

Denne fikk 92/100 av D.K.Dysthe

Vi skal notere både hvem som rettet og
antall poeng rapporten fikk.

FYS2150 Labrapport Lab 1.1 : Tid og frekvens

13. februar 2015

Dette dokumentet inneholder 14 sider.

Sammendrag

Tid er en fundamental enhet i fysikk. Det er derfor viktig å kunne måle denne både presist og nøyaktig. Vi har i denne øvelsen sett på noen forskjellige måter å måle tid; pendel, timeglass, stoppeklokke og datamaskin med en 20MHz intern svingekrets, samt deres svakheter. Pendelen er en ganske nøyaktig, men veldig lite presis når man kun bruker dens lengde til å regne ut perioden. Vi oppnådde en presisjon på 0.07 s, men nøyaktigheten var så mye som 10-12 hundredeler fra den sanne verdien. Vi oppnådde, som forventet, et mye mer presist og nøyaktig resultat når vi målte med stoppeklokke og datamaskin.

1 Introduksjon

Evnen til å måle tid har vært en av de viktigste årsakene til menneskets fremdrift som art. Vi benytter oss av tidsmålinger i svært mange sammenhenger og det er ikke mulig å forestille seg en verden uten denne evnen. Det har derfor vært av stor vitenskapelig interesse å kunne måle dette nøyaktig. Vi har i denne labøvelsen sett på noen ulike metoder å måle tid på, samt gjort nødvendige estimat på nøyaktigheten og presisjonen til de ulike metodene.

2 Teori

Svingetiden til en pendel med lite utslag kan approksimeres med

$$T \approx 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

der T er pendelens periodetid, L er lengden fra opphengspunktet til pendelens massesenter, og g er den lokale tyngdeakselerasjonen. Pendelen kan dermed brukes som et tidsmål dersom man kan måle lengden L til pendelen.

3 Eksperimentelt

Eksperimentet er delt inn i tre deleksperimenter: *Timeglass og pendel* der timeglassets periode blir målt ved hjelp av pendelen, *Pendel og stoppeklokke* der pendelens periode blir målt med stoppeklokke, og *Pendel, fotodiode og 20MHz klokke* der vi måler pendelens periode med en fotodiode koblet til en akvisisjonsboks og en datamaskin. Akvisisjonsboksen har en indre svingekrest på 20MHz for å holde takten.

Pendelen festes med en snor til en festeanordning fastskrudd i bordet. For å få en markert svingekant skrus en liten aluminiumsplate fast slik at snoren er mellom festeanordningen og aluminiumsplaten, og aluminiumsplaten flukter sammen med undersiden av bordet. Lengden til pendelen er dermed definert fra bunnen av denne aluminiumsplaten til massesenteret til pendelen.

Pendeloppsettet er felles for alle tre deleksperimentene. Oppsett utover dette blir beskrevet i det aktuelle avsnittet under.

Alle lengdemålinger ble gjort med Hultafors meterstokk i glassfiber. Den har en nøyaktighet på $\pm 1\text{mm}$ på 1m målt lengde, i tillegg til $\pm 0.5\text{mm}$ når vi korrekterer for slark i ledd [2]. Vi får dermed en usikkerhet i lengdemålingene gitt ved

$$\Delta L = \sum_i^n \Delta L_{\text{ledd},i} + \Delta L_m \quad (2)$$

der ΔL er usikkerheten i lengdemålingene, n er antall ledd, $\Delta L_{\text{ledd},i}$ er korreksjonen for slark i ledd i og ΔL_m er målestokkens tolleranse. Usikkerheten i beregningen av periodetiden (se (1)) kan skrives som

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2} \quad (3)$$

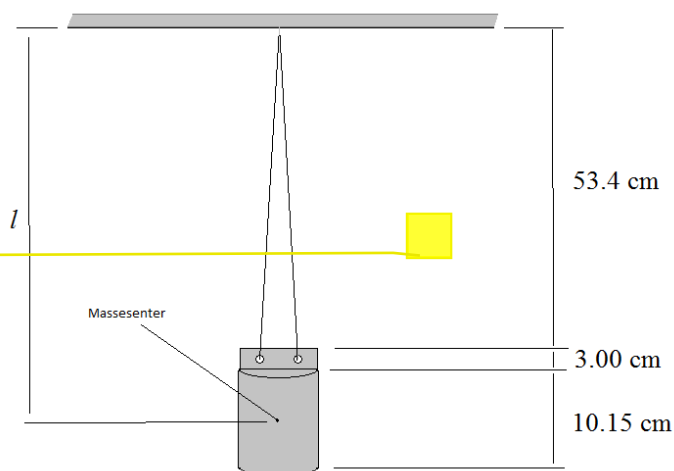
der ΔT , ΔL og Δg er usikkerhetene i henholdsvis periodetiden, lengdemålingene gitt i (2) og gravitasjonsakselerasjonen. T , L og g er henholdsvis den utregnede verdien for pendelens periodetid, den målte lengden på pendelen og den oppgitte verdien for gravitasjonsakselerasjonen. I Oslo er gravitasjonsakselerasjonen gitt ved $g = 9.83 \text{ ms}^{-2}$ [3].

