

Erforderliga naturgastryck för gasturbin- och gasmotorbaserade kraft- och kraftvärmeverk

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning

1. Bakgrund
2. Mål
3. Gasturbinbaserade kraft- och kraftvärmeanläggningar (teknisk beskrivning)
 - 3.1 Kombianläggning för kraft- eller kraftvärme
 - 3.2 Gasturbinanläggning med avgaspanna
 - 3.3 Anläggningar i Sverige
4. Dieselmotorbaserade kraftvärmeanläggningar
5. Ottomotorbaserade kraftvärmeanläggningar
6. Konventionell pannbaserad kraftvärmeanläggning
7. Uppskattning av merkostnader för naturgaskompressor för gasturbiner och gasmotorer
8. Sammanställning av erforderliga naturgastryck för gasturbiner i kraft- och kraftvärmeverk
9. Utvärdering av erforderligt naturgastryck för gasturbiner

Sammanfattning

Denna rapport ingår i SwedeGas FUD-program för 1988. Den är beställd av Thomas Carlqvist på SwedeGas och utförd av Olov Stenbäck och Inge Pierre på Vattenfall.

Rapporten redovisar en kartläggning av erforderliga naturgastryck för gasturbin- och gasmotorbaserade kraft- och kraftvärmeverk. Tyngdpunkten ligger på gasturbinapplikationer.

De flesta gasturbintillverkare, som kan bli aktuella för den svenska marknaden har tillfrågats och lämnat uppgift på erforderligt tryck för sina naturgasdrivna gasturbiner.

Gasturbinbaserade kraft- och kraftvärmeverk har oftast avgaspannor. Om pannorna ger ånga till en ångturbinanläggning handlar det om en kombiprocess. I övriga anläggningar ger avgaspannorna fjärrvärme eller processånga. Gasturbiner utan avgaspannor används som reserv- och spetslastaggregat. Erforderligt naturgastryck för mindre anläggningar är ibland högt beroende på att gasturbinerna kan vara flygderivat. För större anläggningar är gasturbinerna optimerade för kombiprocesser och då är 24 bar naturgastryck i de allra flesta fall tillräckligt.

Gasmotorer i kraft- och kraftvärmeverk kan vara antingen av diesel- eller ottomotortyp. I dieselmotorer tillförs naturgasen direkt till cylindrarna efter förbränningsluftens kompression. Erforderligt tryck är högt, cirka 250 bar. Kompressor erfordras alltid för naturgasen. I ottomotorer tillförs gasen med förbränningsluften till cylindrarna. Här räcker det med lågt tryck på naturgasen och 4 bar är fullt tillräckligt.

Rapporten behandlar också kompression av naturgas och ger överslagsformler för beräkning av erforderlig kompressoreffekt. Uppskattade kostnader för naturgaskompressor-anläggningar för gasturbiner ges.

Slutligen görs en sammanställning av erforderliga naturgastryck för gasturbintyper på den svenska marknaden.

Rapporten skulle inte varit möjlig att göra utan hjälp från de omnämnda gasturbintillverkarna. Därför vill vi framföra vårt tack till dessa.

1. Bakgrund

Naturgas är ett rent och miljövänligt bränsle som f n finns tillgängligt i Sydvästra Skåne (Sydgas) och i Göteborgsregionen (Västgas). Den introduceras 1990-91 i området mellan Göteborg och Vänersborg. Vid mitten av 90-talet beräknas gasen finnas i Stockholmstrakten. Gasen används inom industrier och som bränsle i ång- och hetvattenpannor.

Den är lämplig som bränsle i gasturbiner och dieselmotorer för elgenerering. Dessa kan förses med avgaspannor för hetvattenproduktion. Gasturbiner kan också förses med avgasångpannor för ångproduktion till industriprocesser eller ångturbiner. I de senare fallen får man då en så kallad kombiprocess.

Naturgasen distribueras i ledningar med de standardiserade trycken 4, 16 och 80 bar övertryck. I mindre distributionsledningar inom tätbebyggda områden är trycket max 4 bar.

Det befintliga och planerade naturgasledningsnätet framgår av kartan bilaga 1.

Denna rapport ingår i SwedeGas FUD-program för 1988. Den har beställts av Thomas Carlqvist på SwedeGas. Arbetet har utförts av Olov Stenbäck och Inge Pierre på Vattenfall. Det skulle inte ha varit möjligt att utföra arbetet utan hjälp av de leverantörer, som finns namngivna i rapporten. Vi vill därför framföra vårt tack till dessa.

2. Mål

Målet för denna rapport är att uppskatta och utvärdera krav på naturgasstryck för kraft- eller kraftvärmeverk med i första hand gasturbin, men även med gasdriven ottomotor eller dualfuel dieselmotor (högtrycksdieslar).

Framför allt har kravet på minsta ingångstryck för gasturbiner för kommunala kraftvärmeanläggningar och för storskalig kraftproduktion kartlagts och utvärderats. Denna kartläggning omfattar både gasturbiner som saluförs idag och sådana som kommer inom några år.

Önskvärda naturgasstryck för gasmotorer behandlas översiktligt.

Ungefärliga uppskattningar görs av kapitalkostnad, energiförbrukning och driftskostnad för kompressorer gasturbiner och gasmotorer.

3. Gasturbinbaserade kraft- och kraftvärmeanläggningar

I detta kapitel görs en kort teknisk beskrivning av olika typer av gasturbinbaserade kraft- och kraftvärmeanläggningar. I kapitel 8 sammanställs erforderliga naturgasstryck för ett antal tillverkares gasturbiner. Dessa kan användas i samtliga beskrivna anläggningar.

En gasturbin består av huvuddelarna kompressor, brännkammare och turbin. I kompressorn sugs luft in och komprimeras. Luften blandas med bränsle, som förbränns i brännkammrarna. Den heta rökgasen passerar sedan turbindelen, som driver kompressor och generator.

3.1 Kombianläggning för kraft- eller kraftvärme

En kombianläggning för kraft- eller kraftvärmeproduktion består av en eller flera naturgaseldade gasturbiner, som genererar elektricitet med generatorer. De heta rökgaserna leds till avgaspannor, där ånga produceras. Ångan används sedan i ångturbiner som också genererar el. Ångan från ångturbinerna leds till värmekondensorer för produktion av fjärrvärme (kraftvärme) eller till kallkondensorer som kyls med vatten (ren elkraftproduktion).

Man arbetar med två kraftprocesser nämligen den öppna gasturbinprocessen i kombination med den slutna ångturbinprocessen. Man har en kombinationsprocess eller kortare en kombiprocess. Fördelen med en kombiprocess är att den ger en avsevärt högre elverkningsgrad än en konventionell ångcykel.

Kombianläggningar finns i storlekar från cirka 4 MW_e till över 2000 MW_e. De senare består av flera block eller moduler där varje modul kan vara på upp till drygt 300 MW_e. Elverkningsgraden kan för stora anläggningar för enbart elproduktion vara över 50 %. En kraftvärmeanläggning ger ofta lika mycket el som värme ($X=1$), totalverkningsgraden är 80-90 %.

Erforderligt naturgastryck kan för mindre anläggningar bli högt beroende på att gasturbinerna ofta är flygderivat. För större anläggningar är gasturbinerna optimerade för kombicykler och då räcker det med 24 bars naturgastryck (se kapitel 9).

3.2 Gasturbinanläggning med avgaspanna

I en gasturbinanläggning med avgaspanna drivs gasturbinen med t ex naturgas. Den genererar el i en generator. De heta rökgaserna leds sedan till avgaspannan där värmeenergin överförs till hetvatten för fjärrvärme eller till ånga för processändamål.

Denna anläggningstyp förekommer med eleffekt från någon MW_e upp mot 150 MW_e. Verkningsgrader för el ligger vid 30 till 36 % och totalverkningsgrader ligger över 80 %, utom för anläggningar under 10 MW_e, som har lägre verkningsgrad.

En gasturbinanläggning inom industrin består av en gasturbin och elgenerator med eller utan efterföljande avgaspanna för ång- eller hetvattenproduktion. Mestadels används dessa gasturbiner för reserv- eller spetslast och är då inte försedda med någon avgaspanna.

Storleken kan vara från 100 kW_e till över 100 MW_e.

Erforderligt naturgastryck är ibland högt beroende på att gasturbinerna är flygderivat.

3.3 Anläggningar i Sverige

Papyrus, Mölndal

Den första kombicykelanläggningen i Sverige byggs i anslutning till Papyrus i Mölndal.

3.1 Kombianläggning för kraft- eller kraftvärme

En kombianläggning för kraft- eller kraftvärmeproduktion består av en eller flera naturgaseldade gasturbiner, som genererar elektricitet med generatorer. De heta rökgaserna leds till avgaspannor, där ånga produceras. Ångan används sedan i ångturbiner som också genererar el. Ångan från ångturbinerna leds till värmekondensorer för produktion av fjärrvärme (kraftvärme) eller till kallkondensorer som kylvatten med vatten (ren elkraftproduktion).

Man arbetar med två kraftprocesser nämligen den öppna gasturbinprocessen i kombination med den slutna ångturbinprocessen. Man har en kombinationsprocess eller kortare en kombiprocess. Fördelen med en kombiprocess är att den ger en avsevärt högre elverkningsgrad än en konventionell ångcykel.

Kombianläggningar finns i storlekar från cirka 4 MW_e till över 2000 MW_e. De senare består av flera block eller moduler där varje modul kan vara på upp till drygt 300 MW_e. Elverkningsgraden kan för stora anläggningar för enbart elproduktion vara över 50 %. En kraftvärmeanläggning ger ofta lika mycket el som värme ($\alpha=1$), totalverkningsgraden är 80-90 %.

Erforderligt naturgastryck kan för mindre anläggningar bli högt beroende på att gasturbinerna ofta är flygderivat. För större anläggningar är gasturbinerna optimerade för kombicykler och då räcker det med 24 bars naturgastryck (se kapitel 9).

3.2 Gasturbinanläggning med avgaspanna

I en gasturbinanläggning med avgaspanna drivs gasturbinen med t ex naturgas. Den genererar el i en generator. De heta rökgaserna leds sedan till avgaspannan där värmeenergin överförs till hetvatten för fjärrvärme eller till ånga för processändamål.

Denna anläggningstyp förekommer med eleffekt från någon MW_e upp mot 150 MW_e. Verkningsgrader för el ligger vid 30 till 36 % och totalverkningsgrader ligger över 80 %, utom för anläggningar under 10 MW_e, som har lägre verkningsgrad.

En gasturbinanläggning inom industrin består av en gasturbin och elgenerator med eller utan efterföljande avgaspanna för ång- eller hetvattenproduktion. Mestadels används dessa gasturbiner för reserv- eller spetslast och är då inte försedda med någon avgaspanna.

Storleken kan vara från 100 kW_e till över 100 MW_e.

Erforderligt naturgastryck är ibland högt beroende på att gasturbinerna är flygderivat.

3.3 Anläggningar i Sverige

Papyrus, Mölndal

Den första kombicykelanläggningen i Sverige byggs i anslutning till Papyrus i Mölndal.

Avgaspannan har tillsatseldning med naturgas. Gasturbinen är på 4 MW_e och ångturbinen ger 4 MW_e. Gasturbinen är försedd med vatteninsprutning för NO_x-reduktion. Erforderligt naturgastryck är 14 bar. Maximalt levereras naturgasen med 16 bars tryck.

