VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Elbesparingar i industriella ventilationsanläggningar

Roy Gustavson

ENERGITEKNIK 265

1987-01-21

Elbesparingar i industriella ventilationsanläggningar

av Roy Gustavson

Key words: Ventilation
Industry
Electricity
Saving

1987-01-21

Förord

Rapporten är sammanställd av Roy Gustavson, Fläkt Industri AB i Växjö. Det förklarar varför man i exemplen använder produkter på Fläkts program. Rapportens värde är dock ej mindre av denna anledning. I själva verket ligger det en poäng i att exemplen bygger på kommersiella komponenter. Man får då klart för sig att det går att utforma ventilations-anläggningar på flera sätt som resulterar i olika elförbrukning.

Edvard Sandberg
Ordf i forskningsgruppen för
energi/systemteknik och industriell
energihushållning

Roy Gustavson 1987-01-21

Sammanfattning

Elpriset förväntas stiga i Sverige bl a på grund av statsmakternas beslut att avveckla kärnkraften. Den svenska industrin går därför igenom elförbrukande motorer och processer för att i möjligaste mån spara elenergi.

Nästan alla industrilokaler kräver ventilation. Ofta krävs både fläktar som för in luft till lokalerna och fläktar som för bort luft från lokalerna igen. Det krävs också ansenliga kvantiteter luft för att upprätthålla ett acceptabelt klimat i varje lokal, speciellt i lokaler med processer som avger värme, fukt, damm eller gaser. Den sammanräknade energikonsumptionen för alla fläktar på en industri kan därför vara betydande.

Ofta försummas underhållet av ventilationen i processindustrin. Luftflödet räknas inte till processen, det betraktas som självklart att det finns tillgång till luft. Ventilationen försummas till och med i torkprocesser där luften har en viktig funktion och kan avgöra hela torkprocessens ekonomi.

Ventilationsutrustning kan vara mycket olika från anläggning till anläggning. Ofta monteras fläktarna ihop med andra luftbehandlingsdon såsom spjäll, filter, värmeväxlare till ett aggregat. Aggregaten levereras helt eller delvis färdigbyggda för att underlätta montaget. Aggregatens utseende och innehåll kan vara mycket olika eftersom optimeringsvillkor, konstruktionsfilosofi och kundernas önskemål förändras med tiden.

För att uppnå en god driftsekonomi måste man se till att ventilationssystemet är rätt inställt och att eventuella filter byts enligt driftsinstruktionen (se checklista på följande sida). Men man bör också se till att förutsättningarna som gällde vid upphandlingen inte har förändrats, till exempel att elpriset inte har förändrats. Har förutsättningarna förändrats kan det vara ekonomiskt att förändra ventilationssystemet så att man får en bättre ekonomi.

I denna rapport visas hur fläktens elkonsumption kan uppskattas och hur man med olika åtgärder kan påverka elkonsumptionen. Med några beräkningsexempel visas också hur mycket man tjänar på några sådana åtgärder.

Roy Gustavson 1987-01-21

Checklista för underhåll av ventilationssystem:

1. Byte eller rengöring av luftfilter då tryckfall över filtret nått maximalt värde.

2. Inspektion och rengöring vid behov av värmeväxlarytor enligt fabrikantens anvisningar.

3. Kontroll av eventuell avfrostningsutrustnings funktion, se teknisk beskrivning till densamma.

4. Kontroll av värmebärarmediets frostbeständighet (glykolhalt) och korrosivitet (pH) vid vätskekopplade system.

5. Kontroll att vätskekopplade system är fyllda och luftade.

6. Läckagekontroll. För vätskekopplade system kontrolleras ventiler, skarvar och pumpar. För luftsystem kontrolleras skarvar, spjäll och axelgenomföringar.

7. Kontroll av remdrifter för fläktar och roterande värmeväxlare. Kontroll av att rotationsriktningen är riktig.

8. Kontroll av flödes- och rotationsvakter.

9. Kontroll av att fördelningsspjäll mm är rätt inställda.

10. Funktionskontroll genom avläsning av temperatur och tryck på strategiska punkter. Jämför avläsningarna mot tidigare avläsningar och mot eventuellt tidigare utförda prestandamätningar.

Roy Gustavson 1987-01-21

Summary

The price of electricity is expected to go up in Sweden partly because of a government decision to stop using nuclear energy after year 2010. Therefore Swedish industry is looking over electrical equipment in order to save electrical power if possible.

Almost all industrial buildings require ventilation, very often fans are required to both supply air to a building and to exhaust air from the building again. Considerable amounts of air are required to keep an acceptable climate in all rooms, especially in rooms where processes that emit heat, moist, dust or gases are kept. The total energy consumption for all fans in a process industry may therefore be considerable.

Ventilation maintenance is very often neglected in the process industry. The air flow through the rooms is not considered to be a part of the process and it is considered natural that there is enough air. Ventilation maintenance is even neglected in drying processes where the air has an important function and may determine the economy of the drying process.

Ventilation equipment can differ very much from one industry to another. The fans are very often used in aggregates together with other air handling equipment such as dampers, filters, heat exchangers, humidifiers etc. The aggregates are delivered prefabricated (wholly or partly) to facilitate the installation on site. The exterior and the contents of each aggregate can be quite varying depending on which year the aggregate was built and the optmimizing presumptions, the construction philosophy and the custumers' requests that were prevalent at that time.

The ventilation system should be maintained according to the operating instructions in order to achieve a good economy (see the check-list for ventilating systems on the following page). However, now and then it should be checked whether the presumptions that were prevailing at the time of purchase have changed. If the presumptions have changed it may be economical to change the ventilating system in order to obtain a better economy.

This report shows how the electricity consumption of a fan can be estimated and how different modifications may change the electrical consumption. The savings that can be accomplished through some modifications are illustrated in a few examples.

Check-list for ventilation system maintenance:

1. Change or clean air filters when the pressure drop has reached the maximum value.

2. Inspect and clean the heat exchanger surfaces according to the manufacturer's instructions.

3. Check the function of the defrosting equipment (if any).

4. For liquid-coupled heat exchangers, check the amount of antifreezing liquid (glycol) and the corrosivness (the pH) of the liquid.

5. For liquid-coupled heat exchangers, check that the liquid system is completely filled and deaerated.

6. Check for leakage. For liquid copuled systems check, valves, connections and pumps. For air systems check joints, dampers and shaft lead-through.

7. Check belt-drives for fans and rotating heat exchangers. Check that the rotating direction is correct.

8. Check guards for air flow and rotation.

9. Check that distributing dampers etc are in the correct position.

10. Check the funktion of the system by reading temperatures and pressures at strategical prints. Compare the readings with earlier readings and with earlier performance measurements.

Roy Gustavson 1987-01-21

Energipriser och energibesparing

Elenergipriset har under en följd av år varit lågt i Sverige i jämförelse med många andra länder. Sverige har god tillgång till vattenkraft från våra många vattendrag och under 1960- och 70-talet byggde man också kärnkraftverk som idag producerar elektricitet till ett lågt pris.

Efter energikriserna på 1970-talet startade flera kampanjer för att spara energi. Värmeväxlare och värmepumpar installerades i industri och hushåll. Men det var i första hand den importerade oljan som skulle sparas och i många fall ersättas t ex oljepannor med elpannor eftersom elkraften var billigare.

Efterhand har intresset ökat för inhemska energikällor såsom flis, bark, torv och sopor. Speciellt barkeldning har visat sig vara en mycket lönsam energiform för pappersindustrin. På senare tid har vi också fått uppleva en tid av mycket låga oljepriser, den s k "omvända energikrisen" vilket har medfört att elenergi idag är betydligt dyrare än energi från andra energislag.

Det är inte lätt att sia om energipriserna i framtiden. Förmodligen kommer vi att få uppleva fler "energikriser" av skilda slag. En sådan energikris kan redan nu förutses eftersom statsmakterna beslutat att Sverige skall avveckla kärnkraften. Detta kommer att medföra att elpriset stiger ännu mer jämfört med oljepriset. Det är därför naturligt att industrin idag ser över sina elkonsumerande processer och försöker minska elanvändningen i möjligaste mån.

Elbesparing i pappers- och cellulosaindustrin

När man försöker spara elektricitet är det naturligt att börja med de stora elkonsumenterna. Inom pappers- och cellulosa-industrin är det TMP-processen (TMP=Thermo Mecanic Pulp, termo-mekanisk massa) som är den största enskilda elkonsumenten. Denna process har efterhand gjorts betydligt energieffektivare genom förbättrad återvinning av den vid processen alstrade ångan.

Många små elkonsumenter kan emellertid tillsammans använda stora mängder elektricitet. Maskindrifter, pumpar, fläktar och omrörare svarar tillsammans för merparten av elförbrukningen inom massa- och pappersindustrin. Genom att införa processförbättringar och genom att införa varvtalsreglering för drifter, pumpar och omrörare har också stora energimängder kunnat besparas. Varvtalsreglering används dock inte lika ofta för fläktar eftersom fläktar oftast arbetar med konstanta betingelser.

Fläktar konsumerar ansenliga mängder energi i pappers- och cellulosabruk. I en normal maskinsal på ett pappersbruk behöver t ex 400 000 - 800 000 m^3 luft per timme (500 - 1 000 ton/h) tillföras och bortföras för att man skall få ett bra klimat och för att man ska föra bort vattenånga från torkprocessen. För dessa behövs ca 300 - 800 kW vilket med 0,20 kr/kW elpris och 8 000 arbetstimmar per år motsvarar 480 000 - 1 280 000 kr per år. Och det är ju inte enbart torksalen som behöver ventilation, nästan alla utrymmen i ett pappers- eller cellulosabruk kräver ventilation.

Fläktar används till att framdriva eller trycksätta luft eller andra gaser. De blir därför en viktig komponent i flera sammanhang i industrin, t ex:

- för att få ett bra klimat för personal
- för att få ett lämpligt klimat för maskiner och annan utrustning
- för att föra bort värme från drifter och processer
- för att föra bort vattenånga från våta processer, t ex torkprocesser
- för att transportera värme och fukt till värmeåtervinnings-anläggningar
- för att tillföra luft vid luftkonsumerande processer, t ex förbränning
- för att föra luft, rökgaser och processgaser till reningsanläggningar
- för att föra bort rökgaser och processgaser från anläggningar och till t ex skorstenar
- för pneumatisk transport av fast material t ex flis eller aska
- för fluidisering av fast material t ex vid förbränning
- för fasthållning t ex av massabanan i en massatork
- för att undvika kondensation på väggar och tak i byggnader som annars kan ge upphov till sönderfrysning

Roy Gustavson 1987-01-21

Elförbrukningen i en fläkt

För att kunna göra elbesparingar i fläktar är det viktigt att man känner till vad som orsakar energibehovet. En fläkts axeleffekt beräknas enklast med hjälp av fläktdiagrammet för den aktuella fläkten. Axeleffekten kan också uppskattas med hjälp av följande ekvation

$$E_{axel} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_f} \qquad (1)$$

där

E_{axel} = axeleffekten, W

$\dot{V}$ = volymflödet gas som fläkten transporterar, m^3/s

Δp = totaltrycksökningen som fläkten behöver ge för att övervinna ventilationssystemets tryckfall, Pa

η_f = fläktens verkningsgrad

Elkonsumptionen för fläkten erhålles genom att lägga till verkningsgraderna för elmotorn och för transmissionen

$$E_{el} = \frac{E_{axel}}{\eta_t \cdot \eta_m} \qquad (2)$$

eller

$$E_{el} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_f \cdot \eta_t \cdot \eta_m} \qquad (3)$$

där

E_{el} = elförbrukningen för fläkten, W

η_t = verkningsgrad för transmissionen, t ex remdrift

η_m = verkningsgrad för motorn

Av den senare ekvationen ser man att, om man vill minimera elkonsumptionen så bör volymflöde ($\dot{V}$) och tryckfall (Δp) vara så små som möjligt medan verkningsgraderna bör vara så stora som möjligt.