I tillegg må vi legge til usikkerheter grunnet øyemål. Ved nøyssommelig lengdemålinger kan det trygt antas at denne ikke overskrider $\pm 1\text{mm}$. Massesenteret til pendelen er antatt å være på midten av loddet. Dette er ikke riktig da både snora og festebraketten på toppen av pendelen vil ha en innvirkning på massesenterets faktiske plassering. Dersom vi antar at usikkerheten på grunn av dette er $\pm 1\text{mm}$ og tar vi med dette i lengdeusikkerheten (2), og bruker de oppgitte lengdene i figur 1, får vi en usikkerhet i pendelens periodetid ved

$$\Delta L = \sum_i^n \Delta L_{\text{ledd},i} + \Delta L_m + \Delta L_{\text{øyemål}} + \Delta L_{\text{massesenter}} \quad (4)$$

der $\Delta L_{\text{ledd},i}$ og ΔL_m er som over, og $\Delta L_{\text{øyemål}}$ og $\Delta L_{\text{massesenter}}$ er usikkerheten i hhv. øyemål og

bra skisse



Figur 1: Eksperimentelt oppsett for pendel.

massesenterberegningene. Utregning gir

$$\begin{aligned}\Delta L &= 2_{\text{ant. ledd}} \cdot 0.5 + 53.5 \frac{1}{100000} = \text{usikkerhet til meterstokk} \\ &\quad + 3_{\text{ant. malinger med meterstokk}} \cdot 1 + 1_{\text{massesenterkorreksjon}} \\ &= 5.00 \text{ mm} \\ \Rightarrow \Delta T &= \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{5.00}{53.5}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{9.83}\right)^2} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{0.535}{9.83}} \\ &= 0.069 \text{ s}\end{aligned}$$

dette endte opp med å bli veldig mye!

bra!

(5)

3.1 Timeglass og pendel

Vi skal nå undersøke nøyaktigheten til timeglass som instrument for tidsmålinger.

Pendelen har en svingetid gitt ved (1). Med dette i hånd kan vi beregne timeglassets periode ved $T_{\text{timeglass}} = N_p T_p$ der N_p er antall perioder pendelen gjør før timeglasset er tomt, og T_p er pendelens periodetid gitt ved likning (1). Vi bruker tommestokk og måler lengden på pendelen, samt høyden over bakken for et bestemt punkt på pendelen i pendelens laveste posisjon, h_0 , og i posisjonen hvor vi slipper pendelen, h_1 . Dette gjør vi for å kunne måle vinkelutslaget til pendelen, siden (1) kun gjelder for små utslag. Referansepunktet vi brukte til disse målingene var øverste punkt på braketten (se figur 1).

Vi satte pendelen i gang og lot den svinge noen runder før vi snudde timeglasset. Timeglasset ble snudd når pendelen var i sin høyeste posisjon. Deretter talte vi antall svingeperioder pendelen fikk før timeglasset var tomt. Resultatene er i tabell 1.

Det er klart at det er andre usikkerheter koblet til dette eksperimentelle oppsettet enn beskrevet innledningsvis i denne avsnittet. Vi kan for eksempel ta hensyn til hvor flinke vi er til å synkronisere pendelens bevegelse (når den er i topp-posisjon) med tiden timeglasset blir snudd. Uten at noen konkrete mål har blitt gjort på dette, antas det at usikkerheten koblet til dette ikke overskrider ± 0.5 s.

Luftmotstand vil ha en innvirkning på pendelens banehastighet og dermed periodetid. Dette er en systematisk kilde til feil som øker for hver periode. Under antakelsen at feilen er ± 0.1 s på én periode blir denne ± 2 s når vi gjør målinger over ~ 200 perioder.

En siste viktige kilde til usikkerhet er hvor nøyaktig vi klarer å telle den siste svingningen. Siden timeglasset nok ikke er ferdig når pendelen er på sitt høyeste, er dette en feil som har en innvirkning på resultatet. Siden vi i målingene kun har tatt høyde for hele antall svingninger, så det er en grei antakelse å si at usikkerheten ligger på ± 0.5 periodetider.

Med å ta hensyn til de antatte verdiene for usikkerhet knyttet til luftmotstand, synkronisering av timeglass og pendel, og oppløsningen på avlesningene, får vi en total usikkerhet på

3.2 Pendel og stoppeklokke

Til nå har vi målt perioden til timeglasset med pendelperioden som referanse. Som nevnt innledningsvis er det en rekke usikkerheter som spiller inn på pendelens periode. Uten noe mer nøyaktig instrument for tidmåling er vi ikke i stand til å måle timeglassets periode til større nøyaktighet enn det som er gitt ved (3) og (4).

Vi skal derfor nå se på hvor nøyaktig pendelen er som tidsmåler. Vi forsøker å slippe pendelen fra lik høyde som før ($h_1 = 24.0$ cm). På den måten minsker vi farene for individuelle forskjeller mellom forsøkene. Vi bruker en stoppeklokke med innebygget mellomtidsfunksjon slik at vi kan måle tiden på hver periode individuelt, samtidig som vi måler antall perioder og totaltid for forsøket. Stoppeklokken som er i bruk har en oppgitt presisjon på 1/100-sekund [1]. Antar at dette også gjelder for nøyaktigheten.

