



Emne: IELET2106 Industriell instrumentering

Øving: 2, Løsningsforslag

Leveringsfrist:
Se Blackboard

Oppgave 1

a) Aktiv og passiv måleomformer: Aktive omformere omformer energi fra en type til en annen. Ingen eksterne energikilder, f. eks. spenningstilførsel er nødvendig. Måleprinsipper basert på termoelektrisitet, piezoelektrisitet, fotoelektrisitet, elektromagnetisme osv. er eksempler på aktive omformere. Passive omformere kan ikke produsere energi selv, de må f. eks. spenningssettes vha. en spenningstilførsel. Måleprinsipper basert på resistans-, kapasitans-, induktansendringer er eksempler på passive omformere der man må f. eks. bruke en spenningsatt målebro for å gjøre om den karakteristiske endringen i sensoren om til et elektrisk signal.

Analog og digital måleomformer: Analoge omformere gir ut et målesignal som varierer mellom en nedre og øvre målegrense, f. eks. 0-5 V, 4-20 mA. Signalverdien kan være hva som helst mellom grensene. Digitale omformere gir ut et signal som varierer mellom to diskrete verdier, vha. pulser. Eksempler: enkodere, vorteksmålere.

Primær og sekundær måleomformer: Primære omformere måler målevariabelen direkte uten noen form for ekstra komponenter eller mellomledd. Sekundære omformere måler målevariabelen i flere ledd (måleprinsipper). Det vil si at en mekanisk del måler målevariabelen, og i neste trinn blir den mekaniske bevegelsen gjort om til et elektrisk signal vha. en innebygd omformer.

Direkte og inverse måleomformer: Direkte omformere omformer energien fra målevariabelen til et elektrisk signal. Inverse omformere omformer et elektrisk signal til et ikke-elektrisk kvantitet, f. eks. et voltmeter.

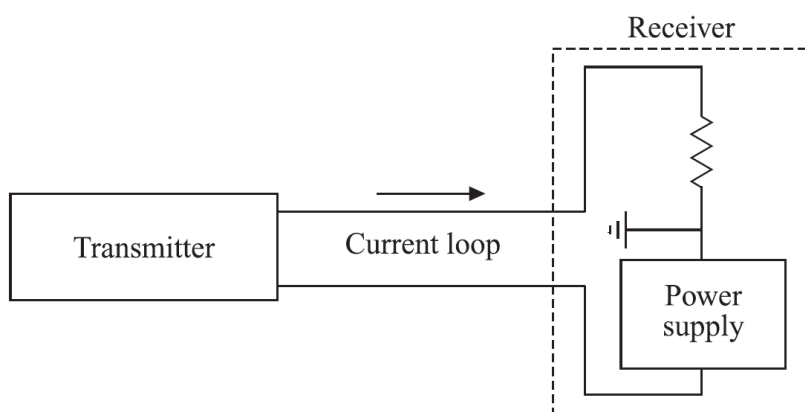
b) Når man skal velge en måleomformer for en gitt applikasjon, må man ta hensyn til følgende kriterier:

- Grunnleggende kriterier: type målevariabel (hva som skal måles?), måleområde, nøyaktighet (tillatt ulinearitet, tillatt hysteres/dødgang, frekvensrespons, oppløsning, toleranse foroverlast, pris, tilgjengelighet etc.
- Omgivelser/miljø: omgivelsestemperatur, korrosiv/ikke-korrosiv miljø, fuktig/ikke-fuktig miljø, sjokk- og vibrasjoner, tilgjengelig plass for montasje etc.

