

Resultater fra indendørs forsøg med et drevet Foucault-pendul

Introduktion

Med henblik på opførelse af en høj pendulinstallation i Svendborg er der udarbejdet en række dokumenter, der beskriver relevante forsøg og teoretiske overvejelser. Studierne omfatter:

- 1) Overvejelser vedr. drivmekanisme, se Tekniske overvejelser vedr Svendborgpendulet version marts 2016XX.doc
- 2) Overvejelser vedr. topdrevet pendul, se Topdrevet Foucaultpendul_1.doc
- 3) Forsøg i Lindø Industripark (fuldskala-forsøg med et udrevet pendul), se Pendulforsøget24NovemberOgEfterfølgendeSimuleringer.docx
- 4) Simulering af vindens påvirkning, se SimuleringerAfVindpåvirkningPåSvendborgPendulet_version2.docx

I overvejelserne om den bedst egnede drivmekanisme indgik anskaffelses- og driftsomkostninger. Følgende drivmekanismer var på tale:

- a) Magnetisk tiltrækning/frastødning mellem en stationær elektromagnet (under terrain lige under ophængningspunktet) og en permanent magnet i loddet. Dette princip er anvendt i Pantheonkirken.
- b) Lodret oscillerende lod inden i pendulet, oprindeligt foreslået af Mads Hanghøj. Dette pendul kræver et elektrisk kabel fra ophængningspunkt til lod, hvilket giver en ret stor vindmodstand fra bærekabel og el-kabel.
- c) Lodret oscillerende position af ophængningspunktet, se <http://www.millersville.edu/physics/experiments/035/drive.php>. Dette pendul kræver ikke elektrisk kabling fra ophængningspunkt til pendullod.

Den drivmekanisme, der synes bedst egnet til pendulet i Svendborg er design c), hvor ophængningspunktet bevæges op og ned, se Topdrevet Foucaultpendul_1.doc.

Der er i sommeren/efteråret 2018 udført forsøg der skal belyse denne pumpemetode. Denne rapport indeholder resultater fra disse forsøg

Forsøgsopstilling

Pendullængde: ca. 3.5 m

Pendulmasse: ca. 3.5 kg

Pendulwirens tykkelse: 0.3 mm

Drivmekanisme: Bilvinduesviskermotor med selvstop og efterfølgende genstart styret af føler af pendulets passage af lavpunkt. Kraftoverføring mellem viskermotorrotation og pendulsnoren således at

ophængningspunktet moduleres i en blød op-ned-bevægelse under ca. halvdelen af viskermotorens cyklus. Amplituden af op-ned-bevægelsen var +/- 10 – 15 mm. Drivmekanismen er vist på Fig. 1.

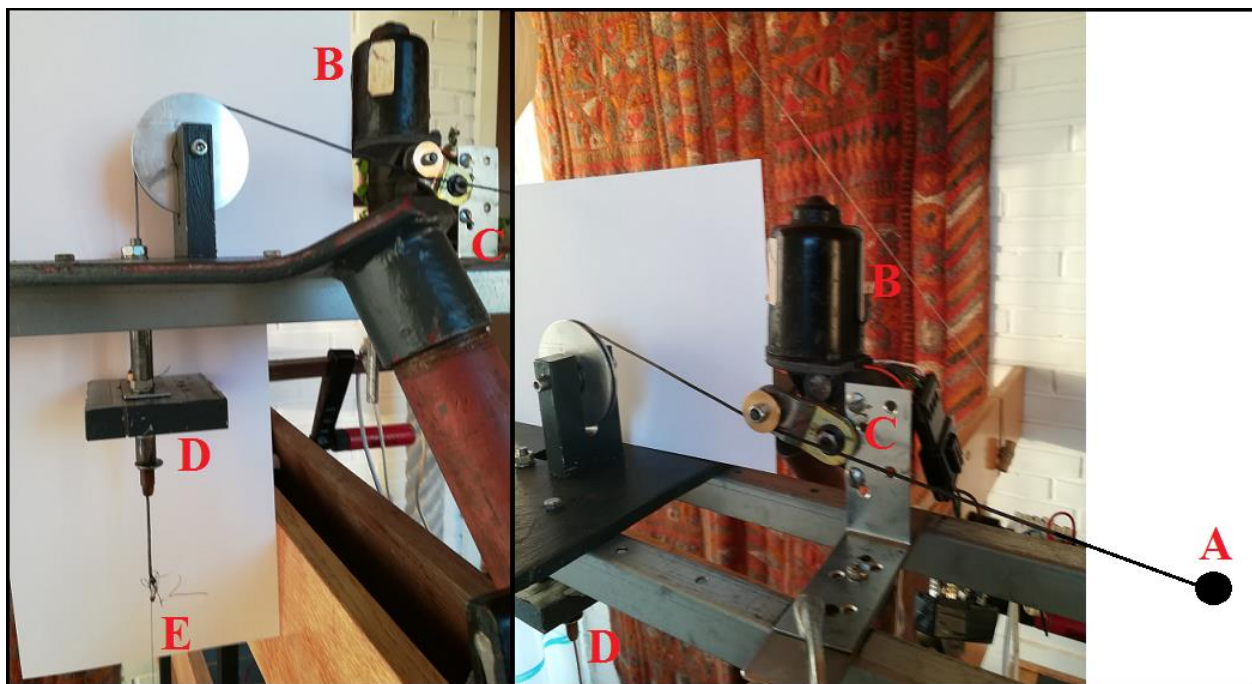


Fig. 1- Drivmekanisme i topdrejet pendul: A: Forankring af pumpewire, B: Bilviskermotor, C: Krumtap, D: Cylindrisk glideleje og E: Pendul

Viskermotoren standser af sig selv i en vis position af krumtappen (B) og starter igen, når en synkroniseringsimpuls fra pendulføleren registreres. To forskellige følere blev testet: a) Magnetisk nærhedsføler monteret lidt under pendulets ligevægtsposition og b) Lysdiode-detektion af pendulkuglens passage af ligevægtspunktet. Ved anvendelse af sidstnævnte metode indførtes en forsinkelse på ca. 0.8 s mellem kuglens passage af ligevægtspunktet og igangsætningen af viskermotoren.

