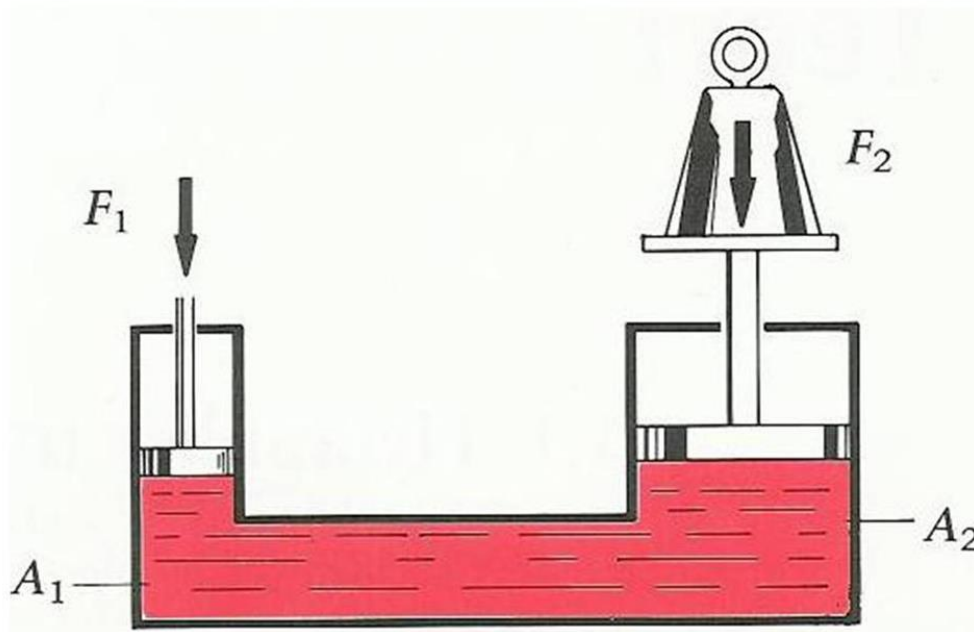


Prosjektoppgave – fagtekniker i hydraulikk

Lars Hodnekvam Thorsen

2015



Innledning:

Oppgaven går ut på analysering og beregning av hydrauliske kretser.

Oppgaven tar for seg to forskjellige kretsløp, et lukket og et åpent, jeg deler inn oppgaven slik:

- Beskriv forskjellen på lukket og åpen krets
- Hydraulisk vinsj, analysering og beregning
- Gaffeltruck, analysering og beregning

Oppgavens navn og oppdragsgiver:

Analysering og beregning av hydrauliske kretser.

Oppdragsgiver er KRM/NKI

Bakgrunn er et ledd i utdanningen til fagtekniker i hydraulikk

Systembeskrivelse:

Hydraulisk vinsj:

Hydraulikkmotoren skal drive en vinsj med følgende data

- Turtall 0 – 1800 r/min
- Dreiemoment 400 Nm
- Hydraulikkmotorens deplasement 80cm³/r
- Totalvirkningsgrad for pumpe og hydraulikkmotor settes til 90 %

Pumpen drives av en elektromotor på 1500 r/min

Avstanden mellom pumpe og hydraulikkmotor er 10 meter

For å få laminær strømming i rørene brukes $Re < 2000$, oljens viskositet settes til 46 cSt

Rør mellom pumpe og hydraulikkmotor skal flushes før oppstart

Gaffeltruck:

Dette systemet er utstyrt med ventiler for lastavkjenning (load sense, LS)

Løftesynderen er en enkeltvirkende sylinder med følgende data:

- Stempeldiameter 50 mm
- Løftekapasitet maks 5000kg (inkludert akselerasjonskraft)
- Slaglengde 1,8 m
- Tid ut 6 sekunder

Virkningsgraden på sylindere settes til 90 %

Akselerasjons og retardasjonstiden ser vi bort fra.

