



Kapitel 6. Modellering i engineering

I dette kapitel belyser vi hvordan engineering har modelbegrebet og modellering som central proces, ligesom det er i naturfag og matematik.

Engineering-didaktikken består af følgende kapitler:

- Kapitel 1. Læsevejledning
- Kapitel 2. Engineering - en faglighed i skolen
- Kapitel 3. Engineering i STEM
- Kapitel 4. Engineering - hvad er det?
- Kapitel 5. Engineering-kompetencer
- Kapitel 6. Modelling i engineering**
- Kapitel 7. Den gode engineering-udfordring
- Kapitel 8. Lærers rolle, stilladsering og evaluering
- Kapitel 9. Design et engineering-forløb
- Kapitel 10. Engineering og andre undervisningstilgange

Du kan finde alle kapitler på engineeringiskolen.dk

Engineering i skolen – hvad, hvordan, hvorfor

Revideret udgave, 2022

Forfattere: Suzie Auner, Peer Schrøder Daugbjerg, Keld Nielsen, Simon Olling Rebsdorf, Martin Krabbe Sillasen og Mads Joakim Sørensen

Redaktion: Martin Krabbe Sillasen og Mads Joakim Sørensen

Grafik & layout: Grethe Kofoed og Anne Dorte Spang-Thomsen

ISBN: 978-87-994359-5-1

Didaktikken udgives af Engineer the Future og VIA University College i samarbejde med Københavns Professionshøjskole og Astra.

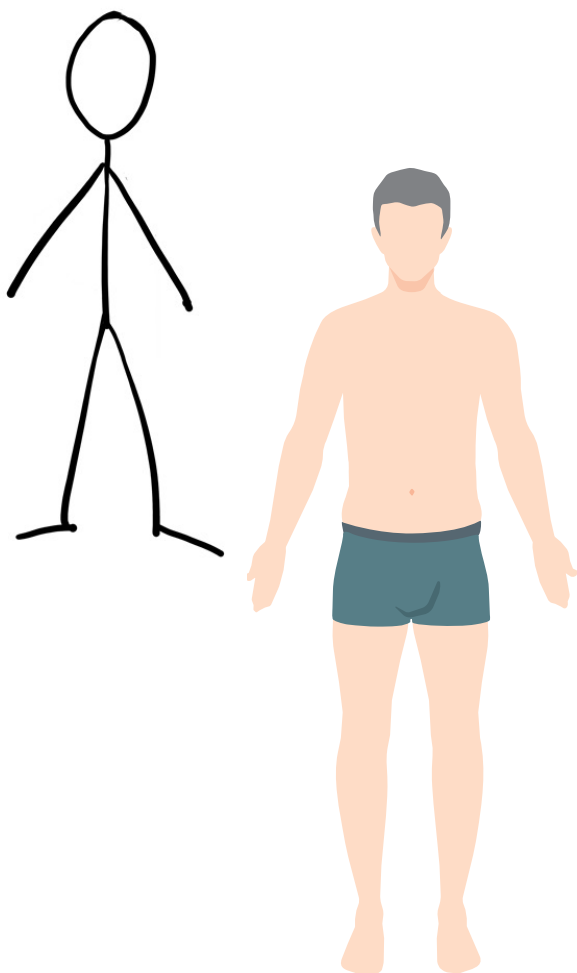
Didaktikken er revideret og udgivet med støtte fra VILLUM FONDEN under Engineering i skolen.

Tak til lærerne Anna Hermannsen, Per Milling, Lotte Kold Thorup, Nina Gjetterman og Hanne Grøn for afprøvning og feedback under arbejdet med at revidere engineering-didaktikken og for at bidrage med eksempler fra egen engineering-praksis.

Tak til læreruddannere på professionshøjskolerne for frugtbare diskussioner, der har bidraget til at kvalificere engineering-didaktikken.

6. Modellering i engineering

Når man arbejder med engineering eller andre design-processer, spiller modeller og modellering en central rolle. Når der skal udvikles nyt, starter det oftest som en ide. For at blive til noget konkret skal denne ide udvikles i en modelleringsproces, som fx begynder med visualisering gennem skitser og tegninger, som vi her vil omtale som modeller. I dette kapitel skulle det gerne blive klart, hvorfor det er vigtigt for læreren at holde fast i, at kodeordet er "model", og hvorfor elevernes tegninger bør betragtes som modeller.



