FY1001/TFY4145 Mekanisk fysikk
Høsten 2014

# Vannbølger i bølgerenna

Filmene (MP4) er spilt inn med 100 fps (frames per second). Mange mediaspillere (som Windows Media Player og VLC media player) antar at det er 25 fps og spiller dermed filmene i 1/4 hastighet. For vannbølgene vi skal se på her er en slik "slow motion" egentlig ganske passelig, i og med at bølgehastigheten er opp mot 1 m/s. Hvis du åpner filmene i programmet Tracker, spilles de av enda saktere, men der kan du ganske enkelt telle hundredels sekunder, bilde for bilde.

P1010178.MP4 viser en bølgepakke som genereres ved at den skråstilte platen i rennas venstre ende beveges opp og ned 5 ganger. Du kan se at det dannes en bølgepakke med 6 – 7 forholdsvis tydelige bølgetopper.

- Følg en av de første bølgetoppene med øynene og legg merke til at amplituden avtar, og hvordan bølgetoppen til slutt "dør ut" helt foran i bølgepakken.
- Legg også merke til hvordan nye bølgetopper dannes bakerst i bølgepakken og hvordan disse spaserer gjennom bølgepakken, først med økende og deretter med avtagende amplitude, før de, som nevnt, dør ut i forkant.

Dette skyldes den ikke-lineære dispersjonsrelasjonen for tyngdebølger på dypt vann, $\omega(k) = \sqrt{gk}$, der $g$ er tyngdens akselerasjon og $k$ er bølgetallet ($k = 2\pi/\lambda$). En gitt fase, f.eks en gitt bølgetopp, vil da bevege seg med fasehastigheten $v_f = \omega/k = \sqrt{g/k}$, mens bølgepakken ("bølgegruppen") vil bevege seg med gruppehastigheten $v_g = d\omega/dk = \sqrt{g/k}/2 = v_f/2$. Har vi dypt vann her? Vel, vanndybden er ca $D = 20$ cm, mens typiske bølgelengder er 30 – 40 cm eller mer. Det er klart at dybden ikke er "mye større enn" bølgelengden, men det kan vises at så lenge $kD = 2\pi D/\lambda$ er en del større enn 1, er dypvannsantagelsen ganske god. Her er $kD$ ca 3 for de typiske bølgelengdene vi har med å gjøre.

I P1010182.MP4 beveges den skråstilte platen opp og ned kun 1 gang ved filmens begynnelse, slik at det genereres en bølgepuls i venstre ende av bølgerenna. På filmen befinner vi oss langt til *høyre* i bølgerenna, med stille vann i begynnelsen.

- Legg merke til at det er *lange* bølgelengder som først ankommer det filmede området. Du kan se tydelig bølgebevegelse etter ca 4 sekunder (dvs ca 16 sekunder av filmen, som går i kvart tempo). Avstanden fra plata, der bølgepakken genereres, til den grønne stange med skruer og mutre i venstre billedkant er 3.5 m, til den grå stanga bak bølgerenna og inntil bordet er det 4.3 m. Ser du *nøye* etter, vil du se bevegelse i overflaten ved den grønne stanga etter 14 filmsekunder, dvs etter 3.5 s "real time". Denne langbølgede delen av den genererte bølgepulsen har med andre ord forplantet seg med en gruppehastighet $v_g \simeq 1$ m/s. Siden $v_g = \sqrt{g/4k} = \sqrt{g\lambda/8\pi}$, tilsvarer dette en bølgelengde omkring $8\pi/g \simeq 2.6$ m. Ikke urimelig, siden det betyr at det er ca 1/3 bølgelengde fra den grønne til den grå stanga (0.8 m). Og ser du på bølgebevegelsen mellom 14 og ca 20 (film-)sekunder, får du kanskje inntrykk av at dette kan være omtrent riktig.
- Legg videre merke til at det ankommer *kortere og kortere* bølgelengder etter hvert som tiden går. Etter 40 filmsekunder, dvs 10 s real time, vil jeg anslå at bølgelengden er ca 1 m. Teorien sier at denne delen av bølgepakken har en gruppehastighet $\sqrt{9.8 \cdot 1/8\pi} \simeq 0.6$ m/s. Dette stemmer brukbart med en tilbakelagt avstand på ca 4 m i løpet av 10 s, dvs gruppehastighet ca 0.4 m/s. (Anslått verdi for $\lambda$ er nok temmelig usikker.) Etter dette avtar bølgens amplitude, slik at det er enda vanskeligere å estimere typiske bølgelengder, men du får nok et inntrykk av at gruppehastigheten avtar med redusert bølgelengde.

P1010184.MP4 viser et kontinuerlig bølgetog, dvs plata i venstre ende av bølgerenna står på og genererer bølger kontinuerlig. (Bølgene dempes med et mykt skråplan helt i høyre ende av bølgerenna, slik at forholdsvis lite bølgeenergi reflekteres tilbake.)

- Du kan pause filmen ved f.eks 4 filmsekunder, dvs 1 s real time. Da ser du at bølgelengden er ca 0.4 m. (Siden det er plass til ca 2.5 hele bølgelengder på den hvite meterstaven.) Hvis du følger en bølgetopp og stopper filmen når den har beveget seg 1 m, vil du finne at dette tar ca 5 filmsekunder, dvs 5/4 s real time. Da er *fasehastigheten* målt til ca 0.8 m/s. Dette stemmer godt med teorien, som predikerer $v_f = \sqrt{g/k} = \sqrt{g\lambda/2\pi} = \sqrt{9.8 \cdot 0.4/2\pi} \simeq 0.8$ m/s.

Institutt for fysikk, NTNU 29.10.2014

Jon Andreas Støvneng