Sylindrene for horisontal bevegelse er dobbeltvirkende sylindere med følgende data:

- Stempeldiameter 40 mm
- Stangdiameter 20 mm
- Last ut 1500 kg/sylinder (inkludert akselerasjonskraft)
- Last inn 500 kg/sylinder (inkludert akselerasjonskraft)
- Slaglengde 1,5 m
- Tid ut 5 sekunder
- Tid inn 4 sekunder

Virkningsgraden på sylindere settes til 90 %

Akselerasjons og retardasjonstiden ser vi bort fra

Pumpen skal ha kapasitet for å kjøre horisontalbevegelsen ut samtidig som løftesynderen kjøres opp.

Trykkfallet fra pumpe til sylindere settes til 10 bar

Volumetrisk virkningsgrad på pumpen settes til 95 %

Totalvirkningsgrad på pumpen settes til 90 %

Problembeskrivelse:

Hydrauliske kretser:

- Beskriv forskjellen på lukket og åpen krets.

Hydraulisk vinsj:

- Beskriv funksjonen på komponentene i kretsen
- Beregn nødvendig arbeidstrykk på motoren
- Hvor stor oljemengde i l/min behøves for å oppnå maks turtall
- Foreslå måte for å regulere turtallet på hydraulikkmotoren
- Beskriv hvordan dreieretningen på hydraulikkmotoren kan endres
- Finn riktig pumpestørrelse for å oppnå ønsket turtall på hydraulikkmotoren
- Dimensjoner matepumpe med hensyn til trykk og mengde, begrunn hvorfor denne er valgt
- Finn minimum innvendig rørdiameter og oppgi strømningshastigheten i rørene
- Beregn trykktapet i rørene
- Beregn nødvendig effekt på elektromotoren
- Finn riktig størrelse på oljetanken og begrunn hvorfor denne størrelsen er valgt
- Beregn nødvendig oljemengde for å oppnå tilstrekkelig strømningshastighet ved flushing av rørene. ($Re > 4000$)

Gaffeltruck:

- Beskriv funksjonen på hydraulikksystemet
- Hvordan virker lastavkjenningssystemet
- Hva er fordelene med lastavkjenning
- Beregn nødvendig oljemengde og trykk på løftesyliner
- Beregn nødvendig oljemengde og trykk for ut og inn bevegelse på begge horisontale sylindrene samtidig
- Beregn nødvendig effekt for drift av pumpen
- Velg størrelse på oljetanken og begrunn hvorfor denne størrelsen er valgt

Mål:

Prosessmål:

- Bedre forståelse for skjemalesing og hydraulikk analysering
- Kunnskap om beregninger og bruk av formler

Produktmål:

Beregne et fullstendig funksjonelt lukket hydraulisk system og beregne et fullstendig funksjonelt åpent LS system.

Besvarelse:

Lukket krets – Pumpen er direkte tilknyttet aktuatoren (utførende innretning) i systemet, regulering av effekt og retning skjer med pumpen og/eller aktuatoren alene. Regenerering av oljen skjer i det lukkede systemet med et separat pumpekretsløp, en matepumpe som forsyner den lukkede kretsen med olje.

Åpen krets – Pumpeeffekten overføres til aktuatoren via trykk, mengde og retningsventiler, regenerering av oljen skjer i oljetanken.

Hydraulisk vinsj, analysering:

1. Matepumpe, konstant kapasitet, flyt i en retning. Suger olje fra tanken, styrer oljen gjennom et filter som ligger på utsiden av kretsen. Oljen pumpes gjennom tilbakeslagsventiler og inn i hovedledningen.
2. Tilbakeslagsventiler, frie, åpner når innløpstrykket fra matepumpen er større enn trykket i hovedledningen. Oljen i hovedledningen strømmer ikke tilbake til matepumpeledningen fordi tilbakeslagsventilene stenger når de får trykk på utløps siden.
3. Trykkbegrensningsventil. Denne ventilen stiller trykket på matepumpen (34 bar), når hovedpumpen står i nullposisjon og hydraulikkmotoren ikke roterer vil begge tilbakeslagsventilene være åpne og det vil da være 34 bar i hele kretsen. Når trykket i hovedledningen er så høyt at tilbakeslagsventilene ikke åpner av trykket fra matepumpen, vil sikkerhetsventilen åpne og oljen strømmer til tank. Dette for å unngå varmgang og slitasje som kan føre til effekttap og økonomisk tap.
4. 3/3 retningsventil, pilotstyrt med retur fjærer i begge retninger. Tre stengte porter i midtstilling, ett løp og en stengt port i hver av sidestillingene/styrestillingene. Betegnes som en spyleventil, og sørger for og bytte ut olje fra den lukkede kretsen med frisk olje fra tanken. Retningsventilen styres av et pilottrykk fra hovedledningen. Ved et gitt trykk fra en av sidene i hovedledningen vil pilottrykket sammen med fjæra overvinne fjærtrykket på motsatt side av ventilen, den aktiveres og flyttes til en av styrestillingene. Oljen fra lavtrykksiden på motoren vil strømme gjennom retningsventilen og ned til trykkbegrensningsventilen(5) og ut til tanken. Oljen fra høytrykksiden blir blokkert i retningsventilen og vil strømme til motoren og drive den, ved motsatt stilling vil motoren kjøres i motsatt retning.
5. Trykkbegrensningsventil, for å holde et visst trykk på lavtrykksiden på motoren, fordi sugesiden på hovedpumpen klarer ikke å suge tilstrekkelig med olje for å drive pumpen, så må oljen trykkes inn i sugesiden. Når hydraulikkmotoren roterer, er det en definert trykkside i systemet. Spyleventilen sørger da for at olje fra lavtrykksiden blir byttet ut. Utskifting av oljen skjer ved at ventil(5) åpner og slipper olje til tank. For at dette skal kunne skje, må ventil(5) være stilt lavere enn ventil(3). I dette tilfelle kan den stilles på 25 bar. Det vil si at når hydraulikkmotoren er i drift, vil returtrykket være 25 bar.
6. Trykkbegrensningsventiler, brukt her som overlastventiler, ved for høy last på vinsjen vil trykket i hovedledningen bygge seg opp og overlastventilen aktiveres, den er som regel stilt på et litt høyere trykk enn maks systemtrykk. Oljen strømmer da over på lavtrykksiden og sirkulerer videre i systemet, trykket synker på høytrykksiden og ventilen(6) deaktiveres.

Måte for å regulere turtallet på hydraulikkmotoren – Hovedpumpen er variabel, vi justerer pumpens deplasement så volumstrømmen ut fra pumpen reguleres, da vil også turtallet på motoren reguleres.

Hvordan dreierretningen på hydraulikkmotoren kan endres – Hovedpumpen har flyt i begge retninger og er variabel, så vi velger høytrykkside og sugeside ved og justere pumpen.

Beregn nødvendig arbeidstrykk på motoren: $\Delta p = \frac{M \cdot 20 \cdot \pi}{D \cdot \eta_{hm}}$

Δp = Trykktap over motor

M = Dreiemoment (Nm) = 400

20 = Omregningsfaktor

D = Hydraulikkmotorens deplasement (cm³/r) = 80

η_{hm} = Hydromekanisk virkningsgrad = $\eta_{tot}/\eta_{vol} \rightarrow 0,9/0,97 = 0,93$

$\Delta p = 400 \cdot 20 \cdot 3,1416 / 80 \cdot 0,93 = 25132,8 / 74,4 = 337,8 \sim 338 \text{ bar}$

Hvor stor oljemengde i l/min behøves for å oppnå maks turtall: $Q = \frac{D \cdot n}{1000 \cdot \eta_v}$

Q = Volumstrøm (l/min)

n = Turtall (r/min) = 1800

1000 = Omregningsfaktor

$Q = 80 \cdot 1800 / 1000 \cdot 0,97 = 144000 / 970 = 148,45 \sim 148,5 \text{ l/min}$