Volymflödet ($\dot{V}$)

Enligt ekvation (3) minskar fläktens elkonsumption om volymflödet minskas. Detta gäller emellertid inte om fläkten stryps. De flesta fläktar reagerar då genom att öka tryckökningen över fläkten och ofta är tryckökningen så stor att man inte minskar energiförbrukningen.

Det finns emellertid andra sätt att minska en fläkts volymflöde som samtidigt minskar energikonsumptionen. Nervarvning av fläkten genom byte av remdrift eller motor är en möjlighet. Ledskenor är ett annat sätt och för vissa axialfläktar kan man också justera skovelvinkeln.

Vid ventilation måste volymflödet luft som tillförs/bortförs vara så stor att man får önskat klimat i utrymmet både beträffande temperatur och fukt. Men önskat klimat kan vara olika i olika delar av en anläggning. I en maskinsal kräver man t ex ett klimat i kontrollrummet, ett annat klimat i vistelsezoner i maskinsalen, ett klimat vid taket och ett annat klimat i torkprocessen där människor sällan eller aldrig vistas. De olika zonerna avgränsas ibland från varandra genom innerväggar eller med nivåskillnader, ibland behövs inga avgränsningar.

En pappersmaskinkåpa utgör ett exempel på en ventilationszon. Zonen avgränsas av kåpans väggar och tak men saknar i regel tätning nedåt, den varma luften från torkningen stiger uppåt och fångas in av kåpan. Uppvärmd luft tillförs på lämpliga ställen i torkprocessen och den uppfuktade luften sugs sedan av i toppen av kåpan. Om luftomsättningen i en sådan kåpa minskas, minskar också det erforderliga fläktarbetet. Dessutom ökar möjligheten att använda frånluften för värmeåtervinning eftersom frånluften får en större fuktkvot (större daggpunkt). Men vid alltför höga fuktkvoter kan man få olägenheter i from av kondens på kalla delar som i sin tur kan ge upphov till dropp på pappersbanan eller korrosion. Manuella justeringar och reparationer i kåpan under drift försvåras också vid högre daggpunkter. Rätt luftomsättning måste därför bli en kompromiss mellan olika önskemål och värderingar.

För att minska den totala luftmängden måste man gå igenom varje ventilationszon och försöka avgöra om luftmängden kan minskas utan olägenheter för människor, maskiner, process eller byggnad. Kanske luftmängden till en zon kan minskas om man ger en speciellt värmeavgivande maskin vattenkylning? Eller man kanske kan ge maskinen en speciell ventilation (d v s skapa en ny ventilationszon)?

Har man många ventilationszoner kan klimatet i olika delar av anläggningen differentieras och därmed kan den totala luftomsättningen minimeras. Men många ventilationszoner medför också ett stort nät av luftkanaler och många väggar för att separera de olika zonerna från varandra. Investeringskostnaden blir stor och dessutom kan det vara svårt att ställa in rätt luftmängd till varje zon. Antalet ventilationszoner måste därför bli en praktisk/ekonomisk kompromiss.

Tryckökningen (Δp)

Den tryckökning fläkten ger motsvarar summan av de deltryckfall som finns i luftens väg genom ventilationssystemet. Tryckfallen kan bestå av friktion i luftkanaler och så kallade "engångsmotstånd" såsom kanalkrökar, filter, värmeväxlare mm. Det kan också vara tryckskillnader mellan olika lokaler som måste övervinnas eller dynamiska tryck t ex genom fläkten som måste övervinnas.

Fläktens placering i ventilationssystemet kan ge upphov till en speciell form av tryckfall, s k systemeffekter eller anslutningsförluster. Inloppskanalen till fläkten bör t ex inte vara utformad på ett sådant sätt att luften roterar i fläkthjulets riktning innan luften kommer fram till fläkthjulet. Man bör också tillse att det finns en rak kanal efter fläkten så att ojämnheter i hastighetsprofilen efter fläkten inte ger upphov till tryckfall i efterliggande komponenter.

För att minska det totala tryckfallet måste varje deltryckfall beräknas och värderas. Det kan t ex vara ekonomiskt att använda ett större ventilationsdon än ett litet för att sänka tryckfallet och därmed också driftskostnaden.

Fläktens verkningsgrad (η_f)

En fläkts verkningsgrad beror på fläkttyp och på hur den arbetar i förhållande till sin utläggningspunkt.

Axialfläktar kan ha en verkningsgrad på upp till 85 %. De kan ha fasta skovlar, inställbara skovlar under stillestånd eller t o m ha under drift inställbara skovlar så att luftflödet ändras eller reverseras under drift. Inställbara skovlar ger en möjlighet att förändra arbetspunkten utan att förändra fläktens varvtal.

Radialfläktar kan ha skovlar av tre slag: bakåtböjda skovlar, raka skovlar och framåtböjda skovlar. Bakåtböjda skovlar väljs om man vill ha en hög verkningsgrad, de kan ha en verkningsgrad upp till ca 85 %. Raka skovlar används ofta som transportfläktar eftersom de har en hög självrensningsförmåga och framåtböjda skovlar används om man önskar en fläkt som ger ett relativt konstant tryckökning oberoende av fläktens flöde. Raka och framåtböjda skovlar ger emellertid en lägre verkningsgrad än bakåtböjda skovlar.

Axialfläktar som arbetar med ett för litet flöde kan komma in i ett instabilt område, så kallad "pumpning" eller "stalling". Fenomenet yttrar sig i kraftig vibration eller oväsen beroende på hur fläkten är ansluten till ventilationssystemet. Verkningsgraden blir också mycket låg i detta område. Pumpning uppträder inte i radialfläktar, bara i axialfläktar. Numera kan emellertid axialfläktar tillverkas med så kallad "anti-stallring" som gör att fläkten arbetar stabilt även för låga flöden.

Den vanligaste fläkten i tilluftsaggregat är radialfläkten med bakåtböjda skovlar. Den är mera robust än motsvarande axialfläkt eftersom den är lagrad på båda sidor om fläkten. I regel blir också ljudnivån lägre med en radialfläkt än med motsvarande axialfläkt.

En fläkts verkningsgrad kan avläsas ur fläktdiagrammet för fläkten i fråga. Vid dimensionering väljs fläktstorlek så att man får en god verkningsgrad för fläkten i den aktuella arbetspunkten. Om arbetspunkten förändras, t ex p g a att ett luftfilter i ventilationssystemet inte byts enligt rekommendation, kan resultatet bli att fläktens verkningsgrad minskar kraftigt. Dessutom minskar luftflödet för att fläkten skall kunna ge en högre tryckökning vilket ger en sämre ventilation. Det finns därför alla skäl att tillse att fläkten och ventilationssystemet arbetar på det sätt som var tänkt då ventilationssystemet anskaffades.

De verkningsgradsförluster som görs i fläkten medför en uppvärmning av luften i fläkten. Den större delen av fläktens axeleffekt ger rörelseenergi och tryckökning åt luften, men även dessa ombildas någonstans i eller efter kanalsystemet till värme. Man kan därför säga att hela axeleffekten ombildas i värme. Uppvärmningen av luften utgör i regel bara någon grad men om möjligt bör fläkten placeras så att tillförd axelenergi kommer till användning genom ett minskat uppvärmningsbehov.

Transmissionens verkningsgrad (η_t)

Remdrift möjliggör att en fläkt kan arbeta på ett annat varvtal än motorn. Med remdrift är det också möjligt att förändra fläktens varvtal utan motorbyte. Remdrift innebär emellertid en förlust av 2-5 % och remdriftens verkningsgrad blir därför i storleksordning 0,95-0,98. Förluster i en remdrift ombildas i värme.

Kilremsdrift är den remdrift som dominerat i många år. Planremsdrift verkar emellertid nu få en renässans på grund av att bättre material tagits fram. Planremsdrift ger något mindre förluster än motsvarande kilremsdrift.

Direktdrivna fläktar har givetvis transmissionsverkningsgraden $\eta_t = 1{,}00$.

Fläktmotorns verkningsgrad (η_m)

Motorns verkningsgrad beror på motortyp, märkeffekt och belastning. Som riktvärden kan sägas att en mindre motor (4 kW) har en verkningsgrad av 0,75-0,85 medan en större motor (100 kW) ofta har en verkningsgrad i storleken 0,90-0,95.

Motorns verkningsgradsförluster ombildas i värme. I regel är fläktmotorer luftkylda och värmen från förlusterna i motorn tillförs då det rum vari motorn är placerad. På mycket stora motorer förekommer vattenkylning.

Några beräkningsexempel

I några beräkningsexempel nedan visas hur man kan använda ekvation 3 ovan för att uppskatta en fläkts elkonsumption och därmed dess driftskostnad. Genom att beräkna investeringskostnad och driftskostnad för alternativa lösningar kan man bedöma vilken lösning som är mest ekonomisk.

Fläkt AB's produktkatalog kan vara till stor hjälp när man projekterar ventilationsutrustning. Katalogen innehåller inte bara uppgifter om fläktar, den innehåller också uppgifter om kanaler, spjäll, filter och de flesta andra komponenter som behövs i ventilationssammanhang. För de flesta komponenter finns uppgifter om t ex tryckfall, ljudnivå, verkningsgrad etc så att man själv kan göra en teknisk optimering av ventilationssystemet. I katalogen finns också en mängd exempel som visar hur man kan utnyttja katalogens information.

I exemplen nedan har två elpriser använts (0,20 kr/kWh och 0,40 kr/kWh) för att visa hur ett framtida förhöjt energipris påverkar beräkningen. Kalkylräntan har antagits vara 15 % och utrustningen förutsätts vara i drift 8 000 timmar per år.

Exempel 1

Vad kostar förlusterna?

Verkningsgradsförluster i fläkt, remdrift och motor bidrar inte till att ge luften rörelseenergi eller tryck, de omvandlas i stället till värme. Ibland kan denna värme vara nyttig genom att den bidrar till uppvärmningen, i andra fall värmer dessa förluster luft som man inte önskar värma.

Fläktar i frys- och kylhus är exempel på fläktar där verkningsgradsförlusterna bidrar till en icke önskvärd uppvärmning. Frånluftfläktar (d v s fläktar som transporterar ut luft ur en byggnad) är ett annat exempel, eftersom förlusterna där endast bidrar till att värma utomhusluften.