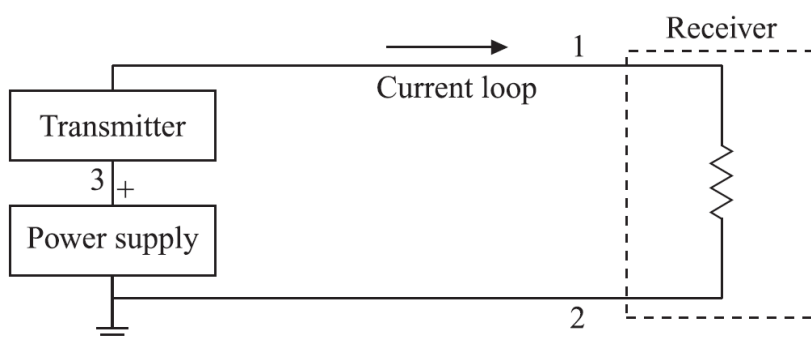
c) En instrumenteringsforsterker er en type differensialforsterker som er utstyrt med inngangsbuffere (spenningsfølgere), som eliminerer behovet for inngangsimpedans- matching og dermed gjør forsterkeren spesielt egnet for bruk i måle- og testutstyr. Den etterfølgende differensialforsterkeren brukes til å forsterke målesignalet til ønsket signalnivå. Instrumentasjonsforsterkere brukes der det kreves stor nøyaktighet og stabilitet i kretsen både på kort og lang sikt. Fordelene kan oppsummeres slik: høy inngangsimpedans, høy CMRR (demping av liketaktkoblet støy), lav offset-spenning, lav temperaturkoeffisient for offset-spenning.

d) «The instrumentation systems og automation society (ISA)» har definert følgende instrumentklasser:

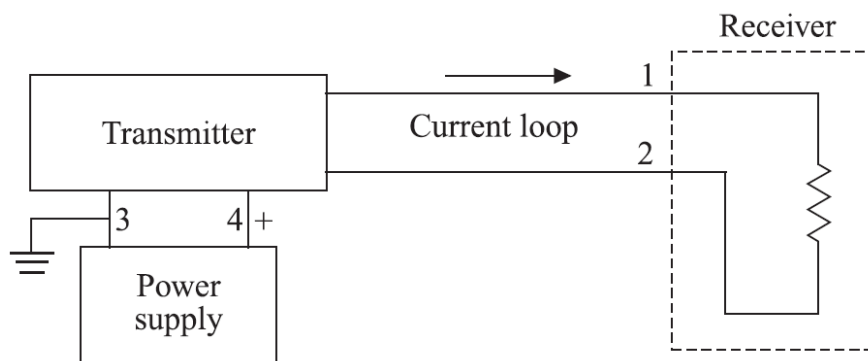
ISA Type 2 eller 2-leder instrument: I denne konfigurasjonen forsynes instrumentet fra målesløyfen, dvs. at målesløyfen og spenningsforsyning til instrumentet har felles ledere. Forsyningsspenningen er som regel likespenning og er plassert hos mottakeren (f. eks. i kontrollrommet).



ISA Type 3 eller 3-leder instrument: Denne konfigurasjonen er en mellomløsning mellom 2- og 4-leder og tar de beste egenskapene fra begge. Instrumentet forsynes med en egen spenningskilde. Målesløyfen og spenningsforsyningen har felles jord. Den løsningen brukes i hovedsak når instrumentets måleprinsipp krever høye spenninger og strømmer (høyt energibehov) for å virke. Forsyningsspenningen er som regel likespenning.



ISA Type 4 eller 4-leder instrument: Instrumentet forsynes med en egen spenningskilde. Målesløyfen og spenningsforsyningen har 2-ledere hver, dvs. at det er ingen felles jord. Den løsningen brukes i hovedsak når instrumentets måleprinsipp krever høye spenninger og strømmer (høyt energibehov) for å virke. Forsyningsspenningen kan være likespenning eller vekselspenning.