Finn riktig pumpestørrelse for å oppnå det ønskede turtallet på hydraulikkmotoren:

$D = Q / \eta_{vol} \cdot n$

D = Hovedpumpens deplasement (cm³/r)

n = Drivmotorens turtall (r/min) = 1500

$D = 148,5 / 0,97 \cdot 1500 = 148,5 / 1455 = 0,102 \text{ l/r} \cdot 1000 = 102 \text{ cm}^3/\text{r}$

Dimensjoner matepumpe mht. trykk og mengde og begrunn hvorfor denne er valgt:

Matepumpen skal erstatte intern lekkasje i pumpe og motor samt etterfylle olje i den lukkede kretsen.

Volumetrisk virkningsgrad på pumpe og motor er 97 %, da skal det erstattes 3 % for pumpe og 3 % for motor.

Den øvrige mengden går med til å etterfylle olje i kretsen. Det finnes ingen formel for å beregne kapasiteten på matepumpen, men erfaring tilsier at 20 – 25 % er tilstrekkelig i de fleste tilfeller.

$D_m = D \cdot 0,225$

D_m = Matepumpens deplasement (cm³/r)

D = Hovedpumpens deplasement (cm³/r)

0,225 = 22,5 %

$$D_m = 102 \cdot 0,225 = 22,95 \sim \underline{23 \text{ cm}^3/\text{r}}$$

$$Q = \text{Matepumpens avgitte volumstrøm (l/min)} \rightarrow Q = \frac{D \cdot n}{1000} \cdot \eta_v$$

$$23 \cdot 1500 / 1000 \cdot 0,97 = 34500 / 1000 = 34,5 \cdot 0,97 = 33,465 \sim \underline{33,5 \text{ l/min}}$$

$$\text{Trykket på matepumpen settes til 10 \% av systemtrykket. } 338 \cdot 0,1 = 33,8 \sim \underline{34 \text{ bar}}$$

Finn minimum innvendig rørdiameter og oppgi strømningshastighet i rørene:

$$d = 21200 \cdot Q / \nu \cdot \text{Re}$$

d = Innvendig rørdiameter (mm)

21200 = Omregningsfaktor

Q = Volumstrøm (l/min) = 148,5

ν = Viskositet (mm²/s – cSt) = 46

Re = Reynolds tall = <2000

$$d = 21200 \cdot 148,5 / 46 \cdot 2000 = 3148200 / 92000 = 34,219 \sim \underline{35 \text{ mm}}$$

I praksis ville jeg rundet rørdiameteren opp til 35 mm for å oppnå riktig Re, for og få laminær strømning i rørene. Hvis jeg hadde rundet ned til 34 mm, ville Re vært 2012. Men i teori vil jeg bruke 34,219 for å få teoretisk korrekte svar.

$$v = Q / A$$

v = Strømningshastighet (m/s)

$$Q = \text{Volumstrøm (m}^3/\text{s)} = 148,5 / 1000 = \underline{0,1485 \text{ m}^3/\text{min}} / 60 = \underline{0,0024 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$A = \text{Areal (m}^2) = \pi \cdot d^2 / 4 \rightarrow 3,1416 \cdot (0,034219 \cdot 0,034219) / 4 = \underline{0,0009197 \text{ m}^2}$$

$$v = 0,0024 / 0,0009197 = 2,609 \sim \underline{2,61 \text{ m/s}}$$

$$\text{Beregn trykktapet i rørene: } \Delta p = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot d}$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = 64 / 2000 = 0,032$$

