvtalområde och oftas krävs det lite tester för att lyckas.

9.2 Hastighet

En tryckvåg färdas med ljudets hastighet, därför måste man ta reda på vilken den är. Ljudets hastighet i en gas varierar beroende på temperaturen, och det enklaste sättet att räkna på detta är genom att jämföra med värden vi vet:

$$C1/\sqrt{T1} = C2/\sqrt{T2} = \text{konstant vilket ger } C2/C1 = \sqrt{(T2/T1)}$$

C = ljudets hastighet i en gas
T = abs temperatur i kelvin

9.3 Rör

Eftersom man inte vill att tryckpulserna ska störa varandra bör man använda lika långa rör (primärrör), sedan bör dessa gå ihop så nära turbon som möjligt. Rören man använder bör vara av ett material som tål hög värme samt inte leder den så bra, några mycket bra material är rostfritt SS2353 och inconel för att bara nämna två exempel. Godstjockleken bör vara så tunn som möjligt för att minimera kylarean, 2-3 mm är lagom.
Rörens diameter bör vara så att dess area motsvarar arean avgasventilerna i en cylinder frilägger vid fullt lyft (under förutsättning att det är ett rör per cylinder).

9.4 Plattorna

Avgasplattorna bör vara minst 15 mm tjocka, detta är för att minimera böjning under svetsning samt böjning under drift. Om det inte finns tillräckligt med stabilitet i plattorna så kan dessa böjas under drift vilket betyder att läckage kan uppkomma.

9.5 Packningar

Packningarna för ett grenrör är en kritisk punkt, detta eftersom grenröret blir trycksatt och utsatt för hög temperatur. Packningar bestående av tunna (ca 0,50-0,75 mm) plattor av rostfritt eller koppar fungerar mycket bra. Annars kan man om det tillåter, bearbeta ytorna så att de blir så pass släta att man inte behöver packningar.

10 AVGASSYSTEM

För avgassystemet på en turbomotor finns en mycket enkel grundregel om avgassystemets utformning och detta är att avgassystemet bör vara utfört så att det ger så lågt mottryck som möjligt.

Avgassystemet kan delas in i flera delar, den första är den som kallas downpipe, vilken följs av en katalysator om sådan finns, sedan efter det så går rören till ljuddämparen eller ljuddämparna om man har ljuddämpare över huvudtaget det vill säga.
Precis som vanligt när det gäller rör är strömlinjeformningen viktig, inga onödiga böjar.

Men ett avgassystem inbjuder också till ett flertal svårigheter och det är upphängningen. Detta eftersom när temperaturen ökar, ökar också rörets längd, sedan måste det skyddas från vibrationer och måste erbjuda en viss flexibilitet då motorn rör sig under gång.

10.1 Rördiameter

Vilken rördiameter man ska använda beror på vilken effektuttag man tänkt eftersom avgasmängden beror på effekten. I de flesta fall fungerar 2-4” rör bra, 4” räcker upp till ca 1000 hk och 2” upp till ungefär 150 hk.

10.2 Material

Som material kan man använda både rostfritt stål och vanligt svartstål, däremot ska man undvika att blanda. Rostfritt är överlägset svartstål men det är även dyrare och mer komplicerat att svetsa.

10.3 Downpipe

En downpipe är den första delen efter avgashuset och det är också här man brukar placera lambdasensorn. Eftersom temperaturen kan bli mycket hög, upp till ca 800°C, så ställer det en hel del krav om man vill uppnå en bra hållbarhet. Temperaturen gör också att gasens volym är störst här vilket gör att man kan behöva lite större rördiameter.

10.4 Katalysatorn

Förutom att ge mottryck så renar katalysatorn avgaserna och den hjälper även till att dämpa ljudet. Katalysatorn har en keramisk bärkropp av aluminiumoxid eller som racekatalysatorer, en metallisk bärkropp vilken ska tåla mer än sin keramiska motsvarighet. Avgaserna får passera ett nätverk av små kanaler, vilkens totala area kan motsvara upp till fyra fotbollsplaner. Som ytbeläggning finns ca 3 gram platina, palladium och rodium. Drifttemperaturen är ca 300 grader Celsius och ger då 80-90 % rening vi lambda 1.

Följande reaktioner sker i katalysatorn:
$NO(g) \rightarrow N(Pt) + O(Pt)$
$O(Pt) + O(Pt) \rightarrow O2\ (g)$
$N(Pt) + N(Pt) \rightarrow N2(g)$
$CO(Pt) + O(Pt) \rightarrow CO2(g)$

10.5 Ljuddämpare

Det finns flera olika typer av ljuddämpare, men en som passar bra för turbomotorer är öppna fullflödes dämpare. Dessa har ett hålborrat rör som är omlindat med ljudisolering. Eftersom de är öppna rakt igenom så blir mottrycket litet men de kommer att ge mer mottryck än ett rör av motsvarande diameter. Därför kan man använda en ljuddämpare som är något större än vad kraven på avgasrören är.

11 INSUG OCH RÖR

Efter att luften komprimerats i kompressorn måste luften ta sig via intercoolern till plenum och in i cylindrarna via inloppskanalerna (även kallade runners) vilka löper från plenumet till topplocket. Sedan ska ett gasspjäll sättas antingen före plenumet eller efter i inloppskanalerna.

