

Bestemmelse af den optimale tømningstid for gastankvogn.

Af P. RESEN STEENSTRUP¹⁾

Flaskegas er groft taget en blanding af propan og butan. Det opbevares under tryk, og i denne tilstand er det flydende, idet der er ligevægt mellem en gasfase og en vædskefase.

Når en tankvogn tømmes, sætter man først overtryk på tanken ved at suge med en kompressor fra en anden tank og trykke på den pågældende tank, der ønskes tømt. Når den flydende gas herefter er ude, udligner man overtrykket og har derefter kun luftformig gas i noget nær mætningstilstanden ved den herskende temperatur tilbage i tankvognen.

Da man ikke fra alle raffinaderiers side får godtgjort denne luftformige gas, skal den udsuges. Dette sker med samme kompressor som ovenfor, der nu suger på tankvognen og trykker gas på en anden tank.

Mens der ikke er nogen tvivl om, at al den flydende gas skal tømmes ud, er det et problem, hvorlænge det kan betale sig at suge på en tank med luftformig gas, da vægten af hver m³ gas, man suger ud af tanken, bliver mindre og mindre, efterhånden som trykket falder.

Nedenfor er foretaget en beregning af den optimale tømningstid.

Der er benyttet følgende symboler:

- G*: vægten af den luftformige gas i kg, der er udsuget fra tankvognen.
- l*: arbejds løn incl. lønafhængige omkostninger i kr./h.
- p*: gasprisen cif i kr./kg.
- q*: kompressorens praktiske slagvolumen i m³/h, d. v. s. det antal m³ gas kompressoren kan suge pr. time.
- R*: tankvognens volumen i m³.
- s*: kompressorens kraft- og olieforbrug i kr./h.
- t*: tiden i timer for tømning af luftformig gas.
- v*: den luftformige gas' specifikke volumen i m³/kg, d. v. s. rumfanget af 1 kg gas.

Det gælder altså om at bestemme, hvor længe det kan betale sig at suge. Udfra en grænsebetragtning må det gælde, at det kan betale sig at suge lige så længe, som prisen for den udsugede gas er større end eller lig med omkostningerne ved at suge.

Pr. tidsenhed udsuger kompressoren:

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

Prisen for denne gas er:

$$p \cdot \frac{dG}{dt} = \frac{p \cdot q}{v}$$

¹⁾ Civilingeniør.

Bestemmelse af den optimale tømningstid for gastankvogn.

Af P. RESEN STEENSTRUP¹⁾

Flaskegas er groft taget en blanding af propan og butan. Det opbevares under tryk, og i denne tilstand er det flydende, idet der er ligevægt mellem en gasfase og en vædskefase.

Når en tankvogn tømmes, sætter man først overtryk på tanken ved at suge med en kompressor fra en anden tank og trykke på den pågældende tank, der ønskes tømt. Når den flydende gas herefter er ude, udligner man overtrykket og har derefter kun luftformig gas i noget nær mætningstilstanden ved den herskende temperatur tilbage i tankvognen.

Da man ikke fra alle raffinaderiers side får godtgjort denne luftformige gas, skal den udsuges. Dette sker med samme kompressor som ovenfor, der nu suger på tankvognen og trykker gas på en anden tank.

Mens der ikke er nogen tvivl om, at al den flydende gas skal tømmes ud, er det et problem, hvorlænge det kan betale sig at suge på en tank med luftformig gas, da vægten af hver m³ gas, man suger ud af tanken, bliver mindre og mindre, efterhånden som trykket falder.

Nedenfor er foretaget en beregning af den optimale tømningstid.

Der er benyttet følgende symboler:

- G*: vægten af den luftformige gas i kg, der er udsuget fra tankvognen.
- l*: arbejds løn incl. lønafhængige omkostninger i kr./h.
- p*: gasprisen cif i kr./kg.
- q*: kompressorens praktiske slagvolumen i m³/h, d. v. s. det antal m³ gas kompressoren kan suge pr. time.
- R*: tankvognens volumen i m³.
- s*: kompressorens kraft- og olieforbrug i kr./h.
- t*: tiden i timer for tømning af luftformig gas.
- v*: den luftformige gas' specifikke volumen i m³/kg, d. v. s. rumfanget af 1 kg gas.

Det gælder altså om at bestemme, hvor længe det kan betale sig at suge. Udfra en grænsebetragtning må det gælde, at det kan betale sig at suge lige så længe, som prisen for den udsugede gas er større end eller lig med omkostningerne ved at suge.

Pr. tidsenhed udsuger kompressoren:

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

Prisen for denne gas er:

$$p \cdot \frac{dG}{dt} = \frac{p \cdot q}{v}$$

¹⁾ Civilingeniør.