ρ = Densitet (kg/m³) = 870

L = Rørlengde (m) = 10

v = Strømningshastighet (m/s) = 2,61

2 = Omregningsfaktor

d = Innvendig rørdiameter (m) = 0,034219

$$\Delta p = 0,032 \cdot 870 \cdot 10 \cdot (2,61 \cdot 2,61) / 2 \cdot 0,034219 = 0,032 \cdot 59265,27 / 0,068438 = \underline{27711 \text{ Pa}}$$

$$27711 \text{ Pa} / 100000 = 0,277 \sim \underline{0,3 \text{ bar}}$$

Beregn nødvendig effekt på elektromotoren: $P = \frac{Q \cdot \Delta p}{600 \cdot \eta_t}$

For og drive hovedpumpen og matepumpen regner vi ut nødvendig effekt for og drive hver av dem også legger vi sammen effekten og for nødvendig drivmotoreffekt. Trykkdifferansen på hydraulikkmotoren er 338 bar + 25 bar baktrykk = Hovedpumpen leverer 363 bar. Når hydraulikkmotoren roterer, går matepumpen med 25 bar (justert i ventil pos 5 på skjema).

P = Drivmotoreffekt (kW)

Q = Volumstrøm (l/min) = Hovedpumpe 148,5, matepumpe 33,5

Δp = Trykkdifferanse (bar) = Hovedpumpe 363, matepumpe 25

600 = Omregningsfaktor

$$P \text{ hovedpumpe} = 148,5 \cdot 363 / 600 \cdot 0,9 = 99,825 \text{ kW}$$

$$P \text{ matepumpe} = 33,5 \cdot 25 / 600 \cdot 0,9 = 1,55 \text{ kW}$$

$$P = 99,825 + 1,55 = 101,37 \sim \underline{101,5 \text{ kW}}$$

Finn riktig størrelse på oljetanken og begrunn hvorfor denne størrelsen er valgt:

I lukket kretsløp er det matepumpens volumstrøm som avgjør tankens dimensjon.

Det skal være plass i tanken til å tømme aktuatorer og akkumulatorer, og det skal være et luftrom over oljenivået på 10 – 15 %.

Man skal også ta hensyn til oljens utvidelse ved oppvarming. Mineralolje utvider seg 0,07 % per grad Kelvin temperaturen stiger.

Stasjonære anlegg -> minst 3 – 5 ganger matepumpens volumstrøm i l/min.

$$33,5 \text{ l/min} \cdot 5 = \underline{167,5 \text{ l}}$$

Beregn nødvendig oljemengde for å oppnå tilstrekkelig strømningshastighet ved flushing av rør før oppstart:

Re = >4000

$$Q = Re \cdot v \cdot d / 21200 = 4000 \cdot 46 \cdot 34,219 / 21200 = 6296296 / 21200 = 296,99 \sim \underline{297 \text{ l/min}}$$

$$297 \text{ l/min} / 1000 = 0,297 \text{ m}^3/\text{min} / 60 = 0,00495 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = Q / A \rightarrow 0,00495 / 0,0009197 = \underline{5,38 \text{ m/s}}$$

Gaffeltruck, analysering:

1. Pumpe med konstant kapasitet, flyt i en retning. Suger olje fra tanken og pumper ut i systemet, til alle retningsventilene.
2. Variabel trykkbegrensningsventil, lasttrykket styrer ventilen. Ventilen er justert litt over det høyeste nødvendige trykket i systemet, som er til løftesynderen. Blir trykket i systemet høyere vil ventilen åpne og oljen strømmer til tank.

