

Bestemmelse af optimal kompressorstørrelse til tomsugning af gastankvogn.

Af P. RESEN STEENSTRUP¹⁾

Indledning.

Til tømning af gastankvogne og herunder tomsugning for luftformig gas bruges kompressorer. Ser man på omkostningerne ved en tankvognstømning, er der faste kapacitetsomkostninger til kompressoren, kraft- og olieforbrug samt arbejds løn til maskinpasseren. Desto større kompressor man bruger, desto kortere vil den tid, det tager, og desto mindre bliver arbejds lønnen.

Dette case vil behandle bestemmelsen af optimal kompressorstørrelse til tomsugning af den luftformige gas i tankvogne.

Kompressoren bliver også brugt til andre formål, herunder tømning af tankvognen for den flydende gas, som højst kan foregå med en vis hastighed. Men disse opgaver kræver blot en vis mindstestørrelse, som man så tilsidst må undersøge, om man kommer op på, ligesom man må undersøge, om den valgte kompressor kan udføre arbejdet indenfor den tid, der er til rådighed for tomsugning. Det vil dog i denne praksis ikke udgøre nogen begrænsninger.

Problemstilling.

Problemet bliver derfor at finde den optimale kompressorstørrelse, når man tager i betragtning, at den udsugede luftformige gas har en vis værdi, men at mængden udsuget pr. tidsenhed bliver mindre, efterhånden som trykket falder, samt at der er de ovennævnte omkostninger.

Opstilling af matematisk model.

Ved løsning heraf er følgende bymboler brugt:

$C:$	Fortjeneste ved at tomsuge tankvognen i kr.
$c:$	kr./m ³ /h
$c_0:$	kr.
	} konstanter i udtrykket for de faste årlige kompressoromk.
$G:$	Den udsugede gasmængde i kg.
$l:$	Arbejds løn incl. lønafhængige omkostninger i kr./h.
$n:$	Antal tankvognstømninger pr. år.
$p:$	Gasprisen cif i kr./kg.
$q:$	Kompressorens praktiske slagvolumen i m ³ /h.
$R:$	Gastankvognens rumfang i m ³ .
$s:$	Kompressorens kraft- og olieforbrug i kr. pr. m ³ udsuget gas.
$t:$	Tiden i h for tømning af luftformig gas.
$v:$	Den luftformige gas' specifikke volumen i m ³ /h.
$v_0:$	Den luftformige gas' specifikke volumen i m ³ /h ved tomsugningens begyndelse.

For at kunne opstille en ligning for fortjenesten ved tomsugningen er det nødvendigt at få udtrykt de faste årlige kompressoromkostninger, altså forrentning, afskrivning og vedligeholdelse som en funktion af kompressorstørrelsen q . Det viser sig, at det med meget god tilnærmelse bliver en lineær funktion, altså $c_0 + c \cdot q$. Det vil sige, skal man overhovedet have en kompressor, bliver omkostningerne mindst c_0 , mens c er grænseomkostningerne ved at anskaffe en kompressor med een m³/h større slagvolumen, og de er konstante.

¹⁾ Civilingeniør.

Bestemmelse af optimal kompressorstørrelse til tomsugning af gastankvogn.

Af P. RESEN STEENSTRUP¹⁾

Indledning.

Til tømning af gastankvogne og herunder tomsugning for luftformig gas bruges kompressorer. Ser man på omkostningerne ved en tankvognstømning, er der faste kapacitetsomkostninger til kompressoren, kraft- og olieforbrug samt arbejds løn til maskinpasseren. Desto større kompressor man bruger, desto kortere vil den tid, det tager, og desto mindre bliver arbejds lønnen.

Dette case vil behandle bestemmelsen af optimal kompressorstørrelse til tomsugning af den luftformige gas i tankvogne.