Stallbacka, Trollhättan

I Stallbacka finns en ABB Stal GT200 gasturbinanläggning. Planer finns att bygga om den till en gaskombianläggning. Då kommer följande data att gälla (vid full värmeproduktion):

Eleffekt gasturbin:	92 MW _e
" ångturbin:	22 MW _e
" totalt:	114 MW _e
Fjärrvärmeeffekt	112 MW.

Gasturbinen är försedd med vatteninsprutning och katalysator för NO_x-reduktion.

Erforderlig trycknivå är minst 22 bar om inloppsidan för naturgasen uppdimensioneras maximalt för denna GT200 gasturbin. Levererat minsta gastryck kommer precis att uppfylla ovanstående trycknivå med en 24 bars ledning från MR-stationen i Trollhättan. Detta förutsätter stamledningstryck 80 bar för västgas'2.

4. Dieselmotorbaserade kraftvärmeanläggningar

En dieselmotorbaserad kraftvärmeanläggning består av en naturgasdriven dieselmotor med ansluten avgaspanna. Dieselmotorn är mestadels en fartygsmotor, som har anpassats för stationär elproduktion. Det blir dock allt vanligare med motorer direkt byggda för stationär drift.

Dieselmotorn behöver för tändningen i cylindrarna ett pilotbränsle (dieselolja) som utgör 5 % av den tillförda energimängden. Denna mängd är oberoende av lasten på motorn, så andelen ökar vid dellast. Gasen tillförs direkt till motorns cylindrar med ett tryck av cirka 250 bar. Detta innebär att en gaskompressor alltid erfordras oberoende av inkommande naturgastryck. Trycket i den inkommande gasledningen har dock betydelse för kompressionseffekten och elverkningsgraden. Kompressoreffekt KW/MW_e framgår av bil.2.

Avgaspannor efter dieselmotorer används normalt enbart för processånga eller hetvattenproduktion. Den relativt låga avgastemperaturen (cirka 350°C) och det jämfört med gasturbiner låga avgasflödet, gör det knappast ekonomiskt med en kombiprocess. Dessutom kommer hälften av den tillvaratagna värmeenergin från motorns kylsystem. Detta kräver då att fjärrvärme eller dylikt kan utnyttjas.

Dieselmotorbaserade kraftvärmeanläggningar finns i storlekar från någon MW_e till knappt 50 MW_e. Man får ungefär lika stor värmeeffekt som eleffekt från en dieselanläggning.

5. Ottomotorbaserade kraftvärmeanläggningar

Ottomotorbaserade kraftvärmeanläggningar, där naturgasen tillförs förbränningsluften utanför cylindrarna, förekommer mest i storlekar under 10 MW_e. Det finns också så kallade mikrokraftvärmeaggregat med konverterade bilmotorer på några tiotal kW_e.

Erforderligt matningstryck för naturgas till dessa motorer är så lågt att även den lägsta trycknivån 4 bar är tillräcklig.

6. Konventionell pannbaserad kraftvärmeanläggning

En konventionell pannbaserad kraftvärmeanläggning består av en ångpanna, en ångturbinanläggning och en värmekondensator, där ångan från turbinerna kondenseras och värmen överförs till fjärrvärmevatten.

Anläggningen kan också vara försedd med en kallkondensdel, där kondensorn kyls med havs- eller sjövatten.

Det är en kraftverkstyp, som har funnits i mer än 50 år, så tekniken är väl beprövad. Eleffekten från anläggningen kan variera från några MWe till flera hundra MWe.

Naturgas har under de senaste åren börjat användas i vissa av dessa konventionella anläggningar i Malmö- och Göteborgsregionerna.

Den naturgasbrännare som används, kräver inget speciellt högt tryck utan 4 bar är tillräckligt. Gastrycket till anläggningen styrs mer av erforderlig naturgasmängd.

7. Uppskattning av merkostnaden för naturgaskompressor för gasturbiner och gasmotorer

Om naturgasen till ett kraftvärmeverk inte håller tillräckligt tryck för den aktuella gasturbinen eller gasmotorn, måste den komprimeras i en kompressor. Kompression sker normalt adiabatiskt d v s utan värmeutbyte med omgivningen. Kompressionsarbetet för 1 kg gas kan beräknas med formeln (enstegskompression).

$$q = c_p * T_1 * ((p_2/p_1)^{(k-1)/k} - 1) / \eta_1$$

där q kompressionsarbete i kJ/kg

T_1 absoluta temperaturen före kompression i K

c_p gasens värmekapacitet i kJ/kg. K

p_1 absoluta trycket före kompression

p_2	absoluta trycket efter kompressionen
κ	isentropiexponenten
η_1	kompressorns isentropiska verkningsgrad
η_2	gasturbinens verkningsgrad
p_1/p_2	tryckförhållande

Observera att denna formel inte tar hänsyn till mekaniska förluster i kompressorn och inte heller beaktar förlusterna i kompressorns drivmotor.

Gasen uppvärms vid kompressionen. Ju varmare gasen är ju större blir kompressionsarbetet. För att minska detta kan man komprimera gasen i två steg och kyla den mellan stegen. Om gasen mellan de två kompressionsstegen kyls till utgångstemperaturen T_1 fås kompressionsarbetet med kompression i två steg och mellankylning.

$$q = 2 * c_p * T_1 * ((p_2/p_1)^{(k-1)/2/k} - 1) / \eta_1$$

Kompression med mellankylning används mest vid stort tryckförhållande. Det till gasen tillförda kompressionsarbetet tillförs gasturbinen eller gasmotorn som värme. Detta innebär att en del av kompressionsarbetet återvinns som elektricitet.

D v s för enstegskompression fås netto kompressionsenergi.

$$q = (1 - \eta_2) * c_p * T_1 * ((p_2/p_1)^{(k-1)/k} - 1) / \eta_1$$

För tvåstegskompression fås

$$q = (2 - \eta_2) * c_p * T_1 * ((p_2/p_1)^{(k-1)/2/k} - 1) / \eta_1$$

C_p och X -värdena gäller för gasens medeltemperatur i varje steg. För naturgas kan $C_p = 2,16$ kJ/kg, $X = 1,32$ användas för ej alltför noggranna beräkningar. För att beräkna skillnaden mellan netto kompressoreffekt för en resp tvåstegskompression måste man ta hänsyn till C_p - och X -värdenas temperaturvariation.

För överslagsberäkningar kan för enstegskompression användas formeln

$$q = 2.16 * T_1 * ((p_2/p_1)^{0.242} - 1) / \eta_1$$

Formeln ger kompressionseffekten. För att ta hänsyn till återvunnen energi multiplicera med $(1-\tau_2)$.

För tvåstegskompression, där gasen mellankyls till ingångstemperaturen gäller:

$$q=2*2.16*T_1*((p_2/p_1)^{0.121}-1)/\eta_1$$

Detta ger kompressionsarbetet. För att ta hänsyn till återvunnen energi, multiplicera med $(2-\tau_2)/2$.

I bilaga 10 har erforderlig kompressoreffekt för gasturbiner i kW per MW el plottats. Kompressorernas isentropiska verkningsgrad har satts till 80 % och gasturbinens till 30 %. Naturgasens värmevärde är 48 MJ/kg. Kompressioner sker i ett steg. Observera att ovan angivna korrektion för återvunnen energi har medräknats.

Figuren ger en approximativ uppgift på erforderlig netto kompressions-effekt per MW eleffekt från gasturbinen. Normalt används tvåstegskompression vid tryckförhållanden större än 3.

Gaskompressorerna drivs antingen av en elmotor eller en gasmotor. De är mestadels kolv- eller turbokompressorerna.

En kompressorinstallation för en stor gasturbin (ca 100 MWe) kan kosta i storleksordningen 30 kr/kW_e. För en mindre gasturbin på 10 MWe kan kostnaden grovt uppskattas till 60 kr/kW_e. Detta gäller för måttliga tryckuppsättningar motsvarande 1,5 gånger inloppstrycket.

För högtrycks dieselmotorer krävs alltid gaskompressor, som normalt är inkluderad i leveransen.

8. Sammanställning av erforderliga naturgastryck för gasturbiner i kraft- och kraftvärmeverk

I bil. 3 har erforderliga naturgastryck för gasturbiner med effekter mellan 1 och 50 MWe sammanställts. Trycket anges i bar övertryck som funktion av genererad eleffekt i MW. Streckade linjer har lagts in som visar de naturgastrycken 4, 16 och 24 bar övertryck.

På samma sätt har i bil. 4 sammanställts erforderliga naturgastryck för gasturbiner med 50 MW eleffekt eller mer.

Följande turbinleverantörer finns i diagrammen:

1. ABB
2. AEG
3. Allison
4. Alsthom
5. Fiat Aviazione
6. General Electric Co
7. John Brown Power Engineering
8. Kongsberg Dresser Power

Formeln ger kompressionseffekten. För att ta hänsyn till återvunnen energi multiplicera med $(1-\eta_c)$.

För tvåstegskompression, där gasen mellankyls till ingångstemperaturen gäller:

$$q=2*2.16*T_1*((p_2/p_1)^{0.121}-1)/\eta_1$$

Detta ger kompressionsarbetet. För att ta hänsyn till återvunnen energi, multiplicera med $(2-\eta_c)/2$.

I bilaga 10 har erforderlig kompressoreffekt för gasturbiner i kW per MW el plottats. Kompressorns isentropiska verkningsgrad har satts till 80 % och gasturbinens till 30 %. Naturgasens värmevärde är 48 MJ/kg. Kompressioner sker i ett steg. Observera att ovan angivna korrektion för återvunnen energi har medräknats.

Figuren ger en approximativ uppgift på erforderlig netto kompressions-effekt per MW eleffekt från gasturbinen. Normalt används tvåstegskompression vid tryckförhållanden större än 3.

Gaskompressorer drivs antingen av en elmotor eller en gasmotor. De är mestadels kolv- eller turbokompressorer.

En kompressorinstallation för en stor gasturbin (ca 100 MWe) kan kosta i storleksordningen 30 kr/kW_e. För en mindre gasturbin på 10 MWe kan kostnaden grovt uppskattas till 60 kr/kW_e. Detta gäller för måttliga tryckuppsättningar motsvarande 1,5 gånger inloppstrycket.

För högtrycks dieselmotorer krävs alltid gaskompressor, som normalt är inkluderad i leveransen.

8. Sammanställning av erforderliga naturgastryck för gasturbiner i kraft- och kraftvärmeverk

I bil. 3 har erforderliga naturgastryck för gasturbiner med effekter mellan 1 och 50 MWe sammanställts. Trycket anges i bar övertryck som funktion av genererad eleffekt i MW. Streckade linjer har lagts in som visar de naturgastrycken 4, 16 och 24 bar övertryck.

På samma sätt har i bil. 4 sammanställts erforderliga naturgastryck för gasturbiner med 50 MW eleffekt eller mer.