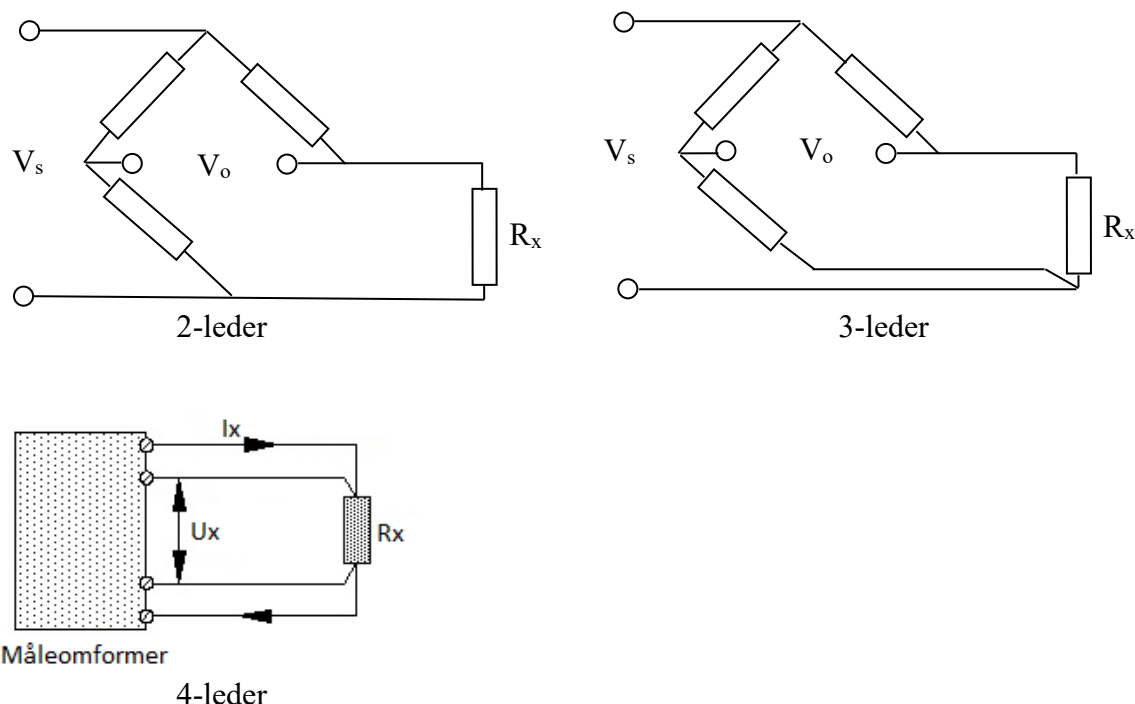
e) Beskrivelsen «smarte instrumenter» brukes for å fortelle at instrumentet inneholder en databehandlingsenhet, slik at instrumentet kan konfigureres etter behov og ønske. Det at instrumentet kan konfigureres, gjør at instrumentet brukes til mer enn bare å måle. Historiske data om vedlikehold og reparasjoner, statusinformasjon osv. kan lagres i instrumentets dataenhet.

I dagligtale har smarte instrumenter fått navnet HART-instrumenter. Navnet HART («Highway addressable remote transducer protocol») stammer fra dataprotokollen som instrumentene bruker. HART-protokollen ble utviklet av selskapet Rosemount på 80-tallet som en proprietær protokoll for deres egne instrumenter. Etter hvert utviklet protokollen seg og har vært en åpen protokoll side 1986. HART-protokoll har blitt en internasjonal standard og dagens instrumenter bruker HART-protokoll innebygd som standard.

HART-instrumenter bruker standard 4-20 mA målesignaler. Dette er samme 2-lederkobling som i eldre analoge måleomformere. I tillegg til at måleverdien 4-20 mA overføres på ledere, overføres samtidig datasignaler gjennom de samme ledere. Dataoverføringen utføres vha. frekvensskifting. Det brukes to frekvenser: 2200 Hz og 1200 Hz. De to frekvensen legges på 4-20 mA målesignalet. Frekvensen 1200 Hz tilsvarer databit «1» og frekvensen 2200 Hz tilsvarer databit «0». Fordelen med frekvensskifting, overlappet 4-20 mA, er at dataoverføringen kan utføres uten at målesignalet forstyrres. De to ulike frekvensene inneholder altså digital informasjon som f. eks. feil i målesystemet, statusinformasjon, andre måleverdier osv.