För tilluftfläktar som transporterar in luften i en byggnad kan däremot förlusterna betraktas som nyttiga när man ändå behöver värma tilluften. Men detta gäller dock inte alltid: i industrin har man ofta ett överskott på lågvärdig värme som man inte kan utnyttja till annat än lokaluppvärmning. I sådana fall bidrar fläktens verkningsgradsförluster endast till att ersätta värme som kan betraktas som kostnadsfri vilket medför att verkningsgradsförlusterna måste ses som oönskade.

Men vad kostar då dess verkningsgradsförluster?

Nedanstående räkneexempel är baserat på en radialfläkt med bakåtböjda skovlar (VLLB-10-4-1-0-1-1) som ofta används i tilluftaggregat. Fläkten transporterar 18 m^3/s luft och ger en tryckökning av 1 400 Pa. Fläkten är försedd med remdrift.

Fläktmotorn förbrukar som omvandlas i	36,4 kW
Motorförluster (η m=0,85)	5,4 kW
Transmissionsförluster (η t=0,98)	0,6 kW
Fläktförluster (η f=0,83)	5,2 kW
Nyttig effekt i fläkten	25,2 kW

Totalt utgör förlusterna 11,2 kW av de tillförda 36,4 kW, d v s 31 %. Med 0,20 kr/kWh kostar enbart förlusterna 17 900 kr/år av de 58 200 kr/år som fläkten kostar att driva.

Radialfläkten med bakåtböjda skovlar har hög verkningsgrad. Andra fläkttyper kan ha lägre verkningsgrad och fläktar av äldre design kan ha mycket lägre verkningsgrad än nya. En fläktverkningsgrad av 40-50 % är inte ovanlig för en gammal fläkt. I följande räkneexempel visas hur stora förlusterna kan vara för en gammal fläkt med 50 % fläktverkningsgrad, men med samma transportförmåga som i ovanstående beräkning (18 m^3/s, 1 400 Pa).
Verkningsgraderna för fläktmotor och remdrift kan också anses vara något lägre för moderna komponenter:

Fläktmotorn förbrukar som omvandlas i	70,0 kW
Motor förluster (η m=0,75)	17,5 kW
Transmissionsförluster (η t=0,96)	2,1 kW

Fläktförluster (η f=0,50)	25,2 kW
Nyttig effekt i fläkten	25,2 kW

Här utgör förlusterna således 44,7 kW av de totalt tillförda 70 kW, d v s 64 %. Med 0,20 kr/kWh kostar enbart förlusterna 71 500 kr/år av de 112 000 kr/år som fläkten kostar att driva.

En ny fläkt (VLLB-10-4-1-0-1-1) med remdrift kostar idag (inklusive montage) 80 000 kr. Installerar man en ny fläkt kan man påräkna en årlig vinst av 112 000 - 58 200 = 53 800 kr vilket ger en payofftid på 1,8 år med 15 % kalkylränta och 8 000 driftstimmar per år.

Fördubblas energipriset till 0,40 kr/kWh blir den årliga vinsten 107 600 kr vilket medför en payofftid på 0,85 år.

Slutsatser av exempel 1

De båda fallen i exemplet illustreras i sankeydiagram i figur 1. Verkningsgradsförlusterna för en fläkt utgör sammantaget 30-70 % av fläktmotorns elkonsumption. Förlusterna omvandlas i värme. Ibland är dessa förluster att betraktas som nyttiga genom att de bidrar till uppvärmning, ibland är de inte önskvärda. Har man fläktar med låg verkningsgrad och verkningsgradsförluster inte kan utnyttjas kan det löna sig att byta till en fläkt med hög verkningsgrad.

Exempel 2

Vad kostar en strypning av ett luftflöde?

Anta att en VLLB-10-4 fläkt som är dimensionerad för ett flöde av 21,2 m^3/s och 1 520 Pa tryckökning stryps så att flödet blir 18 m^3/s. Tryckfallet (utom strypningens tryckfall) förväntas sjunka till 1 100 Pa p g a minskningen av luftmängden. Vad kostar en sådan strypning jämfört med att varva ned fläkten genom att byta remskivor?

Enligt fläktdiagrammet (se figur 2) arbetar fläkten med 1 200 rpm vid 21,2 m^3/s och 1 520 Pa tryckfall (punkt A i figur 2). En strypning till 18 m^3/s innebär att fläktens arbetspunkt förskjuts efter en konstant varvtalskurva. Vid 18 m^3/s ger fläkten en total tryckökning av 1 900 Pa och har 85 % verkningsgrad (punkt B i figur 2). Antas motorns verkningsgrad vara 90 % och transmissionsverkningsgraden vara 98 % blir fläktens effekt efter strypningen

$$P = \frac{18 \times 1\,900}{0{,}85 \times 0{,}98 \times 0{,}90} \qquad W = 45{,}6 \text{ kW}$$

Skillnaden mellan fläktens tryckökning och det tryckfall som systemet beräknas få efter flödesminskningen (1 900-1 100=800 Pa) måste strypas bort.

Om man i stället varvar ned fläkten erhålles 18 m^3/s och 1 100 Pa vid ett varvtal av 1 000 rpm (punkt C i figur 2). Fläktens verkningsgrad är då något lägre (0,80) men effekten efter nervarvning blir

$$P = \frac{18 \times 1\,100}{0{,}8 \times 0{,}98 \times 0{,}90} \quad W = 28{,}1 \text{ kW}$$

En nedvarvning av fläkten innebär alltså en energibesparing av 45,6 - 28,1 = 17,5 kW. Med ett elpris av 0,20 kr/kWh och 8 000 arbetstimmar per år innebär detta en vinst av 28 000 kr/år. Om elpriset i stället är 0,40 kr/kWh blir vinsten hela 56 000 kr/år.

En nedvarvning av fläkten är ett sätt att åstadkomma en minskning av fläktens kapacitet och en samtidig minskning av elförbrukningen. Nedvarvning av en fläkt lämpar sig bäst för fläktar med remdrift då det är enkelt att byta remskivor. Ledskenereglering av radialfläktar och skovelvinkeländring för vissa typer av axialfläktar är andra metoder att åstadkomma kapacitetsminskning och samtidigt minska elförbrukningen.

Då en fläkt skall ge luft åt flera ventilationszoner måste luftmängden till varje zon anpassas genom strypning av grenledningarna. Fläktmotorns elkonsumption för att övervinna en sådan strypning kan också beräknas med hjälp av ekvation 3 ovan om man använder grenledningens volymflöde och strypningens tryckfall i ekvationen. Ur elenergisynpunkt skulle det således vara lämpligt att undvika sådana grenledningsstrypningar, men alternativet, att ha en fläkt för varje ventilationszon, innebär alltför höga investeringskostnader för att vara realistiskt.

Slutsats av exempel 2

Alla strypningar i ett ventilationssystem medför extra elförbrukning i fläkten. Fläktens kapacitet bör göras så låg som möjligt med hjälp av nedvarvning eller med hjälp av annan lämplig metod som också minskar fläktens elkonsumption.

Exempel 3

Vilken fläkttyp lämpar sig bäst i ett tilluftsaggregat?

Fläkt AB har i sitt sortiment ett flertal fläkttyper som passar i ett tilluftsaggregat. I nedanstående exempel jämförs fyra fläkttyper beträffande pris, driftskostnad, fläktverkningsgrad och ljudnivå.

Kapaciteten för fläkten antas vara 12 m^3/s i exemplet. Tryckfallet (exklusive fläktens anslutningsförluster vilka är olika för varje fläkttyp, se katalogen) antas vara 700 Pa. Verkningsgraden för remdrift och motor har antagits vara 0,98 resp 0,85. Fläkten används 8 000 timmar per år.

1) VLLB

VLLB är en dubbelsugande radialfläkt med bakåtböjda skovlar (se figur 3).

Kostnad inkl remdrift och motor		46 100 kr
Fläktverkningsgrad		η_f=0,81
Elkonsumption		13,7 kW
Driftskostnad	0,20 kr/kWh	21 900 kr/år
	0,40 kr/kWh	43 800 kr/år
Ljudnivå		95 dB

2) VLLF

VLLF är också en dubbelsugande radialfläkt men med framåtböjda skovlar (se figur 3).

Kostnad inkl remdrift och motor		42 900 kr
Fläktverkningsgrad		η f=0,73
Elkonsumption		16,0 kW
Driftskostnad	0,20 kr/kWh	25 600 kr/år
	0,40 kr/kWh	51 200 kr/år
Ljudnivå		94 dB

3) VLLC

VLLC är en axialfläkt med ställbara skovlar under drift (se figur 4).

Kostnad inkl reglerutrustning och motor		111 200 kr
Fläktverkningsgrad		η f=0,80
Elkonsumption		13,6 kW
Driftskostnad	0,20 kr/kWh	21 800 kr/år
	0,40 kr/kWh	43 500 kr/år
Ljudnivå		109 dB

4) FTDA

FTDA är också en axialfläkt med ställbara skovlar. Skovlarna är dock endast ställbara inom vissa gränser ($\pm 5^0$) och ändringen kan inte göras under drift (se figur 4).

Kostnad inklusive motor		14 600 kr
Fläktverkningsgrad		f=0,70
Elkonsumption		15,3 kW
Driftskostnad	0,20 kr/kWh	24 500 kr/år
	0,40 kr/kWh	49 000 kr/år
Ljudnivå		98 dB

Se figur 5. Jämförs de fyra alternativen finner man att investeringskostnaden för VLLC är klart högst. Den är heller inte särskilt vanlig i tilluftsaggregat eftersom man ofta arbetar med konstanta betingelser och inte kan utnyttja de fördelar man får med ställbara skovlar under drift.

FTDA har lägst investeringskostnad men har också en relativt hög energikonsumption och en hög ljudnivå.

Radialfläktarna VLLB och VLLF innebär en mer robust konstruktion än axialfläktarna eftersom de är lagrade på båda sidor fläkthjulet. De arbetar också vid ett lägre varvtal än axialfläktarna vilket ger en lägre ljudnivå. VLLF har lägre verkningsgrad än VLLB och är därför dyrare i drift. VLLF är mer begränsade när det gäller tryckökning, VLLF klarar maximalt 1 800 Pa tryckökning medan VLLB klarar 3 200 Pa.

Slutsats av exempel 3

En radialfläkt med bakåtböjda skovlar (VLLB) är lämpligast av de fyra diskuterade fläktarna. Men även andra fläkttyper kan komma ifråga t ex axialfläkten FTDA som har låg investeringskostnad, dock till priset av lägre verkningsgrad och högre ljudnivå.

Exempel 4

Kan man eliminera någon komponent i ett tilluftsaggregat för att få bättre driftsekonomi?

Fläkt AB har flera typer av luftbehandlingsaggregat på sitt produktprogram. Aggregaten består av funktionsdelar som byggs samman till en enhet. Se figur 6.

Exempel på sådana funktionsdelar som kan ingå i ett aggregat är (se figur 7-8):

- blandningsdelar för blandning av frisk luft och recirkulerad luft
- filter av olika slag
- luftvärmare för värmevatten eller ånga
- luftkylare för kylvatten eller förångande kylmedium
- fuktare
- ljuddämpare
- fläktar

Varje funktionsdel kan också vara försedd med ett antal olika tillbehör såsom

- ledskenereglering av fläktar
- frysskydd för värmeväxlare
- inspektionsdörrar och inspektionsfönster
- skyddsnät
- gallerdurkar, mm

Vilka komponenter som ingår vid en leverans kan skifta avsevärt eftersom olika kunder har olika krav på hur ett tilluftsaggregat skall vara utrustat. Äldre aggregat kan också skilja sig ifrån nyare eftersom optimeringsförutsättningarna (t ex elpriset) har varit olika under olika år.