11.1 Tryckrör

Tryckrören är rören som går från kompressorn till intercoolern och från intercoolern till plenumet eller gasspjället. Rördragningen bör ske så rakt som möjligt, dvs. inga onödiga böjar. Som material är aluminium, t.ex. 6060 eller 7075, ett mycket lämpligt val eftersom det är lätt och kan böjas och sedan svetsas. Kolfiber går också att använda men eftersom tillverkningen är dyr och krånglig kan det anses onödigt. Spara kolfibern till plenumet istället. Rören ska vara så små som möjligt utan att de ger för mycket mottryck. Anledningen till att de inte ska vara för stora ligger i att de då tar längre tid att trycksätta dem, för mer om det se kapitlet om laddluftkylning. För att få bästa möjliga utbyte av rören bör lufthastigheten vara 100-130 m/s då motorn förbrukar som mest luft. En annan sak man också måste tänka på är att inte dra rören på ett sådant sätt att man utsätter dem bör böjning då motorn rör sig. Sedan bör man vara mycket noga med övergångarna, speciellt viktigt är det om man ska använda höga laddtryck. Då kan det vara lämpligt att använda klämmor som den ovan.

$$Hastighet = \frac{Luftflöde}{Area}$$

11.2 Gasspjäll

Bensinmotorn har till skillnad från dieselmotorn ett gasspjäll (även kallat trottel). Detta är för att bensinmotorn inte jobbar med luftöverskott. Man måste kunna begränsa luftmängden för att sedan tillsätta den mängd bensin som motsvarar luftmängden. Man vill att gasspjället ska begränsa luften under alla omständigheter förutom fullgas. Men problemet ligger i att gasspjället fungerar som en restriktor även under fullgas, för att minska restriktionen kan man göra gasspjället större men då kommer trottelresponsen på låga varv bli lidande. Gasspjället kommer också bete sig mer digitalt eftersom ett större gasspjäll kommer att öppna större area än ett mindre gasspjäll då motsvarande öppning sker. Genom att använda elektroniskt gasspjäll kan man göra viss kompensation för detta, samt att man kan ge motorn rätt luftmängd under alla förhållanden. Detta tack vare att gassignalen istället för att gå till gasspjället går till styrboxen vilken sedan ger den mängd gas som behövs. En tumregel man kan använda om storleken på gasspjället är att lufthastigheten aldrig ska överskrida 90 m/s.

11.3 Runners och plenum

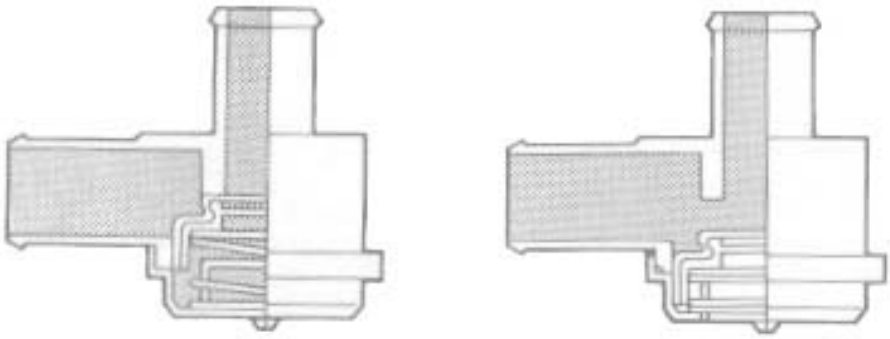
De så kallade runners eller inloppskanalerna löper ifrån plenumet till topplocket där sedan topplockets kanaler leder in luften in i cylindrarna. Om vi jämför kolvens tvärsnittsarea mot inloppskanalens så kommer vi att finna att kolvens area är mycket större detta kommer leda till höga hastigheter på inloppsluften. Kanalernas längd och area kommer att påverka dess inverkan på motorn. Grova kanaler har stor ytarea vilket gör att luften har en större area att skapa friktion mot. Friktionen är det som skapar mottryck. Men samtidigt som arean att bilda friktion mot ökar minskar luftens hastighet så att det bildas mindre friktion. Ytarean ökar också om vi gör kanalerna längre men då kommer inte luftens hastighet att minska, det gör att långa kanaler ger mera mottryck. Om vi istället minskar arean genom att minska diametern på rören kommer ytarean minska men lufthastigheten kommer också att öka vilket leder till ökat mottryck, gör vi dessutom kanalerna längre kommer ytarean att öka ytterligare vilket leder till ännu högre mottryck. För en given längd kommer

fyllnadsgraden bli lika hög oberoende på diameter, men röret med minst diameter kommer att ge sin bästa fyllnadsgrad på lägre varv. Längre rör bygger också upp fyllnadsgraden snabbare då varvtalet ökar. Kortare rör ger sämre verkningsgrad än ett längre men den ger sin bästa fyllnadsgrad vid ett högre varvtal. Allt dessa bidrar att längre rör passar väldigt bra på turbomotorer eftersom en turbo är bra på att ge extra effekt under högre varvtal men inte under de lägre. Undantaget är då en väldigt liten turbo används eller då man byggt motorn för hög effekt på högt varvtal. Inloppskanalerna slutar i plenumet med en tratt, den ska vara ca tre gånger kanalens invändiga diameter. Tratten kan antingen vara inskjuten i plenumet eller sluta i kant med där plenumet börjar, den senare är att föredra om lustgas ska användas.

Plenumet ska fördela luften lika mellan cylindrarna, detta ska ske med minsta möjliga restriktion för luften. Sedan ska ju inte plenumet vara för stort då det kommer ta lång tid att trycksätta.
När insugningsventilerna är öppna går luften genom inloppskanalerna med mycket hög hastighet, när sedan ventilerna stänger så finns det fortfarande luft i inloppskanalerna som färdas med mycket hög hastighet. När luften avstannar hastigt bakom ventilen övergår rörelseenergin till en tryckökning vilket gör att man även kan förse cylindern med luft även efter nedre dödläge. Man utnyttjar tröghet för att fylla cylindrarna men om inte tryckökningen kommer att bli tillräcklig (trycket i cylindern överskrider det i inloppskanalen), vilket kan ske på låga varvtal kommer istället en del av luften i cylindern att ta sig tillbaka ut i insuget och därmed sänka fyllnadsgraden.
Ökningarna och minskningarna i tryck som beskrevs ovan kommer att få luften i plenumet att oscillera. Luften i plenumet kommer att oscillera med en viss frekvens och om man lägger dessa rätt kan man uppnå en tryckökning i slutet av insugningsfasen som bidrar till en ökning av fyllnadsgraden vid ett visst varvtal. Att konstruera ett insug på detta sätt kallas att avstämma det enligt Helmholtz resonator. Resonans frekvensen får man fram genom:

$$n = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{LV}}$$

Där n är resonans frekvensen (Hz). c är ljudets hastighet i gasen (m/s), dvs. i luft under rådande omständigheter, men tänk på att luftens hastighet varierar beroende på temperatur (men däremot ej genom tryck), hur man får fram ljudets hastighet finns beskrivet i kapitlet om grenrör. A är tvärsnittsarean (m^2) genom den avstämda pipan, dvs. den som förser plenumet med luft, och L är dess längd (m), dvs. längden fram till kompressorn. V är resonansvolymen, dvs. volymen av plenum och inloppskanaler.
Den tryckökning som kommer att uppstå ska verka då kolven har varit nere i nedre dödläge och sedan vänt och börjat gå emot gasen, dvs. börjat på kompressionstakten, om man lägger in det på så sätt kommer resonansen att hjälpa den fyllning som sker på grund av tröghet, men om den är fel inplacerad så kan den istället motverka fyllning, därför brukar det resultera i en hel del tester innan man får ett bra insug. Dessutom bör man se till att kompressorn inte kan nå pumpgränsen (surge).



11.4 Avlastningsventil

Avlastningsventilens uppgift är att avlasta turbo hela insugningssystemet fram till gasspjället. När gasspjället stängs efter laddtryck så kommer turbon fortfarande ha högt varvtal och fortsätta att leverera luft. Skillnaden är bara att nu förbrukar inte motorn någon luft så trycket kommer att stiga snabbt för att sedan nå en nivå då turbons varvtal är för lågt för att den ska kunna hålla emot laddtrycket vilket gör att turbon når vad som kallas surge, och luften blåses ut genom kompressorn med en kraftig retardation som resultat, vilket innebär att turbons liv förkortas drastiskt.
Genom att sätta en ventil på tryckröret/en, som styrs via vakuum vilket tas efter gasspjället/ena gasspjället så kan man släppa ut luften vilket gör att det inte bildas någon laddtryckstopp när man stänger laddtrycket. Ventilen släpper ut luften och leder den tillbaka till före kompressorn eller släpper den rakt ut i luften en s.k. dumpventil. Om motor är utrustad med ett styrsystem som har luftmassemätare så ska man inte ha en dumpande ventil då detta leder till att luftmassemätaren ger felaktiga värden. Om luften slår bakåt genom kompressorn så känns det igen genom det kvittrande ljudet.

Ventilen ovan till höger är en ventil som är mycket vanlig på standardbilar, den är tillverkad i plast och använder sig av ett membran vilket gör den mycket snabb men också mycket känslig. Ventilen nedan är utvecklad för att tåla höga tryck.

12 ELEKTRONISK BRÄNSLEINSPRUTNING

Elektronisk bränsleinsprutning, eller EFI som det ibland förkortas vilket kommer från engelskans Electronic Fuel Injection, är ett system där en dator, ECU, Electronic Control Unit styr bränsletillförseln till motorn. På alla mer avancerade system så styr den även tändningen och laddtryck. Några exempel på moderna oem styrsystem är Bosch Motronic, vilket sitter i de flesta bilarna, och Saab Trionic vilket är unikt eftersom det är enbart för turbomotorer. Det finns många tillverkare som gör så kallade eftermarknadssprut som kan monteras på de flesta motorer, dessa brukar också vara enkla att mappa via en vanlig PC och ett speciellt program som medföljer. Några exempel på tillverkare är Autronic, Haltech och Motec.

Styrboxen i ett elektroniskt styrsystem, är en dator som utformats speciellt för detta ändamål.
Dess uppgift är att samla in information och utifrån denna avgöra bränslemängd, tändning och laddtryck. När styrdatorn avgjort bränslemängden så skickar den vid ett visst tillfälle en signal till insprutningsventilen att öppna. En insprutningsventil eller spridare vilket den vanligen kallas, är en solenoidventil som öppnar med hjälp av bränsletrycket då den får en ström från styrdatorn.

ECU:n kan också kontrollera tändningen, och precis som med bränsleinsprutningen gör den det med största noggrannhet efter insamlade data. Tändkurvan ligger liksom bränslemängden i en map.

Sedan har vi även en tredje map, i denna finns uppgifter om laddtrycket. Laddtryck brukar styras via en magnetventil, denna har tre anslutningar för luft, en före turbon, en till wastegateklockan och en för styrsignal till laddtryck. Styrsignalen tas från kompressorhuset eller strax därefter, denna signal motsvarar laddtrycket i systemet. Magnetventilen är en solenoid från vilken styrdatorn kan välja om trycket ska släppas förbi och in före turbon vilket ger en höjning av laddtrycket eller om den ska leda in trycket i wastegateklockan och på så sätt sänka laddtrycket.

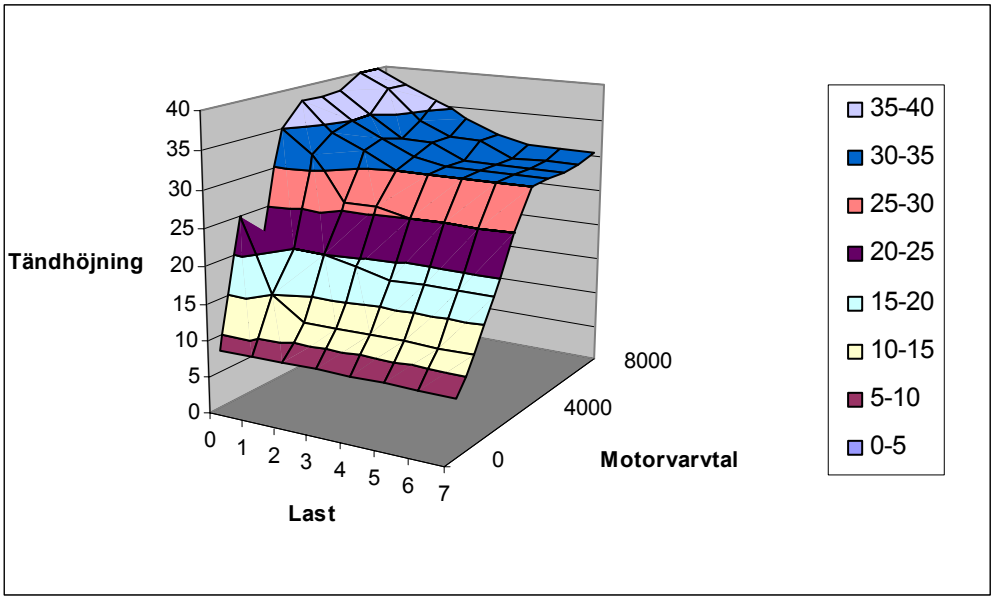
12.1 Vad är en ”map”

