

Vindmøller sommer og vinter - breddeopgave nr. 100 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Her bringes løsninger og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af Kvant var denne breddeopgave (nr. 100 i rækken her i Kvant):

Breddeopgave 100. Vindmøller sommer og vinter

Vindmøllers strømproduktion afhænger ikke kun af, hvor meget det blæser, men også af, hvor koldt det er. Hvor stor er den procentvise forskel mellem produktionen en kold vinterdag og en varm sommerdag i Danmark med samme vindstyrke? Begrund svaret.

Løsning

Vindmøllers strømproduktion er proportional med den kinetiske energi i den luft, der per tidsenhed strømmer imod dem, når de er rettet imod vinden. Det volumen luft, der strømmer imod en vindmølle per tidsenhed, er givet ved møllevingernes overstrygningsareal A gange vindhastigheden v . Dets kinetiske energi er $\frac{1}{2}\rho Av^3$, hvor ρ er luftens massefylde. Vindmøllers strømproduktion er altså proportional med luftens massefylde.

Luftens massefylde er større om vinteren end om sommeren. Ifølge luftarternes idealgasligning med sædvanlige betegnelser, $pV = nRT$, og M for molmassen af luft, har vi:

$$\rho = nM/V = Mp/RT. \quad (1)$$

Da M og R er konstanter uafhængige af, om det er sommer eller vinter, og p kan antages konstant, er ρ altså omvendt proportional med T :

$$\frac{\rho_{\text{vinter}}}{\rho_{\text{sommer}}} = \frac{T_{\text{sommer}}}{T_{\text{vinter}}}. \quad (2)$$

Da den absolutte temperatur i Danmark størrelsesordenmæssigt er 300 K, og temperaturforskellen mellem sommer og vinter i Danmark størrelsesordenmæssigt er 30 K, er vindmøllers strømproduktion med samme vindhastighed i Danmark af størrelsesordenen 10% større om vinteren end om sommeren.

Kommentar

Jeg tænker, at løsningen af opgaven, som jeg har skitseret den her, falder de fleste af Kvants læsere ligetil. Den er ikke i den svære ende af breddeeksamensopgaverne. Den

blev stillet til eksamenen efter kurset Fysisk problemløsning I på bachelordelen af RUC's fysikuddannelse. Alligevel gør den åbne formulering af opgaven, at den ikke er så lige til for de studerende. Skal der søges efter svar i elektricitetslære, mekanik, aerodynamik, termodynamik eller? Hvordan kan temperaturen spille en rolle for effekten af vindmøller? Hvad kan der tænkes at komme på tale? Virkningsgraden af dynamoen i vindmøllen? Vingernes længdeudvidelse? Vindens tryk på vingerne? Eller?

Eksperter er ikke folk, der har paratviden om specifikke problemer, de får forelagt, men folk der, i forhold til en type af problemer, er i stand til at takle dem, selv når de ikke har umiddelbar paratviden om dem. Noget i den stil erindrer jeg at have set forskere i kognition citeret for. Tilsvarende er de erklærede formål med kurserne Fysisk problemløsning I og Fysisk problemløsning II på RUC, ganske vist sekundært at lære de studerende fysik i bredden, men primært at lære dem "at tænke som fysikere". Det er grunden til vores valg af opgavetype og eksamensform.

De studerende er uvante med fysikkurser af en induktiv karakter som problemløsningskurserne. For at invitere dem ind i projektet, plejer jeg at sammenligne undervisningen med svømmeundervisning. Man kan selvfølgelig godt instruere folk, der ligger på en taburet, i specifikke svømmebevægelser. Men for rigtig at lære at svømme må man hoppe i vandet. Her viser al erfaring, at de fleste lærer at svømme ved at træne og øve sig, selvom det er svært, grænsende til det umulige, at kortlægge i detaljer, hvordan det lykkes. Tilsvarende skal samlingen af breddeopgaver fra tidligere eksaminer fungere som svømmevandet, medens lærebogen har taburetrollen.