Oppgave 2

a) Skisser av målebrooppkobling med 2-, 3- og 4-lederkobling:



Ved 2-lederkoblinger vil store avstander mellom målebroen og sensoren introdusere målefeil (i tillegg eventuell støy). Lange avstander fører til lange kabler og kabelresistansen vil variere med både lengden og omgivelsestemperaturen. Når sensoren er koblet til disse lange kablene, vil målebroen oppfatte dette som endring i målevariabelen når det er bare kabelresistansen som endrer seg. Dette vil føre til målefeil. Kabelresistansen vil også føre til spenningsfall over kabel. Dette bidrar også til målefeil. For å redusere eller eliminere disse problemene, bør man plassere målebroen og sensoren nærmest mulig til hverandre. Hvis dette ikke praktisk mulig, må man bruke måleomformere som benytter seg av 3-leder eller 4-lederkobling. Ved 3-lederkobling blir målefeilen tilnærmet borte, mens 4-lederkobling eliminerer målefeilen helt. Disse metodene krever mer kabling og er dyrere løsninger.

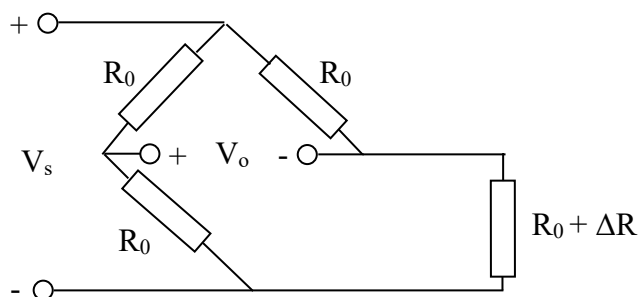
Oppsummert:

Med 2-lederkobling vil lederresistansen være en del av følerresistansen, R_x . Lederresistansen vil også være en funksjon av omgivelsestemperaturen.

Med 3-lederkobling får vi eliminert (nesten) virkningen fra lederresistansen.

Med 4-lederkobling eliminerer lederresistansen helt. Vi oppnår i tillegg svært nøyaktige resistansmålinger, da I_x er kjent og U_x måles med en høyohmig forsterker: $R_x = U_x/I_x$.

b)