En map är en tabell där man genom två kända värden kan få ett tredje värde. För bränsle och tändning utgår man ifrån två saker, last och varvtal. Man delar in last och varvtal i ett antal last- och varvtalspunkter. Som exempel kan vi ta eftermarknadssprutet Autronic SM2, detta styrsystem har 16 last- och 32 varvtalspunkter som är programmerbara. Om motorn vi har använder upp till 9000 varv per minut kan vi lägga in våra 32 punkter så att var 300:e varv blir en punkt. Sedan får vi även definiera våra 16 lastpunkter (vilket kan göras på flera sätt), och tillsammans med varvtal så vet styrenheten hur mycket bränsle den ska tillsätta. Den här typen av map kallas grundmap. När motorns varvtal eller last ligger mellan punkterna så interpoleras värdet genom att utnyttja de närmaste punkterna.

Så här skulle en enkel tändningsmap kunna se ut.

	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
0	8	25	20	35	38	38	38	40	40
1	8	15	20	32	34	35	35	38	38
2	8	12	20	26	32	33	32	34	36
3	8	12	19	26	30	31	32	32	34
4	8	12	18	25	30	30	30	32	32
5	8	12	18	25	30	30	30	30	31
6	8	12	18	25	30	30	30	30	31
7	8	12	18	25	30	30	30	30	31

Samma map fast i 3D.



Men för att kunna göra alla beslut om motorns styrning måste styrboxen få in information. Den insamlade informationen kommer sedan styrdatorn jämföra med de data som den har. Dessa data ligger lagrade i så kallade mappar (från engelskans map, karta) där varje driftsförhållande motsvaras av en viss mängd bränsle, ett visst laddtryck och ett visst tändningstillfälle. Hårdvarumässigt så lagras dessa mappar på ett EPROM, dessa kan bytas ut eller programmeras om. Exakt vilka uppgifter som styr varierar men vi kan dela upp dem i två delar, system som använder luftmassemätare och de s.k. speed-density vilka utnyttjar tryck, temperatur samt kända data om motorn för att få fram luftmassa.

12.2 Luftmassemätare

Luftmassemätaren mäter massan på luften motorn drar i sig. Detta sker genom att en luftmassemätare placeras på insugningsröret före turbon i vilken en platinatråd upphettas. Vanligen så upphettas den till runt 100 grader Celsius och sedan ger luftmassemätaren en viss spänning beroende på hur mycket ström den får använda för att tråden ska hålla den temperaturen. Nackdelen med luftmassemätare är att de ger ett mottryck då man måste leda luften genom den samt att den är långsam och ganska lättlurad.

12.3 Lufttemperatur

Luftens densitet varierar beroende på luftens temperatur, därför sotter det en sensor som mäter temperaturen på insugningsluften.

12.4 Barometer

Luftens densitet varierar också beroende av lufttryck, lufttrycket varierar beroende på altitud och väderlek. Denna sensor kan sitta lödd direkt på ECU:ns kretskort.

12.5 Motortemperatur

Detta är vanligen kylvätsketemperatur. Eftersom endast gasformigt bränsle brinner så måste det förångas innan det kan förbrännas, och en kall motor har svårare att förånga bränsle, dvs. en mindre del av bränslet förångas, därför tillsätter man extra bränsle då motorn är kall.

12.6 MAP

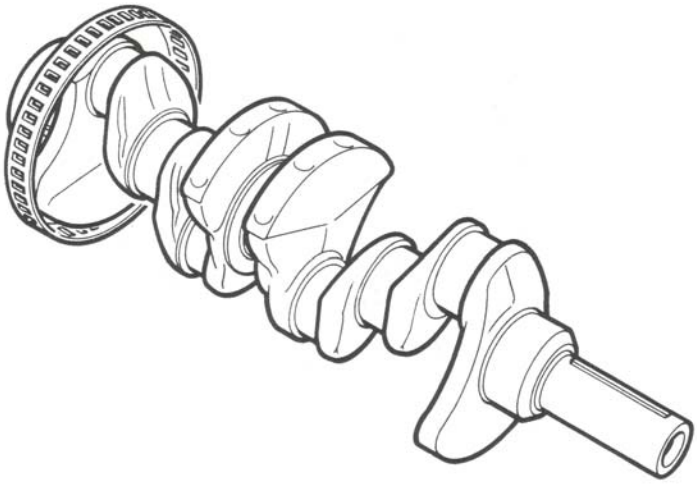
Manifold Absolute Pressure, alltså det tryck som råder i insugningsgrenröret, dvs. absoluttrycket vilket är det totala trycket, atmosfärstrycket plus laddtrycket.

12.7 Syrehalt i avgaserna

Genom att mäta syrehalten i avgaserna, lambda, så får man fram om hur förhållandet mellan luft och bränsle är. Denna sensor sitter monterad efter turbon.
Sensorn har en keramisk kropp av zirkoniumoxid, ZrO_2 med en liten tillsats av kalciumoxid, CaO eller yttriumoxid, Y_2O_3. Oxidjoner kan vandra mellan lediga platser, vakanser i det keramiska materialet. Ström mängden som går genom lambdasonden är ett mått på syret i avgaserna. Lambdasonden behöver en temperatur av 250 grader Celsius för att fungera, därför är vissa sonder eluppvärmda. Dessa känns igen genom att de har tre kabelanslutningar istället för en. Sensorn har ett visst arbetsområde den kan arbeta inom, de sensorer som kan arbeta under ett bredare arbetsområde kallas bredbandslambda.