I denne typen forsøk er det viktig å bemerke seg at måledataene ikke er uavhengig av hverandre. Anta for eksempel at en måler for lang tid én periode. Da vil neste tidsmåling, selv om den ble gjort nøyaktig når pendelen var på sitt øverste, være for kort. Dette kan ha stor innvirkning på presisjonen på enkeltmålinger, men om man kun bruker annenhvert målepunkt, vil denne effekten til en viss grad bortfalle. I beregningene har vi tatt en snitt av to og to målinger. Resultatene er vist i tabell 2 og figur 3. Med foregående argument, er det klart at 20 målinger som ble gjort på hvert forsøk er altfor lite til å si noe sikkert om nøyaktigheten til tidsmålingen, siden vi da i praksis kun har 10 målinger.

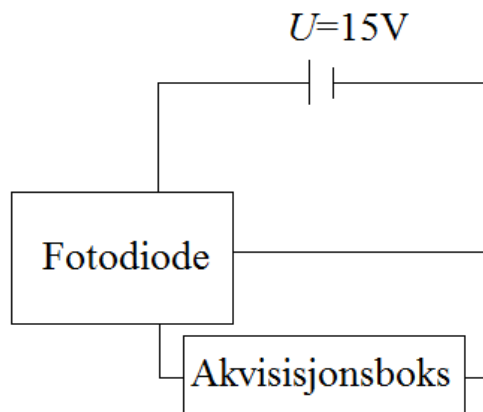
Man kan forvente seg en normalfordeling av disse måledataene. Usikkerheten i en normalfordeling er gitt ved

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \left[\frac{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2}{n(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

hvor σ er standardavviket i en enkeltobservasjon x_i og n er antall målepunkt. σ_m er det midlere standardavviket over alle observasjoner. Summene er tatt over alle i .

gjør luftmotstanden perioden lengre eller kortere?

bra!



Figur 2: Koblingsskjema for sesjon 3.3: pendel, fotodiode og 20MHz klokke.

Bruker vi likning (6) og resultatene i tabell 2, får vi et midlere standaravvik

$$\sigma_m \approx 9.42 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Dermed blir usikkerheten i tidsmålingen

$$\begin{aligned} \Delta T &= \sigma_m + \Delta T_{\text{stoppeklokke}} \\ &= 9.42 \cdot 10^{-3} \text{ s} + \frac{1}{100} \text{ s} = 1.94 \cdot 10^{-2} \text{ s} \end{aligned} \quad (7)$$

3.3 Pendel, fotodiode og 20MHz klokke

Selvom målingen med stoppeklokke ikke gav opphav til veldig store usikkerheter, er, i størrelsesorden, 10^{-2} s ofte for dårlig. Ved hjelp av en fotodiode og et dataprogram skal vi nå få enda mer nøyaktige målinger.

Vi bruker en fotodiode som består av en IR-diode og en lysfølsom diode som gir 0 V når den mottar reflektert lys fra IR-dioden og 5 V når den ikke gjør det. Fotodioden krever 15V drivspenning. Fotodioden kobles til en datamaskin via en NI-DAQ akvisisjonsboks. For å øke refleksjonen blir en blank teipbit festet på pendelen. Fotodioden blir så plassert på gulvet i posisjon slik at pendelen passerer dioden i bunn av sin bevegelse. Se figur 2 for koblingsskjema. Vi setter programmet til å anta at en passering har skjedd dersom spenningen er større eller lik *terskelspenningen* som vi setter til $U_{\text{terskel}} = 3.5\text{V}$.

Usikkerheten i disse målingene går på nøyaktigheten til avleserinstrumentet. Akvisisjonsboksen har en intern svingekrets med 20 MHz klokkepuls. I dataprogrammet setter vi samplingraten som maksimalt kan være $f_s = 250 \text{ kHz}$. Dette medfører at vi får en usikkerhet i perioden mellom hver sampling på

$$\Delta T = \frac{1}{20 \text{ MHz} - f_s} \quad (8)$$

Akvisisjonsboksen har også en usikkerhet på målt spenning. Siden vi kun er interessert i tiden mellom hver gang spenningen er til stedet / ikke til stedet, er ikke *verdien* på spenningen av like stor interesse. Den totale usikkerheten i dette forsøket er derfor gitt ved (8).

Veldig grundig og bra eksperimentelt avsnitt der du har vært flink å ikke blande inn resultater.

blander du ikke tilfeldige og systematiske feil her+

Vi gjør forskjellige målinger for å se på effekten av (i) endring av samplingfrekvensen, f_s , (ii) Endring av slipp høyden h_1 , og (iii) ending av samplingtiden.

4 Resultater

4.1 Timeglass og pendel

Vi utførte to målinger på timeglassets periode. Resultatene kan ses i tabell 1. Det var ikke før andre måling vi noterte h_0 og h_1 . Disse er derfor markert som NA i den første målingen.

