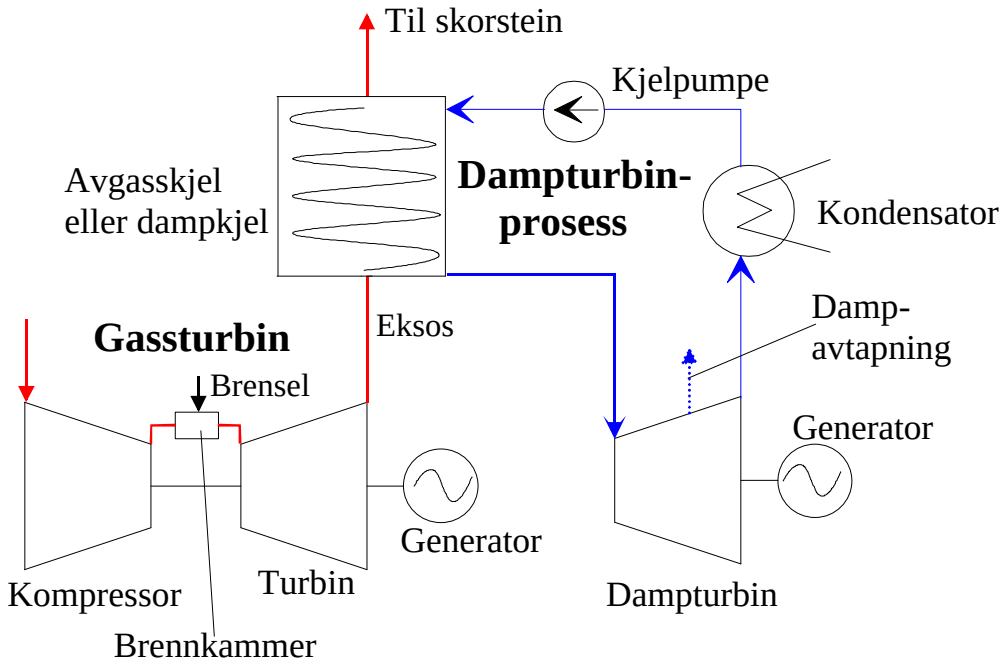
1 GASSKRAFT

Begrepet ”gasskraft” er i utgangspunktet nokså generelt og dekker kraft- (eller elektristets)produksjon basert på naturgass. Det finnes forskjellige teknologier for å gjøre dette (gassturbiner, stempelmotor, dampturbinkraftverk, brenselcelle). I Norge er begrepet gasskraft forbundet med den såkalte kombinerte gassturbin- og dampturbinprosess (se Figur 1).

En gassturbin består av en kompressor, brennkammer og turbin. Kompressoren suger luft fra omgivelsene og komprimerer til et trykk i området 10-30 bar (avhengig av type gassturbin). Deretter benyttes den trykksatte luften som forbrenningsluft i brennkammeret, hvor et brensel tilføres. Dette brenslet er typisk naturgass, men kan også være andre typer brennbare gasser eller lette oljer. Temperaturen ut av brennkammeret kan være opp til ca. 1500 °C. Maksimaltemperaturen etter brennkammeret ønskes så høy som mulig, men begrenses av materialet og kjølesystemet i turbinen. Med bakgrunn i dette vil det tilføres 2.5-3 ganger så mye luft som strengt tatt er nødvendig for å oppnå støkiometrisk forbrenning. De varme trykksatte forbrenningsproduktene (eksos) ekspanderes ned til atmosfæretrykk i en turbin. Gassturbinprosessen er i Figur 2 vist i et temperatur-entropi-diagram. Ved kompresjon må arbeid tilføres, mens ved ekspansjonen i turbinen avgis arbeid. Turbinen avgir mer arbeid enn kompressoren trenger (typisk 2:1), slik at et netto arbeid kan avgis via akslingen til en generator. I stedet for en generator kan det også være en stor pumpe eller en naturgasskompressor som drives. De tre prosesstrinnene kompresjon, forbrenning og ekspansjon finner en også i en stempelmotor i en bil. Forskjellen mellom stempelmotor og gassturbin er at i førstnevnte så skjer alle tre delprosesser i ett og samme rom (sylinder) i rekkefølge tidsmessig, mens i en gassturbin så skjer dette i kontinuerlig prosesser i tre forskjellige komponenter. Konverteringen av brennverdi i brenselet til arbeid, dvs. virkningsgrad, ligger i området 35-40% for store kraftverksturbiner (150-300 MW), 37-42% for gassturbiner basert direkte på flymotorteknologi (10-50 MW), 25-32% for gassturbiner ment hovedsakelig til fremdriftsformål (1-5 MW), og 20-30% for såkalte mikrogassturbiner (50-300 kW).