3. 2/2 retningsventil, proporsjonal LS ventil, pilotstyrt i begge retninger med retur fjær i stengeretningen, retur fjæra holder ventilen normalt stengt. Regulerer oljemengde og trykk ut i systemet. Lasttrykket avhenger av hvor tung lasten på sylindren er, pilottrykket fra LS ledningen regulerer ventilen og sender kun det nødvendige trykket og den nødvendige volumstrømmen ut i systemet, og resterende volumstrøm går til tank, med det samme trykket.
4. 5/3 retningsventil, manuelt styrt med retur fjærer i begge retninger. I midtstilling har ventilen tre blokkerte porter og et åpent løp mellom LS ledningen og tank. I styrestilling 1 har ventilen trykkløp til sylindren, lasttrykk fra trykkløpet og et returløp som er plagget på sylindren siden. I styrestilling 2 er trykkløpet plagget på sylindren siden av ventilen, lasttrykket er koblet til trykkløpet inni ventilen, og det er et returløp fra sylindren til tank. Ventilen styrer en enkeltvirkende sylindren for løft.
5. Samme funksjon som retningsventil(4), men ingen porter er plagget i styrestillingene. Ventilen styrer en dobbeltvirkende sylindren for tilting av gaflene på trucken. Det er montert tilbakeslagsventiler på A og B løpet mellom ventilen og sylindren, tilbakeslagsventilene blir styrt av pilottrykk fra motsatt trykklinje. Er det trykk i A løpet vil pilottrykket åpne tilbakeslagsventilen på B løpet, så oljen kan gå i retur. Og motsatt.
6. Samme funksjon som retningsventil(5), men den styrer to samkjørte dobbeltvirkende sylindre for skyv og trekk.
7. Samme funksjon som retningsventilene(5,6), men den er ikke koblet til noe i dette systemet.
8. Variable trykkbegrensningsventiler, fungerer her som overlastventiler. Ved for høyt trykk i A eller B løpet vil ventilen åpne og oljen strømmer til tank.
9. Samme funksjon som trykkbegrensningsventilene(8), men ikke i bruk i dette systemet.

Hvordan virker lastavkjenningsystemet:

Pumpens kapasitet er konstant og leverer maks volumstrøm hele tiden. Lasttrykket fra hovedledningen er tilsvarende det lasten på sylindrene trykker i mot med. Dette trykket pluss fjærkraften brukes til pilotstyring av LS ventilen(3) i stengeretningen. På motsatt side er pilottrykket tilsvarende det trykket pumpen gir, så LS ventilen vil åpnes helt til trykket og fjærkraften i stengeretningen klarer og holde i mot pilottrykket på motsatt side. Da vil pumpa gi nødvendig trykk og volumstrøm for og løfte eller skyve sylindrene, og den overflødig volumstrømmen vil gå til tank.

Hvis sylindrene trenger maks trykk, vil lasttrykket være maks og LS ventilen vil ha maks trykk på begge sider fra pilottrykket, men med fjærkraften i stengeretningen vil LS ventilen holdes stengt og systemet vil motta maks trykk og volumstrøm.

Overskrider lasten maks trykk sylindrene kan yte, vil overlastventil (2, 6 eller 8) åpnes og sende til tank. Hvilken ventil som åpner er avhengig av hvilken funksjon som blir brukt, løft, skyv eller trekk.

Hva er fordelene med lastavkjenning:

Fordelen er at du slipper å ha maks trykk hele tiden, uavhengig av last. Det sparer systemet for varmgang og trykktap, samt det sparer komponenter for slitasje. Får også et mye mer kontrollert trykk og volumstrøm i systemet.

Beregn nødvendig oljemengde og trykk på løftesylder:

Sylindren skal løfte maks 5000 kg, stempeldiameter er 50 mm, den skal kjøres 1,8 m på 6 sekunder, virkningsgraden på sylinder er 90 %

$$v = \text{Stempelhastighet} = 1,8 \text{ m} / 6 \text{ sekunder} = 0,3 \text{ m/s}$$

$$A = \text{Stempelareal} = 3,1416 * (0,05 * 0,05) / 4 = 0,0019635 \text{ m}^2 \rightarrow 19,635 \text{ cm}^2$$

$$Q = \text{Volumstrøm} = A * v * 6 / \eta_s = 19,635 * 0,3 * 6 / 0,9 = 39,27 \sim 40 \text{ l/min}$$

$$F = \text{Kraft} = 5000 \text{ kg} * 9,81 = 49050 \text{ N}$$

$$p = \text{Trykk} = F / A * \eta_s * 10 = 49050 / 19,635 * 0,9 * 10 = 277,56 \text{ bar}$$