Vi kan beregne den teoretiske periodetiden for pendelen ved likning (1). Der T_n er forsøk nummer n har vi

$$T_1 \approx 2\pi \sqrt{\frac{0.565 \text{ m}}{9.83 \text{ ms}^{-2}}} = 1.51 \text{ s}$$

og

$$T_2 \approx 2\pi \sqrt{\frac{0.535 \text{ m}}{9.83 \text{ ms}^{-2}}} = 1.47 \text{ s}$$

Der usikkerheten i periodetiden er summen av resultatet fra (5) og luftmotstanden. Dermed er

$$T_1 \approx 1.51 \pm (0.069 + 0.1) \text{ s} = 1.51 \pm 0.17 \text{ s}$$

og

$$T_2 \approx 1.47 \pm 0.17 \text{ s}$$

Vi får dermed perioden på timeglasset

$$\begin{aligned} T_{\text{timeglass},1} &= 198 \cdot (1.51 \pm 0.17 \text{ s}) \pm 0.5 + 0.5 \cdot 2\pi \sqrt{\frac{0.535 \text{ m}}{9.83 \text{ ms}^{-2}}} \\ &= 298 \pm 34.8 \text{ s} = 4 \text{ min og } 58 \text{ s} \pm 34.8 \text{ s} \end{aligned}$$

og

$$\begin{aligned} T_{\text{timeglass},2} &= 200 \cdot (1.47 \pm 0.17 \text{ s}) \pm 0.5 \cdot 2\pi \sqrt{\frac{0.535}{9.83}} \\ &= 293 \pm 34.5 \text{ s} = 4 \text{ min og } 53 \text{ s} \pm 34.5 \text{ s} \end{aligned} \tag{9}$$

Dette gir et førsteestimat på snittet

$$\bar{T}_{\text{timeglass}} = 4 \text{ min og } 56 \text{ s} \pm 35 \text{ s}$$

Tabell 1: Måleresultater timeglass og pendel

Forsøk #	θ_{max}	N_p	L (cm)	h_0 (cm)	h_1 (cm)
1	NA	198	56.5	NA	NA
2	11.4°	200	53.5	18.9	24.0

4.2 Pendel og stoppeklokke

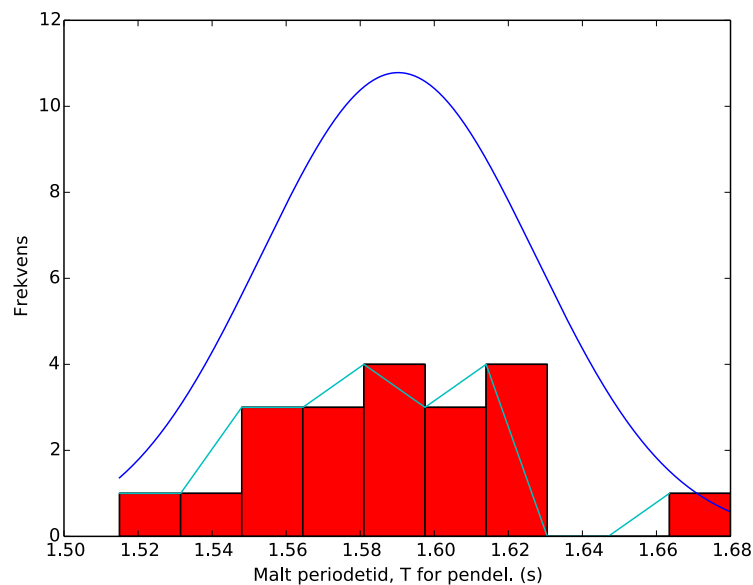
I tabell 2 er resultatene for målingene på periodetiden til pendelen oppgitt. De gitte tidene er målt i sekunder. Resultatene ble oppnådd med å bruke mellomtidfunksjonen på stoppeklokken. På den måten burde vi forvente oss en normalfordeling rundt pendelens sanne periodetid. I figur 3 er resultatene i tabell 2 representert ved et histogram av periodetidene, samt normalfordelingen til dataene. Standardavviket og middelværdien er henholdsvis

$$\sigma = 0.0194 \text{ s} \quad \text{og} \quad \mu = 1.59 \text{ s}$$

I tabell 3 er periodetiden til timeglasset, målt med stoppeklokke, opplistet. Bruker vi disse verdiene og regner perioden på timeglasset (antar igjen ~ 200 pendelperioder i en timeglassperiode), får vi en gjennomsnittlig tid på $\sim \bar{T} = 5 \text{ min}$ og $15 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$.

Tabell 2: Måleresultater for pendelperioden målt med stoppeklokke. Tidene er i sekunder.

Forsøk n / T_n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.64	1.47	1.58	1.66	1.62	1.55	1.55	1.62	1.65	1.61
2	1.51	1.52	1.72	1.54	1.53	1.54	1.66	1.70	1.56	1.60
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.69	1.50	1.53	1.59	1.62	1.52	1.63	1.57	1.58	1.63
2	1.59	1.57	1.64	1.57	1.62	1.48	1.59	1.60	1.65	1.60



Figur 3: Histogram av måledataene i tabell 2. Histogrammet er laget av midlede verdier $\frac{1}{2}(x_i + x_{i+1})$ for de to datasettene (forsøk 1 og 2). I tillegg er Gauss-kurven tilhørende dataene plottet over.

Tabell 3: Måling av stoppeklokketiden til timeglasset.

Forsøk n	1	2	3	4	5
T_n (min.sek)	5.17	5.15	5.15	5.13	5.14

Tabell 4: Oppsummering av resultatene av Pendel, fotodiode og 20MHz klokke.