Et samlet overblik kan fås ved at betragte videoen VID_20181019_165053.mp4 på linket: www.detsvingerisvendborg.dk

Den resulterende variation af ophængningspunktets højde er vist på Fig. 2 (blå kurve). Den røde kurve på Fig. 2 er rotationsvinklen af viskermotorens krumtap. Her er vist selvstopposition og igangsætningsimpuls fra føler. Den optimale bevægelse af krumtappen er karakteriseret ved maksimal opadgående hastighed af ophængningspunktet, når pendulet er i bundstilling. Tilsvarende skal den maksimale nedadgående hastighed af ophængningspunktet være, når pendulet er i yderstilling. Denne variation er indtegnet med grøn kurve på Fig. 2.

Den optimale forsinkelse mellem pendulloddets passage af bundstilling og igangsætning af viskermotoren er ca. en kvart svingning, her 0.8 s.

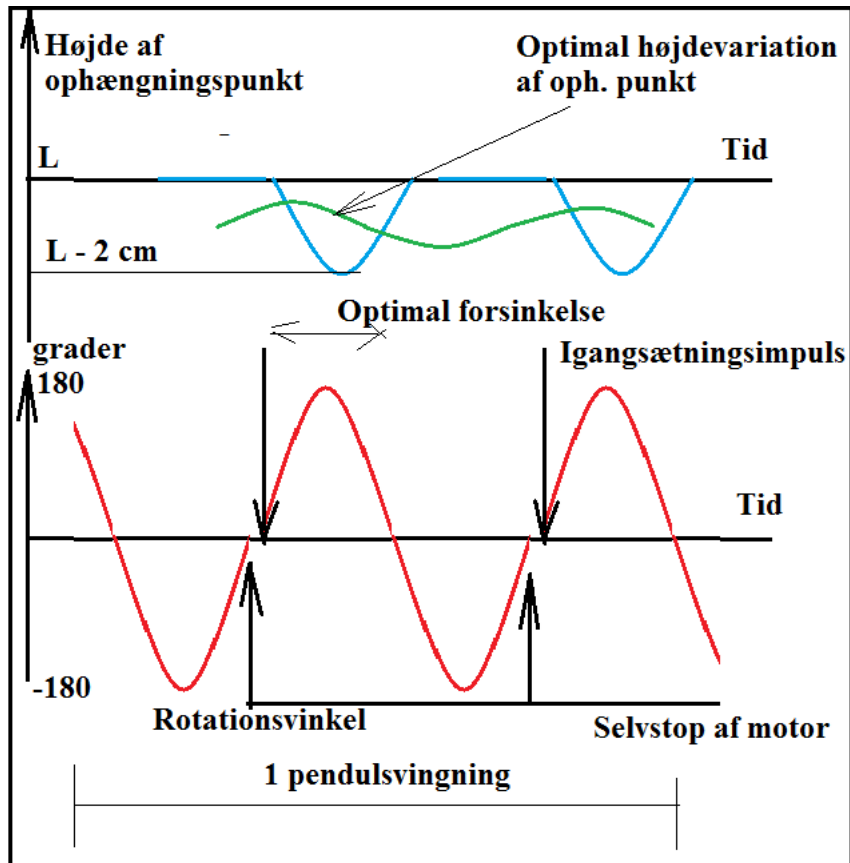


Fig. 2 – Forløb af ophængningspunktets lodrette position (blå kurve) og viskermotorens rotationsvinkel (rød kurve).

Forsøgsresultater

Forsøgenes hovedresultater kan sammenfattes i følgende:

- Pumpemetoden er virker efter hensigten. Med højdevariation ca. +/- 1 cm blev pendulets amplitude ca. 50 cm (til hver side). Denne amplitude kunne holdes konstant så længe drivmekanismen holdtes i gang.
- Forsøg med udrevet pendul gav den forventede Foucaultdrejning på 0.5 grader pr. minut.
- Med drevet pendul blev en Foucault drejning på 0.5 grader pr. minut opnået i fire på hinanden følgende forsøg á ca. 20 min. Varighed.

Reaktionen fra pendulet medførte små vandrette forskydninger af gelænderet, hvorpå ophænget var monteret. Denne eftergivenhed var ikke ens i alle retninger.

Optimal synkronisering forudsætter, at føleren afgiver et signal, der er uafhængig pendulets bevægelsesretning. Med andre ord: følerens funktion skal være invariant for rotation om pendulwiren med pendulet i hvile.

Konklusion

Forsøget har vist at pumpning af pendulet baseret på op-ned bevægelse af ophængningspunktet er en effektiv metode til at holde pendulet i vedvarende svingning. En kommerciel installation skaleret til en pendullængde på 40 m kræver stabil tårnkonstruktion, omhyggeligt valg af aktuator og en præcis placering af den føler, som giver synkroniseringsimpulser til pumpemekanismen. Et design, som givetvis vil give stabil pendulbevægelse og præcis Foucault-drejning, er beskrevet i dokumentet:

Topdrevet Foucaultpendul_1.doc

Professor dr. phil. Ivar Balsev, Ove Nielsen, John Hansen, Torben Pindborg og Poul Vase