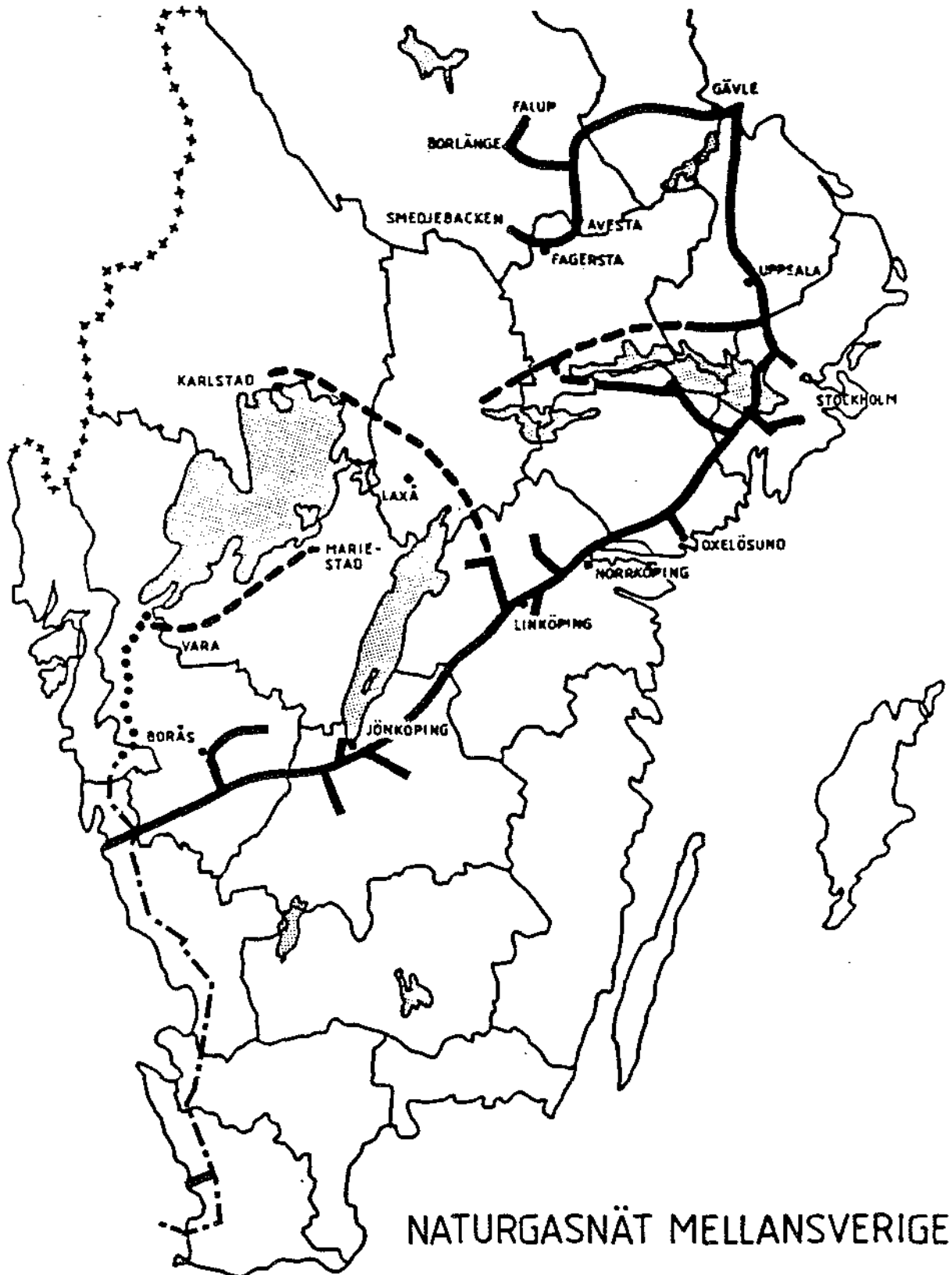
Följande turbinleverantörer finns i diagrammen:

1. ABB
2. AEG
3. Allison
4. Alsthom
5. Fiat Aviazione
6. General Electric Co
7. John Brown Power Engineering
8. Kongsberg Dresser Power

En gasturbin med högt tryckförhållande ger mestadels en högre verkningsgrad än en gasturbin med lägre tryckförhållande. Komprimering av gas är en energikrävande process. (Se kapitel 7). När man skall beräkna driftskostnaden för en gasturbin måste således kompressoreffekten beaktas. Se bil. 10.

Bilaga 11 visar ett exempel på ett gasbränslesystem för en ABB Stal GT35 gasturbin. Det erforderliga naturgasstryck vi avser i rapporten är det som krävs vid leveransgränsen på figuren.

I vissa gasturbininstallationer kan det behövas filter eller annan utrustning före gasturbinen. Tryckfallet i dylika komponenter är inte medräknat.

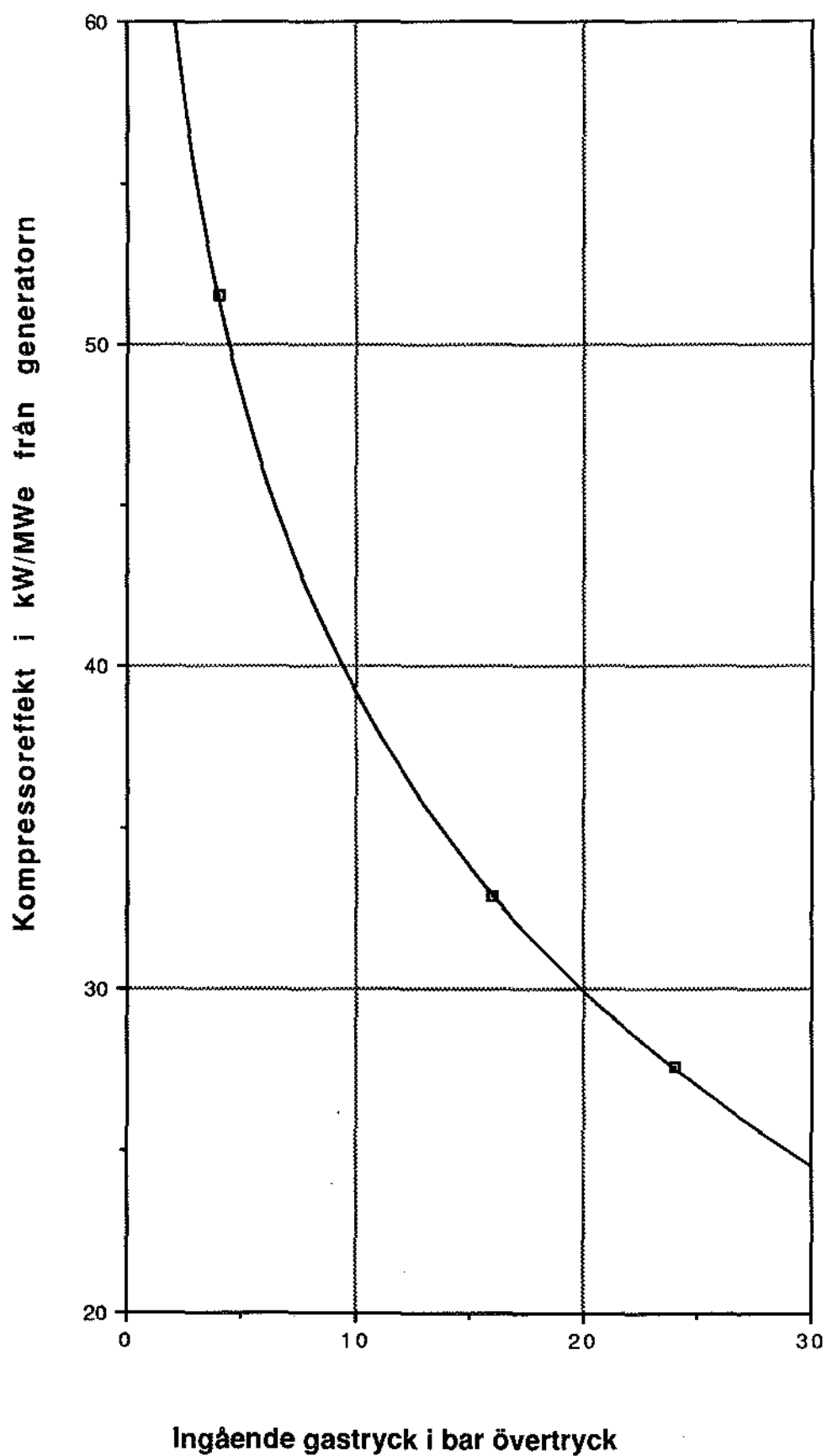


NATURGASNÄT MELLANSVERIGE

- — — — — BEFINTLIG GASLEDNING
- PROJEKTERAD GASLEDNING
- - - - - GRENLEDNINGAR FÖR SENARE UTBYGGNAD

Swede Gas AB

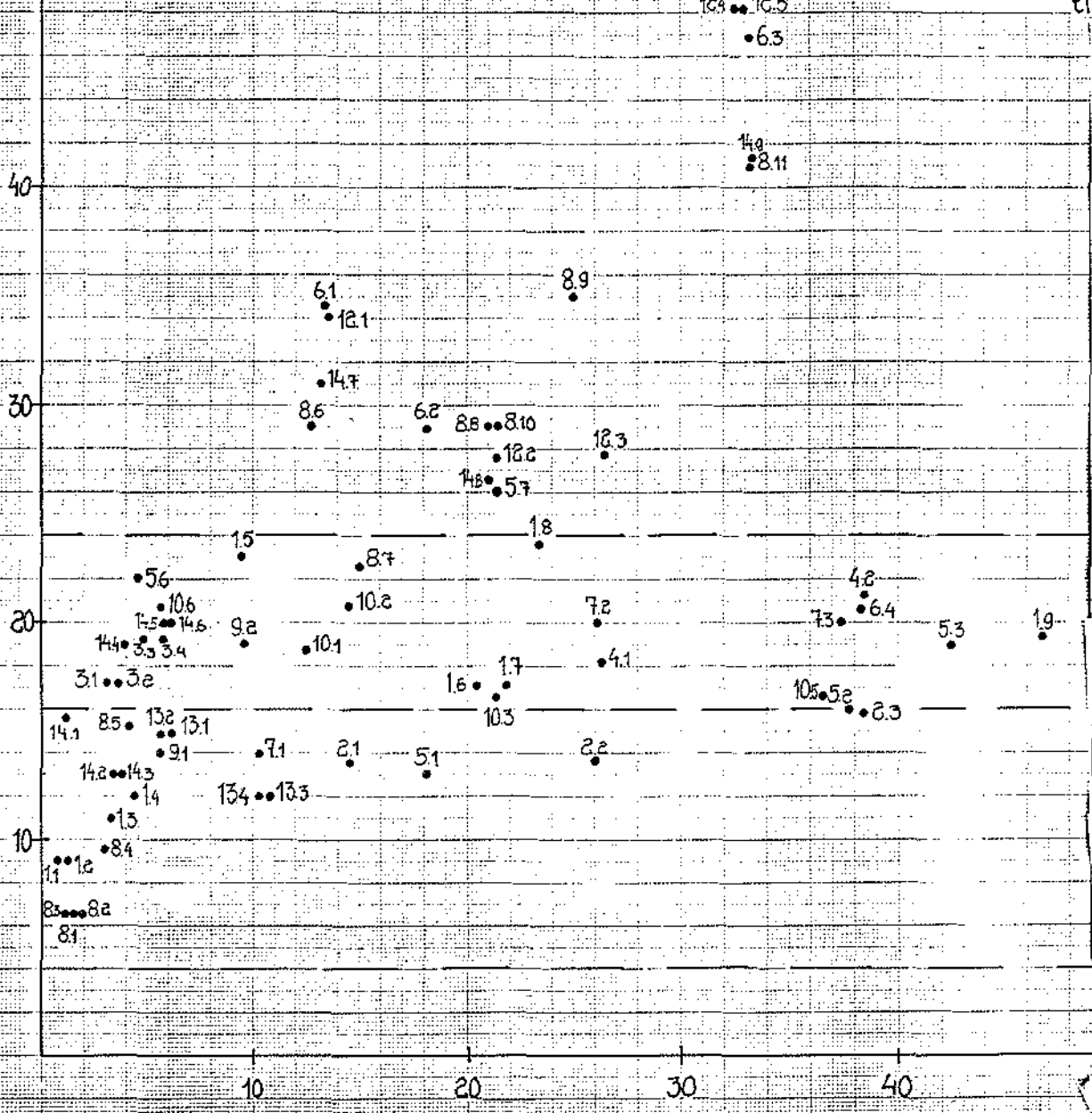
Kompressoreffekt i kW/MWe som funktion av Ingående gastryck för en högtrycksdel med 43,5 % elverkningsgrad och 250 bars gastryck för inmatning i cylindrarna