Kompressoren bliver også brugt til andre formål, herunder tømning af tankvognen for den flydende gas, som højst kan foregå med en vis hastighed. Men disse opgaver kræver blot en vis mindstestørrelse, som man så tilsidst må undersøge, om man kommer op på, ligesom man må undersøge, om den valgte kompressor kan udføre arbejdet indenfor den tid, der er til rådighed for tomsugning. Det vil dog i denne praksis ikke udgøre nogen begrænsninger.

Problemstilling.

Problemet bliver derfor at finde den optimale kompressorstørrelse, når man tager i betragtning, at den udsugede luftformige gas har en vis værdi, men at mængden udsuget pr. tidsenhed bliver mindre, efterhånden som trykket falder, samt at der er de ovennævnte omkostninger.

Opstilling af matematisk model.

Ved løsning heraf er følgende bymboler brugt:

$C:$	Fortjeneste ved at tomsuge tankvognen i kr.
$c:$	kr./m ³ /h
$c_0:$	kr.
	} konstanter i udtrykket for de faste årlige kompressoromk.
$G:$	Den udsugede gasmængde i kg.
$l:$	Arbejds løn incl. lønafhængige omkostninger i kr./h.
$n:$	Antal tankvognstømninger pr. år.
$p:$	Gasprisen cif i kr./kg.
$q:$	Kompressorens praktiske slagvolumen i m ³ /h.
$R:$	Gastankvognens rumfang i m ³ .
$s:$	Kompressorens kraft- og olieforbrug i kr. pr. m ³ udsuget gas.
$t:$	Tiden i h for tømning af luftformig gas.
$v:$	Den luftformige gas' specifikke volumen i m ³ /h.
$v_0:$	Den luftformige gas' specifikke volumen i m ³ /h ved tomsugningens begyndelse.

For at kunne opstille en ligning for fortjenesten ved tomsugningen er det nødvendigt at få udtrykt de faste årlige kompressoromkostninger, altså forrentning, afskrivning og vedligeholdelse som en funktion af kompressorstørrelsen q . Det viser sig, at det med meget god tilnærmelse bliver en lineær funktion, altså $c_0 + c \cdot q$. Det vil sige, skal man overhovedet have en kompressor, bliver omkostningerne mindst c_0 , mens c er grænseomkostningerne ved at anskaffe en kompressor med een m³/h større slagvolumen, og de er konstante.

¹⁾ Civilingeniør.

For ikke at få beregningerne unødigt komplicerede er der regnet med en konstant volumetrisk virkningsgrad, uanset kompressorstørrelsen, og uanset at trykforholdet stiger under tomsugning, hvorved den volumetriske virkningsgrad falder; men dette er dog fuldt tilladeligt.

Den samlede fortjeneste ved at suge på en tank bliver da: prisen for den udsugede gas ÷ kraft- og olieforbrug til kompressoren ÷ de faste kompressoromkostninger fordelt pr. tankvogn, eller udtrykt matematisk:

$$C = p \cdot G - l \cdot t - s \cdot q \cdot t - q \cdot \frac{c}{n}$$

Begrænsninger:

$$t \leq t_{max} \quad q \geq q_{min} \quad G < \frac{R}{v_0}$$

Det gælder så om at maximere denne funktion. De uafhængige variable er q og t , og C differentieres derfor partielt med hensyn til disse, og de partielt afledede sættes lig nul.

Altså:

$$\frac{\partial C}{\partial q} = p \cdot \frac{dG}{dq} - s \cdot t - \frac{c}{n} = 0 \quad (I)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = p \cdot \frac{dG}{dt} - l - s \cdot q = 0 \quad (II)$$