Värmebatteriet i ventilationsaggregaten har t ex oftast utförts med en lamelldelning av 1,5-2,5 mm. Den täta lamelldelningen ger en stor ytförstoring och ett relativt kompakt batteri. Men batteriet sätter också lätt igen och man skyddar därför alltid batterier med så tät lamelldelning genom att ha ett filter före batteriet.

Försök har emellertid visat att man inte behöver använda något filter om man använder ett värmebatteri med glesare lamelldelning, tex 4-8 mm lamelldelning. Grövre saker som följer med luften fångas upp av ett intagsgaller och det som passerar gallret följer med igenom värmebatteriet utan att den sätts igen. De partiklar som passerar igenom värmebatteriet vållar i regel inte heller några problem i maskinsalen.

Ett räkneexempel:

I ett tilluftaggregat av typ VLA-10 sitter ett värmebatteri med en lamelldelning av 1,8 mm. Batteriet värmer 26 m^3/s luft från $-10^{\circ}C$ till $+22^{\circ}C$ med glykolblandat (30 %) vatten som kyls från $45^{\circ}C$ till $30^{\circ}C$.

Värmeväxlaren skyddas från igensättning av ett luftfilter med filtermattor av engångstyp. Vilka besparingar kan göras om man byter värmebatteriet till ett med 6 mm lamelldelning? (Värmet från verkningsgradsförluster i fläkt, remdrift och motor anses inte bidra som nyttig värme, se exempel 1.)

Tryckfall:

	Lamelldelning	
	1,8 mm	6 mm
Värmeväxlarens tryckfall	246 Pa	237 Pa
Filtrets tryckfall, rent	163 Pa	-
Tryckfall p g a filtrets nedsmutsning, medeltal	40 Pa	-
Summa tryckfall	449 Pa	237 Pa

Värmeväxlarens tryckfall minskar således inte nämnvärt eftersom värmeväxlarens längd i luftriktningen måste göras större för att kompensera den glesare lamelldelningen. Tryckfallsvinsten ligger till största delen i borttagandet av filtret.

Om verkningsgraderna för fläkten antas vara $\eta_f=0{,}80$, $\eta_t=0{,}98$ och $\eta_m=0{,}85$ kan man beräkna elbehovet till fläkten för att övervinna tryckfallet i filtret och värmebatteriet. Det blir

$$P = \frac{26 \times 449}{0{,}80 \times 0{,}98 \times 0{,}85} \qquad W = 17{,}5 \text{ kW}$$

med 1,8 mm lamelldelning och

$$P = \frac{26 \times 237}{0{,}80 \times 0{,}98 \times 0{,}85} \qquad W = 9{,}2 \text{ kW}$$

med 6 mm lamelldelning.

Om effekten till fläkten kan minskas genom en nedvarvning av fläkten i motsvarande grad (byte av remskivor) då kan 17,5 - 9,2 = 8,3 kW sparas, vilket ger en besparing med 13 200 kr/år om aggregatet används 8 000 timmar per år och elpriset är 0,20 kr/kWh. Dessutom kan man räkna med en viss besparing av underhållsarbete eftersom filtret inte behöver bytas. Denna besparing uppskattas till 8 gånger per år à 300 kr d v s 2 400 kr/år. Genom att övergå till 6 mm lamelldelning får man således en total besparing av 13 200 + 2 400 = 15 600 kr/år.

Ett nytt värmebatteri med 6 mm lamelldelning kostar ca 60 000 kr inklusive montage. Ett byte ger därför en payofftid på 6,2 år. Ökar elpriset till 0,40 kr/kWh blir den totala besparingen 29 000 kr/år och payofftiden reduceras då till 2,7 år.

Slutsats av exempel 4

Det kan löna sig att ta bort luftfiltret i ett tilluftsaggregat om man samtidigt byter värmebatteri till ett med stor lamelldelning (4-8 mm).

Exempel 5

Bör man välja höga lufthastigheter i ett ventilationsaggregat för att få ner investeringskostnaden eller låga lufthastigheter för att minska driftskostnaderna?

VLA är ett av Fläkts tilluftaggregat, se figur 6-8. Om ett aggregat skall tillföra 22 m^3/s luft till en anläggning kan man välja mellan storlekarna VLA-10, VLA-11 eller VLA-12. Externa tryckfall (kanaler och luftfördelningsdon) uppskattas ha ett tryckfall av 750 Pa tillsammans. Aggregatet skall vara sammansatt av följande funktionsdelar: blandningsdel, kort filter typ G85, luftförvärmare, fläkt typ VLLB och diverse tillbehör, lika för alla storlekar.

	VLA-10	VLA-11	VLA-12
Investeringskostnad, kr	180 300	217 400	228 700
Totalt tryckfall, Pa	1 420	1 150	1 100
Fläktens verkningsgrad η f	0,78	0,83	0,82
Transmissionsverkningsgrad η t	0,98	0,98	0,98
Motorns verkningsgrad η m	0,85	0,85	0,85
Motorns elförbrukning, kW	48,1	36,6	35,4

Med elpriset 0,20 kr/kWh och drifttiden 8 000 timmar/år blir:

Elkostnaden, kr/år	76 900	58 600	56 600
Kapitalkostnaden*, kr/år	54 100	65 200	68 600
Årskostnad, kr/år	131 000	123 800	125 200

Med elpriser 0,40 kr/kWh och drifttiden 8 000 timmar/år blir:

Elkostnaden, kr/år	153 900	117 100	113 300
Kapitalkostnad*, kr/år	54 100	65 200	68 600
Årskostnad, kr/år	208 000	182 300	181 900

Se figur 9. Som framgår bör man inte välja ett för litet aggregat om man skall minimera den totala årskostnaden.

Slutsats av exempel 5:

Man bör inte välja ett alltför litet tilluftsaggregat för att minska investeringskostnaden. Ett för litet tilluftsaggregat ger höga tryckfall och medför därför en hög elkonsumption och en hög driftskostnad.

Exempel 6

Bör man välja ett fåtal stora aggregat eller många små? Ett fåtal stora aggregat minska aggregatkostnaden men ökar kostnaden för kanaldragning. Dessutom ökar driftskostnaderna p g a ökat tryckfall i kanalerna.

Anta att 104 m^3/s uteluft skall tillföras en pappersmaksins torksal (150x28x12m^3). Luften tas in genom ett antal VLA tilluftsaggregat och fördelas därefter i en kanal på taket ned till varje pelarfack på torksalens förarsida, se figur 10.

Tre alternativ har beräknats:

Luften tas in genom

1) 4 st aggregat storlek VLA-12

2) 6 st aggregat storlek VLA-10

3) 10 st aggregat storlek VLA-08

Fotnot * Annuitet 0,30 (15 % kalkylränta, 5 år).

Hastigheten igenom aggregaten är lika i de tre alternativen.

Investering, kr	4 VLA-12	6VLA-10	10 VLA-08
- VLA-aggregat	976 000	984 000	1 092 000
- Distribution	2 196 000	2 028 000	1 860 000
- Totalt	3 172 000	3 012 000	2 952 000
Fläkteffekt, kW	190,8	166,8	157,0
Årskostnad med elpriset 0,20 kr/kWh:			
- Driftskostnad	305 300	266 900	251 200
- Kapitalkostnad*	951 600	903 600	885 600
- Totalt	1 256 900	1 170 500	1 136 800
Årskostnad med elpriset 0,40 kr/kWh:			
- Driftskostnad	610 600	533 800	502 400
- Kapitalkostnad*	951 600	903 600	885 600
- Totalt	1 562 200	1 437 400	1 388 000

Årskostnaden sjunker således om man gör fler små aggregat i stället för få stora, se figur 11.

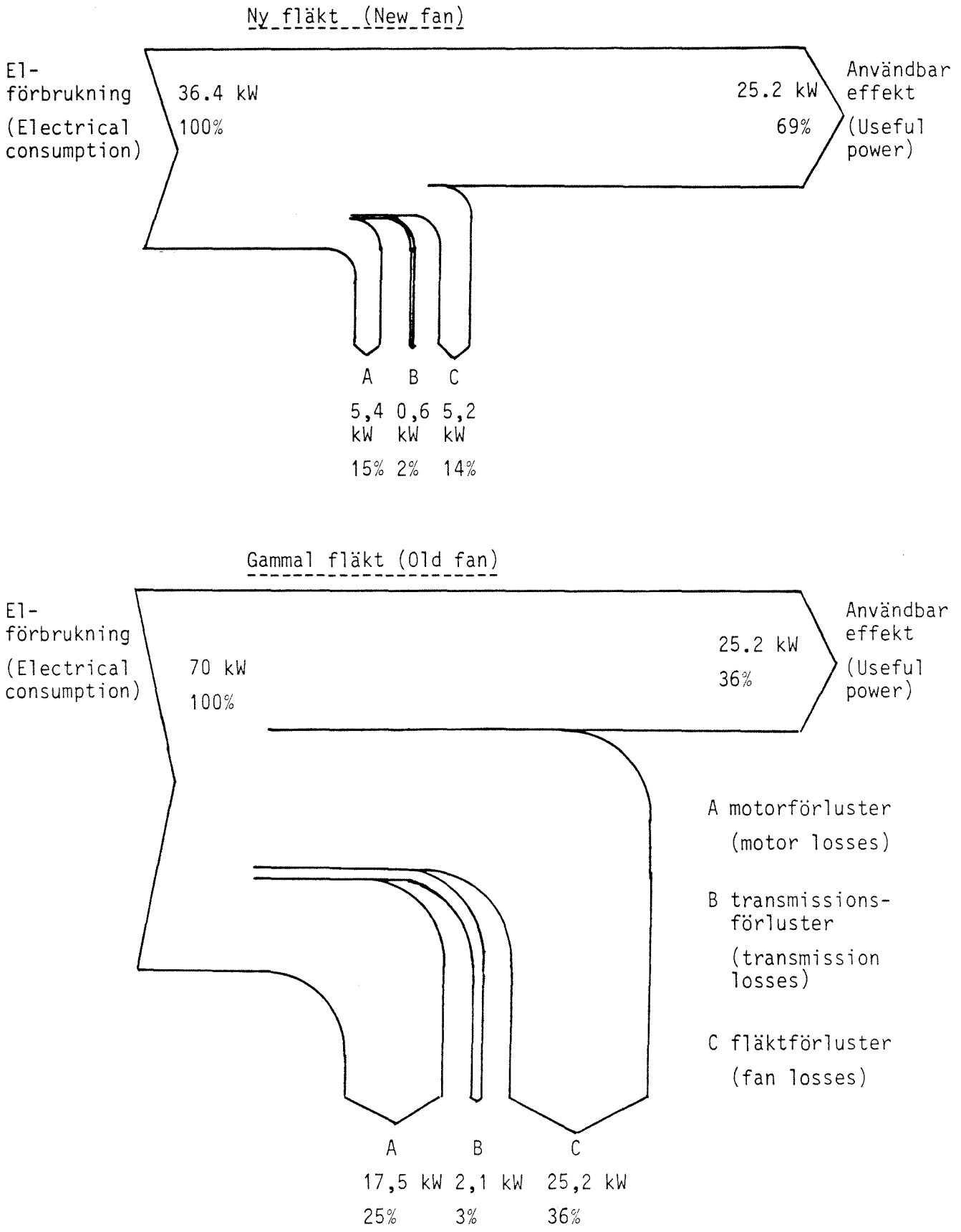
Slutsats av exempel 6:

Flera små aggregat är lämpligare än ett fåtal stora beroende på att fler små aggregat ger en lägre investering för distribution av luften. Dessutom blir elkonsumptionen mindre för fler små aggregat.