Erf gasstryck
50↑ bar övertryck

Erfoderligt naturgasstryck som
funktion av elektrisk uteffekt
för gasturbiner i storlekar upp
till 50 MWe

Bil. 3

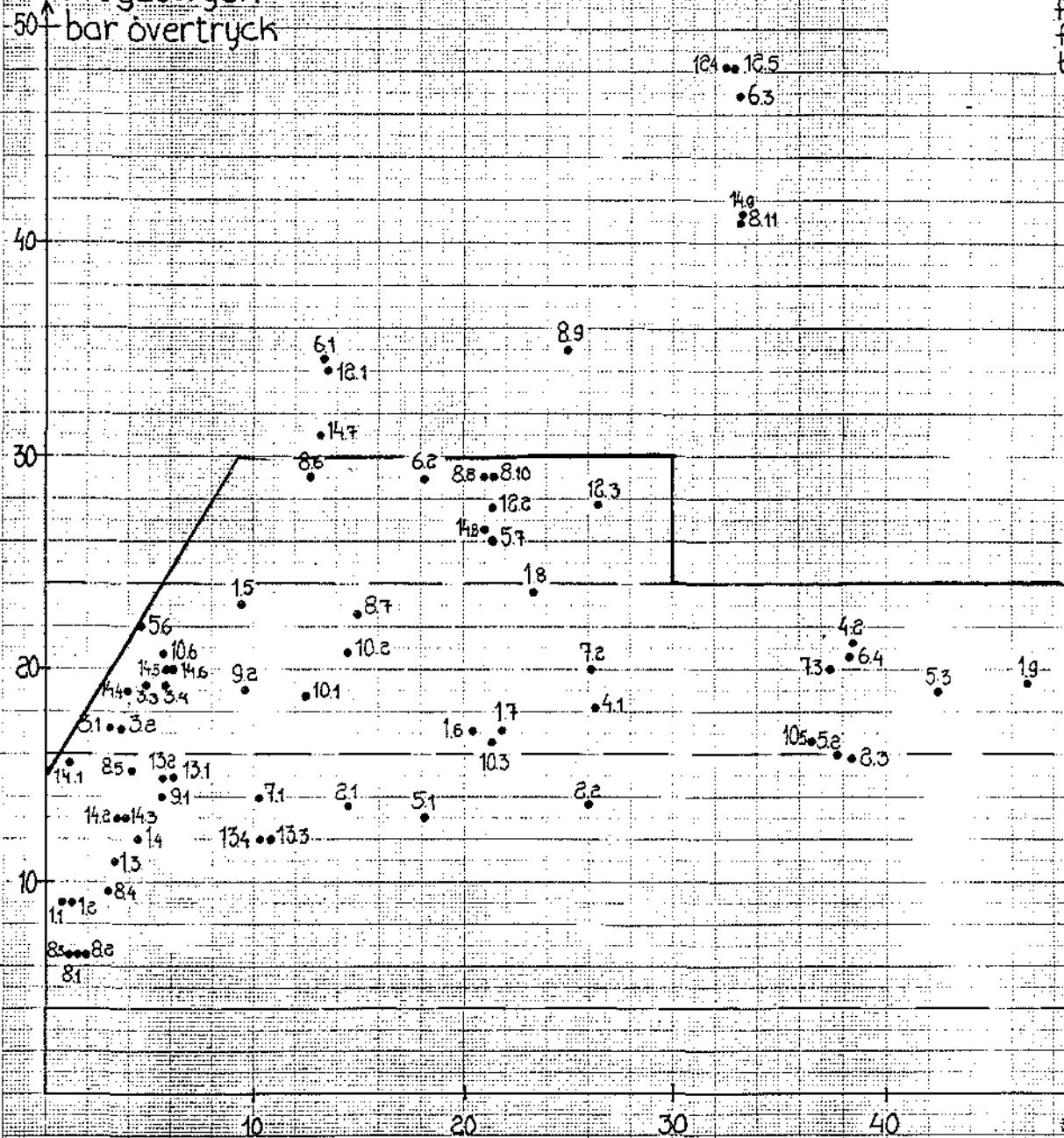


Tillverkare	Effekt	Beteckning	Tillverkare	Effekt	Beteckning
ABB			Kongsberg		
Satum MK II	0,95	1,1	KG 2-3 C	1,5	8,1
Satum MK III	1,15	1,2	KG 2-3 D	1,8	8,2
Centaur T 4500	3,22	1,3	KG 2-3R	1,3	8,3
Centaur H	4,14	1,4	KG 5	3	8,4
Mars	9,55	1,5	DC 990	4,2	8,5
GT 35	20,5	1,6	GT-60	12,8	8,6
GT 35 IR	21,89	1,7	GT-54	15	8,7
Type 10	23,5	1,8	GT-61	21,3	8,8
GT 8	46,9	1,9	DI-290R	25	8,9
			DI-300G	21,4	8,10
			DI-460G	33,2	8,11
AEG			MANN GHR		
PG3142	10,45	2,1	THM 1203	5,6	9,1
PG5371	26,3	2,2	THM 1304	9,75	9,2
PG6531	38,34	2,3			
Allison			Mitsubishi		
501-KB	3,194	3,1	MF-111 A	12,61	10,1
501-KB5	3,807	3,2	MF-111 B	14,57	10,2
570-KA	4,877	3,3	MW-151	21,14	10,3
571-KA	5,738	3,4			
Alsthom			MW-251	36,86	10,5
PG 5371 PA	26,3	4,1	MF-61	5,81	10,6
PB 6541B	38,34	4,2			
			Stewart & Stevenson		
Flat			LM 1600	13,43	12,1
TG 16	18,2	5,1	LM 2500 PE	21,56	12,2
TG 20	37,85	5,2	LM 2500 PH STIG	26,47	12,3
TG 20	42,5	5,3	LM 5000 PA	32,67	12,4
			LM 5000 PC STIG 120	33,7	12,5
LM 500	4,5	5,6			
LM 2500-PE	21,25	5,7	Subzer		
			3	6,1	13,1
GE			R3	5,86	13,2
LM 1600 PA	13,4	6,1	7	10,7	13,3
LM 2500 PE	20,5	6,2	R7	10,3	13,4
LM 5000 PC	33,1	6,3			
PG 6541 (B)	38,3	6,4			
John Brown			Ruston Gas Turbines Ltd		
PG 3002 J	10,2	7,1	Humbane	1,28	14,1
PG 5001 PA	26,3	7,2	TB 5000	3,67	14,2
PG 6001 B	37,4	7,3	Nomad 5	3,89	14,3
			Typhon	3,93	14,4
			Tomado	5,39	14,5
			Nomad 10	5,9	14,6
			RLM 1600	13,12	14,7
			RLM 25000	21,45	14,8
			RLM 5000	33,35	14,9

Erf gasstryck
bar övertryck

Erfoderligt naturgasstryck som
funktion av elektrisk uteffekt
för gasturbiner i storlekar upp
till 50 MWe

Bil. 3a



Tillverkare	Effekt	Beteckning	Tillverkare	Effekt	Beteckning
ABB			Kongsberg		
Saturn MK II	0,95	1,1	KG 2-3 C	1,5	3,1
Saturn MK III	1,15	1,2	KG 2-3 D	1,8	3,2
Centaur T 4500	3,32	1,3	KG 2-3R	1,3	3,3
Centaur H	4,14	1,4	KG 5	3	3,4
Mast	9,55	1,5	DC 990	4,2	3,5
GT 35	20,5	1,6	GT-60	12,8	3,6
GT 35 IR	21,89	1,7	GT-54	15	3,7
Type 10	23,5	1,8	GT-61	21,3	3,8
GT 8	46,9	1,9	DF-290R	25	3,9
			DF-300G	21,4	3,10
AEG			DF-460G	33,2	3,11
PG3142	10,45	2,1			
PG5371	26,3	2,2	MANN GHN		
PG6531	38,34	2,3	THM 1203	5,6	9,1
			THM 1304	9,75	9,2
Alison					
501-KB	3,194	3,1	Mitsubishi		
501-KB5	3,807	3,2	MF-111 A	12,61	10,1
570-KA	4,877	3,3	MF-111 B	14,57	10,2
571-KA	5,738	3,4	MW-151	21,14	10,3
Altkom			MW-251	36,86	10,5
PG 5371 PA	26,3	4,1	MF-61	5,81	10,6
PB 6541B	38,34	4,2			
Flat			Stewart & Stevenson		
TG 16	18,2	5,1	LM 1600	13,43	12,1
TG 20	37,85	5,2	LM 2500 PE	21,56	12,2
TG 20	42,5	5,3	LM 2500 PH STIG	26,47	12,3
			LM 5000 PA	32,67	12,4
LM 500	4,5	5,6	LM 5000 PC STIG 120	33,7	12,5
LM 2500-PE	21,25	5,7			
GE			Sulzer		
LM 1600 PA	13,4	6,1	S	6,1	13,1
LM 2500 PE	20,5	6,2	R3	5,86	13,2
LM 5000 PC	33,1	6,3	7	10,7	13,3
PG 6541 (B)	38,3	6,4	R7	10,3	13,4
John Brown					
PG 3002 J	10,2	7,1	Ruston Gas Turbines Ltd		
PG 5001 PA	26,3	7,2	Huronic	1,28	14,1
PG 6001 B	37,4	7,3	TB 5000	3,67	14,2
			Nomad S	3,89	14,3
			Typhoon	3,93	14,4
			Tomado	5,89	14,5
			Nomad 10	5,9	14,6
			RLM 1600	13,12	14,7
			RLM 25000	21,45	14,8
			RLM 5000	33,35	14,9