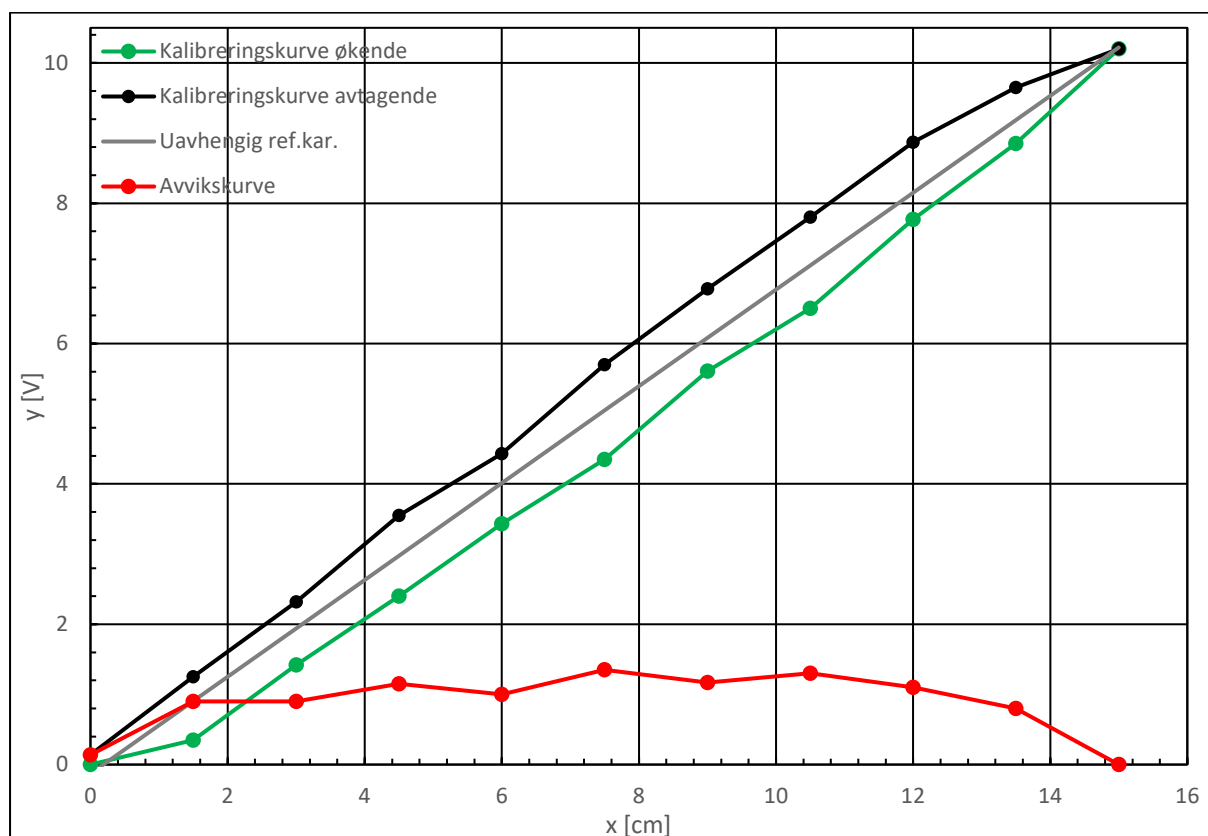


Utgangsspenning (V_o) fra målebroen blir:

$$V_o = V_s \cdot \left(\frac{R_0}{R_0 + R_0} - \frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + R_0 + \Delta R} \right) = - \frac{\Delta R \cdot V_s}{4 \cdot R_0 + 2 \cdot \Delta R} \approx - \frac{V_s}{4 \cdot R_0} \cdot \Delta R \text{ når } R_0 \gg \Delta R$$

Oppgave 3

a)



b) Måledata skal tilpasses til funksjonen $y(x) = b \cdot x + a$. Koeffisientene a og b finnes ved hjelp av følgende ligningssystem (minste kvadraters metode):

$$a \cdot n + b \cdot \sum x_j = \sum y_{j,\text{snitt}}$$

$$a \cdot \sum x_j + b \cdot \sum x_j^2 = \sum x_j \cdot y_{j,\text{snitt}}$$

der $n = 11$.

Setter opp en tabell for mellomregninger:

n	x_j	x_j^2	Økende y_j	Avtagende y_j	Snitt $y_{j,\text{snitt}}$	$x_j y_{j,\text{snitt}}$
1	0,00	0,00	0,00	0,14	0,07	0,00
2	1,50	2,25	0,35	1,25	0,80	1,20
3	3,00	9,00	1,42	2,32	1,87	5,61
4	4,50	20,25	2,40	3,55	2,98	13,39
5	6,00	36,0	3,43	4,43	3,93	23,58
6	7,50	56,25	4,35	5,70	5,03	37,69
7	9,00	81,0	5,61	6,78	6,19	55,76
8	10,5	110,25	6,50	7,80	7,15	75,08
9	12,0	144,0	7,77	8,87	8,32	99,84
10	13,5	182,25	8,85	9,65	9,25	124,88
11	15,0	225,0	10,2	10,2	10,2	153,0
Σ	82,50	866,25	-	-	55,79	590,01

Resultatene fra tabellen settes inn i ligningssystemet og dette gir to likninger med to ukjente:

$$\begin{array}{rclcl} 11 \cdot a & + & 82,50 \cdot b & = & 55,79 \\ 82,50 \cdot a & + & 866,25 \cdot b & = & 590,01 \end{array}$$

Likningene gir følgende løsninger:

$$a \approx -0,13 \quad b \approx 0,69$$

Uavhengig karakteristikk blir:

$$y(x) = 0,69 \cdot x - 0,13$$

c) Se figur fra punkt a der hysteresekurven er skissert. Hysteresen i prosent av målesignalomfanget (størst avvik er 1,35V, se hysteresekurve):

$$H = \left| \frac{\text{Maksimal hysteresen } (\hat{H})}{O_{\text{maks}} - O_{\text{min}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{1,35}{10,20 - 0,00} \right| \cdot 100\% = 13,2\%$$

Oppgave 4

a) Kalibreringsdata:

Temperatur, t_j [°C]	0	100	419,6
Resistans, R_j [Ω]	100,0	138,5	253,7

Dataene skal tilpasses den 2. gradsfunksjonen:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2) = R_0 + R_0 \cdot A \cdot t + R_0 \cdot B \cdot t^2$$

hvor R_0 er resistansen ved $t = 0^\circ\text{C}$ og A og B er interpolasjonskonstanter.