Forsøk #	Parameter som endres	Samplingfrekvens f_s (kHz)	Høyde h_1 (cm)	Samplingstid (s)	Figur
1	standardverdier	25	24	10	4
2	f_s	1	24	10	5
3	f_s	100	24	10	6
4	h_1	25	35	10	7
5	h_1	25	20	10	8
6	Samplingtid	25	24	3	9
7	Samplingtid	25	24	30	10
8	Samplingtid	25	24	5	11

4.3 Pendel, fotodiode og 20MHz klokke

Vi gjorde tilsammen 8 forsøk der vi endret på samplingfrekvensen f_s , slippshøyden h_1 , og samplingstiden. Se tabell 4 og figurene 4 - 11. I figurene som viser periodetiden som funksjon av tid, er "*" markering av når i løpet av intervallet passeringen skjedde (x -aksen) og hvor lang tid det tok siden forrige passering (y -aksen). Sirklene i spenningsdiagrammene er markert på $U = 3.5V$ (terskelspenningen), der spenningen er på vei opp. Gjennomsnittet av de målte periodetidene ligger i spennet 1.57 s til 1.63 s. Begge disse ble oppnådd i forsøk 4 og 5 (igjen, se tabell 4). Ellers, på de andre målingene, ligger gjennomsnittet på ~ 1.59 s med standardavvik 0.0007 s.

5 Diskusjon

La meg begynne med en liten oppsummering. Vi begynte å måle perioden til et timeglass ved hjelp av en pendel med kjent lengde. Siden vi kan regne ut pendelens teoretiske periode (likning (1)) kan vi dermed regne ut timeglassets periode. Vi fant

$$T_{\text{pendel, teori}} = 1.47 \pm 0.17 \text{ s (for } h_1 = 24.0 \text{ cm)}$$

$$\bar{T}_{\text{timeglass, pendel}} = 4 \text{ min og } 56 \text{ s} \pm 35 \text{ s}$$

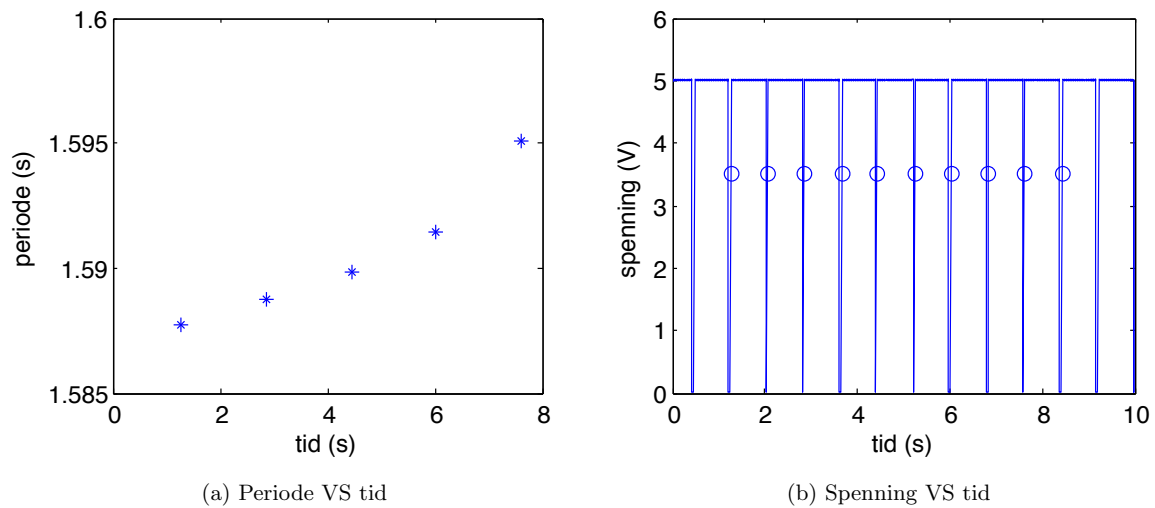
Vi målte så pendelens og timeglassets periode med (håndholdt) stoppeklokke:

$$\bar{T}_{\text{pendel, stoppeklokke}} = 1.59 \pm 0.02 \text{ s}$$

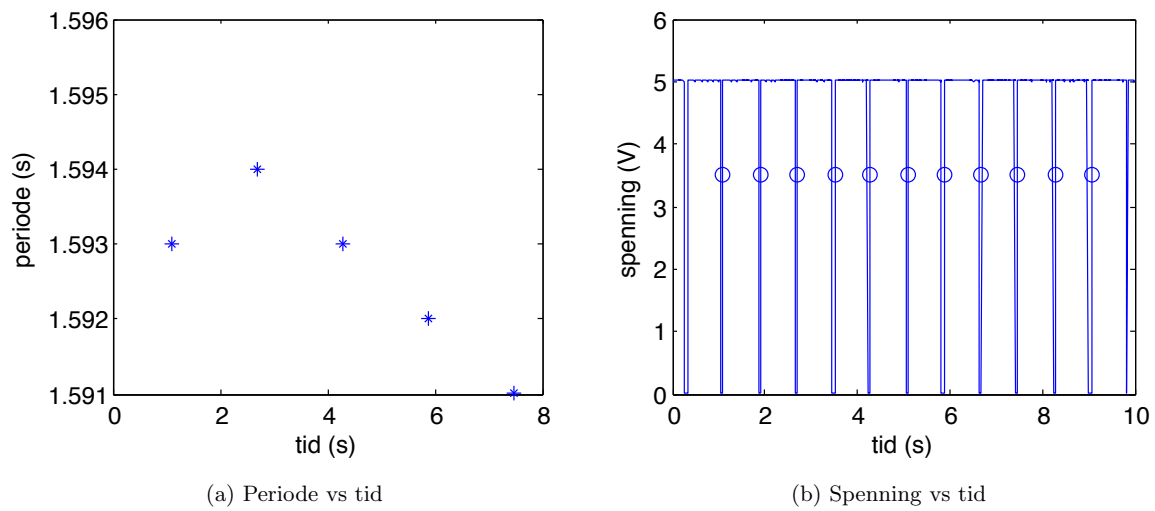
$$\bar{T}_{\text{timeglass, stoppeklokke}} = 5 \text{ min og } 15 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$$