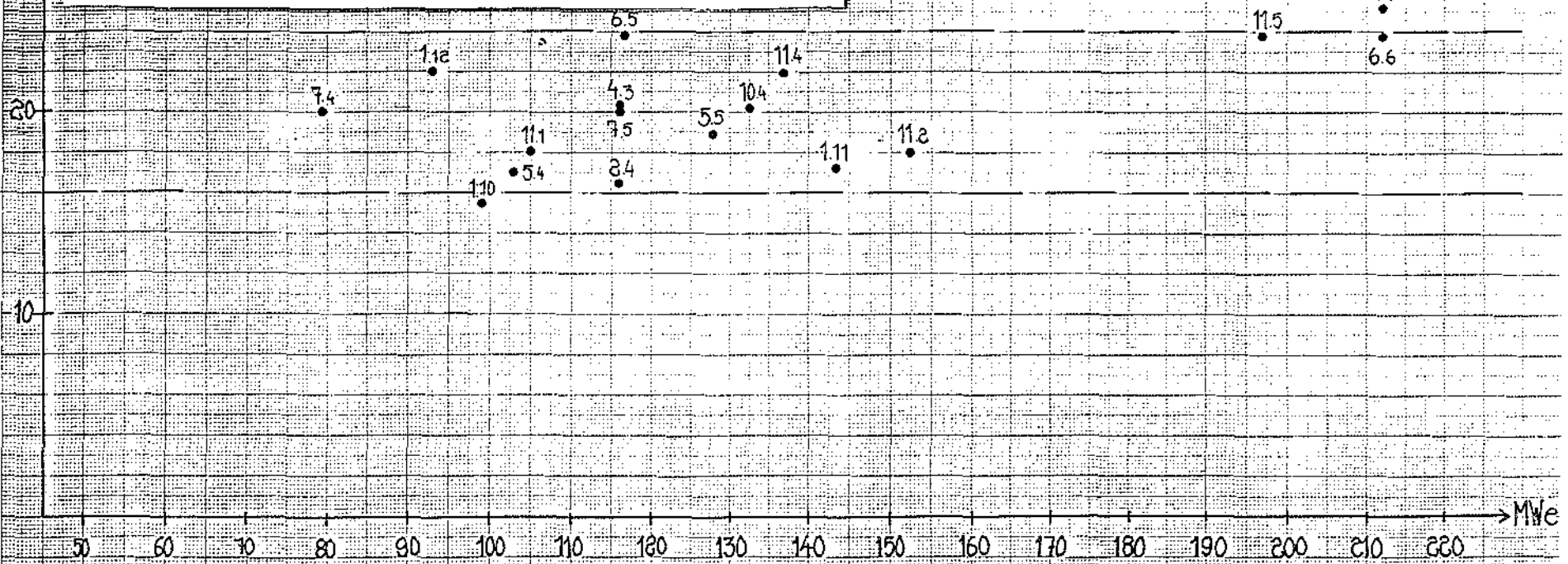
MWe

Erf. gastryck
bar övertryck

Erfoderligt naturgastryck som
funktion av elektrisk uteffekt
för gasturbiner i storlekar mellan
50 och 220 MWe

Bil. 4

Tillverkare	Eleffekt	Beteckn	Tillverkare	Eleffekt	Beteckn
ABB			John Brown		
GT 13	98,2	1,10	PG 7001 E	79,75	7,4
GT 15N	143,6	1,11	PG 9001 E	116,4	7,5
GT 200	93	1,12			
			Mitsubishi		
AEG			MW-701	130,55	10,4
PG9161	116,4	2,4			
			Siemens		
Alstom			V 84.2	105,2	11,1
PG 9161E	116,4	4,3	V94.2	132,7	11,2
PG 9281F	212,3	4,4	V 64.3	57	11,3
			V 84.3	137	11,4
Flat			V 94.3	197	11,5
TG 50	103	5,4			
TG 50	128	5,5			
GE					
PG 9161(E)	116,9	6,5			
PG 9281 (F)	212,2	6,6			

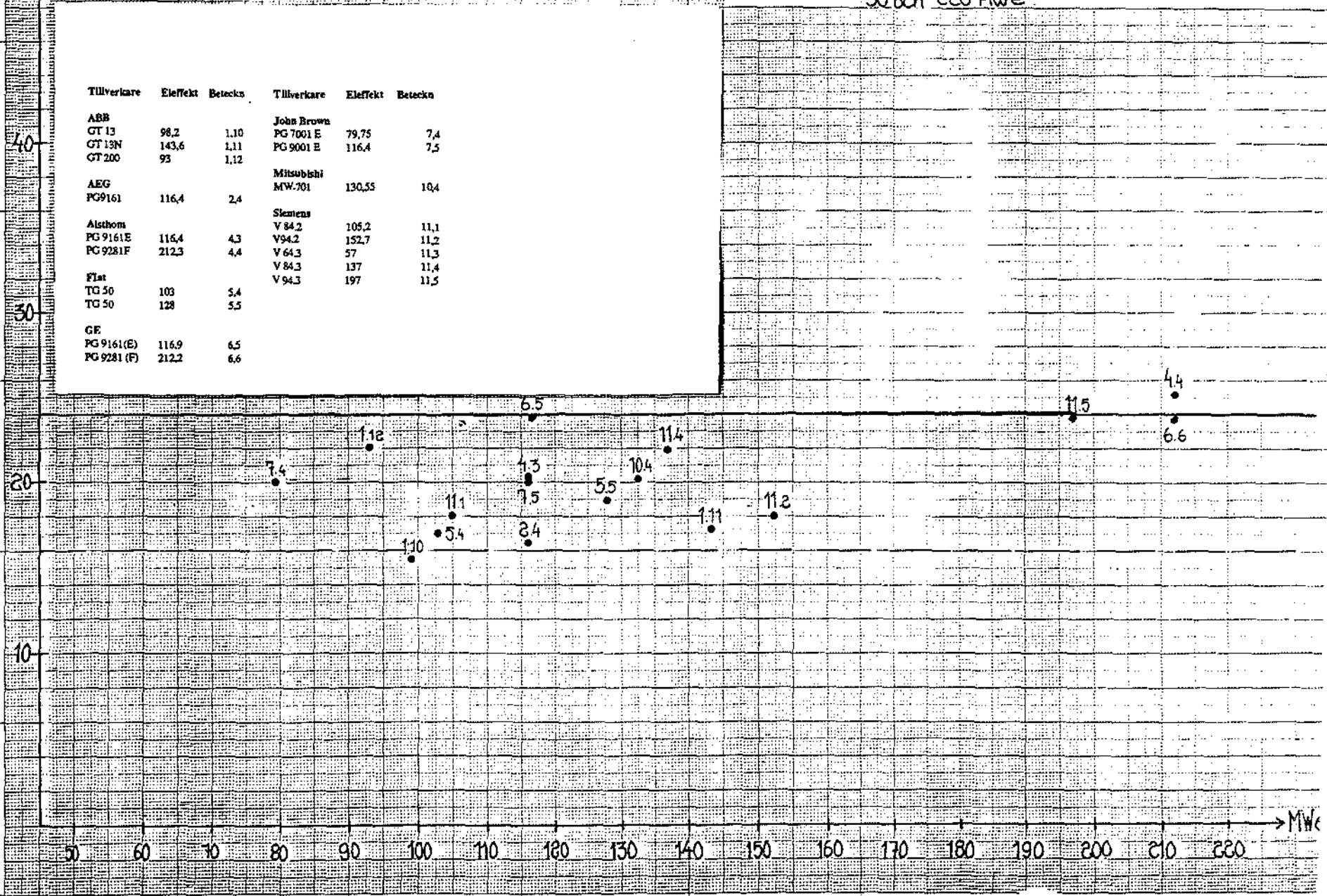


Erf. gastryck
bar övertryck

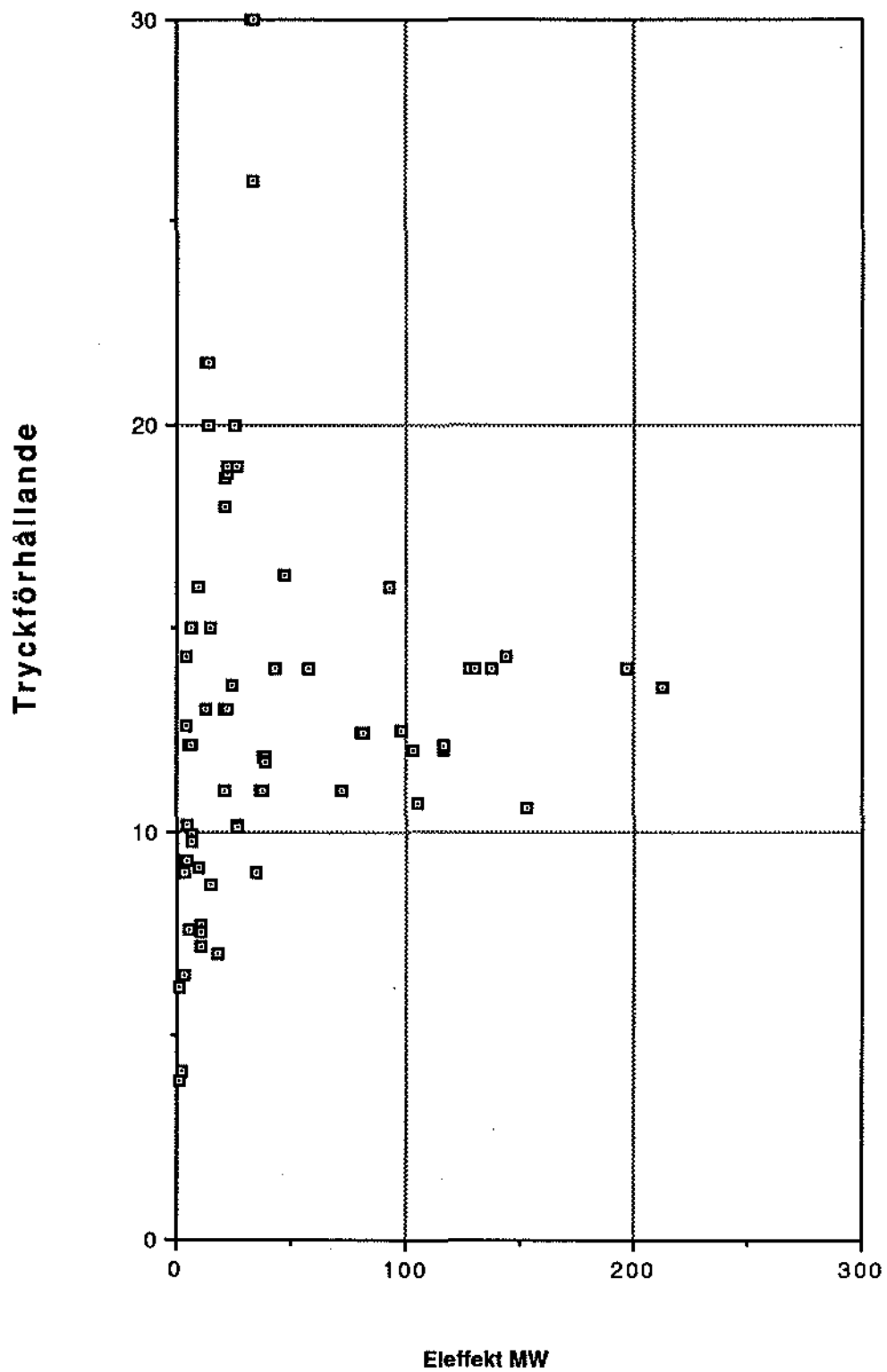
Erödrigt naturgastryck som
funktion av elektrisk uteffekt
för gasturbiner i storlekar mellan
50 och 220 MWe