Minste kvadraters metode gir:

$$q = \sum_{j=1}^n (R_j - R(t_j))^2 = \sum_{j=1}^n (R_j - R_0 - R_0 \cdot A \cdot t_j - R_0 \cdot B \cdot t_j^2)^2$$

Metoden går ut på å minimere q ved å derivere q mhp. de ukjente konstantene A og B .

Deriverer q mhp. A og får:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial A} &= -2 \cdot R_0 \cdot \sum_{j=1}^n ((R_j - R_0 - R_0 \cdot A \cdot t_j - R_0 \cdot B \cdot t_j^2) \cdot t_j) = 0 \\ \Rightarrow \sum_{j=1}^n (t_j) + A \cdot \sum_{j=1}^n (t_j^2) + B \cdot \sum_{j=1}^n (t_j^3) &= \frac{1}{R_0} \cdot \sum_{j=1}^n (t_j \cdot R_j) \end{aligned}$$

Innsatt tallverdier (første likning):

$$\begin{aligned} (100 + 419,6) + (100^2 + 419,6^2) \cdot A + (100^3 + 419,6^3) \cdot B \\ = (100 \cdot 138,5 + 419,6 \cdot 253,7)/100 \end{aligned}$$

Deriverer q mhp. B og får:

$$\frac{\partial q}{\partial B} = -2 \cdot R_0 \cdot \sum_{j=1}^n \left((R_j - R_0 - R_0 \cdot A \cdot t_j - R_0 \cdot B \cdot t_j^2) \cdot t_j^2 \right) = 0$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^n (t_j^2) + A \cdot \sum_{j=1}^n (t_j^3) + B \cdot \sum_{j=1}^n (t_j^4) = \frac{1}{R_0} \cdot \sum_{j=1}^n (t_j^2 \cdot R_j)$$

Innsatt tallverdier (andre likning):

$$(100^2 + 419,6^2) + (100^3 + 419,6^3) \cdot A + (100^4 + 419,6^4) \cdot B = (100^2 \cdot 138,5 + 419,6^2 \cdot 253,7)/100$$

Det er to likninger med de to ukjente konstantene A og B. Likningene gir følgende løsninger:

$$A \approx 3,91 \cdot 10^{-3}$$

$$B \approx -5,85 \cdot 10^{-7}$$

Formelen for temperaturføler blir:

$$R(t) = 100 \cdot (1 + 3,91 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,85 \cdot 10^{-7} \cdot t^2)$$

b) 2. gradsfunksjonen fra punkt a settes lik resistansverdien:

$$R(t) = 100 \cdot (1 + 3,91 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,85 \cdot 10^{-7} \cdot t^2) = 175,8 \Omega$$

2. gradslikningen gir en temperatur på $t = 200^\circ\text{C}$ som løsning.

NB! 2. gradsligningen gir også en annen løsning, men denne er ulogisk.

Oppgave 5

Estimat til massen blir:

$$M = \pi \cdot R^2 \cdot l \cdot \rho_1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \right) \cdot \rho_2$$

$$\bar{M} = \pi \cdot 4,00^2 \cdot 10,0 \cdot 3,50 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 4,00^3 \right) \cdot 2,50 = 2094,39\text{g}$$

Standard usikkerhet blir:

$$\Delta m^2 = \left(\frac{\partial m}{\partial R} \cdot \Delta R \right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial l} \cdot \Delta l \right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial \rho_1} \cdot \Delta \rho_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial \rho_2} \cdot \Delta \rho_2 \right)^2$$

$$\Delta m^2 = \left(2 \cdot \pi \cdot R \cdot (l \cdot \rho_1 + R \cdot \rho_2) \right)^2 \cdot \Delta R^2 + (\pi \cdot R^2 \cdot \rho_1)^2 \cdot \Delta l^2 + (\pi \cdot R^2 \cdot l)^2 \cdot \Delta \rho_1^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \right)^2 \cdot \Delta \rho_2^2$$

$$\Delta m^2 = \left(2 \cdot \pi \cdot 4,00 \cdot (10,0 \cdot 3,50 + 4,00 \cdot 2,50) \right)^2 \cdot 0,05^2 + (\pi \cdot 4,00^2 \cdot 3,50)^2 \cdot 0,1^2 + (\pi \cdot 4,00^2 \cdot 10,0)^2 \cdot 0,10^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \pi \cdot 4,00^3 \right)^2 \cdot 0,05^2$$

$$\Delta m^2 = 6078,8 \Rightarrow \Delta m = \sqrt{6078,8} \approx 77,97\text{g}$$