Til slutt målte vi pendelens periode ved hjelp av en fotodiode og datamaskin:

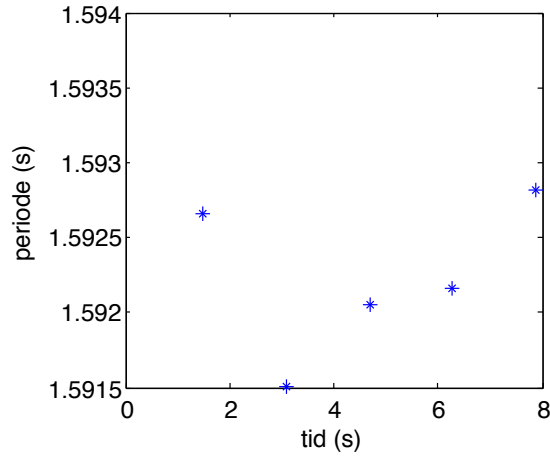
$$\bar{T}_{\text{pendel, PC}} = 1.59 \pm 0.0008 \text{ s}$$



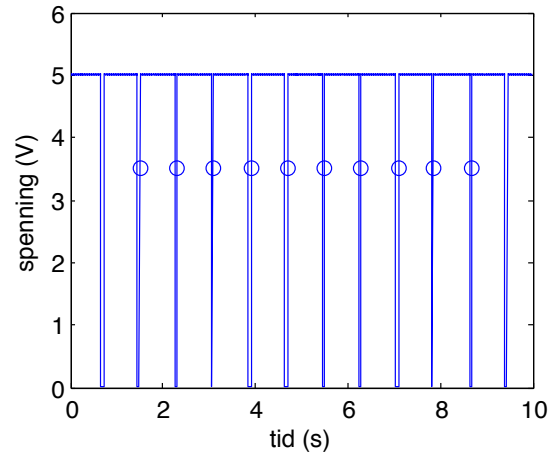
Figur 4: Plott av periodetiden og spenningen mottatt fra fotodioden som funksjon av tiden. Parameterene i programmet er satt til de definerte standardverdiene.



Figur 5: Samplingfrekvensen er endret fra $f_s = 25\text{kHz}$ til $f_s = 1\text{kHz}$.

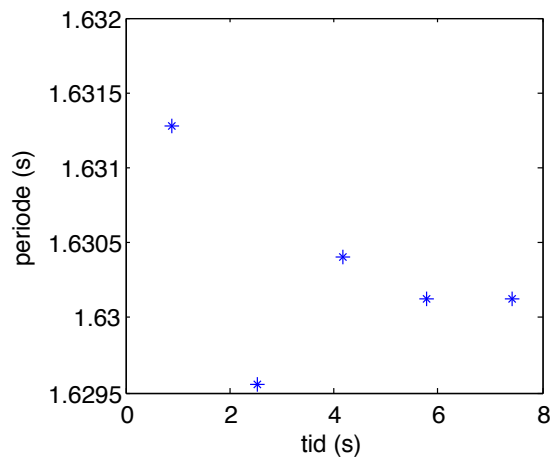


(a) Periode vs tid

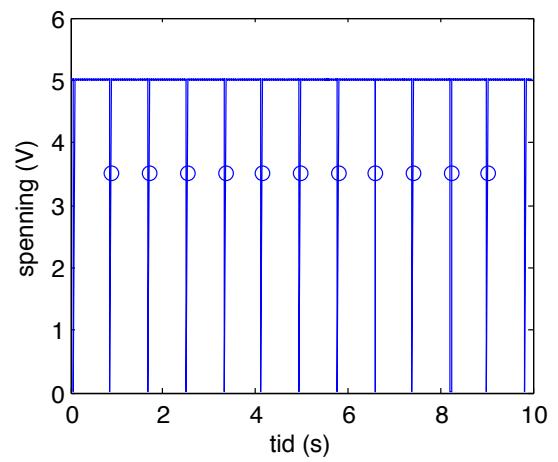


(b) Spenning vs tid

Figur 6: Samplingfrekvensen er endret fra $f_s = 25\text{kHz}$ til $f_s = 100\text{kHz}$.