12.8 Trottelposition

En sensor som sitter på gasspjället, trottel mäter dess läge. Av dessa finns mer och mindre avancerade modeller. De enklare varianterna har flera steg, dock minst två – fullgas och tomgång.



12.9 Vevaxellägesgivare

Vevaxellägesgivaren ger information om huv vevaxeln befinner sig. Detta sker med en sensor och en skiva vilken har ett flertal hål i ett visst mönster vilket gör att ECU:n kan få den exakta positionen.

12.10 Turbons varvtal

Detta används på ett fåtal tävlingsbilar. En sensor känner av varvtalet på turbon

12.11 Joniseringsmätning i cylindern

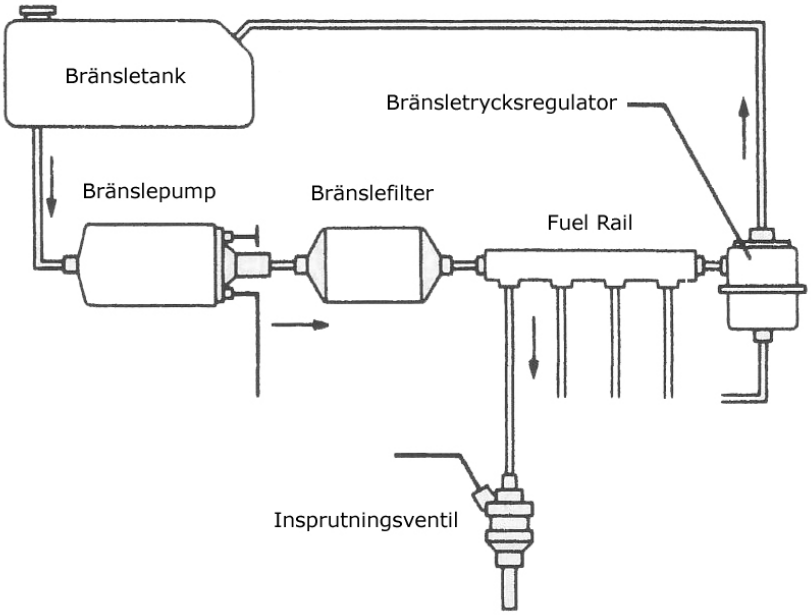
Genom att lägga en svag spänning över tändstiftet efter tändning kan man mäta jonhalten i förbränningsrummet vilket gör att man kan få fram ett flertal intressanta parametrar. Mer om detta i senare upplaga.

12.12 Kamaxellägesgivare

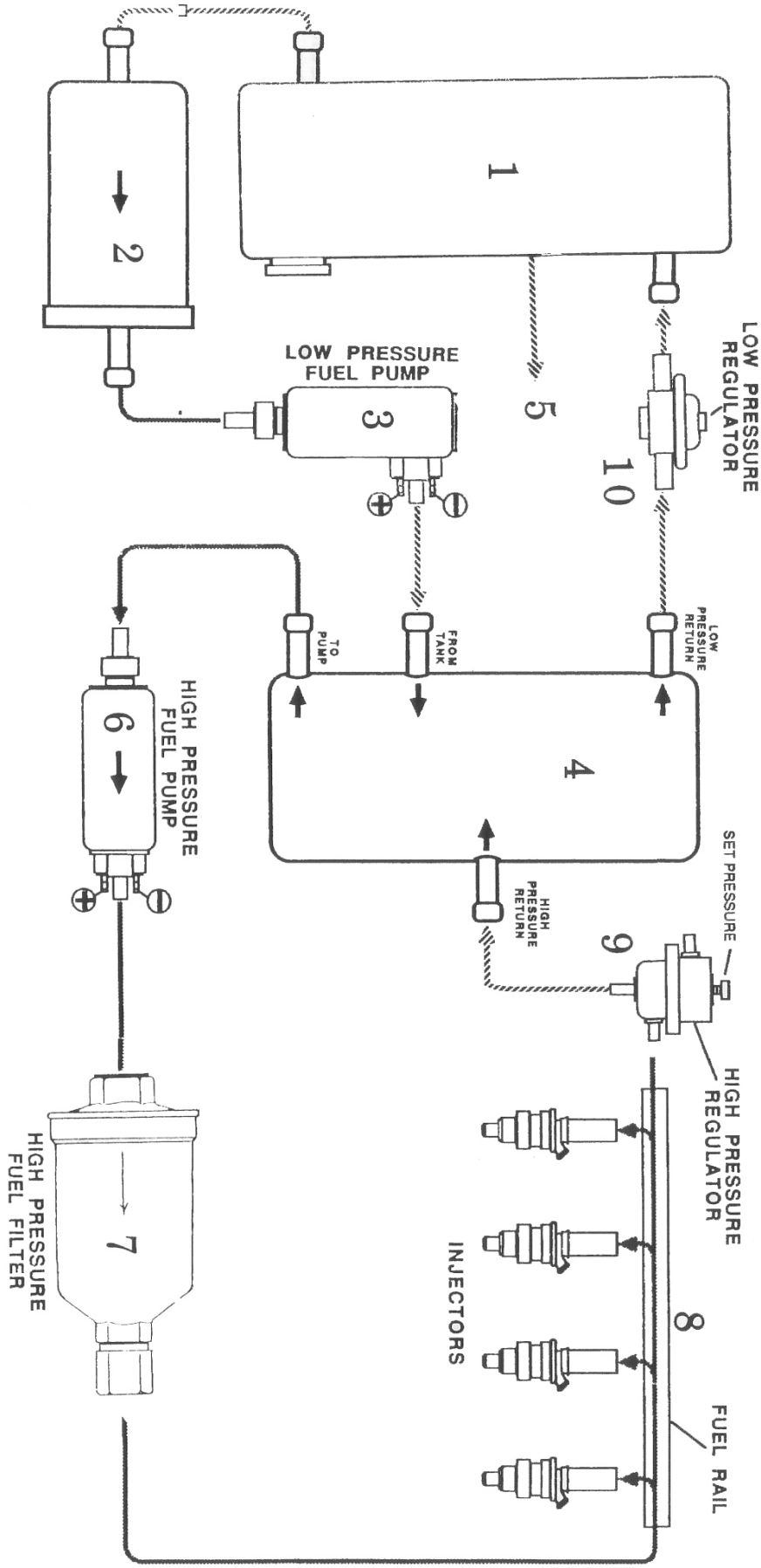
Genom att veta läget på en kamaxel kan man få fram information om i vilken fas motorn befinner sig i. Joniseringsmätning eller trycksensorer i förbränningsrummet kan ersätta kamaxellägesgivaren.