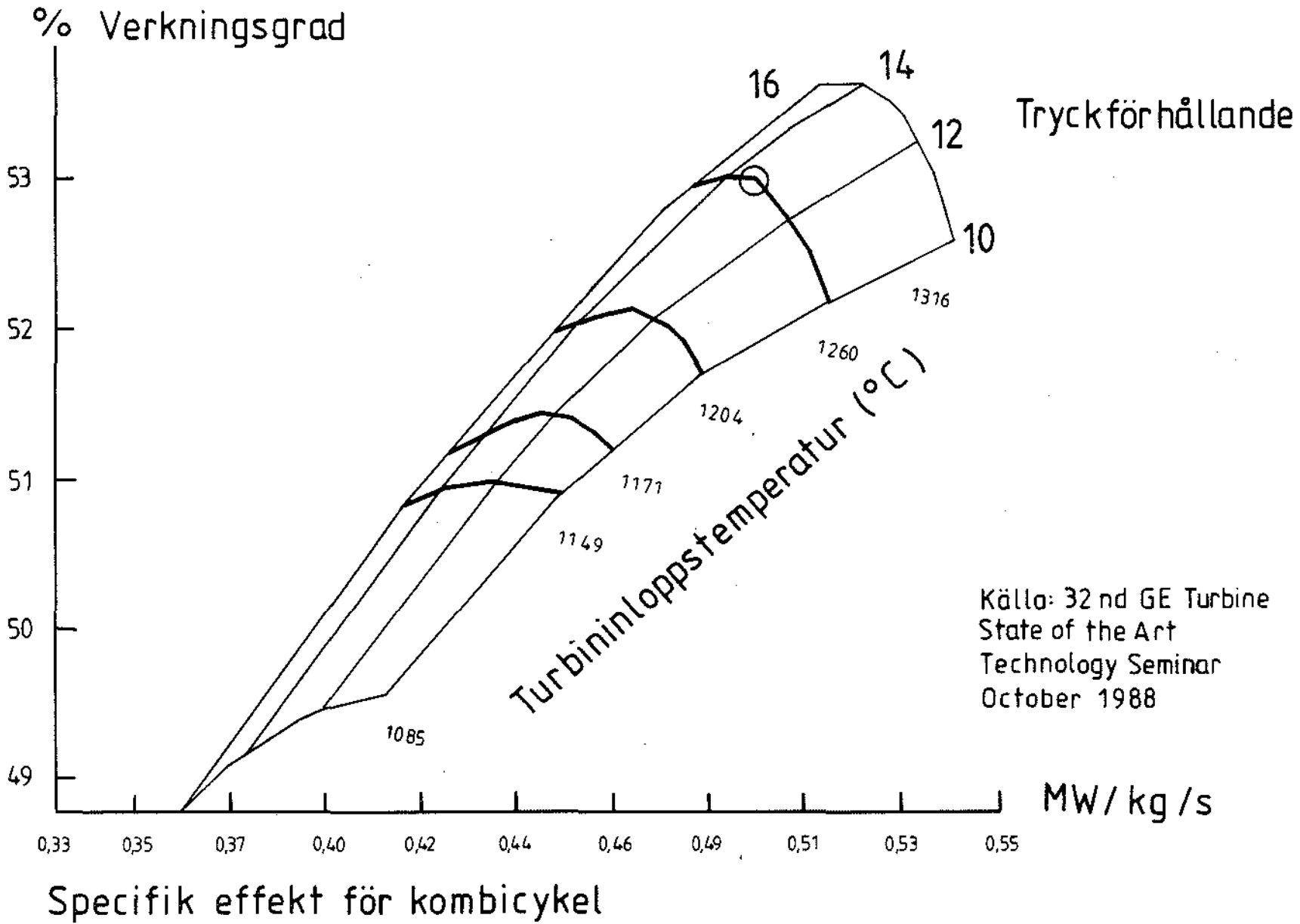
Bil. 4a

Tillverkare	Eleffekt	Beteckn	Tillverkare	Eleffekt	Beteckn
ABB			John Brown		
GT 13	98,2	1,10	PG 7001 E	79,75	7,4
GT 13N	143,6	1,11	PG 9001 E	116,4	7,5
GT 200	93	1,12			
AEG			Mitsubishi		
PG 9161	116,4	2,4	MW.701	130,55	10,4
Alsthom			Siemens		
PG 9161E	116,4	4,3	V 84.2	105,2	11,1
PG 9281F	212,3	4,4	V 94.2	152,7	11,2
Flat			V 64.3	57	11,3
TG 50	103	5,4	V 84.3	137	11,4
TC 50	128	5,5	V 94.3	197	11,5
GE					
PG 9161(E)	116,9	6,5			
PG 9281 (F)	212,2	6,6			



Tryckförhållande som funktion av eleffekt för gasturbiner



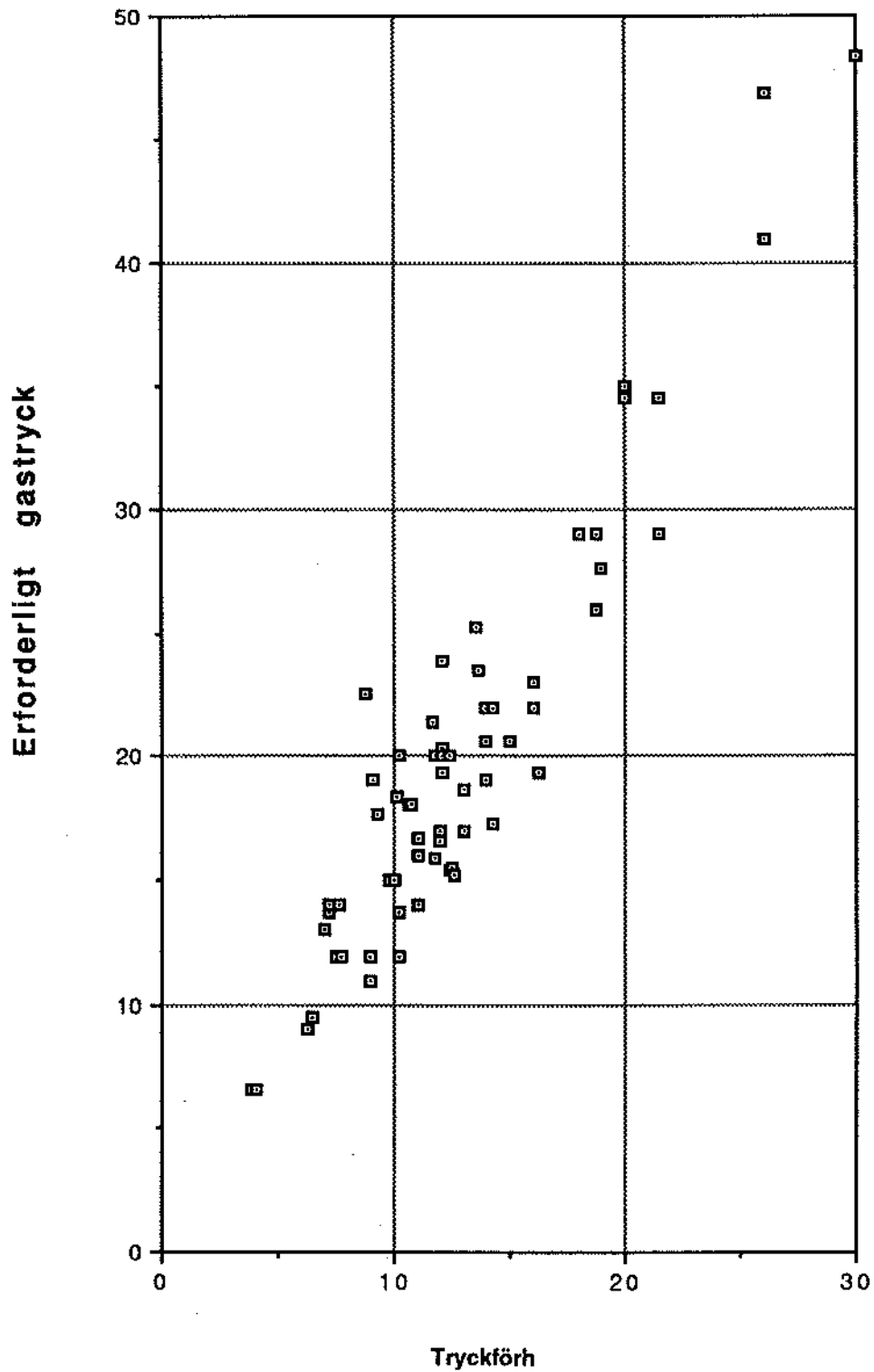


Verkningsgrad för kombicykel

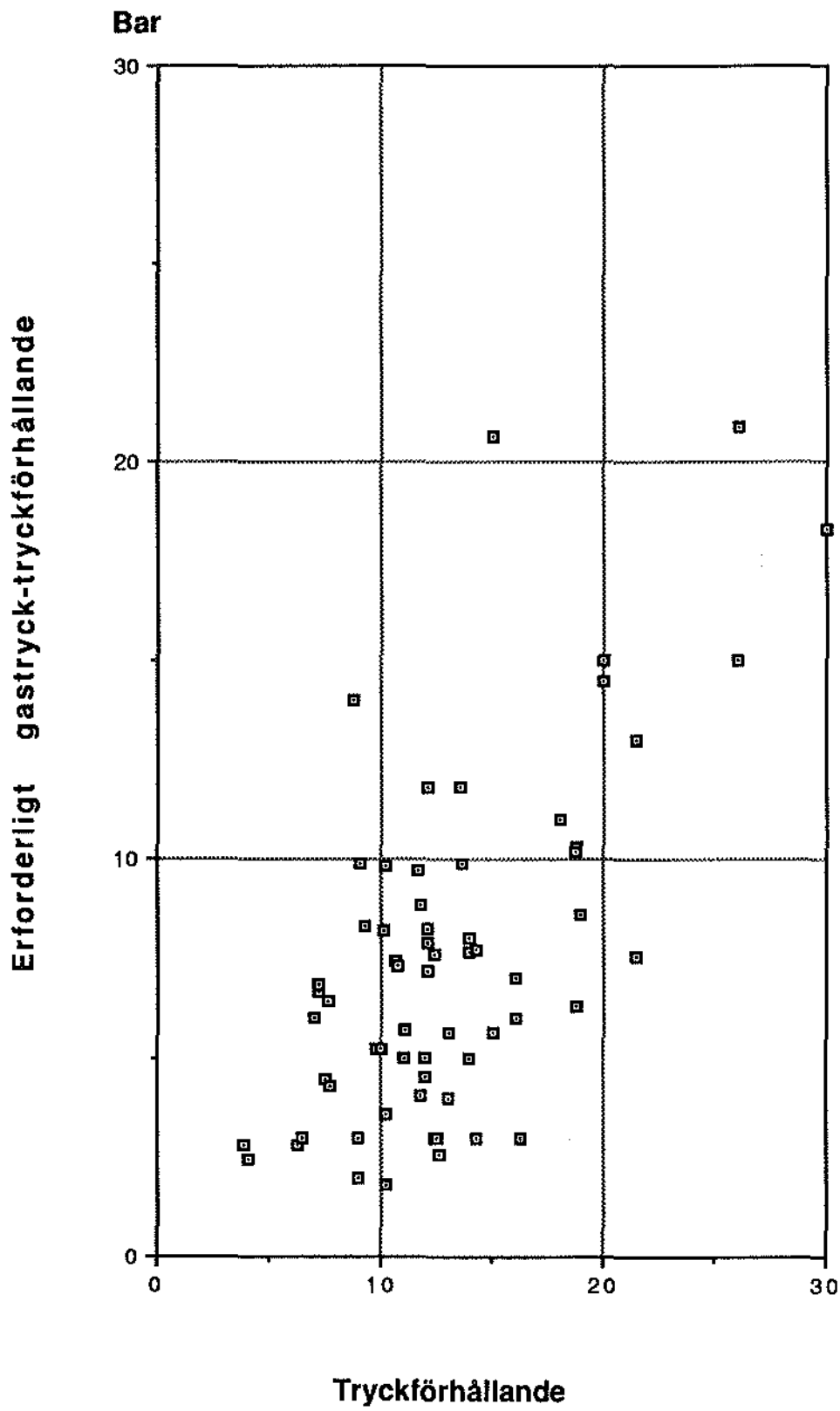
Bil 6.