Figur 6.1: En model er en forenklet repræsentation af en ide, en proces eller en genstand. En tegning af en tændstikmand kan være en model af en mand eller en dreng.

Når man arbejder med engineering i skolen, er det derfor nødvendigt at fortolke begrebet "en model" og "modelle-ring" meget bredt. Fx er en tegning af en tændstikmand en model. Den viser, hvordan genstanden har to arme, en krop, et hoved osv., og hvordan delene er anbragt i forhold til hinanden. Og hvis elever bruger en simulering til at modellere et elektrisk kredsløb, kan de få en forståelse for sammenhængen mellem elektronernes vandring og energi-omsætning i fx en lampe.

Selv om modeller og modellering stort set er det samme i engineering og i naturfag, vil der være forskel på, hvordan de anvendes som en del af undervisningen.

Modeller har en central rolle i engineeringundervisning, da modellering understøtter de faser, hvor eleverne udvikler og deler ideer. Det mest almindelige vil være, at de modeller, eleverne bruger, er simple skitser eller billeder. Når gruppen har opnået tilstrækkelig afklaring, bliver de enige om, hvilken ide de vil gå videre med.

I engineering er modeller altså konkrete redskaber, som bruges i en proces, der skal sikre, at alle i gruppen har (nogenlunde) ens forestillinger om, hvad de forskellige ideer går ud på. Modeller er dermed et redskab til, at alle i gruppen har nogenlunde samme opfattelse af, hvilken prototype de vælger, når de vælger en enkelt ide ud: Hvordan prototypen skal se ud, hvordan den skal fungere, og hvad den skal kunne.

Modeller af enhver art, som gruppen frembringer i del-processerne, er artefakter, der understøtter den interne kommunikation. Uden modeller kan gruppens medlemmer ikke kommunikere konkret om ideer, forslag og løsninger. Engineering-processen indeholder blandt andet en konkretiseringsproces, hvor den faglige dialog i gruppen kan modereres gennem modellering. Derved omsættes ideen til konkrete forslag og løsninger på udfordringen. Dette er med til at gøre modelbegrebet centralt i engineering-processen, netop fordi det mål, man arbejder hen imod, er konkret og bedst diskuteres med udgangspunkt i noget konkret.

6.1 Flere slags modeller

I afsnit 6.2 beskriver vi gennem et eksempel, hvordan modeller fungerer i engineering. Eksemplet bygger på en teori om, at læring foregår, ved at den lærende udbygger, forfiner og stabiliserer sine mentale modeller. Teorien kaldes the Model Based View of Science.

I eksemplet i afsnit 6.2 skelnes mellem forskellige typer af modeller. Det er ikke tanken, at eleverne skal lære navnene på de forskellige modeller, eller at de nødvendigvis

får noget ud af at lære at skelne mellem dem. Tanken med eksemplet er, at det kan være en hjælp for læreren at have øje for de ret forskellige funktioner, som modellerne har, og at der er et kontinuum af modeller, som rækker fra elevernes egne simple engineering-modeller til raffinerede naturfaglige modeller.

Undervejs refereres til delprocesserne i Engineering designprocessen som er beskrevet i kapitel 4.

6.2 Modeller og modellering i naturfag – en vindmølle

Hvis en gruppe har fået en udfordring, der går ud på at fremstille elektricitet på et sted, hvor det blæser meget, kommer ideen om en vindmølle hurtigt på bordet. Det mest sandsynlige vil være, at hver elev derefter fremkalder en (vag og upræcis) indre forestilling om, hvilken slags vindmølle de eventuelt kan bygge.

De indre forestillinger, som en elev danner om de møller, der nu bliver talt om i gruppen, er elevens meget ufærdige tankemodeller af en mulig vindmølle. Før eleverne begynder at tegne eller demonstrere med små tredimensionelle modeller, tager de udgangspunkt i denne tankemodeller, når de forklarer, hvad deres ide går ud på. Under diskussionen i gruppen udbygger og justerer hver elev sin tankemodeller ved at lytte til de andre og stille spørgsmål. Da tankemodeller er individuelle og skjulte, skal modellerne gøres synlige og fælles, for at gruppen kan komme videre.

På et tidspunkt vil en elevs tankemodeller være så afklaret og robust, at den kan udtrykkes mere konkret gennem en

skitse, et billede eller en lille fysisk model. Eleven laver sin egen personlige modelleringsproces. Hvordan eleven end vælger at illustrere sin ide over for resten af gruppen, så er der tale om en konkretisering af tankemodellen. Eleven har lavet en *udtrykt model* (se figur 6.2).