12.13 Bränsle, tändning och laddtrycksreglering

Innan vi går igenom hur styrsystemet använder de uppgifterna den får in ska vi ta och gå igenom vad som sedan ska utföra dess kommandon.
Den första som står på tur är bränslesystemet och här kan det skilja lite från system till system men som exempel ska vi ha ett system för standardbilar och ett mer inriktat för tävlings- och prestanda bilar.



Såhär brukar bränslesystemet vara uppbyggt på de flesta standardbilar med elektronisk bränsle insprutning. Detta är mycket enkelt uppbyggt, men skiljer sig inte alltför mycket från systemet som visas på nästa sida. Skillnaden ligger i att det här systemet saknar lågtryckspumpar och catchertank.


LOW PRESSURE REGULATOR
10
5
1
2
LOW PRESSURE FUEL PUMP
3
LOW PRESSURE RETURN
FROM TANK
TO PUMP
4
HIGH PRESSURE RETURN
SET PRESSURE
9
HIGH PRESSURE REGULATOR
8
FUEL RAIL
INJECTORS
HIGH PRESSURE FUEL PUMP
6
7
HIGH PRESSURE FUEL FILTER

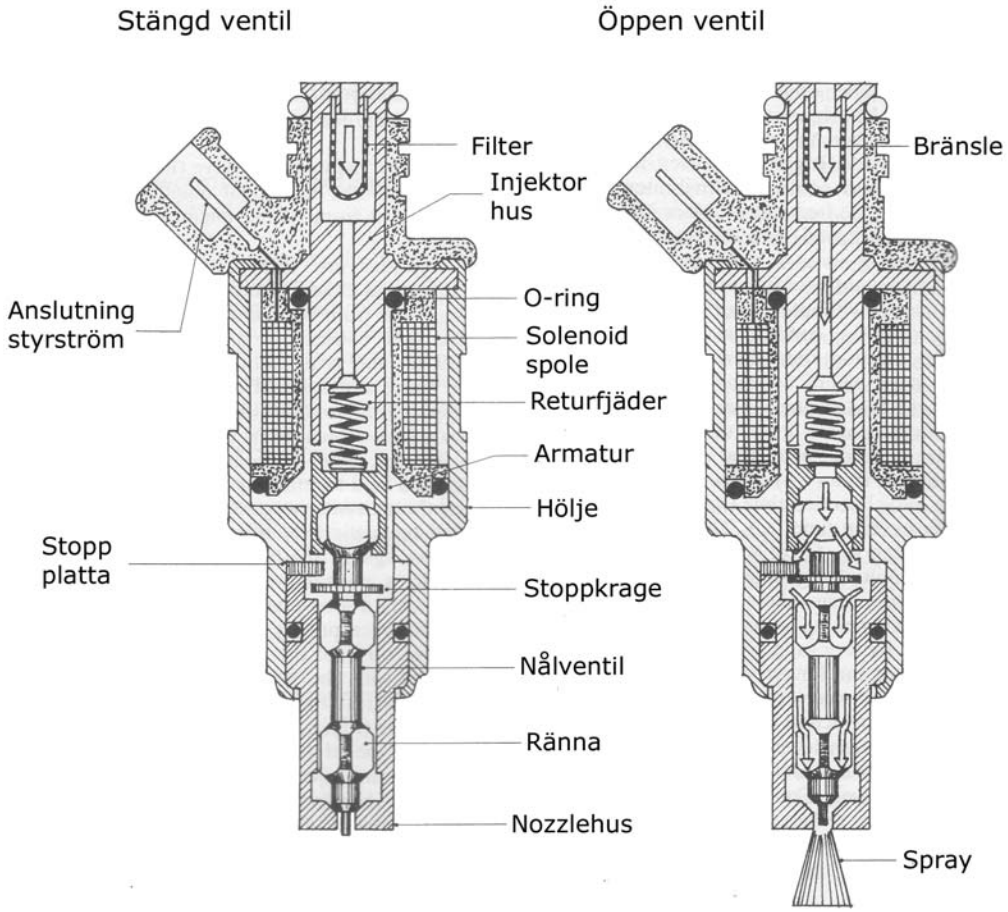
12.13.1 Insprutningsventilen

Insprutningsventilen sköter insprutningen av bensinen, vilket styrs av styrboxen. Mängden bränsle justeras genom att justera öppningstiden. Ventilen kan antingen ha lågt (0,6-2,5 Ω) eller högt (11-17 Ω)motstånd, den tidigare är avsedd för sridaredrivare av typen ”peak and hold”. Peak and hold innebär att man använder en större strömstyrka för att öppna ventilen och sedan en lägre för att hålla ventilen öppen. Spridare som arbetar med ”peak and hold” öppnar snabbare och är mer exakta, de drar dessutom mindre ström.

Om man placerar spridaren långt ifrån cylindern (vid tratten) så kommer detta lämpa sig bäst för höga varvtal och fullgas, medan en placering nära cylindrarna kommer att bidra till bättre gång på lägre varvtal samt att motorn kommer att gå bättre under de lägre varvtalen.

Hur styrdatorn styr ventilerna varierar också, den bästa metoden är sekventiell insprutning. Med detta menas att varje spridare öppnas vid just det tillfälle som är mest lämpligt för just den cylindern spridaren arbetar för.

Genom att höja bränsletrycket så kan man få högre fart på bensinen man sprutar in. Detta innebär att man kan använda en spridare med vidare spay vinkel, eller insprutningskon, utan att man blöter ned väggarna i inloppet. En vidare spray vinkel betyder bättre förångning av bränslet och därför mer effekt.



12.13.2 Styrsystemet

För turbomotorer med hög effekt lämpar sig system av typ speed-density bäst. Däremot lämpar de sig inte lika bra i serieproducerade bilar då det brukar vara svårt att få motorn att lämna rena avgaser. För att veta hur mycket bränsle man ska tillsätta måste man veta hur mycket luft det finns där. På ett speed-density system använder man tryck i plenumkammaren, temperatur på luften, samt motorns varval och fyllnadsgrad för att få fram luftmassan. Detta justeras sedan in med lambda sensorns hjälp. Men eftersom lambda sensorn bara kan arbeta inom ett visst område så stänger man av den när man går utanför detta område, detta kallas att köra med open loop.
Om styrsystemet arbetar med sekventiell insprutning måste styrsystemet känna till vevaxelposition och i vilken fas motorn befinner sig i. Det sker med vevaxellägesgivaren och en kamaxelgivare eller genom joniseringsmätningen.
Turbotrycket justeras via magnetventilen, alla laddtryck finns givna i en map beroende på varvtal. Så när motorn belastas kommer turbon börja bygga upp laddtryck, detta justeras sedan av styrsystemet beroende på varvtal. Om knacksensorn detekterar knackning kommer laddtrycket att sänkas om inte omställning av bränsle och tändning hjälper.

12.13.3 Tändsystemet

Tändsystemets uppgift är att via tändstiftet ge en gnista som antänder bränsle/luft blandningen. I en turbomotor så råder högt tryck i förbränningsrummet då motorn arbetar med laddtryck, detta gör det svårare för tändsystemet att antända gasen.
Idag har vi i princip två elektroniskt styrda system, TSI (Transistorised Ignition) och CDI (Capacitive Discharge Ignition).
TSI fungerar likadant som ett tändsystem med tändfördelare bara att en transistor har fått tagit över den mekaniska fördelarens roll, med andra ord så fungerar tändspolen även här som lagringsplats för den energi som används vid tändning. Detta fungerar på så sätt att då ström kopplas till tändspolens primära lindning skapas ett magnetfält och spolen ”laddas upp”. Då strömmen bryts så kollapsar magnetfältet och en spänning i den sekundära lindningen skapas. Eftersom den sekundära lindningen har fler varv än den primära så kommer spänningen också att öka.
CDI lagrar istället energin i en kondensator med mycket hög spänning, ca 400-600V. När tändning ska ske urladdas kondensatorn och tändspolen används sedan som en transformator och höjer spänningen ytterligare. Denna urladdning sker väldigt fort vilket gör att CDI system passar bäst i högprestandamotorer där man prioriterar hur motorn uppför sig under full belastning. CDI system har även nackdelen att de ger upphov till kraftigare magnetfält.

13 TURBOMOTORN OCH HÅLLBARHETEN

Moderna turbomotorer är mycket hållbara, till och med hållbarare än en sugmotor. Anledningen till detta är att dagens turbomotorer har en bra mekanisk konstruktion och ett avancerat styrsystem som kontrollerar alla parametrar, men viktigast av allt är att man genom det laddtryck som turbon skapar kan höja effekten utan att öka varken cylindervolym eller varvtal vilket skapar högre påfrestningar än de som sker vid turboladdning. Ett bra bevis på detta är det klassiska 24 timmars loppet på LeMans som körs varje år. Om man kollar närmare på hur många som bryter på grund av motorproblem kommer man finna att andelen turbomotorer är betydligt mindre än andelen sugmotorer. Men trots allt kan turbomotorer gå sönder, speciellt i turbons barndom var detta vanligt.

13.1 Turbohaveri

När motorn körts hårt behöver turbon kylas ned ett tag innan man kan stänga av motorn. Anledningen till detta är när man stänger av motorn bryts oljeflödet till turbon. Oljan används till att kyla turbon och om flödet bryts hettas den kvarvarande oljan upp och koksar så småningom igen oljekanalerna i lagret. Turbon blir utan smörjning och havererar. Lösningen heter vattenkylda lagerhus, i vilket vattnet kan ta upp största del av värmen. Rätt inkopplat kan man utnyttja termosifonverkan (varma vätskor stiger uppåt) vilket gör att vattnet kommer att cirkulera så länge som det finns temperaturskillnader i vattnet. Om man kopplar en slang till toppen, före termostaten och en på slangen för retur från kylaren till vattenpumpen gör det att vatten cirkulerar under gång från toppen genom turbon oavsett termostatens läge. När motorn stannar vänder vattnets cirkulation, men cirkulerar även nu oberoende av termostatens läge. Dock är det att rekommendera en halv till fem minuters tomgångskörning efter hård körning, vattenkylt eller ej så ger det en god säkerhetsmarginal mot koksbildning, och detta är viktigt eftersom lagrena är turbons känsligaste del.

13.2 Impeller och turbinskador

Turbinskador uppkommer vanligen genom att turbinhjulet oxiderar, detta genom avgastemperaturen är för hög. Finns svavel med i bilden så kommer oxidationen gå ännu snabbare. Höga svavelhalter i motorn kan komma ifrån oljeläckage eller dålig bensinkvalitet. Om motorn drivs av metanol så bildas myrsyra vilket också tar hårt på turbinhjulet.
Om grenröret är tillverkat i ett dåligt material så kan glödskal bildas på insidan av grenröret. Dessa kan sedan släppa och fara in i turbinen vilket resulterar i turbinskador.
Impellerskador uppkommer genom att dålig filtrerad luft kommer in och detta ger en blästrande effekt på impellern. Skador uppkommer också om större objekt hamnar i impellern, vare sig det är en sten eller impellermuttern så orsakar detta ett omedelbart ras.

13.3 Spruckna toppar

Spruckna toppar orsakas av spikningar. Detta var ett problem som fanns främst under turbons barndomsår, orsaken till dessa spikningar var bristande kvalitet i bensinen. Detta är idag löst genom avancerad styrning av motorn samt bättre bränslekvalitet.