Svaret blir derfor:

$$\bar{M} \pm \Delta m = (2094 \pm 78) \text{ g}$$

Oppgave 6

a) Estimat av viskositeten blir:

$$q = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \Delta p}{128 \cdot \mu \cdot L} \Rightarrow \mu = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \Delta p}{128 \cdot q \cdot L} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot t}{128 \cdot V \cdot L}$$

$$\bar{\mu} = \frac{\pi \cdot (2,2 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 875 \cdot 9,81 \cdot 50,0 \cdot 10^{-2} \cdot 10,0}{128 \cdot 56 \cdot 10^{-6} \cdot 40,0 \cdot 10^{-2}} \approx 1,10 \cdot 10^{-3} \text{Ns/m}^2$$

Den relative usikkerheten er gitt ved:

$$\Delta\mu^2 = \left(\frac{\Delta\mu}{\mu}\right)^2 = \left(\frac{\partial\mu}{\partial D} \cdot \frac{\Delta D}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\partial\mu}{\partial \rho} \cdot \frac{\Delta\rho}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\partial\mu}{\partial h} \cdot \frac{\Delta h}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\partial\mu}{\partial t} \cdot \frac{\Delta t}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\partial\mu}{\partial V} \cdot \frac{\Delta V}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\partial\mu}{\partial L} \cdot \frac{\Delta L}{\mu}\right)^2$$

De partiellderiverte blir:

$$\frac{\partial\mu}{\partial D} = \frac{4 \cdot \pi \cdot D^3 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot t}{128 \cdot V \cdot L} \quad \frac{\partial\mu}{\partial \rho} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot g \cdot h \cdot t}{128 \cdot V \cdot L} \quad \frac{\partial\mu}{\partial h} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot g \cdot t}{128 \cdot V \cdot L}$$

$$\frac{\partial\mu}{\partial t} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h}{128 \cdot V \cdot L} \quad \frac{\partial\mu}{\partial V} = -\frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot t}{128 \cdot V^2 \cdot L} \quad \frac{\partial\mu}{\partial L} = -\frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot t}{128 \cdot V \cdot L^2}$$

Setter de partiellderiverte inn i uttrykket for relativ usikkerhet og får:

$$\Delta\mu_r^2 = \left(\frac{4 \cdot \Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta L}{L}\right)^2$$

$$\Delta\mu_r^2 = \left(\frac{4 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{2,2 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{5}{875}\right)^2 + \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-2}}{50,0 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{10,0}\right)^2 + \left(-\frac{1 \cdot 10^{-6}}{56 \cdot 10^{-6}}\right)^2 + \left(-\frac{0,5 \cdot 10^{-2}}{40,0 \cdot 10^{-2}}\right)^2$$

$$\Delta\mu_r^2 \approx 0,03407 \Rightarrow \Delta\mu_r = \sqrt{0,03407} = 0,18457$$

Standard usikkerhet blir nå:

$$\Delta\mu_r = \frac{\Delta\mu}{\bar{\mu}} \Rightarrow \Delta\mu = \bar{\mu} \cdot \Delta\mu_r = 1,10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,18457 \approx 0,2 \cdot 10^{-3} \text{Ns/m}^2$$

Svaret blir derfor:

$$\bar{\mu} \pm \Delta\mu = (1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{Ns/m}^2$$

b) Usikkerheten til kapillarrørets diameter, D er dominerende i usikkerhetsberegningen. Halverer vi denne usikkerheten, dvs. $D = (2,2 \pm 0,05)$ mm, får vi halvert usikkerheten av viskositeten.