Fotnot * Annuitet 0,30 (15 % kalkylränta 5 år)

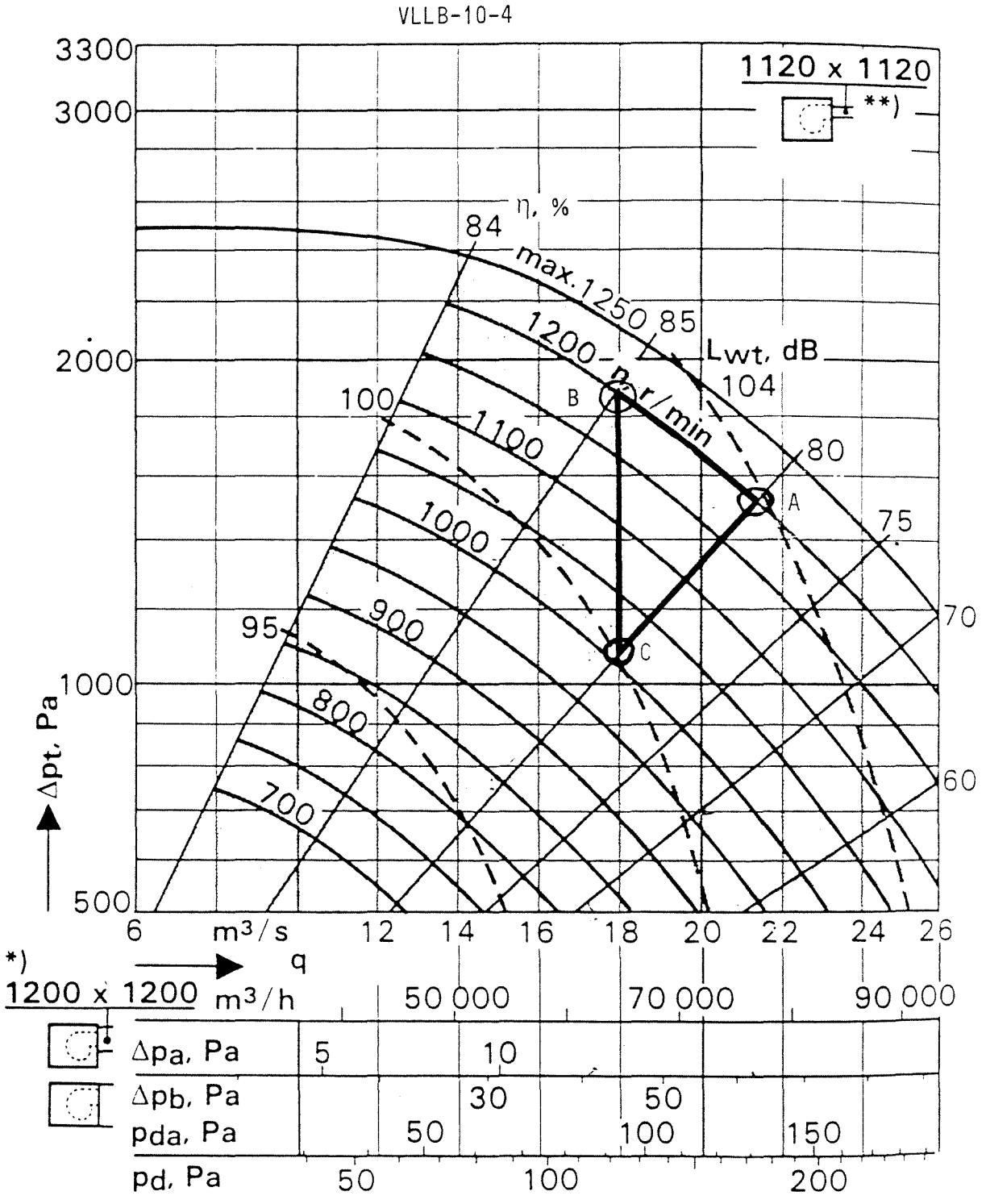
Hur mycket kostar förlusterna ?

How much do the losses cost ?



Strypning av ett luftflöde

Throtteling an air flow



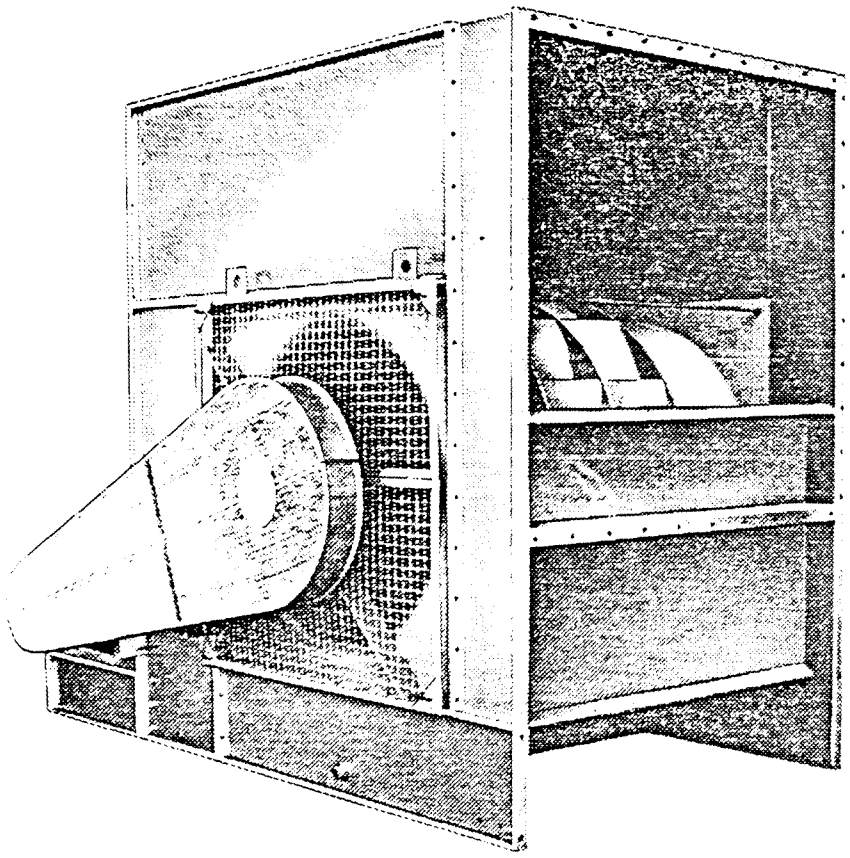
A Utläggningspunkt - Design point

B Arbetspunkt med strypning till 18 m^3/s
Operating point when throttled to 18 m^3/s

C Arbetspunkt efter nedvarvning till 1000 rpm
Operating point after speed decrease to 1000 rpm

Radialfläktar

(Centrifugal fans)