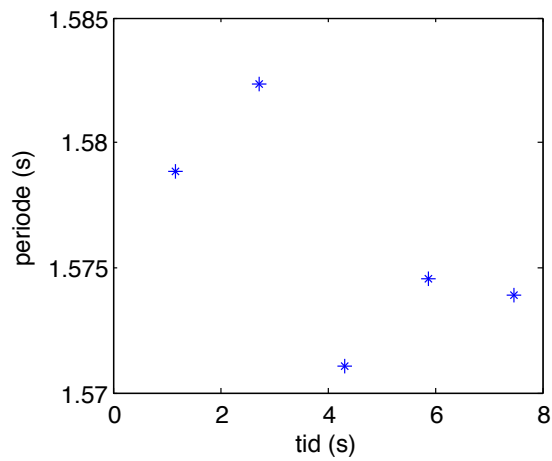


(a) Periode vs tid

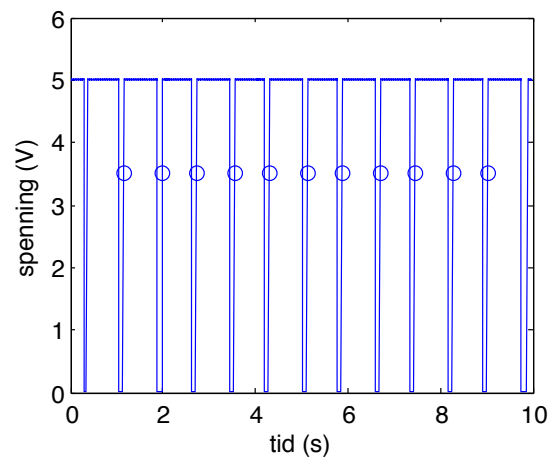


(b) Spenning vs tid

Figur 7: Høyden fra hvilken vi slipper pendelen er endret fra $h_1 = 24\text{cm}$ til $h_1 = 35\text{cm}$.

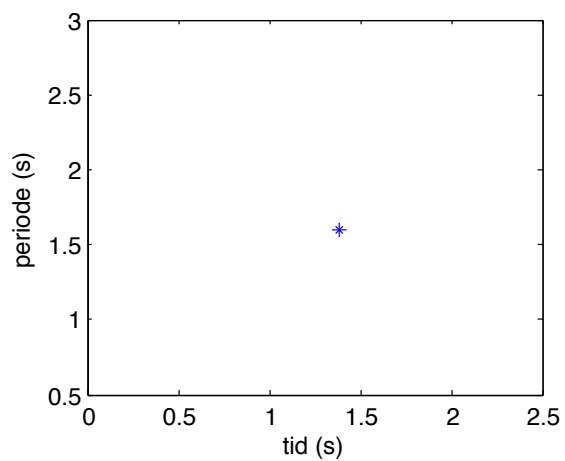


(a) Periode vs tid

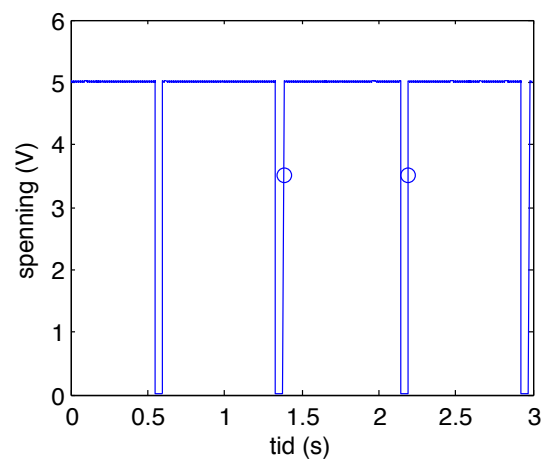


(b) Spenning vs tid

Figur 8: Høyden fra hvilken vi slipper pendelen er endret fra $h_1 = 24\text{cm}$ til $h_1 = 20\text{cm}$.

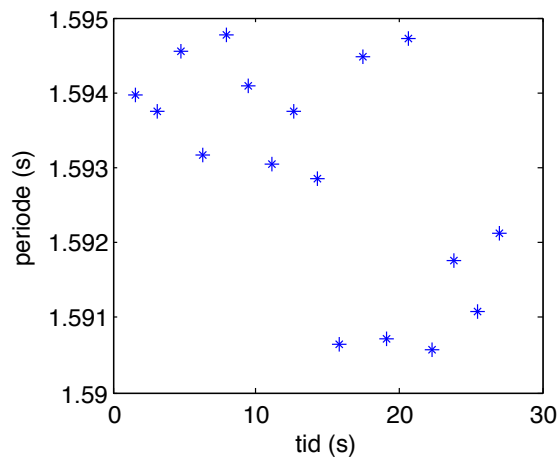


(a) Periode vs tid

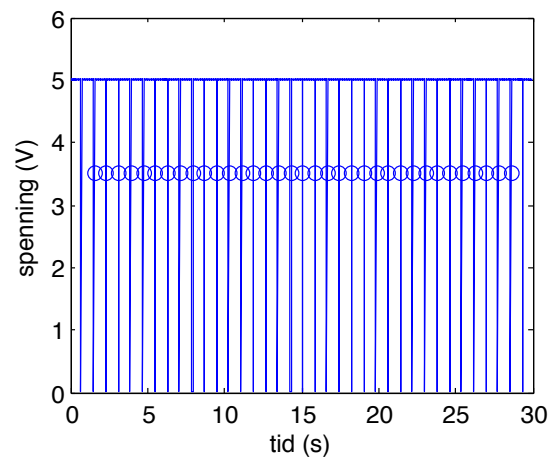


(b) Spenning vs tid

Figur 9: Total samplingtid er endret fra 10s til 3s.