Både i *Få ideer*, *Undersøge*, *Konkretisere* og *Konstruere* bruger eleverne udtrykte modeller, når de skal tale sammen og forklare hinanden, hvad de mener. Ved at udtrykke sig sprogligt deler de deres model med de andre elever. Og ved at lytte til gruppens medlemmer og studere de udtrykte modeller arbejder eleverne hver især med at justere deres egen tankemodeller i retning af det, de andre mener. I løbet af samtalen i gruppen udvikler elevernes forskellige tankemodeller sig (forhåbentlig) i samme retning – hen imod det, der kan blive ideen til prototypen. Derfor har modelleringsprocessen og modeller en afgørende og absolut central rolle i engineering, ligesom modellering og modeller generelt har i designprocesser.



Figur 6.2: En elevs udtrykte model af en vindmølle. Inden modellen (skitsen) evt. kan blive en arbejdstegning, fungerer den som et redskab til at skabe fælles forestillinger om denne vindmølleide i gruppen.



Figur 6.3: En afledt model af en vindmøllevinge. Måske har gruppen besluttet at forsøge at optimere deres vindmølle ved at give vingerne en egentlig profil, men de er løbet ind i konstruktionsproblemer. Derfor har de lavet denne model.

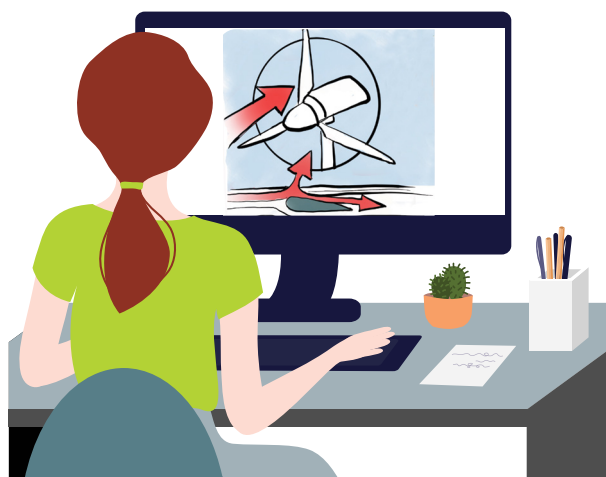
Når gruppen er i gang med delprocesserne *Konstruere* eller *Forbedre* og altså har en færdig eller næsten færdig prototype, kan modeller få en ny rolle. I denne del af arbejdet vil tegninger, diagrammer og fysiske modeller mere være et redskab, der bruges til fælles analyse i forbindelse med delprocessen *Forbedre*. En model kan sætte fokus på særlige design- eller optimeringsproblemer, som udspringer af den prototype, gruppen arbejder med. En sådan model kan man kalde en *afledt model*, fordi den er afledt af den konkrete prototype (se figur 6.3).

I de indledende delprocesser er modeller altså redskaber til, at eleverne gennem samtale og skitsering justerer deres tankemodeller og opnår afklaring i gruppen. Modellerne afbilder noget, der ikke eksisterer endnu – andet end som modeller.

Efterhånden som arbejdet og diskussionen skrider frem, bliver modellen en repræsentation af prototypen. Elevernes tegninger, deres modeller og deres kommunikation om dem er centrale for at give samarbejdet fokus. Men hvis eleverne går videre fra *Få ideer* uden at have "delt" den samme model og hver især har skabt tankemodeller, som afviger væsentligt fra hinanden, får de en ufokuseret proces. De vil nemlig ikke have et fælles billede af, hvad de vil arbejde hen imod. Dette punkt i engineering designprocessen er derfor helt afgørende.

I forbindelse med konstruktionen af deres prototype kan eleverne få brug for at forstå den bedre: Hvorfor opfører prototypen sig, som den gør, og hvad skal der til for at gøre

den bedre? Her får eleverne typisk brug for naturfaglige modeller og måske at lave matematisk modellering, der repræsenterer træk ved prototypen, som eleverne mener er væsentlige at fremhæve eller undersøge. De kan også bruge naturfaglige eller matematiske modeller, når de skal forklare for andre, hvordan prototypen eller løsningen virker.



Figur 6.4: Naturfaglig model af en vindmølle. Modellen er ikke lavet for at udvikle prototypen, men for at kunne illustrere, hvordan den virker: Hvorfor får luften vingerne til at dreje rundt?