De variable omkostninger pr. tidsenhed herved er arbejds løn og elektricitet: $l+s$. Ved »break-even«-punktet gælder altså:

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

eller

$$v = \frac{p \cdot q}{l+s} \quad (\text{II})$$

Idet indices 0 betegner begyndelsestilstanden for den luftformige gas, når man begynder at tomsuge, må mængden af gas, der udsuges fra tankvognen til enhver tid være:

$$G = \frac{R}{v_0} - \frac{R}{v} \quad (\text{III})$$

Differentieres (III) med hensyn til v fås:

$$dG = \frac{R}{v^2} dv$$

Af (I) fås:

$$dG = \frac{q}{v} dt$$

hvoraf fås:

$$dt = \frac{R}{q} \frac{dv}{v}$$

Integreres dette sidste udtryk over den periode, der suges i, fås:

$$\int_0^t dt = \int_{v_0}^v \frac{R}{q} \frac{dv}{v}$$

$$t = \frac{R}{q} \ln \frac{v}{v_0}$$

Der er nu fundet et udtryk for, hvorledes det specifikke volumen varierer med tiden. Man kan da let finde det tidspunkt, hvor det ikke længere kan betale sig at suge mere, ved at indsætte udtrykket for v (II).

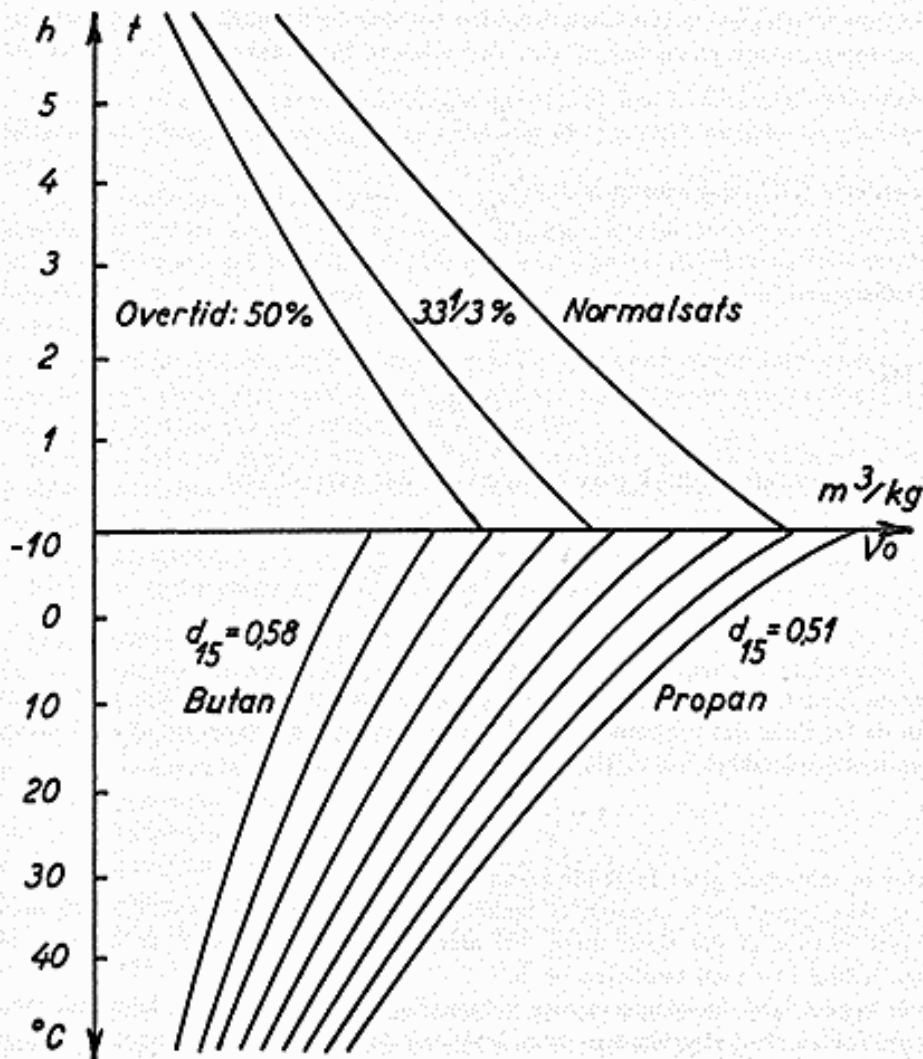
Altså:
$$t = \frac{R}{q} \ln \frac{p \cdot q}{(l+s) v_0}$$

Ovenfor er stiltiende gjort følgende forudsætninger:

1. Der er ikke regnet med, at lejen af tankvognen bliver væsentlig større, fordi man beholder vognen et par timer mere. Vil man indføre denne faktor, er det blot at forøge leddet $l+s$ med tanklejen pr. h.
2. Der er regnet med, at kompressorens volumetriske virkningsgrad er konstant, men faktisk falder den efterhånden, som trykforskellen mellem tankvognen og den tank, der trykkes over i, stiger, hvad der fører til, at kompressorens praktiske slagvolumen, der er proportionalt med den volumetriske virkningsgrad, falder tilsvarende. Men indflydelsen er ikke stor ved de trykforskelle, der arbejdes med, og beregningerne ville blive unødigt komplicerede, hvis der skulle tages hensyn dertil.
3. Der er ikke regnet med, at kraftforbruget stiger, efterhånden som trykforskellen forøges, dels da stigningen er ret lille, og dels da kraftforbruget er ubetydeligt i forhold til arbejds lønnen ($\frac{l}{s} > 10$).