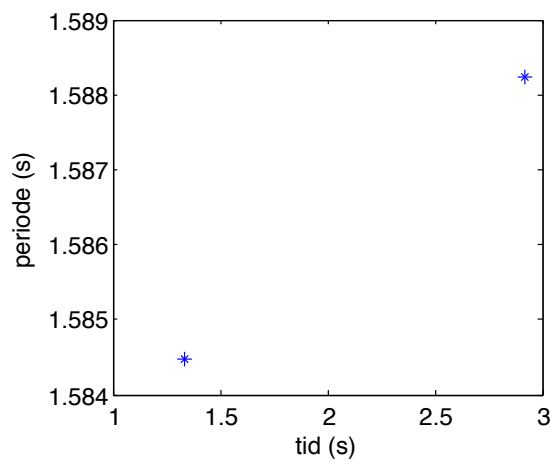


(a) Periode vs tid

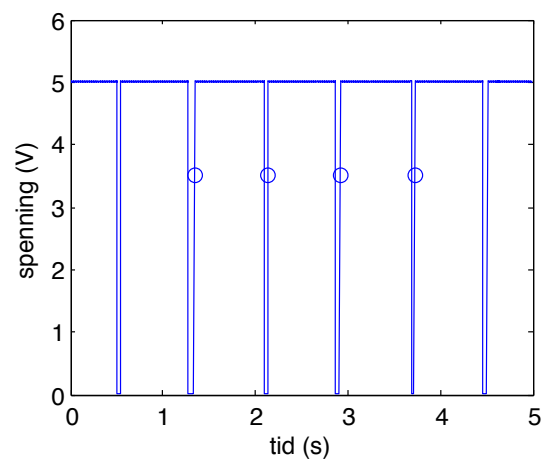


(b) Spenning vs tid

Figur 10: Total samplingtid er endret fra 10s til 30s.



(a) Periode vs tid



(b) Spenning vs tid

Figur 11: Total samplingtid er endret fra 10s til 5s.

si gjerne: innenfor ett standardavvik.

Vi ser at det er en forskjell mellom den teoretiske pendelperioden og den faktiske, målte perioden. Dette er, likevel, forskjeller som faller innenfor rammene av usikkerheter i forsøket. Dette gjelder også den utregnede periodetiden ved timeglasset. Vi får en noe kort teoretisk periode på 4 min og 56 sekunder, men usikkerheten på ± 35 s tatt i betraktning er den samme verdien innenfor det vi forventer.

6 Konklusjon

Dersom man skal måle tid er det i de fleste sammenhenger ikke tilstrekkelig å bruke en pendel der eneste man vet et lengden på pendelen. Det forekommer en rekke usikkerheter som til sammen utgjør rundt 35 sekunder over en periode på rundt 5 minutter. Det tilsvarer altså rundt 11% usikkerhet. Kan man, derimot, kalibrere pendelen (med for eksempel stoppeklokke) er det et mye bedre tidsmål, som i langt flere sammenhenger kan være tilstrekkelig. Avhengig av kvaliteten på kalibreringen, kan vi få senket feilen på tidsmålingen helt ned til 0.05%, muligens enda mer med mer sofistikert utstyr og metoder, samt bedre tid.

Når det kommer til timeglasset som her har blitt brukt er det vanskelig å kalibrere dette. Et timeglass kan kun i prinsippet bli kalibrert fra produsenten, og selv da kan det ha en del, store, usikkerheter. Blandt annet kan temperaturen i rommet bety mye, uten at effekten av dette er videre undersøkt i denne øvelsen. Er kravet til nøyaktigheten innenfor ± 2 s, derimot, kan et timeglass være et utmerket verktøy.

Til fremtidige undersøkelser kan det være interessant å se hvilke effekter som er avgjørende for at teorien skal stemme bedre overens med eksperimentene. En rekke av usikkerhetene som vi i denne øvelsen har måttet ta i betraktning, kan lett unngås med andre måleteknikker, og annet utstyr. Kan det ha vært tilfeldige feil som gjorde forskjellen på den faktiske og den teoretiske pendelperioden så stor? For å undersøke dette nærmere må usikkerheten i målingene gå ned dramatisk, enten ved å endre det eksperimentelle oppsettet (ved f.eks å ha en lengre pendel) eller gjøre mer møysommelige målinger. Mange av usikkerhetene tatt med her er også antatte størrelser. De må undersøkes videre.

7 Referanser

Referanser

- [1] Clas ohlson stoppeklokke, artikkelnummer 31-4141.
- [2] <http://www.hultafor.se/om-vara-produkter/erfaren-meterstock/>.
- [3] <http://www.wolframalpha.com/input/?i=gravitational+acceleration+oslo>.

Appendiks

A Utstysrliste

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| • Timeglass | • Stoppeklokke |
| • Pendel (lodd, tråd, festeanordning) | • Fotodiode |

- Måleledninger
- Meterstokk
- Spenningsforsyning
- Akvisisjonsboks NI USB-6211
- PC med Matlab
- Umbrakonøkkel
- Sett med små skrutrekere