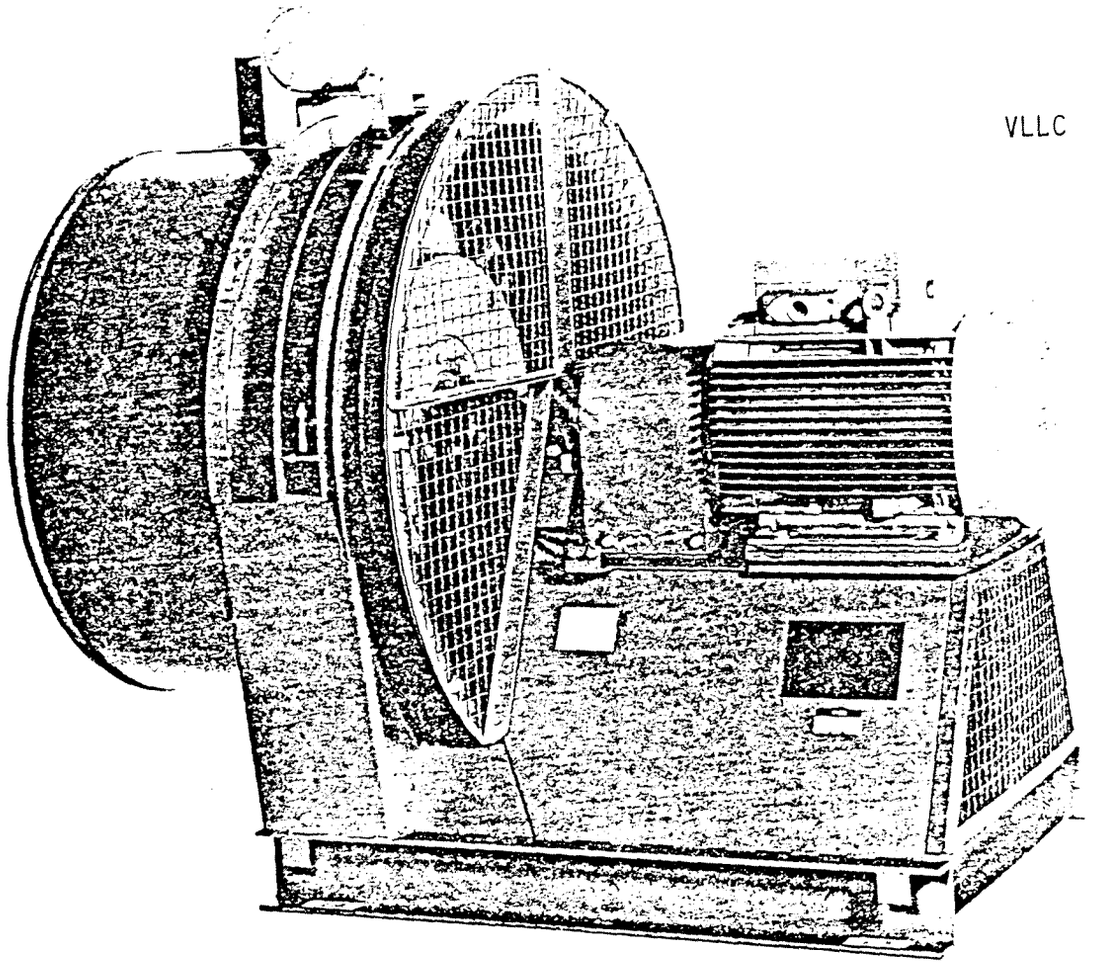


VLLB
och (and)
VLLF

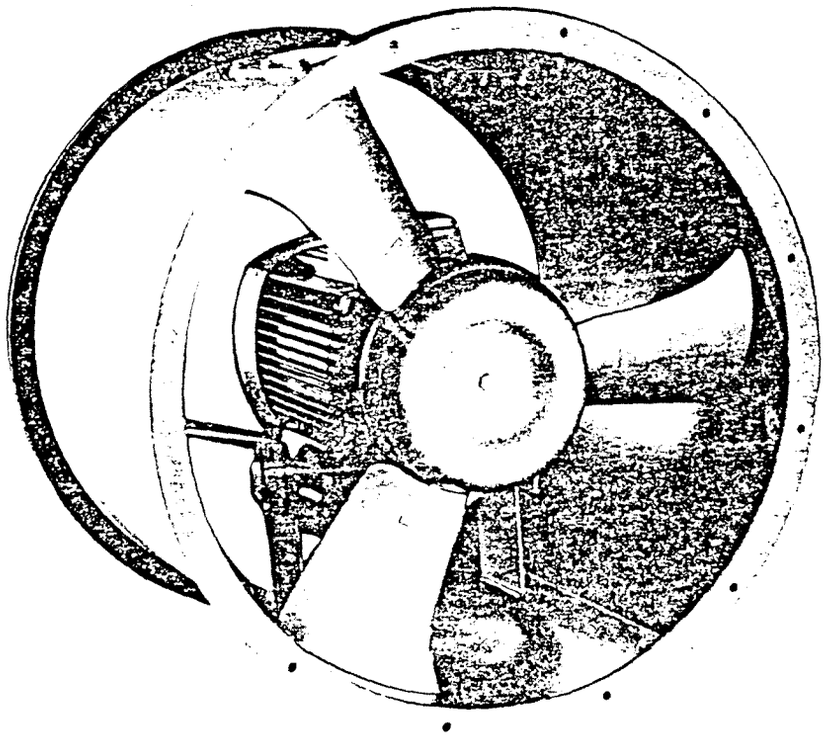
Figur 4

Axialfläktar

(Axial flow fans)



VLLC

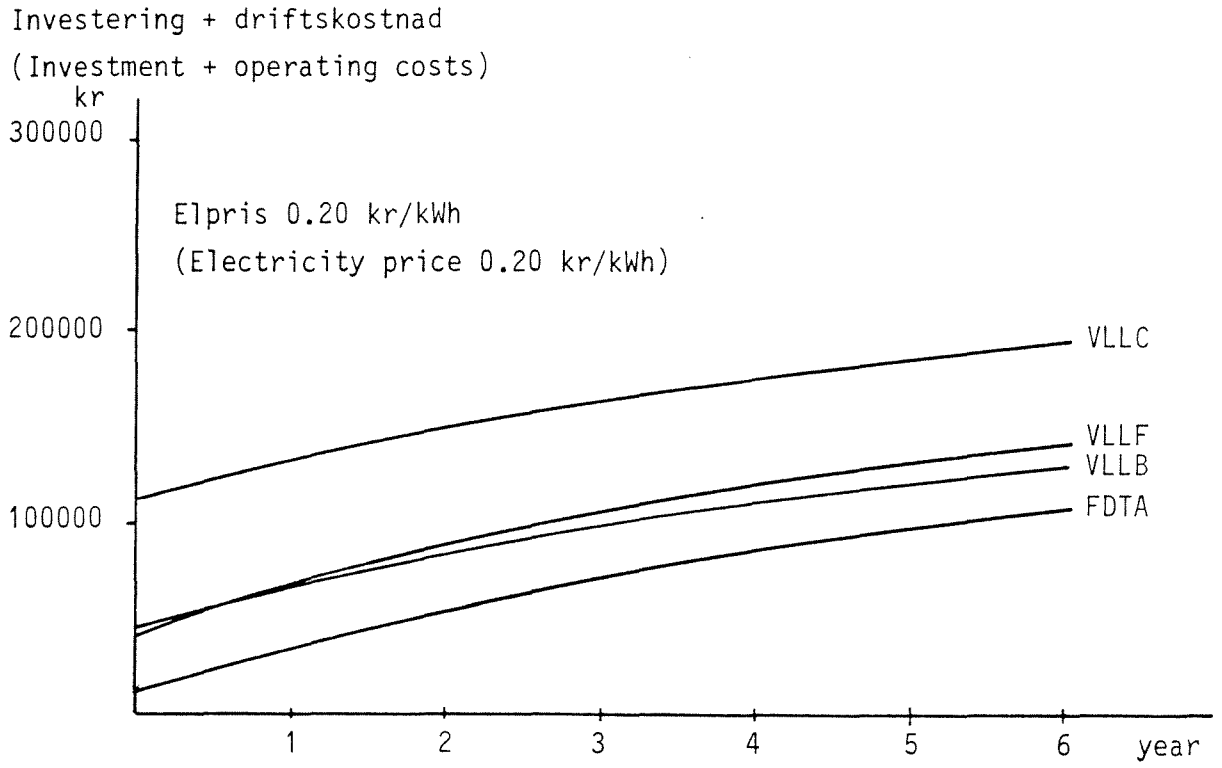


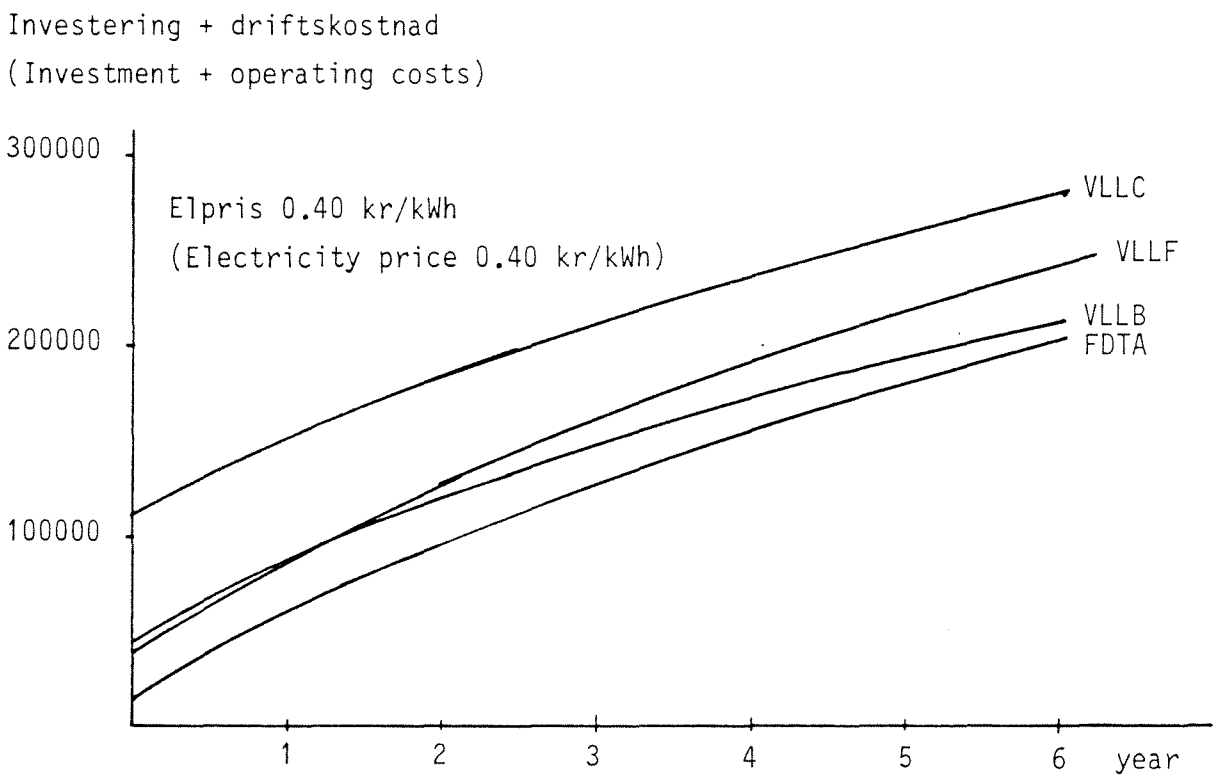
FTDA

Figur 5

Vilken fläkttyp lämpar sig bäst ?

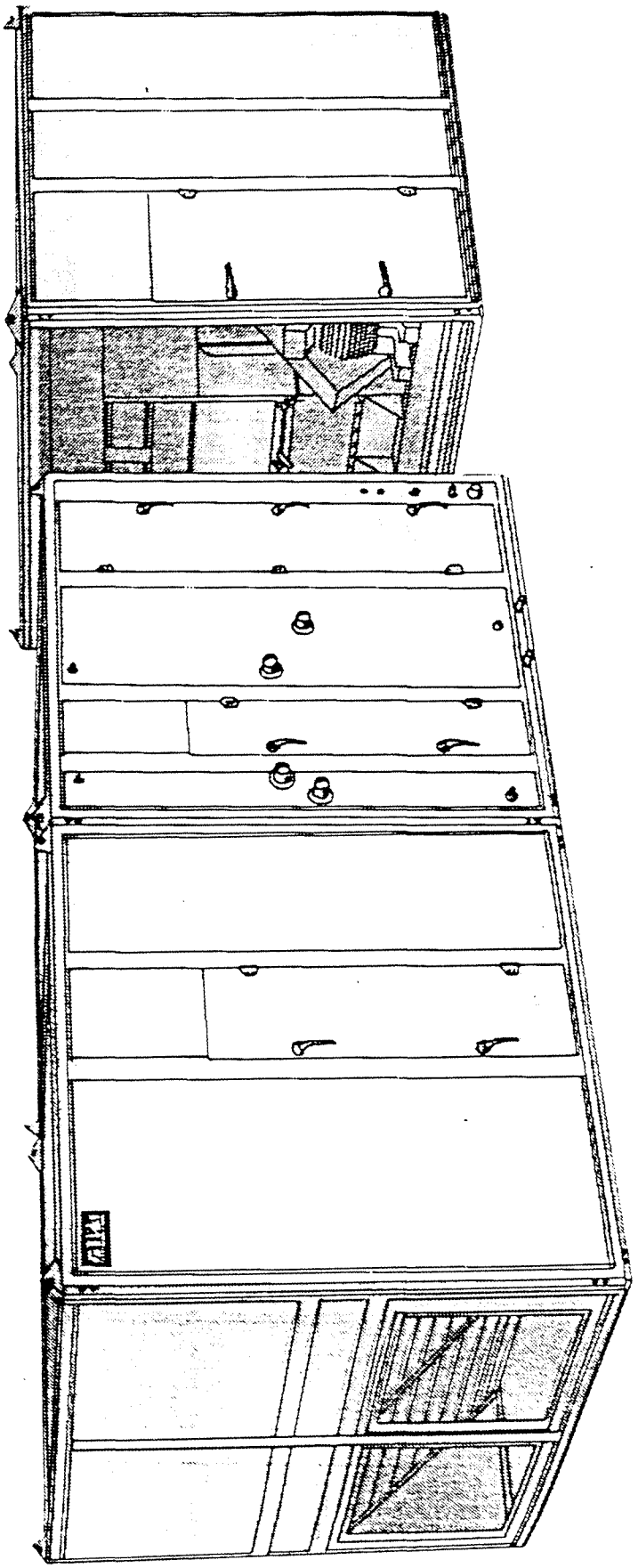
(Which fan type is most suitable ?





Luftbehandlingsaggregat VLA

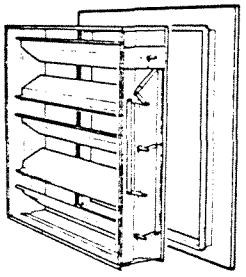
(Air conditioning unit VLA)



Några funktionsdelar till VLA

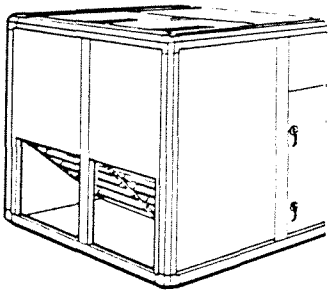
(Some functional parts for VLA)

Anslutningsgavel VLVA med eller utan spjäll



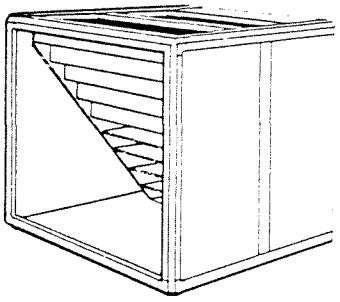
Air intake section with or without damper

Blandningsdel VLVB



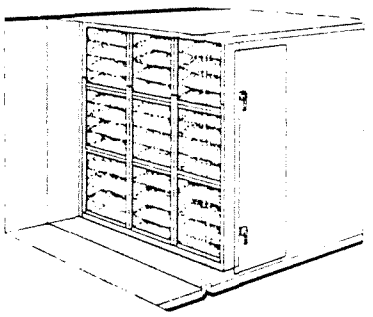
Air mixing section

Frånluftsdel VLVC



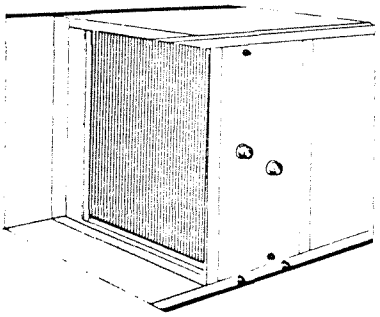
Exhaust section

Filter, kort, VLPA



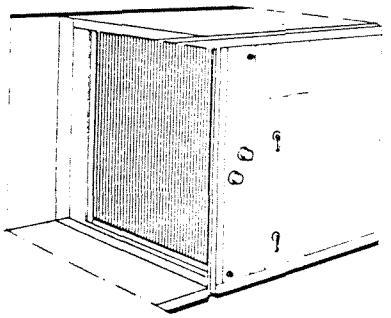
Short filter

Luftkylare VLNN för kylvatten



Air cooler

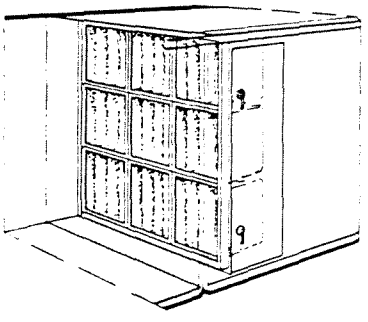
Luftkylare VLNP för förångande köldmedium



Air cooler

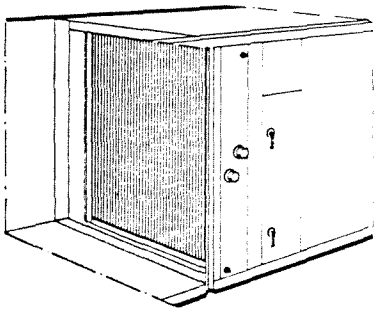
forts
(continued)

Filter, långt, VLPB



Long filter

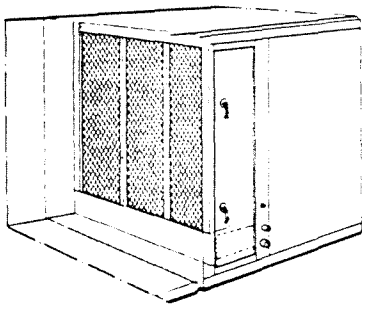
Luftvärmare VLE(D,E,F,V) för värmevatten



VLE(H,J) för ånga

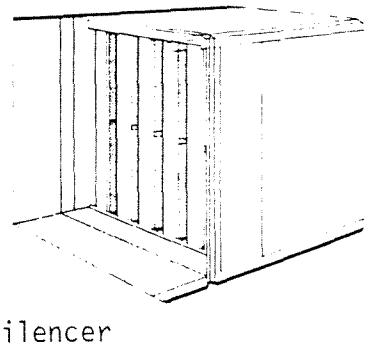
Air heater for hot water or steam

Fuktare VLQA



Humidifier

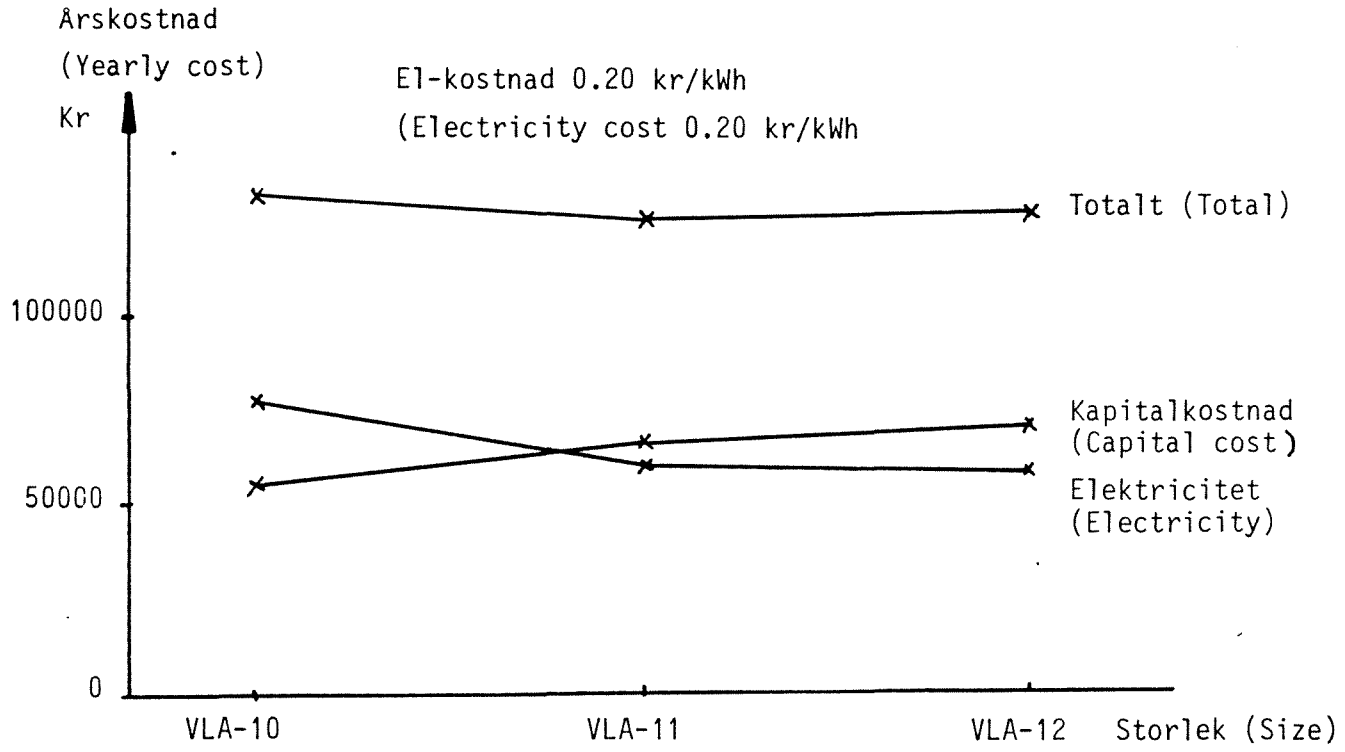
Ljuddämpare VLSA

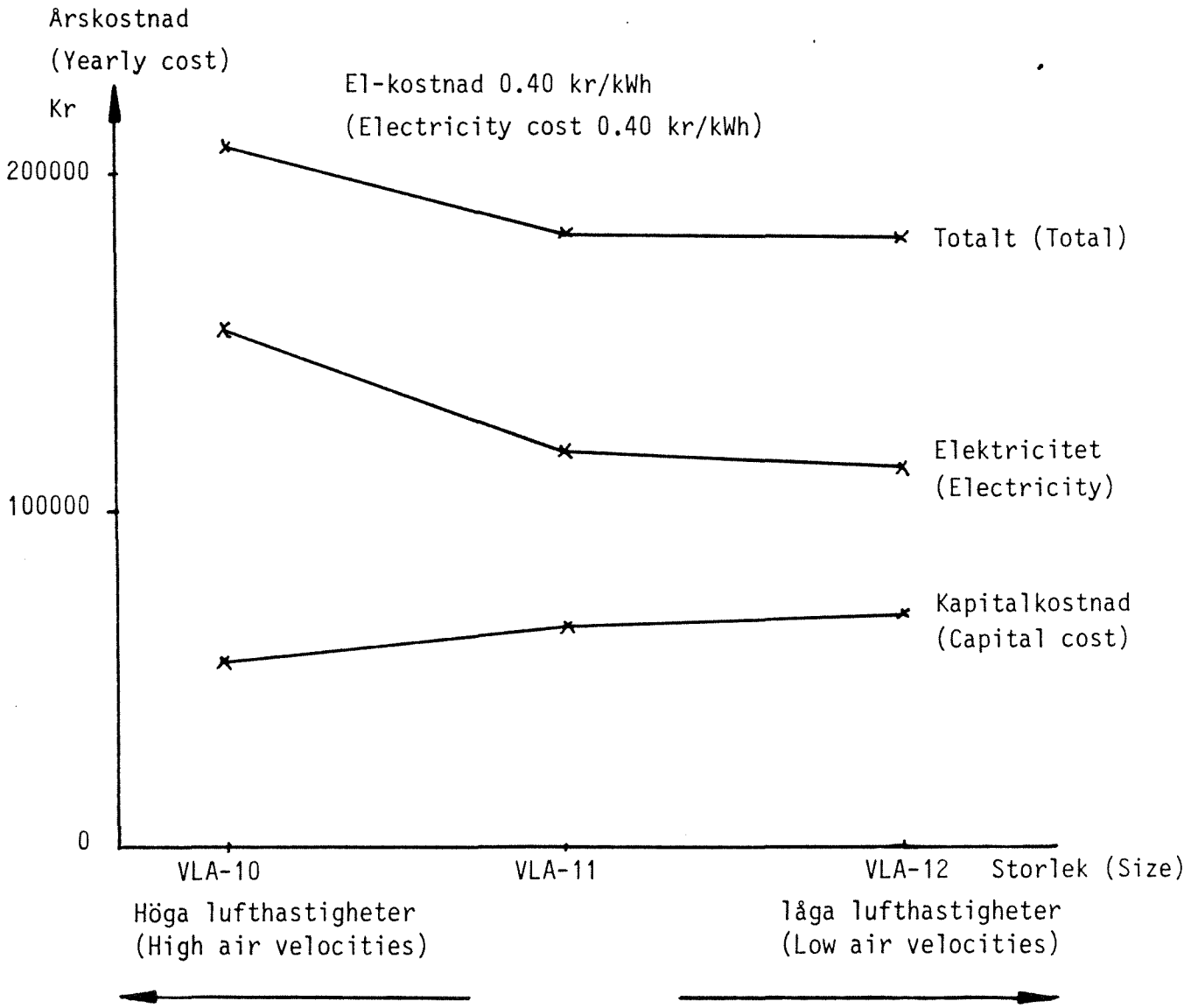


Silencer

Höga eller låga lufthastigheter genom aggregatet ?