Figur 1 Kombinert gassturbin- og dampturbinkraftverk – “gasskraftverk”

Eksosen fra gassturbinen har typisk en temperatur i området 450-650 °C (avhengig av type gassturbin). Energien i denne eksosen representerer det som ikke konverteres til arbeid i gassturbinen. I en kombinert prosess utnyttes denne energien til å produsere damp i en dampturbinprosess. Avhengig av konstruksjonsmåte og størrelse på heteflate så reduseres eksostemperaturen til ca. 80-200 °C, hvor den laveste verdien er typisk for store moderne gasskraftverk. Damp produseres med høyt trykk (30-120 bar), og med temperatur i området 450-560 °C. Dampen ekspanderes i en turbin som er basert på de samme

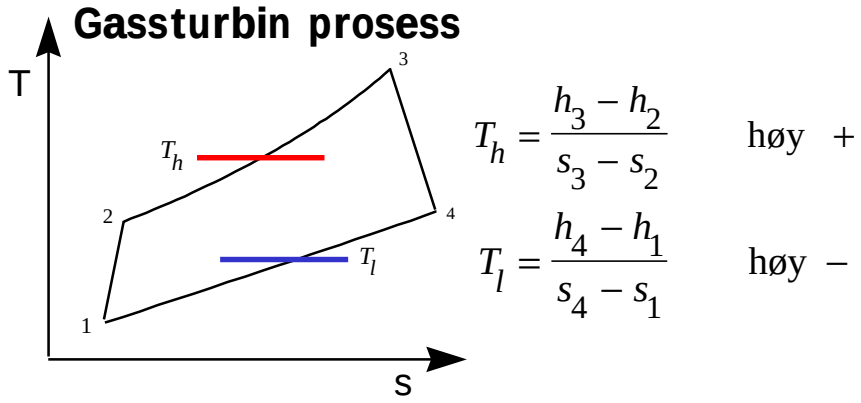
prinsipper som turbinen i en gassturbin. Dampen går i en lukket syklus i dampturbinprosessen, og det er derfor ikke nødvendig å forholde seg til atmosfæretrykket. Derfor kan en utnytte mest mulig entalpifall over dampturbinen ved å la dampen ut av turbinen være på et trykk under atmosfæretrykket (typisk 0.03-0.07 bara). I kondensatoren brukes kjølevann til å kondensere dampen til væskeform. Lavt kondenseringstrykk og dermed lav kondenseringstemperatur tilsier god virkningsgrad i en dampturbinprosess. Kjelpumpen løfter på nytt trykket, slik at når vannet går inn i kjelen så produseres damp på høyt trykk. Dampturbinprosessen er i Figur 3 vist i et temperatur-entropi-diagram.

I dampturbinprosessen så konverteres ca. 30-40% av varmen i eksosen til arbeid. Det betyr at dampturbinprosessen kan bidra med ca. 20%-poengers økning i anleggets totale virkningsgrad. Et kombinert anlegg kan ha en virkningsgrad i området 45-60%, avhengig av anlegges størrelse og hvor mye investeringer som er myntet på å oppnå høy virkningsgrad. En virkningsgrad på nærmere 60% er ca. 10-15%-poenger høyere enn andre kommersielle teknologier for elektrisitetsproduksjon.