Erforderligt gastryck som funktion av tryckförhållande för gasturbiner

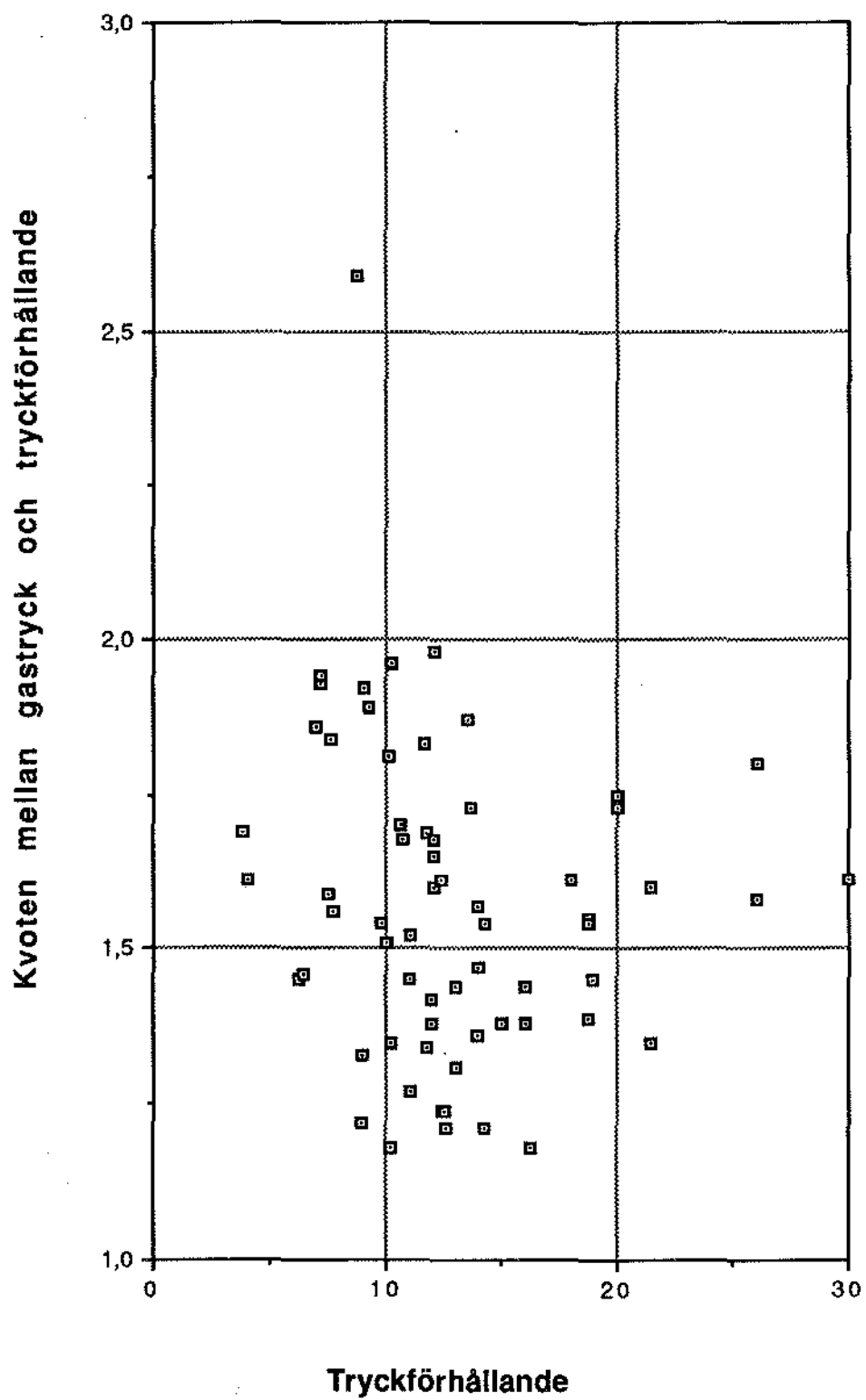
Bar övertryck



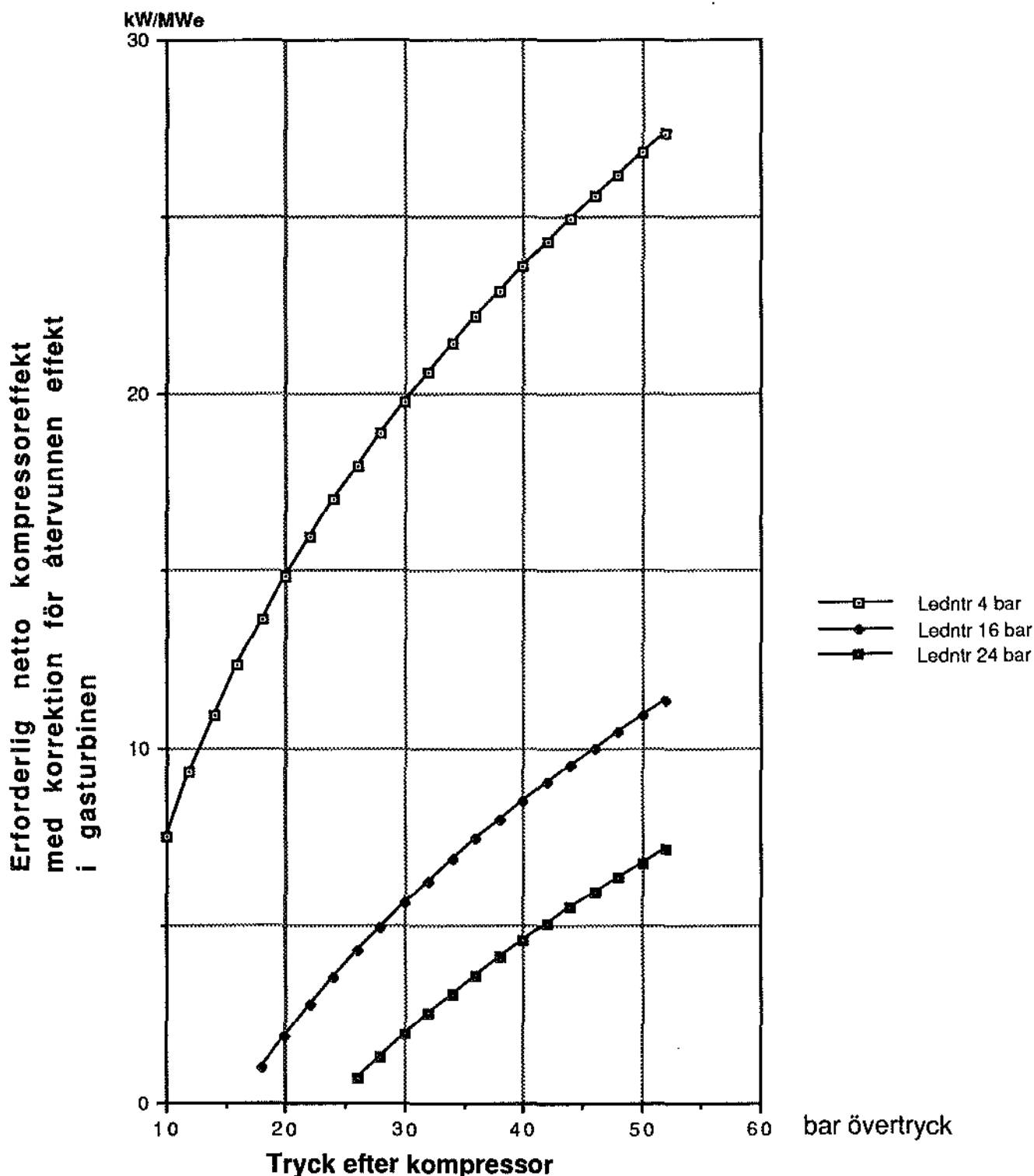
Skillnaden gastreetryck tryckförhållande som funktion av tryckförhållande för gasturbiner



Kvoten mellan gastryck och tryckförhållande som funktion av tryckförhållande för gasturbiner



Kompressoreffekt netto för naturgaskompression



Delta diagram visar hur stor effekt det behövs för att komprimera naturgas från ledningstrycken 4, 16 resp 24 bar till erforderligt tryck för gasturbinen räknat med enstegskompression och verkningsgraderna 80 % för kompressorn och 30 % för gasturbinen. Naturgastemperatur 15 C (288 K) före kompression

OBS!!!

Angivna effekter gäller med korrektion för det som återvinns i gasturbinen

GENERAL

The gas fuel, supplied to the unit fuel system, must fulfil the requirements given in fuel specification BA-241-6. Any treatment, e.g. pressure or temperature adaption, must be accomplished before the gas enters the internal system.

COMPONENTS

Most components are assembled together in a gas fuel unit located in the auxiliary room.

Pneumatic Fire Valve

The pneumatic fire valve is a spring closing pneumatically actuated ball valve to isolate the internal system from the external system in case of for instance a fire.

A limit switch gives open valve indication.

A ventilation valve, a spring opening pneumatic ball valve, operates in parallel. When the fire valve opens, the vent. valve closes and vice versa.

Gas Shut-Off Valve

The gas shut-off valve is used to shut off the fuel supply to stop the engine and is a spring closing hydraulically operated disc valve to open and shut-off the fuel flow to the engine.

A ventilation valve is integrated and operates in parallel but is opened when the shut-off valve is closed.

Limit switches indicate the valve end positions. Not closed shut-off valve gives alarm and start interlock. Open shut-off valve gives indication.

Gas Control Valve

The control valve is mounted directly on the fuel shut-off valve outlet and controls the fuel flow to the engine. The electric output from the turbine governor controls the servo of the gas fuel control valve via an electro-hydraulic converter.

A position indicator and a position transducer show the valve position.

Limit switches indicate valve end positions. Minimum position exceeded interlocks start and gives alarm. Exceeded maximum position gives turbine trip.

Gas Burners

The gas burners, one for each combustion chamber, are very simple in design. The gas is supplied to the combustion chambers through a number of annularly arranged slots in the burner.