Nogen overordnet vejledning kan man dog give, udover at øvelse gør mester. Fx plejer jeg at referere ovenstående karakteristik af eksperter. Og at jeg, med mig selv som eksempel på en fysikekspert, sjældent går den lige vej til svaret på en breddeopgave formuleret af en af de andre lærere på kurserne. Hvis det nu ikke var mig selv, der havde formuleret opgaven om vindmøller sommer og vinter, så havde jeg måske kløet mig i nakken. Kan der overhovedet være tale om forskel i produktivitet sommer og vinter? Det har jeg aldrig hørt om. Hvad med dynamoen i vindmøllerne? Nej, effektiviteten af køleskabe og dampmaskiner afhænger af omgivelsernes temperatur, men det samme gælder

ikke for maskiner, der omsætter mekanisk energi til elektrisk energi. Hvis temperaturen skulle have en indvirkning via fx varierende gnidning, er det en lille indvirkning. Hvad med vingernes længdeudvidelse? Det vil jo give et større overstrygningsareal og dermed en større strømproduktion om sommeren end om vinteren. Men, nej! Effekten er der, men den må være lille. Den relative længdeudvidelse fra vinter til sommer er beskeden. Hvad med vindens tryk på vingerne? Det afhænger af vindhastigheden. Men den er jo forudsat ens sommer og vinter. Så nej. Hov vent lidt. Det afhænger jo også af luftens massefylde. Ja, det må betyde noget. Ud fra idealgasligningen må jeg kunne vurdere, hvor stor massefyldeændringen fra sommer til vinter er. Så mangler jeg kun ved en energibetragtning at finde, hvordan strømproduktionen afhænger af luftens massefylde. Lad mig nu se ...

Jeg plejer at opsummere min erfaring med problemløsning med, at det kræver både speeder og bremse. Speederen er den proces, der genererer indfald og hypoteser. Bremsen er den proces, der luger de forkerte ideer ud. En ekspert kan få ni gale indfald, før der nås frem til det 10'ende indfald, som består den nødvendige trykprøvning. Og det er noget helt andet end at have svar på rede hånd.

Videnskabsfilosoffen Karl Popper skelner mellem "context of discovery" og "context of justification" i sammenhæng med ny-opdagelser. Det er "context

of justification", han som filosof via falsifikationstests beskæftiger sig med, medens "context of discovery" overlades til psykologerne. Forkastelse af ideer er et spørgsmål om facts og logik. Derimod er det logisk set svært gennemskueligt, hvad der fører til fremkomsten af nye ideer.

Overført til løsningen af breddeopgaver svarer min "speeder" til "context of discovery" og min "bremse" til "context of justification". Bremsen kan gennemskues. Og der kan til en vis grad instrueres i at bruge den. Vi kan forkaste et resultat ved kontrol af fx dimensioner, grænsetilfælde, størrelsesorden og fysikeftertanke. Speederen er sværere at gennemskue og instruere i. Den afhænger af mønstergenkendelse, dialektik og associationer, som på uklar vis hænger sammen med det mentale lager af forudgående erfaringer og tanker. Der må i højere grad henvises til, at "øvelse gør mester".

Breddeopgave 101. Ventilator

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra eksamen juni 215, nr. 101 i rækken her i Kvant):

Hvordan afhænger effektforbruget af en ventilator med en roterende propel af dens diameter og dens rotationsfrekvens? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.

Nyt fra SNU

Uddeling af H.C. Ørstedmedalje til "Unge Forskere"-tovholder

SNU har den 5. december 2022 tildelt H.C. Ørstedmedaljen i bronze for inspirerende undervisning i naturvidenskab til lektor Lisbeth Tavs Gregersen, Thisted Gymnasium. Med medaljen og æren følger et rejselegat på 25.000 kroner samt 50.000 kroner til et projekt på Thisted Gymnasium sponsoreret af energiselskabet Ørsted.

I motivationen for tildelingen sagde SNU's præsident Anja C. Andersen, at Lisbeth er en blændende lærer, som supplerer sin undervisning med computersimulationer og forsøg, der kan inspirere eleverne. Hun har for begge sine faggrupper været et omdrejningspunkt for skolens indsats for at højne interessen for de naturvidenskabelige fag. Hun har været med til at etablere et laboratorium i skolens hytte i Nationalpark Thy, så noget af den naturvidenskabelige undervisning kunne flytte ud i naturen. Lisbeth er skolens tovholder på projektet "Unge Forskere", og hun blev sammen med en kollega udnævnt til "Årets lærerteam" på Thisted Gymnasium, som vandt Årets Forskerskolepris i både 2019 og 2022. Hun motiverer flere elever til at deltage i naturvidenskabelige konkurrencer ved at inddrage forberedelserne i undervisningen, men hun kommer ikke med idéerne til elevernes konkurrencebidrag – hun

fungerer kun som konsulent, og eleverne elsker hende også for den form for undervisning.



Figur 1. Modtageren af årets H.C. Ørstedmedalje i bronze, Lisbeth Tavs Gregersen fra Thisted Gymnasium, fortæller om sin undervisning. Foto: Jens Olaf Pepke Pedersen.

Lisbeth Tavs Gregersen har også skabt samarbejde med lokale virksomheder samt bidraget til et bioteknologisk samarbejde med skoler fra seks andre europæiske