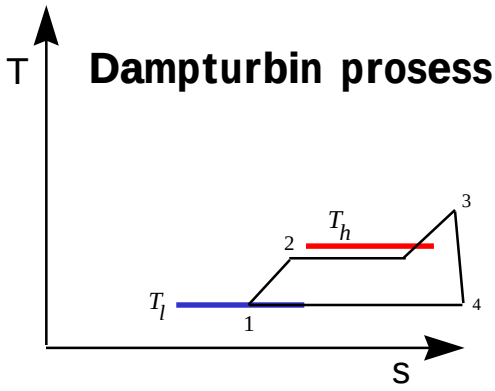
Hvorfor gir så kombinasjonen av en gassturbinprosess og en dampturbinprosess en så høy virkningsgrad. Vi kan benytte en enkel forklaringsmodell ved å se på den såkalte Carnot-virkningsgraden:

$$h_{CARNOT} = 1 - \frac{T_l}{T_h} \qquad (1)$$

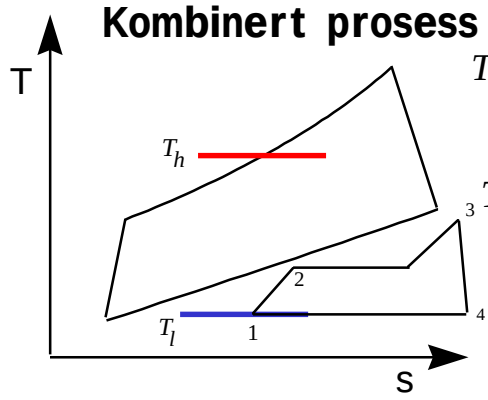
Carnot-virkninggraden er en kvalitativ beskrivelse av virkningsgrad for en kraftprosess. T_l er temperatur for varmeavgivelse fra prosessen, mens T_h er temperatur for varmetilførsel for prosessen. I Figur 2 og Figur 3 er det vist for en gassturbin- og en dampturbinprosess hvor T_l og T_h ligger. Disse reelle prosessene er til forskjell fra Carnot-prosessen slik at varme tilføres og fjernes ved glidende temperatur, og ikke ved konstant temperatur som i Carnot-prosessen. Analogien med Carnot-prosessen kan selvsagt likevel benyttes. En ser at begge prosessene har enten høy temperatur for varmeavgivelse (gassturbin) eller lav temperatur for varmetilførsel (dampturbin); noe som er negativt for virkningsgraden. På en annen side har begge prosessene sitt fortrinn med tanke på virkningsgrad gjennom høy temperatur for varmetilførsel (gassturbin) eller lav temperatur for varmeavgivelse (dampturbin). Når disse prosessene kombineres oppnår en å beholde fordelene mens ulempene i denne sammenheng forsvinner (se Figur 4). En kan legge til at ved kombinasjonen av de to prosessene så innføres en termodynamisk "straff" ved at varme må overføres mellom de to prosessene (i dampkjelen) med en viss temperaturdifferanse.



Figur 2 Temperatur-entropi-diagram for en gassturbinprosess (*h* er entalpi, *s* er entropi).



Figur 3 Temperatur-entropi-diagram for en dampturbinprosess.



Figur 4 Temperatur-entropi-diagram for en kombinert gassturbin og dampturbinprosess.

Varme som produkt kan også leveres fra et gasskraftverk i tillegg til elektrisitet. Dette kalles for samproduksjon av kraft og varme (eller "Combined Heat and Power", CHP, eller "Cogeneration"). Det finnes et stort antall anlegg som er anvender samproduksjon. Det er typisk de små (10-50 MW) og mellomstore (50-150MW) anleggene hvor en finner dette. Anvendelsene for samproduksjon kan være varmelevering til fjernvarmenett eller prosessvarme til ymse produksjonsprosesser i industrien (tørking, oppvarming).

Det er forskjellige måter et gasskraftverk kan produsere samprodusere kraft og varme. En metode er å tappe av damp fra dampturbinen på et egnet trykk/temperaturnivå. En annen metode er å lage anlegget med høyt trykk i kondensatoren (mottrykksanlegg), slik at varmen som avgis fra dampen vil ligge på en anvendelig temperatur (typisk > 100 °C).