13.4 Spruckna grenrör och turbinhus

En turbo motor ställer högre krav på på grenrör än en sugmotor, och naturligtvis måste turbinhuset också klara dessa krav. Små sprickor blir snabbt större, vissa kan endast ses med ultraljud eller likande metoder. Men hur ska man då slippa dessa sprickor, förutom bra tillverkningsmetoder och god kvalitets kontroll ligger hemligheten i materialet. Om vi tittar på ett gjutet grenrör från en modern turbomotor skulle man kunna tro att det är vilket enkelt gjutjärn som helst, så är dock inte fallet. Grenröret är gjord i en speciell gjutjärnslegering med mycket hög nickelhalt, i princip är halterna så höga att det nästan skulle kunna klassifieras som rostfritt. Förutom de ovan nämnda haveriorsaker är bristande underhåll ett annat. Dessa problem uppkommer genom bristande oljebyten, vilket medför skräp in i turbons lager. Oljan bör ju också vara av bra kvalitet och ha en hög kokpunkt, vilket motverkar koksbildning och förbättrar smörjegenskaperna. Om man använder sig av ett svetsat grenrör kan svetsningen i sig separera, detta problem finns redan inbäddat från den dag då grenröret svetsades.

Bilaga

NÅGRA ENKLA PROGRAM FÖR BERÄKNING

Här är källkoden till två program för grafritande miniräknare typ Casio FX 9750, CFX 9850, CFX 9950 och CFX 9970. Dessa saknar åäö samt små bokstäver. Programets namn får max innehålla åtta tecken. Därför kan det ibland te sig lite lustigt, MM är inte megameter utan millimeter.

Det första programmet räknar ut motoreffekten hos kolvmotorer. Namnet är en förkortning av Internal Combustion Engine Power, det andra kolvhastighet och kolvacceleration som beskrivet i kapitel 2.

ICEPOWER

```
"VOLYM (CC)"?->V
"TAKTER/CYKEL"?->T
"VARVTAL (RPM)"?->R
"VERKNINGSG. (PROCENT)"?->E
"LADDTRYCK (BAR)"?->P
"VE (PROCENT)"?->F
"ENERGIINNEH. (MJ/KG)"?->L
"EFFEKT (HK)"
V x (R / (T / 2)) x (F / 1 x 10^2) x (P + 1) x 1,293 x 10^3 / L x <EJ
ENTER>
(B x 1 x 10^6 ) x (E / 1 x 10^2) / 6 x 10^7 x 1,36 ▪
"LUFTBEHOV (L/MIN)"
V x (R / (T / 2)) x (F / 100) x (P + 1) / 10^3
```

KOLVHAST

```
”SLAGLANGD (MM)”?->S
”VARVTAL (RPM)”?->N
”VEVSTAKSLANGD (MM)”? -> L
”MEDELHASTIGHET I M/S”
S / 1000 -> T
L / 1000 -> M
T / 2 -> R
R / M -> A
T x N / 30 ▪
”MAX ACCELERATION I M/S² (VID TDC)”
R x (π x N / 30)² x (1 + A)▪
“MAX HASTIGHET”
“GRADER EFTER TDC”
cos^-1 ((√ (8 x A²+1)-1) / (4 x A)) -> Q ▪
360 - Q ▪
“I M/S”
R x (π x N / 30) x (sin Q + R / M / 2 x sin (2 x Q)
```

- ▪ är ett resultatkommando vilken på miniräknaren har formen av en svart trekant. Denna får man fram genom att trycka shift prgm och sedan F5.
- -> är pilen som man kan hitta på samma knapp som bokstaven L.
- x är multiplikationstecken.
- Varje radbyte motsvarar ett tryck på enter, såvida det inte finns ett resultattecken där eller <EJ ENTER> står där.
- Notera att i formlerna så har mellanrum används på vissa ställen för att få det mera lättläst, dessa ska naturligtvis inte vara med i programkoden.

REFERENSER

Aungier, R.H. (1999) *Centrifugal Compressors: a strategy for aerodynamic design and analysis*, A S M E Press - ISBN 0791800938

Batkis, G. S. (2002) *Chemical and Petroleum Engineering* - ISSN 00092355 – Vol. 38, Nr 1-2, s. 81-88

Bell, C. (1997) *Maximum Boost: designing, testing, and installing turbocharger systems*, Robert Bentley Inc. - ISBN 0-8376-0160-6

Borén, H. Larsson, M. Lif, T. Lillieborg, S. Lindh, B. (1997) *Kemiboken A för gymnasieskolan NV-programmet*, Liber AB - ISBN 9147000058

Garrett Engine Boosting Systems officiella hemsida http://www.egarrett.com/

GIK Turboteknik AB. (2001) *Turbokonvertering Bränsleinsprutning Uppgradering*

Hamilton, B. (1996) *Gasoline FAQ*, http://www.faqs.org/faqs/autos/gasoline-faq/part1/ Industrial Research Limited

Hawthorne, W.R. m.fl. (1964) *Aerodynamics of turbines and compressors*, Princeton University Press - ISBN 0691079048
Von Der Nuell, W.T. *The radial turbine*
Taylor, S.T. *The centrifugal compressor*

Heisler, H. (1995) *Advanced engine technology*, Butterworth-Heinemann, 2:a Tryckningen - ISBN 0-340-56822-4

Holset Turbochargers officiella hemsida http://www.holset.co.uk/

Johansson, K.E. och Snaar, B. (1998) *Fysik A för gymnasiet*, Natura läromedel - ISBN 917536140X

Johansson, K.E. och Snaar, B. (1999) *Fysik B för gymnasiet*, Natura läromedel - ISBN 9175361507

Nilsson, L.G. (1989) *Konstruktion Ma*, Esselte Studium AB - ISBN 912434866X

Pröjtz, L. (1999) *Bilsport*, Förlags AB Albinsson & Sjöberg - ISSN 03472035 - Nr 6, s. 20-24

TAG Electronic Systems officiella hemsida http://www.tagelectronics.co.uk/

Saab Automobile AB (1993), *M 1994- 2:1 Grundmotor B206/B234/B204*