Sammenhængen mellem t , q og G fås af, at kompressoren fra tankvognen pr. tidsenhed udsuger:

$$\frac{dG}{dt} = \frac{q}{v} \quad (III)$$

Fra tankvognen er til et vilkårligt tidspunkt udsuget:

$$G = \frac{R}{v_0} - \frac{R}{v}$$

som differentieret med hensyn til v giver:

$$dG = \frac{R}{v^2} dv \quad (IV)$$

(III) og (IV) giver tilsammen:

$$t = \frac{R}{q} \ln \frac{v}{v_0} \quad (V)$$

I (II) indsættes (III):

$$b \cdot \frac{q}{v} - l - s \cdot q = 0$$

eller

$$v = \frac{p \cdot q}{l + s \cdot q}$$

som differentieret giver:

$$\frac{dv}{dq} = \frac{l \cdot p}{(l + s \cdot q)^2}$$

Indsættes (IV) i (I) fås:

$$b \cdot \frac{R}{v^2} \frac{dv}{dq} - s \cdot t - \frac{c}{n} = 0$$

Indsættes heri (V), (VI) og (VII) fås:

$$\frac{R \cdot l}{q^2} - \frac{R \cdot s}{q} \ln \frac{p \cdot q}{v_0 (l + s \cdot q)} - \frac{c}{n} = 0$$

eller:

$$q^2 + q \cdot \frac{R \cdot s \cdot n}{c} \ln \frac{p \cdot q}{v_0 (l + s \cdot q)} - \frac{R \cdot l \cdot n}{c} = 0$$

Praktisk løsning.

Denne ligning lader sig kun løse ved prøve. Ved bestemmelse af c i praksis må man kende priserne for mindst 3-4 forskellige kompressorstørrelser incl. motorer og opstilling. Den procent man må regne med til forrentning, afskrivning og vedligeholdelse tages af disse priser, og de herved fundne omkostninger afsættes i koordinatsystemet som ordinatorer, mens de dertil svarende praktiske slagvolumener i m^3/h afsættes som abscisser. Der vil da kunne indlægges en ret linie imellem de fremkomne punkter, og hældningskoefficienten for denne er c .

Når man skal løse ligningen i praksis, må man regne med en gennemsnitsværdi for arbejdslønnen l , afhængig af i hvor høj grad man skal regne med overarbejde.

Ligeledes for det specifikke volumen v_0 må man regne med en gennemsnitsværdi afhængig af gasarten og dagtemperaturen.

Ved beregning af olie- og kraftforbruget kan man med god tilnærmelse regne med, at det er proportionalt med kompressorstørrelse, og med den tid kompressoren kører. Det er fundet ved at regne med, at kompressorens motor i gennemsnit kører med en vis brøkdel af fuld belastning, og da motor og slagvolumen er nogenlunde proportionale, kan man finde en værdi for kwh/m^3 , som omregnes til $\text{kr.}/\text{m}^3$, og hertil er lagt en skønnet værdi til olie-forbrug og slid.

Det vil imidlertid ved indsættelse af konkrete talværdier vise sig, at det ikke betyder så meget, hvor nøjagtigt man kan beregne v_0 og s , da det midterste led i ligningen bliver meget lille og med mindre tilnærmelse kan droppes.

Man får da:

$$q^2 - \frac{R \cdot l \cdot n}{c} = 0$$

eller

$$q = \sqrt{\frac{R \cdot l \cdot n}{c}}$$

Diskussion af resultatet.

Det samme resultat vil fremkomme, hvis man allerede i ligningen for C havde sat $s = 0$. Ved denne tilnærmelse vil man finde en kompressorstørrelse, der er en smule større, end hvis der var regnet med kraft- og olieforbruget, men man kan i praksis alligevel ikke få en størrelse, der er nøjagtig lig q .

Man vil se, at det ikke betyder noget, om gasprisen er høj eller lav, og hvad gassens specifikke volumen er, men kun hvor meget der skal flyttes, nemlig $R \cdot n$, samt forholdet mellem arbejds løn og de omkostninger, man vil binde sig for ved at købe en kompressor af en vis størrelse.

Når først kompressoren er anskaffet, kan man begynde at se på, hvor meget gas det kan betale sig at suge ud af tanken, men dette problem er behandlet tidligere.

Resultatet kan dog fås ved at løse ligningerne (II), (III) og (IV) med hensyn til l .