Ved levering av varme på denne måten, så vil produksjonen av elektrisitet synke. Forholdet mellom energi som tas ut i form av varme fra kraftverket og tilhørende reduksjon i elektrisitetsproduksjon ligger på ca. 3-5. Grunnen til at dette forholdet er høyere enn 1, er at varme på et gitt temperaturnivå ikke kan konverteres i sin helhet til elektrisitet (termodynamikkens 2. lov).

Ved produksjon av termisk kraft basert på naturgass er det i hovedsak utslipp av CO_2 og NO_X (NO og NO_2) som er av betydning i miljøsammenheng. Utslipp av svoveldioksid SO_2 er minimale på grunn av at naturgass normalt sett inneholder lite svovel, typisk for Nordsjøgass er fra 1 mg svovel per Sm^3. Partikulære utslipp er helt neglisjerbare ved forbrenning av naturgass.

I Tabell 1 er røykgassammensetning fra et gasskraftverk (gassturbin og dampturbin) gitt. Brennkammeret i gassturbinen er et såkalt "tørt lav NO_X" brennkammer, og leverandøren garanterer en NO_X andel i røykgassen på 25 ppmv ved tørr avgass og 15 volum-% oksygen (15 % O_2, tørr)[1]. Ved den aktuelle røykgassammensetningen tilsvarer dette et NO_X innhold på 0.00234 volum-% (23.4 ppmv). De forskjellige komponentene i røykgassen er også angitt i vektenheter i forhold til energiinnhold i brensel ($g/MJ_{brensel}$) og kraftproduksjon (g/MJ_{el}) (kg/kWh_{el}).

Tabell 1 Røykgassammensetning for kombinert gassturbin-/dampturbinprosess.

Komponent	Symbol	Volum fraksjon	Utslipp Virkningsgrad[a] 58%		
		volum-%	$g/MJ_{brensel}$	g/MJ_{el}	kg/kWh_{el}
Nitrogen	N_2	74.94	723.9	1248	4.49
Argon	Ar	0.90	12.4	21.4	0.08
Oksygen	O_2	12.91	142.4	246	0.88
Karbondioksid	CO_2	3.84	58.3	101	0.36
Vann	H_2O	7.40	46.0	79.3	0.29
Nitrogenoksider [b]	NO_X	0.00234	0.0371	0.0640	0.00023
Trykk	1.013 bar				
Temperatur ut av skorstein	90 °C				
Duggpunkt	40 °C				
Molvekt	28.5 kg/kmol				

[a] Virkningsgrad for ren elektrisitetsproduksjon

[b] Utslippet er beregnet for aktuell gassammensetning basert på 25 ppmv ved 15 volum-% O_2 og tørr gass

I en gassturbin vil det foregå en tilnærmet fullstendig forbrenning slik at knapt noe kullos (CO) eller uforbrente hydrokarboner (UHC) vil finnes i avgassen. CO-konsentrasjonen i røykgassen vil typisk ligge under 10 ppmv (15 % O_2, tørr). Ved dellast vil utslippet av CO øke noe.

Når det gjelder utslipp til vann, slippes store mengder kjølevann ut fra kombinerte anlegg. Kjølevannet benyttes til å kondensere damp etter dampturbinen. Ca. 33% av energien i brenslet kommer ut i form av lavtemperatur kjølevann fra et kombinert gassturbin/dampturbin kraftverk (antar 58% virkningsgrad for elektrisitetsproduksjon, ingen utnyttelse av varme fra kraftverket til f.eks. fjernvarme). Hvis en antar at kjølevannet (typisk sjøvann) øker sin temperatur med 10 °C gjennom kraftverket, så betyr dette en mengde på 5-6 m^3/s kjølevann for et gasskraftverk på 400 MW_{el}.

Når det gjelder utslipp av støy er dette ikke ansett som noe problem fra et teknisk synspunkt. Med dagens akustiske isolasjonsteknologi er støydemping et spørsmål om kostnader.

[1] Standard måte for å angi NO_x utslipp fra gassturbiner