Det kan være vanskeligt for elever selv at lave naturfaglige og matematiske modeller. Selv om sådanne modeller kan se simple ud, rummer de ofte summen af mange videnskabsfolks arbejde gennem mange år. Tag fx illustrationen i figur 6.4 af, hvordan vinden strømmer omkring en vindmøllevinge med den velkendte vingeprofil. Det tog flere generationer af ingeniører og videnskabsfolk at nå frem til denne forståelse af løft og sug omkring en vinge med buet overflade, og der var mange misforståelser og forkerte forklaringer undervejs. Det tog fx Wright-brødrene 3-4 år at udvikle den rette vingeprofil til deres første flyver, som fløj i 1903.

Den forståelse er ikke noget, eleverne lige selv finder på. Derfor kan de være nødt til at gå tilbage til delprocessen *Undersøge* og i bøger eller på nettet finde forklaringer og modeller, der kan belyse og forklare visse træk ved deres prototype ved hjælp af naturfaglig viden. Eleverne kan også hjælpes på vej gennem lærerens stilladsering af deres arbejde.

En særlig form for modellering er animationer og simulationer, der kan bruges til at vise dynamiske aspekter af en prototypes virkemåde eller bruges til at forklare, hvordan prototypen virker.

6.3 Matematisk modellering og engineering

I det følgende beskriver vi, hvordan matematik efter vores opfattelse kan komme i anvendelse i forbindelse med engineering. Hovedpointen er, at når matematik anvendes for at løse et konkret problem, er der tale om matematisk modellering. Modellering er nøglen til at bringe matematik i brug som et redskab ved problemanalyse, problembeskrivelse og problemløsning. Med andre ord kan alle matematiske kompetencer trænes i engineering-aktiviteter ved at tage udgangspunkt i matematisk modellering af en engineering-udfordring. Det vil vi i dette afsnit forsøge at overbevise læseren om.

I engineering beskæftiger eleverne sig altid med at finde en konkret løsning – noget, man kan røre ved eller gøre noget med. Men tilsyneladende gælder det modsatte for matematik: De matematiske symboler og tilknyttede regneoperationer, som matematik beskæftiger sig med, findes ikke i virkelighedens naturskabte verden, kun i matematikkens formelle og abstrakte univers.

Hvad siger faghæftet om matematisk modellering?

Faghæftet for matematik forholder sig kort og klart til dette forhold mellem det matematisk abstrakte og det fysisk reelle ved at pege på modelleringens rolle i forbindelse med matematik:

Modellering vedrører processer, hvor matematik anvendes til behandling af situationer og problemer fra omverdenen, og det vedrører analyse og vurdering af matematiske modeller, som beskriver forhold i omverdenen. (Matematik Læseplan, 2019 s. 13¹).

Det vil sige, at hver gang matematikundervisningen handler om andet end matematik selv, er der tale om modellering.

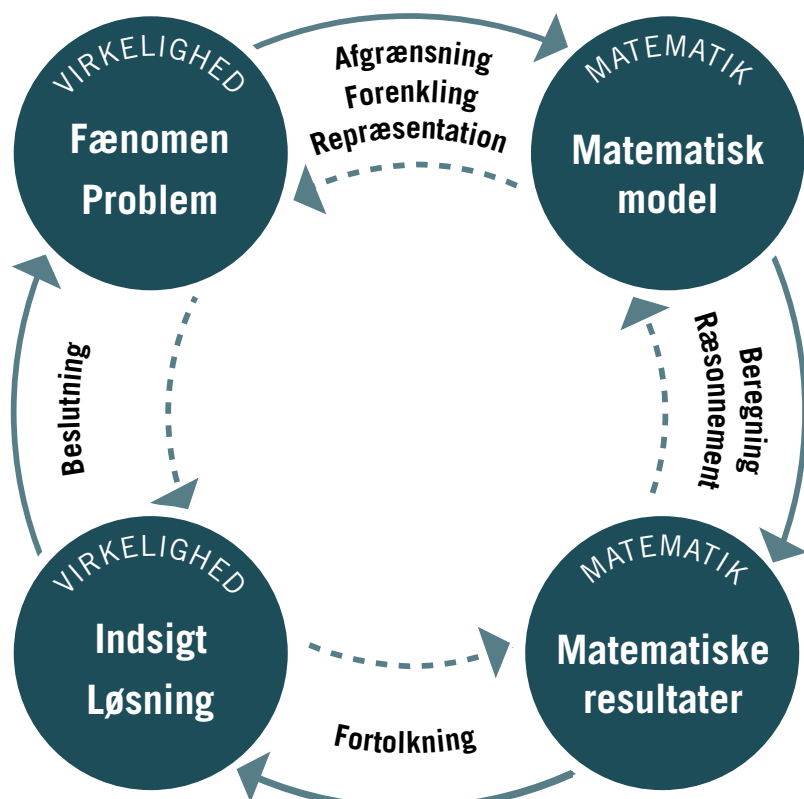
Faghæftets klare skelnen mellem matematik og matematisk modellering er ikke uden problemer, især fordi der i undervisning i matematik ikke er nogen stærk tradition for denne skelnen.