6 = Omregningsfaktor

10 = Omregningsfaktor

Beregn nødvendig oljemengde og trykk for ut og inn bevegelse på begge sylindrene samtidig:

Stempeldiameter er 40 mm, stangdiameter er 20 mm, last ut 1500 kg, last inn 500 kg, slaglengde er 1,5 m, skal kjøres ut på 5 sekunder, skal kjøres inn på 4 sekunder, virkningsgraden er 90 %.

$$A_+ = \text{Areal stempelsiden} = 3,1416 * (0,04 * 0,04) / 4 = 0,00125664 \text{ m}^2 \rightarrow 12,5664 \sim 12,5 \text{ cm}^2$$

$$A_- = \text{Areal stangensiden} = 3,1416 * (0,02 * 0,02) / 4 = 0,00031416 \text{ m}^2 \rightarrow 3,1416 \text{ cm}^2$$

$$12,5 - 3,1416 = 9,3584 \sim 9,5 \text{ cm}^2$$

$$F_+ = \text{Skyvekraft} = 1500 * 9,81 = 14715 \text{ N}$$

$$F_- = \text{Trekraft} = 500 * 9,81 = 4905 \text{ N}$$

$$v_+ = \text{Hastighet ut} = 1,5 / 5 = 0,3 \text{ m/s}$$

$$v_- = \text{Hastighet inn} = 1,5 / 4 = 0,375 \text{ m/s}$$

$$p_+ = \text{Skyvetrykk} = (14715 * 2) / (12,5 * 2) * 0,9 * 10 = 130,8 \sim 131 \text{ bar}$$

$$p_- = \text{Trektrykk} = (4905 * 2) / (9,5 * 2) * 0,9 * 10 = 57,36 \sim 57,5 \text{ bar}$$

$$Q_+ = \text{Volumstrøm ut} = (12,5 * 2) * 0,3 * 6 / 0,9 = 50 \text{ l/min}$$

$$Q_- = \text{Volumstrøm inn} = (9,5 * 2) * 0,375 * 6 / 0,9 = 47,5 \text{ l/min}$$

Beregn nødvendig effekt for drift av pumpen:

Skal kunne kjøre horisontalsylindrene ut samtidig som løftesynderen kjøres opp, trykkfallet fra pumpe til sylindre sette til 10 bar, volumetrisk virkningsgrad på pumpe er 95 %, total virkningsgrad på pumpen er 90 %

$$P = \text{Drivmotoreffekt} = Q * \Delta p / 600 * \eta_{\text{tot}}$$

$$\Delta p = \text{Trykkdifferansen} = 277,5 \text{ bar} + 10 \text{ bar} = 287,5 \text{ bar}$$

$$P = (50 \text{ l/min} + 40 \text{ l/min}) * 287,5 / 600 * 0,9 = 47,91 \sim 48 \text{ kW}$$

Velg størrelse på oljetank og begrunn hvorfor denne er valgt:

På mobile anlegg er tankens volum i liter, 0,5 – 1,5 ganger pumpens volumstrøm i l/min.

$$90 \text{ l/min} * 1,5 = \underline{135 \text{ l}}$$

Milepælplan:

Skal jobbe minst 40-60 timer med prosjektoppgaven, uavhengig av sideantall eller antall ord.
Skal leveres og fremføres innen 1. desember 2015.

Rapport:

Milepælplanen er oppnådd, jeg har ikke helt timeantallet, men har jobbet minst 50 timer med prosjektoppgaven, tidsfristen jeg satt har jeg også holdt meg innenfor.

Jeg har vært veldig fokusert og nøyaktig med arbeidet på oppgaven, er fornøyd med egeninnsatsen og er veldig fornøyd med resultatet. Syns det var en interessant oppgave.