Low Gas Pressure

Low gas supply pressure gives start interlock and turbine trip.

Flame Detector

A flame detector is fitted to combustor 1. No flame during operation gives trip and indicated flame interlocks start.

Igniters

High energy igniters are fitted to combustors 2 and 7.

FUNCTION

Operation of the system is fully automatic.

Start

The pneumatic fire valve opens first and then, when the conditions for fuel injection and ignition are fulfilled the gas shut-off valve opens and the gas flow to the engine is controlled by the gas control valve. The flame detector checks the firing.

Low gas supply pressure, open gas fuel shut-off valve, gas fuel control valve not in minimum position before start or flame detector indicating flame interlocks start.

Operation

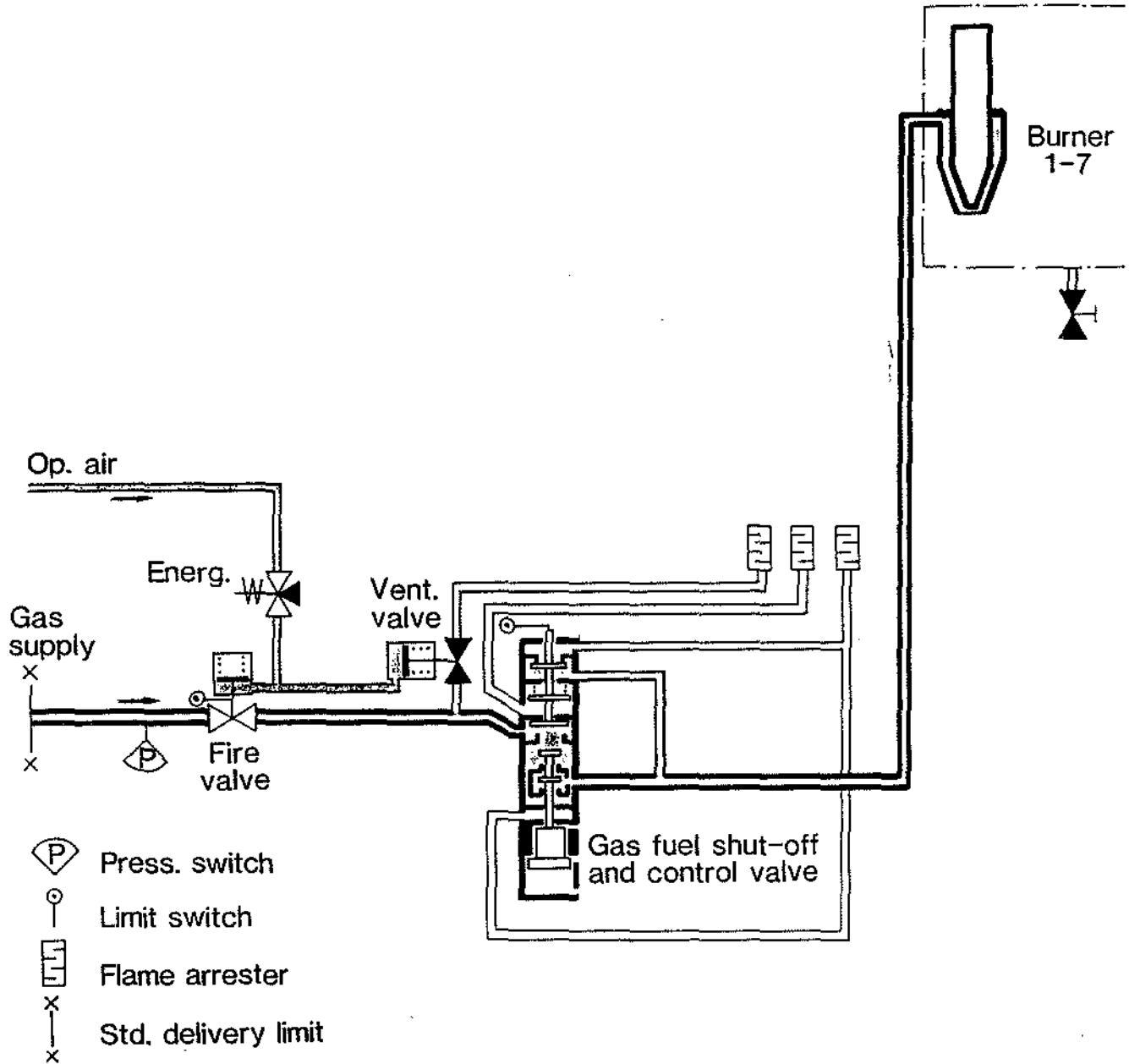
The fire valve is kept open by operating air pressure and the gas shut-off valve is kept open by governing oil pressure. The operating medium in both cases supplied through actuated solenoid valves (fail safe conn.).

Exceeded maximum fuel control position or no flame indicated initiates unit trip.

Actual control valve position is indicated by a local indicator and a position transducer.

Stop

The fire valve closes, the vent. valve operated in parallel opens, the fuel shut-off valve closes and the paralleled vent. valve opens. The control equipment orders the fuel control valve back to minimum position.



Tillverkare	ABB	Nr	1		
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gstryck bar övertryck		Tryckförh	Beteckn i bil 3 och 4
		Min	Max		
Saturn MK II	0,95	9	11	6,2	1,1
Saturn MK III	1,15	9	11	6,2	1,2
Centaur T 4500	3,32	11	12	9	1,3
Centaur H	4,14	12	15	10,2	1,4
Mars	9,55	23	25	16	1,5
GT 35	20,5	17		13	1,6
GT 35 IR	21,89	17		13	1,7
Type 10	23,5	23,5		13,6	1,8
GT 8	46,9	19,3		16,3	1,9
GT 13	98,2	15,5		12,5	1,10
GT 13N	143,6	17,3		14,3	1,11
GT 200	93	22	24	16	1,12

Anm: Kravet på gstryck kan höjas pga vatteninsprutning för
NOx-reduktion eller effekthöjning
Erfordeliga ång- eller vattenflöden ger gstrycket

Bil 12.2

Tillverkare	AEG	Nr 2		
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gstryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckn i bil 3 och 4
PG3142	10,45	13,77	7,15	2,1
PG5371	26,3	13,77	10,2	2,2
PG6531	38,34	15,84	11,8	2,3
PG9161	116,4	16,53	12	2,4

Gasens specifika vikt 0,6 kg/m³
Gastemperatur 60 F (15,6 C)

Bil 12,3

Tillverkare	Allison	Nr 3		
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gstryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
501-KB	3,194	17,6	9,3	3,1
501-KB5	3,807	17,6	9,3	3,2
570-KA	4,877	19,3	12,1	3,3
571-KA	5,738	19,3	12,1	3,4

Bil 12.4

Tilverkare	Alsthom	Nr 4		
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
PG 5371 PA	26,3	18,3	10,1	4,1
PB 6541B	38,34	21,4	11,7	4,2
PG 9161E	116,4	20,3	12,06	4,3
PG 9281F	212,3	25,3	13,5	4,4

Erforderligt gastryck för PG 9281F kan ändras

Tillverkare	Fiat Aviazione Nr 5			
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
TG 16	18,2	13	7	5,1
TG 20	37,85	16	11	5,2
TG 20	42,5	19	14	5,3
TG 50	103	17	12	5,4
TG 50	128	19	14	5,5
LM 500	4,5	22	14,3	5,6
LM 2500-PE	21,25	26	18,7	5,7

Bil 12.6

Tillverkare	General Electric Co		Nr 6	
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gstryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
LM 1600 PA	13,4	34,5	21,5	6,1
LM 2500 PE	20,5	29	18,7	6,2
LM 5000 PC	33,1	46,9	26	6,3
PG 6541 (B)	38,3	20,7		6,4
PG 9161(E)	116,9	23,9	12,1	6,5
PG 9281 (F)	212,2	23,9		6,6

Bil 12.7

Tillverkare	John Brown Power Engineering		Nr 7	
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf. gastryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
PG 3002 J	10,2	14	7,2	7,1
PG 5001 PA	26,3	20	10,2	7,2
PG 6001 B	37,4	20	11,8	7,3
PG 7001 E	79,75	20	12,4	7,4
PG 9001 E	116,4	20	12,1	7,5

Bil 12.8

Tillverkare	Kongsberg Dresser Power		Nr 8	
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gstryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
KG 2-3 C	1,5	6,6	3,9	8,1
KG 2-3 D	1,8	6,6	4,1	8,2
KG 2 -3R	1,3	6,6	3,9	8,3
KG 5	3	9,5	6,5	8,4
DC 990	4,2	15,2	12,6	8,5
GT-60	12,8	29	21,5	8,6
GT-54	15	22,5	8,7	8,7
GT-61	21,3	29	18	8,8
DJ-290R	25	35	20	8,9
DJ-300G	21,4	29	18,8	8,10
DJ-460G	33,2	41	26	8,11

Bil 12.9

Tillverkare	MAN GHH	Nr 9		
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastryck bar övertyck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
THM 1203	5,6	14	7,6	9,1
THM 1304	9,75	19	9,9	9,2

Bil 12.10

Tillverkare	Mitsubishi Heavy Industries Ltd		Nr 10	
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
MF-111 A	12,61	18,66	13	10,1
MF-111 B	14,57	20,63	15	10,2
MW-151	21,14	16,7	11	10,3
MW-701	130,55	20,63	14	10,4
MW-251	36,86	16,7	11	10,5
MF-61	5,81	20,63	15	10,6

Tillverkare Siemens AG, KWU Group

Nr 11

Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4	
V 84.2	105,2	18	10,7	11,1	60 Hz
V94.2	152,7	18	10,6	11,2	
V 64.3	57	22	14	11,3	
V 84.3	137	22	14	11,4	60 Hz
V 94.3	197	22	14	11,5	

Erforderliga gastryck kan variera +/- 10%

Tillverkare	Stewart & Stevenson	Nr 12			
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastryck bar (övertryck)		Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
		Min	Max		
LM 1600	13,43	34,5		20	12,1
LM 2500 PE	21,56	27,6	41,4	19	12,2
LM 2500 PH STIG	26,47	27,6	41,4	19	12,3
LM 5000 PA	32,67	48,3	62,1	30	12,4
LM 5000 PC STIG 120	33,7	48,3	62,1	30	12,5

Bil 12.13

Tillverkare Sulzer-Escher Wyss Ltd

Nr 13

Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gastyck bar övertryck	Tryckförh	Beteckning i bil 3 och 4
3	6,1	15	9,75	13,1
R3	5,86	15	9,95	13,2
7	10,7	12	7,55	13,3
R7	10,3	12	7,7	13,4

Tillverkare	Ruston Gas Turbines Ltd		Nr 14	
Gasturbintyp	Elektrisk effekt MWe	Erf gstryck bar övertryck	Tryckförh	Beteckn i bil 3 och 4
Hurricane	1,28	15,8	9,2	14,1
TB 5000	3,67	13	7	14,2
Nomad 5	3,89	13	7	14,3
Typhon	3,93	19	12,8	14,4
Tomado	5,89	20	12	14,5
Nomad 10	5,9	20	12	14,6
RLM 1600	13,12	31,5	22	14,7
RLM 25000	21,45	26,5	20	14,8
RLM 5000	33,35	41,5	30	14,9