Derfor er det nødvendigt at overveje lidt mere formelt, hvad der sker, når man modellerer.

Illustration af den matematiske modelleringsproces

Den matematiske modelleringsproces kan illustreres ved et diagram som i figur 6.5. Det centrale består i at komme fra et fænomen i virkeligheden til beskrivelsen af fænomenet gennem de matematiske repræsentationer, der samlet udgør modellen, og derefter tilbage igen. Når man har omsat virkeligheden til en matematisk model, kan den matematiske behandling af problemet efterfølgende foregå inden for matematikkens egne rammer med de dertil hørende symboler, regler og stringens.

¹ https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/GSK_Læseplan_Matematik.pdf



Figur 6.5: Matematisk modellering er en proces som på figuren her er illustreret gennem en række faser. Faserne er indbyrdes afhængige og de fuldt optrukne pile angiver den fremadrettede sammenhæng. De stiplede pile angiver, at det undervejs i processen kan være nødvendigt at vende tilbage til en tidligere fase fx hvis resultatet af en matematisk beregning ikke er brugbar til løsningen. Model venligst stillet til rådighed af Systime.

Modellering inkluderer – ud over selve modelleringskompetencen – typisk andre matematiske kompetencer. Afgrænsning af problemet og oversættelsen fra virkelighed til matematik omfatter kommunikations-, repræsentations- og symbolbehandlingskompetencer. Den matematiske løs-

ning af problemet involverer problembehandlingskompetence og fx ræsonnements- og hjælpemiddelkompetence, mens oversættelsen tilbage til virkeligheden, modelkritik samt præsentation af løsningen bl.a. involverer kommunikations- og repræsentationskompetence.

6.4 Engineering-modeller og den naturfaglige og matematiske modelleringskompetence

Der er ingen modsætning mellem, hvordan modeller italesættes og bruges i engineering, og i naturfags- og matematikundervisningen. Derfor kan det være et ideal, at eleverne oplever en slags glidende overgang fra den ene type af modeller til den anden: fra modeller, de selv fremstiller som en del af den designproces, de skal gennemføre, til forklarende modeller, der fremhæver et eller flere træk ved deres løsning.

Som eksempel viser aerodynamikkens historie – som antydnet ovenfor – at det var meget vanskeligt at nå frem til, at tegne den usynlige luft som streger, når man vil vise, hvor der skabes tryk og undertryk (Se computerskærmen på figur 6.4). Umiddelbart kunne man vel også synes, at stregerne er en vanvittig ide, som kun kan føre til misforståelser. Men det er en ide, som vi har vænnet os til at

se i mange fysikbøger, så måske synes vi ikke mere, at stregerne er konstraintuitive. Men det er en ret vild model af luftstrømninger, og det kræver komplicerede matematiske modeller at kunne beregne luftstrømninger omkring en vindmøllevinge.

Man kan håbe på, at en gruppe elever, der selv har været gennem udfordringer med at *Præsentere* deres ideer gennem brug af modeller, vil have større forståelse for, hvorfor det på den ene side er skørt at tegne luft som tykke streger, men på den anden side er enormt smart. At eleverne gennem deres eget arbejde med modeller får en bedre forståelse af, at modellers egentlige styrke er, at de kan udformes temmelig frit. At man har frihed til at forme en model, så den udtrykker det, man i en given sammenhæng har brug for at demonstrere eller forklare.

Engineering i skolen er et samarbejde mellem Engineer the future, VIA University College, Københavns Professionshøjskole og Astra, finansieret af VILLUM FONDEN.



VIA University
College

KØBENHAVNS
PROFESSIONS
HØJSKOLE



astra*

VILLUM FONDEN