I udtrykket for den optimale tømningstid indgår to størrelser, der varierer fra den ene tankvognstømning til den anden, nemlig arbejdslønnen l og den luftformige gas' specifikke volumen v_0 ved udsugningens begyndelse.

ad l : Denne varierer efter, om man skal have overtid på og i bekræftende fald efter hvilken sats, den skal beregnes.



ad v_0 : Den luftformige gas' specifikke volumen afhænger dels af blandingsforholdet mellem propan og butan karakteriseret ved vægtfylden af den flydende gas ved 15° C (d_{15}) og dels af tankvognens temperatur, når udsugningen starter, som kan regnes lig dagtemperatur.

Praktisk anvendelse.

Problemet er herefter at tillempes ovenstående til praktisk brug. Dette er gjort ved en slags nomogram, hvor man hurtigt ved forskellige temperaturer og timelønsatser samt for forskellige gasblandinger kan udregne tømningstiden.

Følgende størrelser er konstante:

Tankvognsvolumenet R .

Kompressorens slagvolumen q .

Kompressorens kraft- og olieforbrug s .

Faktorer, der varierer:

Arbejdslønnen er beregnet ud fra en timelønsgrundsats. Hertil lægges 20 % til dækning af lønafhængige omkostninger, såsom feriepenge, forsikringer, sociale foranstaltninger m. v.

For første overtime skal betales 33 $\frac{1}{3}$ % ekstra og for hver af de følgende 50 %.

Det specifikke volumen v fås som funktion af temperatur og blandingsforhold fra et kurveblad, som kombineres med tre kurver for den optimale tømningstid, gældende for hver af de tre timelønsatser. Se fig.

Fremgangsmåden ved bestemmelsen af tømningstiden for den luftformige gas bliver da følgende:

I yderste venstre side af nomogrammets nedre halvdel findes den temperatur, man regner med, tankvognen har. Man går derefter vandret til højre, indtil man møder den kurve, hvis vægtfylde svarer til tankvognens gas ved 15° C (d_{15}), og som vil fremgå af forsendelsepapirerne. Herfra går man lodret opad, indtil man træffer den kurve, hvis timesats man skal regne med på pågældende tidspunkt. Fra dette punkt går vandret til venstre, og på den lodrette akse på nomogrammets øverste venstre halvdel findes herefter, hvorlænge det kan betale sig at suge på tankvognen.

Man bemærker da, at det ikke altid kan betale sig at suge på tankvognen, og det kan nogenlunde generelt siges, at det kun kan betale sig, når tømningstiden t er større end 0.1 h.

Det er således lykkedes ved nogle enkelte og fuldt tilladelige tilnærmelser at lave et nomogram, som hurtigt giver svar på, hvorlænge det kan betale sig at suge på en tankvogn.

ERHVERVSØKONOMISK TIDSSKRIFT. Pris pr. hefte kr. 10,00, pr. årgang (4 hefter) kr. 24,00.

HOVEDREDAKTØR: Professor, dr. polit. Bjarke Fog, Handelshøjskolen, København V., telf. (01) 35 13 60, privat Spørg 1440.

AARHUS-REDAKTION: Professor Svend Fredens, Aarhus Universitet, Aarhus, telf. (061) 3 43 11, privat (nr. 3) (061) 7 79 16. Lektor, civiløkonom G. Grønskov, Handelshøjskolen, Aarhus, telf. (061) 2 50 88, privat (061) 3 17 13.

KØBENHAVNS-REDAKTION: Lektor, kontorchef P. P. Sveistrup, Københavns Universitet, København K., telf. privat (nr. 1, 2 og 4) (01) 87 09 14. Direktør, lic. merc. O. Løff, Sønderborg Handelshøjskole, Sønderborg, telf. (044) 2 30 87.

ERHVERVSØKONOMISKE CASES: Civiløkonom Fl. Klöcker-Larsen, telf. (01) 35 14 22 kl. 12-13, privat (01) 70 56 37.

REDAKTIONSSEKRETÆR: Amanuensis, cand. oecon. Erik Johnsen, Handelshøjskolen, København V., telf. (01) 35 13 60, privat (01) 81 21 1.

ANNONCER: Sekretær Otto Danielsen, Falkonerallé 62, København F., telf. Nora 496.

EKSPEDITION OG ADMINISTRATION: Foreningen af Danske Civiløkonomer, kontorchef, civiløkonom Poul Rasmussen, Ved Stranden 14, København K, telefon Minerva 9045.

ØKONOMISK DOKUMENTATION: Overbibliotekar, lektor, cand. polit. Per Boesen, Handelshøjskolens Bibliotek, telf. (01) 35 13 36.

Trykt hos Hansen & Andersen, Godthåbsvej 22, København F., telf. Central 15.296.