(High or low air velocities ?)





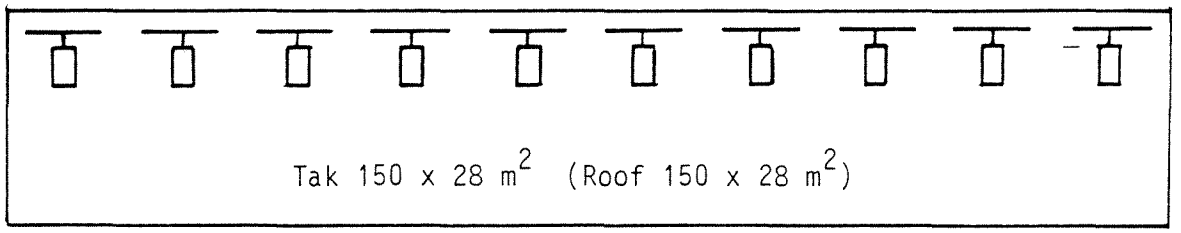
Ett fåtal stora eller flera små aggregat ?

(A few large units or many small ?)

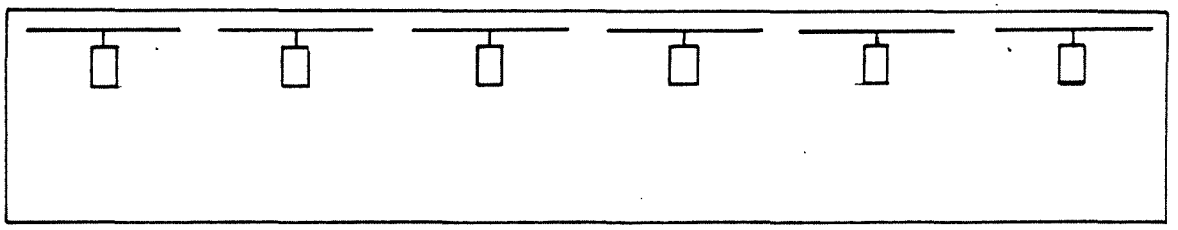
Aggregatplacering och luftdistribution på maskinsalstak

(Unit layout and channel system on machine room roof)

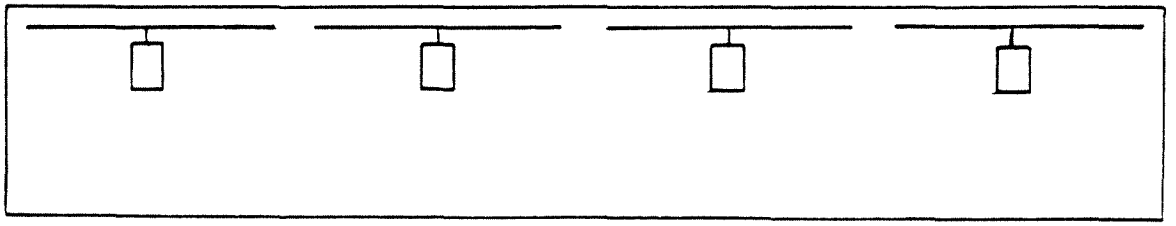
10 st VLA-08 (10 VLA-08 units)



6 st VLA-10 (6 VLA-10 units)

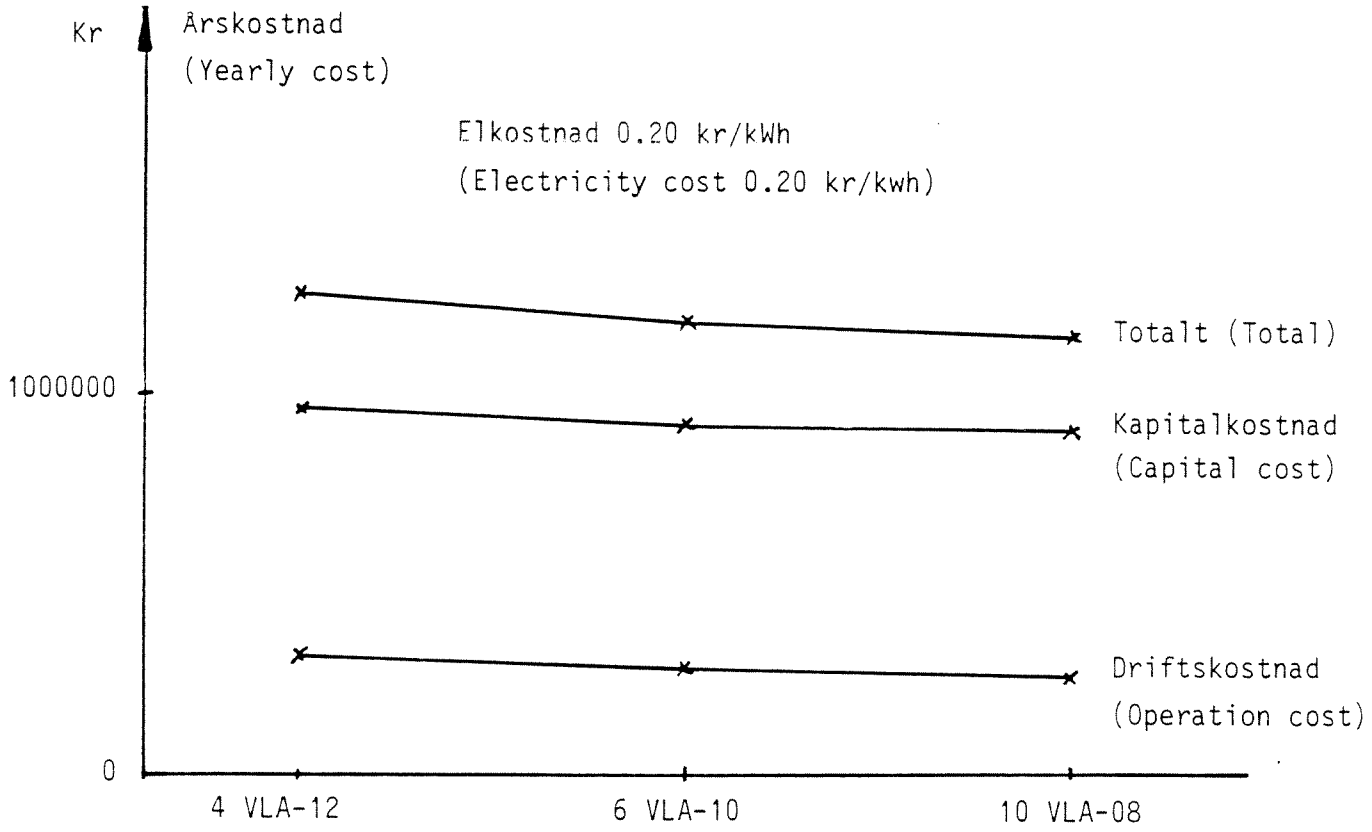


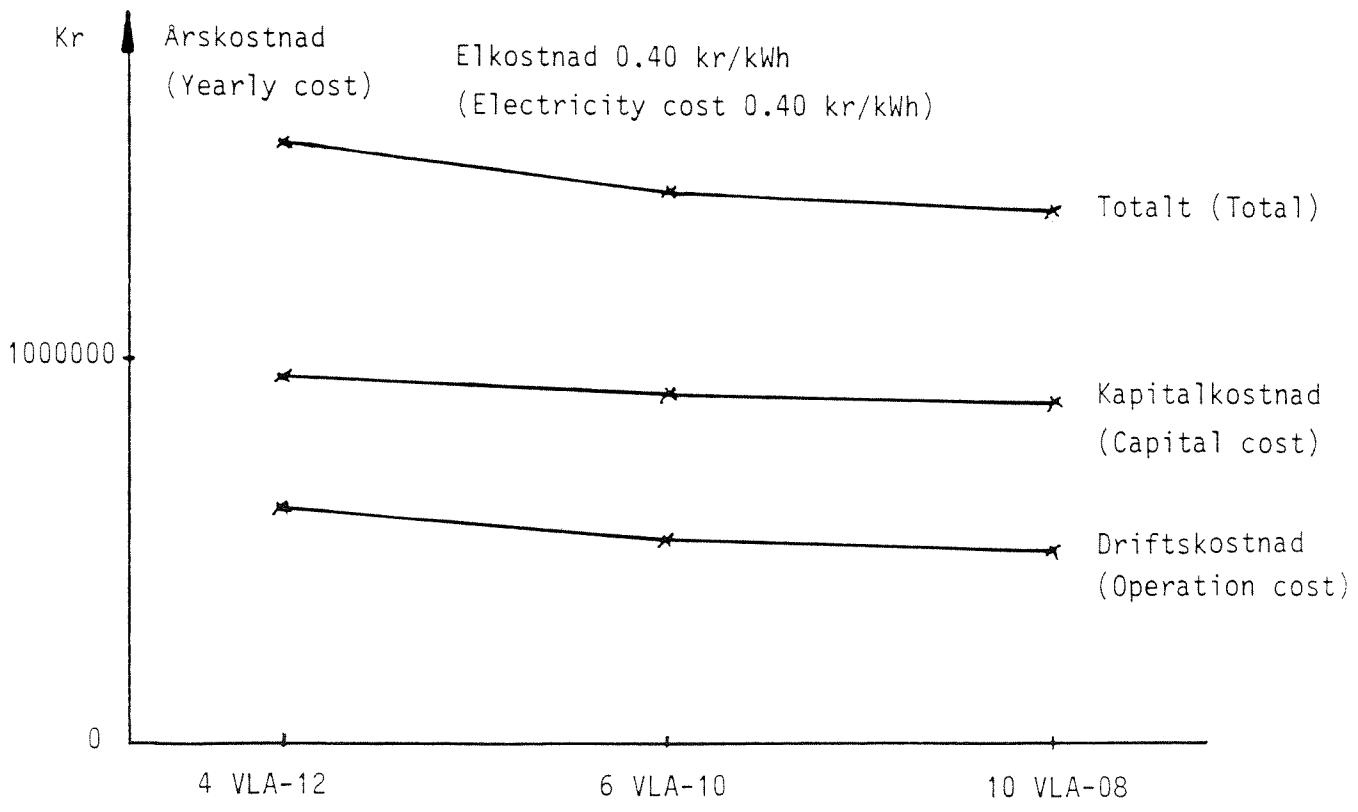
4 st VLA-12 (4 VLA-12 units)



Ett fåtal stora eller många små aggregat ?

(A few large units or many small ?)





Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37