Fig.1 Prinsippskjema for lukket krets, styring av vinsj:

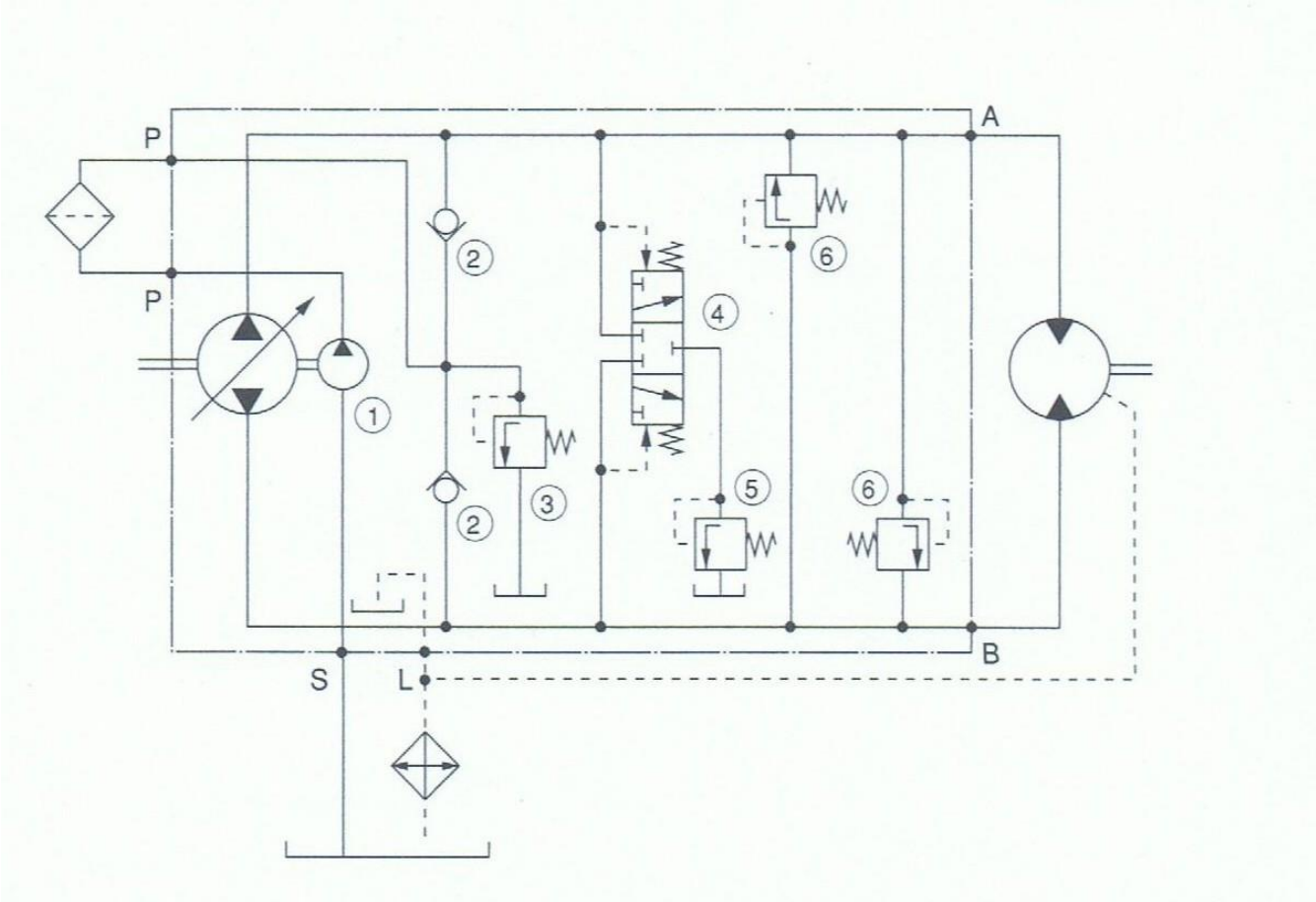


Fig.2 Prinsippskjema for åpen krets, gaffeltruck:

