

# Materialvalg

## - fra en produktdesigners ståsted

av Ingrid Bouwer Utne, Institutt for Produktdesign, NTNU, 14.10.02

### Sammendrag

Artikkelen omhandler materialvalg hos ingeniører, industridesignere og produktdesignere. Ingeniører og industridesignere har en ulik tilnærming til materialvalg. Produktdesigneren er utdannet sivilingeniør med fordypning i produktutvikling og design, og befinner seg dermed midt i mellom ingeniøren og industridesigner. Det kan derfor være vanskelig for produktdesigneren å anvende materialkunnskapen på en effektiv måte.

I innledningen gir artikkelen en kort historisk oversikt over materialvalg og design. Siden den industrielle revolusjon har det skjedd en enorm utvikling i materialteknologi. I hoveddelen beskrives Mike Ashbys anerkjente materialvalgsmetode. Dataprogrammet CES, Cambridge Engineering Selector 4.0 (Educational version), vurderes og kan være et nyttig redskap i en materialvalgssituasjon. Deretter diskuteres synspunkter på materialvalg fra industridesigntradisjonen, som har et mer holistisk perspektiv på materialvalg enn ingeniørvitenskapen. Avslutningsvis vurderer artikkelen nytteverdien av CES for produktdesigneren og hva som eventuelt kan gjøres for å hjelpe produktdesignstudenten til å oppnå bedre materialkompetanse.

### Nøkkelord

Materialvalg, materialegenskaper, Cambridge Engineering Selector 4.0, industridesign, produktdesigner

## Innledning

Da mennesket begynte å lage redskaper og objekter for ca. 500,000 år siden [1] var det hovedsakelig fem materialer å velge mellom: Tre, stein, bein, horn og lær. I yngre steinalder, for ca. 10,000 år siden, ble også leire, ull og plantefiber brukt. Bronsealderen og jernalderen ga mennesket kunnskap og mulighet til å utnytte metaller til å lage bedre redskaper og produkter [2]. Men det var først etter den industrielle revolusjon at utviklingen av nye materialer for alvor skjøt fart [3]. Det finnes mellom 40,000 og 80,000 materialer i dag [4]. Nye materialer kommer stadig på markedet. Det kan derfor være vanskelig å ha oversikt over hvilke materialer som er tilgjengelige til enhver tid, og hvilke egenskaper de ulike materialene har.

Materialvalg svært viktig fordi materialet både gir muligheter og begrensninger i produktutviklingen. Produktutviklingsprosessen kan være kompleks og involvere mange ulike faggrupper og interesser [5]. Produktutviklingsprosessen er iterativ og

består av ulike stadier. Hvert stadium krever avgjørelser om materialer, fra hvilket materiale produktet skal lages av til hvordan produktet skal fremstilles. Utvikling av materialer kan føre til at nye produkter oppstår. Men ofte bestemmes materialvalget på bakgrunn av design eller behov.

Produktdesignere er sivilingeniører som utdannes ved Institutt for Produktdesign, Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Produktdesigneren får kunnskap om materialer både fra ingeniørvitenskapen og fra industridesign. Denne kunnskapen kan være vanskelig å håndtere i en mer helhetlig sammenheng fordi utdanningen blander sammen lærdom fra to forskjellige fagretninger.

Artikkelen tar for seg materialvalg på bakgrunn av professor Mike Ashbys anerkjente materialvalgsmetode og materialvalg for industridesignere. Programmet CES 4.0 (Educational version)- The Cambridge Engineering Selector- vurderes med henblikk på nytteverdi for en produktdesigner. Siden antall

materialer som er tilgjengelige i dag er enormt, hvordan er det da mulig for en produktdesigner å velge riktig materiale?

## Hva er design?

Design som begrep brukes i dag i svært ulike sammenhenger. Hvert eneste produkt, fra en nydelig lysteme til en girkasse i en bil, kan kalles design. For noen er naturen det guddommelige design, for andre er naturen et resultat av naturlig seleksjon [4]. Opprinnelig kommer ordet design fra italiensk- disegno- skisse, tegning, noe som beskriver ideen for et arbeid. I England i det 16. århundre ble design brukt som ”En plan over noe som skal realiseres” [6]. I artikkelen brukes ordet design i betydning den planlegging og prosess som skal til for å transformere en ide til et industriprodukt.

## Materialvalg for ingeniører

Materialvalg kan foretas ved å se på ulike materials egenskaper. Materialeegenskaper kan inndeles i kjemiske, fysiske, mekaniske og dimensjonsegenskaper slik som i figur 1 [7].

De viktigste ønskede egenskaper identifiseres og sammenliknes med egenskapene til eksisterende materialer. Dette gjøres ved å lage en oversikt over mulige materialvalg, for så å rangere den enkelte kandidat. Deretter søkes det etter mer detaljert informasjon før man finner det materialet som tilfredsstillter flest funksjonskrav. Det endelige materialvalg vil ofte avhenge av den ekspertise og det utstyr som finnes i bedriften eller i umiddelbar nærhet [4].

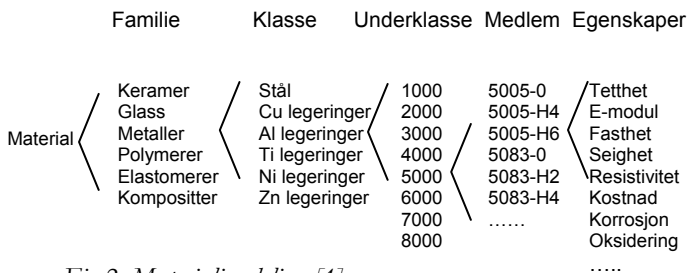


Fig 2: Materialinndeling [4]

Figur 2 viser hvordan materialer kan deles inn i familier, klasser, underklasser og medlemmer. Hvert medlem karakteriseres av dets egenskaper. Et eksempel er familien ”metaller” som inneholder aluminiumlegeringer generelt med ulike underklasser.

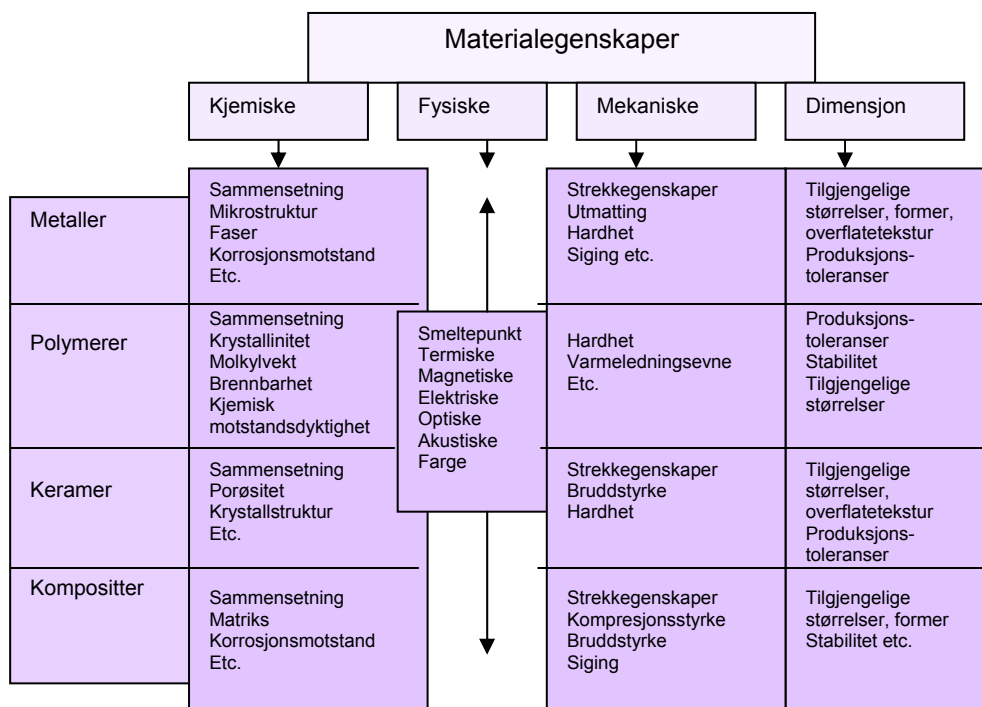


Fig 1: Materialeegenskaper [7]



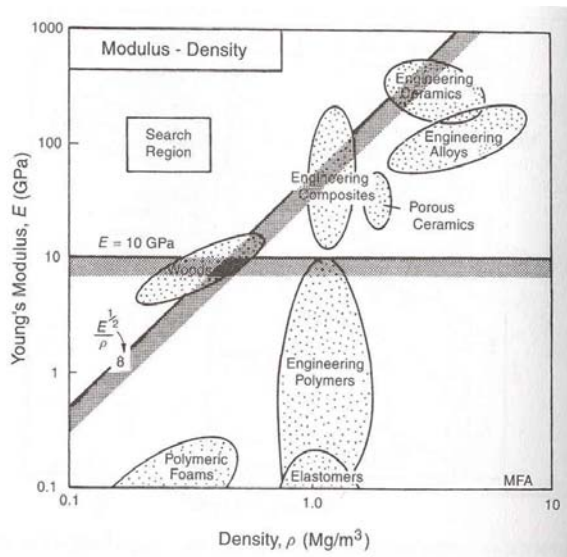


Fig 4: Materialvalgsdiagram med indeks  $M = E^{1/2} / \rho$  og  $E > 10 \text{ GPa}$  [4]

I figur 4 vises et tilfelle der  $E > 10 \text{ GPa}$ . Dermed fås et begrenset utvalg av materialer i diagrammet som faller innenfor de gitte kriteriene [4].

## Form

Formen til et objekt kan påvirke dets egenskaper og dermed materialvalget. I slike tilfeller må det defineres "form- faktorer" [4]. En formfaktor  $\varphi$  er et tall som angir virkningen når en form er variabel. Strekkstag tar opp strekkrefter, bjelker bærer bøyemoment, en aksel tar opp torsjonsmoment, mens søyler bærer trykklast i aksiell retning.

Ved aksialspenning er tverrsnittet viktig, men formen uvesentlig, fordi alle tverrsnitt i det samme området tar opp den samme lasten. Ved utbøyning er hule bjelker eller I- bjelker bedre enn massive bjelker med samme tverrsnitt. Torsjonsmoment tas bedre opp av sylindriske rør enn av massive- eller I- formede tverrsnitt. Det finnes fire ulike formfaktorer (Appendiks A) [4].

Den beste material- form kombinasjonen for en lett bjelke med en viss bøyestivhet, gir høy materialindeks

$$M_1 = ((E^{1/2} \varphi^c_B) / \rho).$$

Et "case" studium finnes i appendiks B.

Materialindeksmetoden baserer seg på materialvalg der målet for eksempel er å minimere vekt for en bjelke. Men ofte vil materialvalget være en avveining mellom motstridende hensyn; at bjelken skal både være så lett og billig som mulig. Det finnes ulike metoder som kan brukes i slike tilfeller.

En måte å løse problemet på er å fokusere på målet med materialvalget. Deretter finner man begrensningene. Ved å la den ene variabelen være fri mens de andre fastlåses, fås de tilhørende materialindeksene. Indeksene rangeres i forhold til viktighet. Deretter finner man materialer som tilfredsstiller indeksene på best mulig måte [4].

Å bruke vektning er en annen metode.

Materialindeksene identifiseres. Fordi indeksene ofte måles i ulik enhet, divideres de på den største indeksen,  $M_{i(\max)}$ . Deretter multipliseres hver indeks med en vektfaktor  $w_i$  som uttrykker dens relative viktighet for komponenten. Dermed fås en vektet indeks,  $W_i$  [4]:

$$W_i = w_i (M_i / (M_i)_{\max})$$

For de egenskaper som ikke så lett uttrykkes ved hjelp av numeriske verdier, kan en skala fra  $A=5$  til  $E=1$  brukes.  $A$  er svært bra, mens  $E$  er svært dårlig. For egenskaper som skal minimeres, brukes  $M_{i(\min)}$ . Det beste materialvalget vil være det materialet som oppnår den største verdien  $W$  [4]:

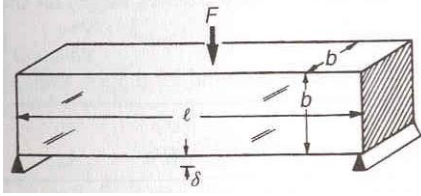
$$W = \sum W_i$$

Problemet med disse metodene, er at de er basert på subjektiv vurdering hos den personen som utfører materialvalget, selv om objektivitet er et mål. Derfor finnes det også systematiske metoder som eliminerer subjektivitet.

En måte å foreta objektive valg på er å basere materialvalget på den mest begrensende faktoren. Siden den faktoren er den mest restriktive, vil alle andre begrensninger automatisk tilfredsstilles også [4].

Et eksempel (2) er gitt på neste side.

**(2) Lett, stiv og sterk bjelke, uten formfaktor (som eksempel 1)**



Målfunksjonen er

$$(2.1) \mathbf{m} = A l \rho$$

$\rho$  er tetthet

$\mathbf{m}$  er masse

$l$  er lengde

$A = t^2$  er arealet av tverrsnittet.

Den første begrensningen er stivhet,  $S$

$$(2.2) \mathbf{S} = (C_1 EI) / P^3$$

$I = t^4 / 12$  som er andremomentet

$C_1 = 48$  som er en konstant avhengig av lastfordeling

$E$  er Youngs modul

Ved å sette inn for  $A$  i (2.1) fås massen som vil gi stivhet  $S$  (som 1.4)

$$(2.3) \mathbf{m}_1 = ((12S) / C_1 I)^{1/2} P^3 [\rho / E^{1/2}]$$

Den andre begrensningen er styrke

$$\mathbf{F}_r = C_2 (I \sigma_y) / (y_m l)$$

$C_2 = 4$  for bjelken

$Y_m = t/2$  som er distansen fra midten til ytterkant av bjelken

$\sigma_y$  = bruddstyrke

Ved å eliminere  $A$  i (2.1) og sette inn, fås

$$(2.4) \mathbf{m}_2 = ((6 F_r) / (C_2 I^3))^{2/3} P^3 [\rho / \sigma_y^{2/3}]$$

Flere begrensninger vil føre til flere likninger for  $m$ . Hvis bjelken skal tilfredsstillе begge materialkrav, er vekten bestemt av den største verdien som fås for  $\mathbf{m}_1$  og  $\mathbf{m}_2$ .

$$\mathbf{m} = \max(\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \mathbf{m}_3, \dots)$$

Det beste materialvalget gir den minste verdien av  $\mathbf{m}$  [4].

## Prosess

Valg av materiale kan ikke gjøres uavhengig av fremstillingsprosess. En prosess former, glatter og setter sammen et materiale. Det finnes hundrevis av prosesser som hver karakteriseres av hvilke materialer prosessen kan håndtere, former som kan lages, presisjon, kompleksitet og størrelse [4].

Figur 5 på neste side viser en inndeling av prosessene. Men hvordan velge en prosess når det finnes så mange av dem?

Prosessvalg går parallelt med materialvalg. I første omgang er det viktig å vurdere alle mulige kandidater, for så å sortere ut dem som ikke tilfredsstiller kravene som produktdesignet setter. Deretter rangeres de gjenværende prosessene ved å bruke relativ kostnad, før det søkes etter nærmere informasjon om de mest aktuelle kandidatene på listen [4].

For å se sammenhengen mellom materialer og prosess, kan et material- prosess samsvarsdiagram brukes. Figur 6 på neste side viser hardhet på den vertikale aksene og smeltepunkt på den horisontale aksene. Hardheten og smeltepunktet til materialet er ikke uavhengige egenskaper. Et materiale med lavt smeltepunkt er ofte mykt (polymerer og bly for eksempel), et materiale med høyt smeltepunkt er ofte hardt (diamant). Denne sammenhengen vises i likningen

$$0,03 < (H\Omega) / (kT_m) < 20$$

$\Omega$  er den molekylære volum

$k$  er Boltzmanns konstant ( $1,38 \times 10^{-26} \text{ J/K}$ )

Likningen definerer de to linjene som er vist i figuren. Det finnes ulike diagram avhengig av egenskaper [4].

Et eksempel finnes i appendiks C.

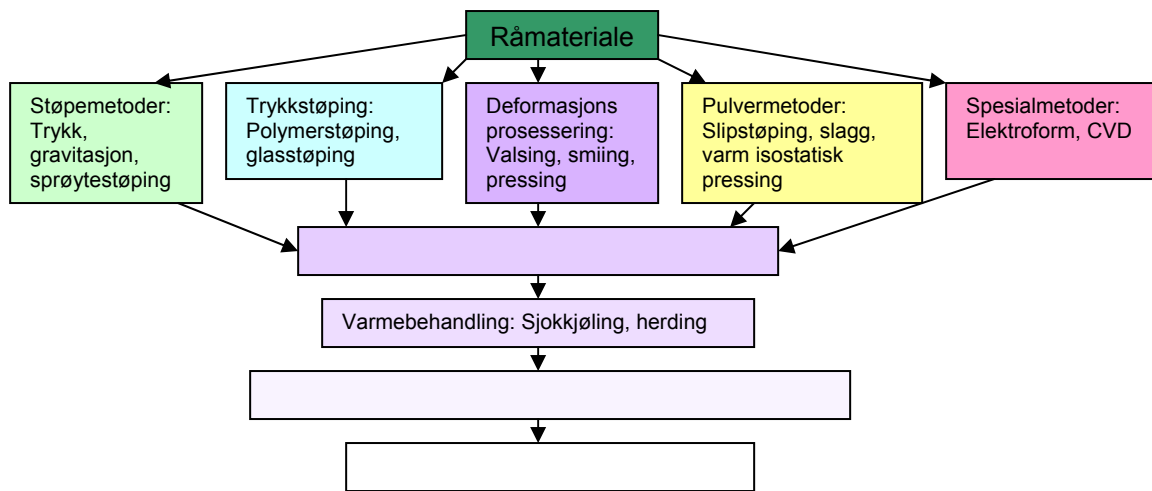


Fig 5: De 9 prosessklassene. Den første raden viser primærprosessene, under ligger sekundærprosessene [4]

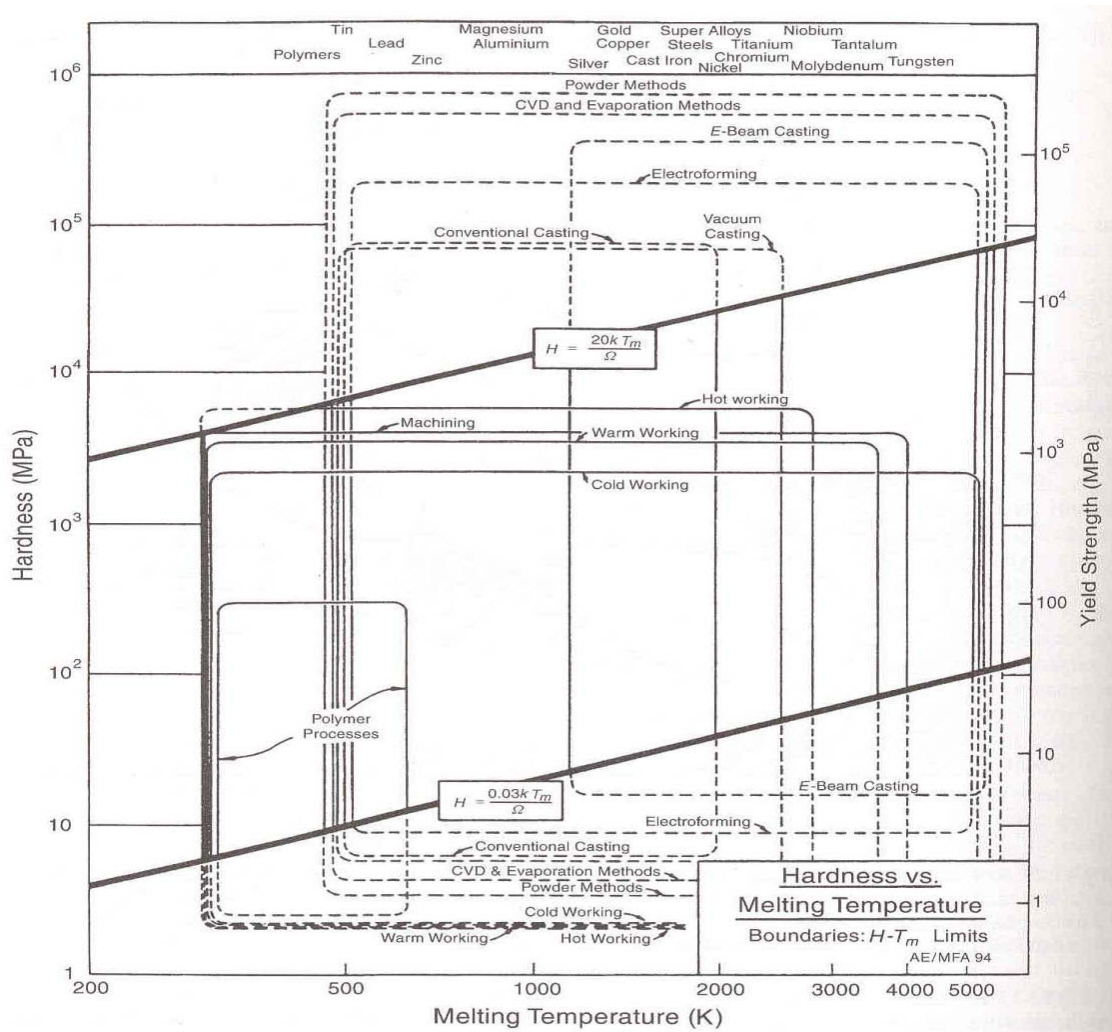


Fig 6: Material- prosess diagram [4]

Et materiales egenskaper, form, funksjon og prosess henger altså nøye sammen i en materialvalgssituasjon, og må som oftest vurderes i sammenheng med hverandre, slik figur 7 viser.

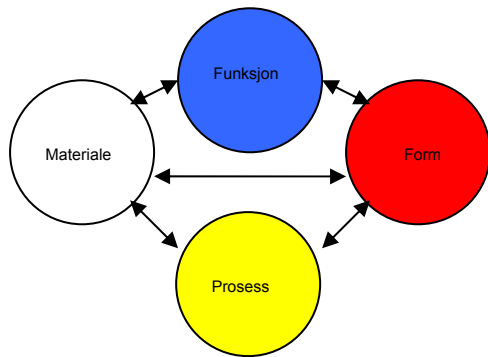


Fig 7: Sammenhengen mellom materialegenskaper, prosess, form og funksjon [4]

## CES- Cambridge Engineering Selector 4.0

CMS eller Cambridge Materials Selection ble opprinnelig utviklet på slutten av 1980- tallet som et software- basert hjelpemiddel for lære ingeniørstudenter om professor Mike Ashbys materialvalgsmetoder. Disse materialvalgsmetodene er skissert i forrige avsnitt i artikkelen. CES eller Cambridge Engineering Selector ble utviklet til bruk i industrien. Både CMS og CES er laget av Granta Design. CES er et dataprogram som inneholder databaser med informasjon om materialegenskaper, produksjonsprosesser, strukturtverrsnitt, leverandører, referanser, bruk og industri. I tillegg finnes det industrispesifikke databaser som for eksempel militær håndbok som inneholder informasjon om metaller og kompositt materialer for luftfarts- og forsvarsindustrien. En fordel med CES er at programmet er leverandøruavhengig slik at databasen inneholder svært mange materialer og god oversikt over materialegenskapene [9].

For å kunne velge materialer til en komponent, bør brukeren kunne definere kravene til delen eller produktet. Det er selvsagt mulig å lete etter et passende materiale ”i blinde”, men dersom brukeren vet hvilke krav som setter begrensninger

til komponenten, forenkles søket i databasen betydelig.



Fig 8: CES- materialvalg, databaser [10]

CES gjør det mulig å sammenlikne to egenskaper samtidig, for eksempel flytstyrke sammenliknet med kostnad eller masse. Ulike egenskaper kan plottes i flere materialdiagram. Resultatene kan vurderes grafisk der hvert materiale er posisjonert i forhold til egenskaper. Deretter brukes en definert indeks til å sortere ut uønskede materialer. Programmet presenterer hvilke materialer som tilfredsstillt kravene brukeren har. Ofte har brukerne mange krav til komponenten. Programmet sammenlikner de ulike egenskapene i diagrammer og filtrerer ut de materialene som ikke tilfredsstillt kravene i hvert utvelsesstadium. Hvert diagram lagres slik at det er mulig å se hvilke materialer som ikke tilfredsstillt de enkelte krav til egenskaper og i hvilket stadium materialene ”faller ut”. Figur 9 på neste side viser et materialvalgsdiagram i CES der tetthet er plottet mot E- modul.

Videre er det mulig å legge inn funksjonskriterier som en del av utvelsesprosessen. Brukeren kan for eksempel sette opp relativ kostnad per enhet som funksjonskriterium for å kunne velge den beste produksjonsprosessen. Dermed kan brukeren vurdere de forskjellige kostnadsrelaterte faktorene mot de mest kritiske mekaniske egenskapene til komponenten. For eksempel kan de mekaniske kravene til en motor til bruk i motorsport og i en familiebil være relativt like.

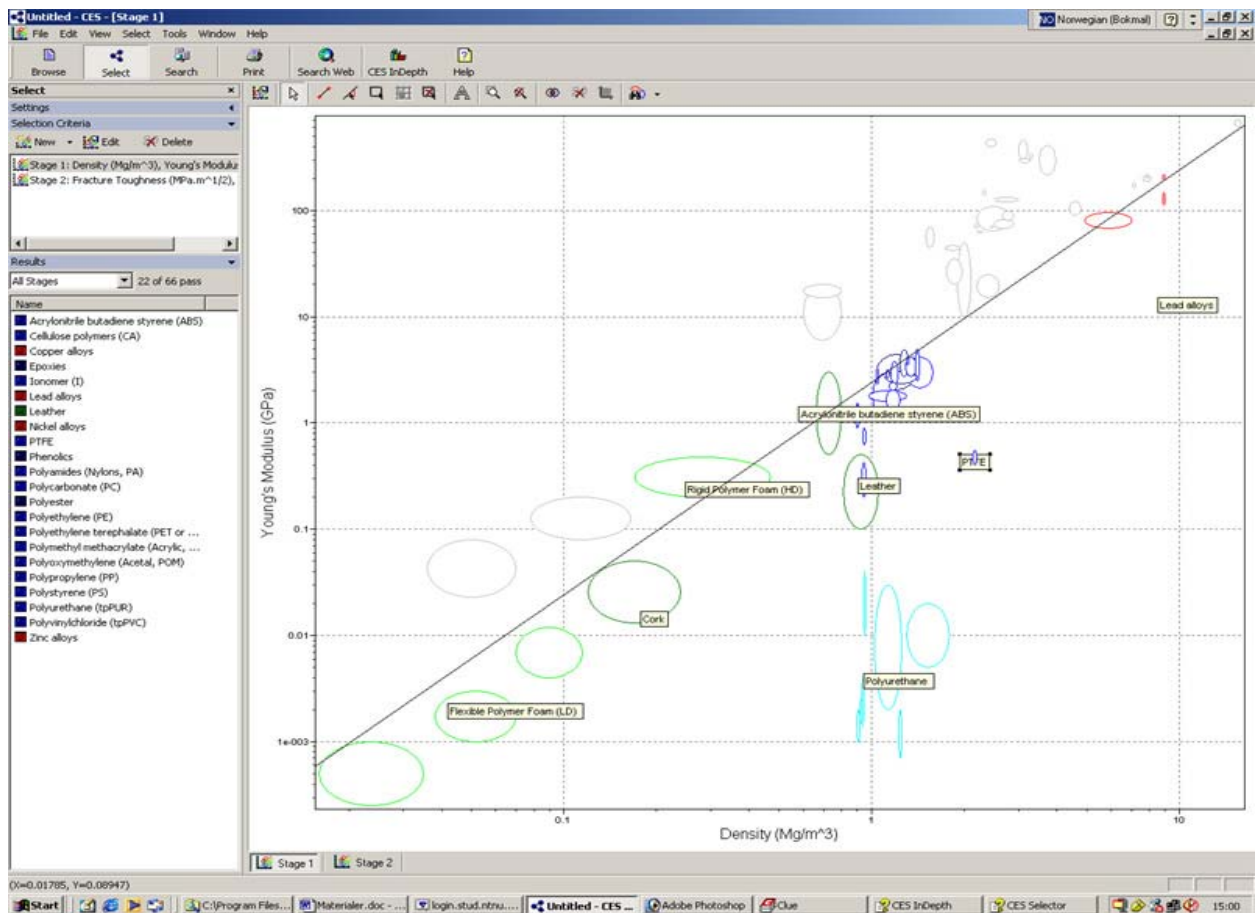


Fig 9: CES- brukergrensesnitt [10]. Figuren er noe utydelig, men er kun ment til å gi et inntrykk av et vindu i programmet

Ved å bruke ikke- mekaniske egenskaper som investeringskostnader og seriestørrelse, kan materialvalget bli helt forskjellig. For en familiebil, er produksjonsvolumet stort slik at investeringskostnadene kan skrives av over en lengre periode. Enhetskostnadene må være lave, og de mekaniske egenskapene er ikke så strenge. Men i motorsport er seriestørrelsen liten, kostnadene er underordnet, og de mekaniske egenskapene svært viktige som for eksempel vekt. Stål kan for eksempel være det beste materialet for familiebil, mens titan vil fungere bedre for motoren som skal brukes i motorsport [9].

CES inneholder mye informasjon som vanskelig kan finnes i én bok, slik at tidsbesparelsen kan være betydelig, selv om det ofte vil være nødvendig å søke ytterligere informasjon før et endelig valg kan tas. Programmet inneholder

eksempler på vanlige materialvalgsituasjoner, indekser og henvisninger til litteratur for mer detaljert informasjon [10].

Se Appendiks C for et eksempel.

## Materialvalg og industrideigning

Ingeniørmotodene beskrevet i artikkelen er systematiske metoder for materialvalg. Industrideigning er ikke en nøyaktig vitenskap. Faktorer som mote, vaner, kultur, utdanningsbakgrunn, markedsføring, kreativitet og assosiasjon påvirker en industrideigning i produktutviklingsprosessen [4]. Det følgende avsnitt tar utgangspunkt i boka *The Material of Invention* av Ezio Manzini [3].

Under den industrielle revolusjon, ble støpejern og stål blant annet brukt i nye maskiner, broer og jernbaner. De første plastproduktene møtte et "umettelig" marked. Et materiale ble betraktet som en byggekloss i et mer kompleks system.



Materialets egenskaper ga rammene for hvordan materialet kunne brukes. Denne fremgangsmåten er fremdeles vanlig, men i dag kan materialet i økende grad i seg selv inneha en komplisert struktur og flere innebygde funksjoner fordi materialutviklingen går fra kvantitet til kvalitet. Materialforskningen går i større grad ut på å produsere materialer etter spesifikke behov, noe som kan tilføre nye kvaliteter til produktet.

Et eksempel på dette er et kamera som er laget av en plastikk komponent. Denne komponenten gir kameraet både strukturell styrke samtidig som det forbinder og beskytter alle bevegelige og optiske deler. Dette fører til at materialmengden og de økonomiske kostnadene kan reduseres.

Når materialer vurderes, er det egentlig ofte hele materialprosesssystemet som betraktes. En kulepenn, for eksempel, kan bestå av flere ulike typer plastikk og metaller. Hele komponenten fremstilles på en rask og billig måte. Produktet blir dermed en helhet konstituert av hver enkelt komponents egenskaper, men også av egenskapene som skapes i fremstillingsprosessen. Det ferdige produkt er laget av et eller flere materialer med kvaliteter som har oppstått gjennom prosessen og som er bestemt av objektets endelige form. Med andre ord henger materialet og produktets produksjonsprosess nøye sammen.

Før den industrielle revolusjon, eksisterte vitenskapen parallelt med fabrikkindustrien. Vitenskapen var mer opptatt av tankemodeller enn av praktiske aktiviteter. Dette endret seg under den industrielle revolusjon. Vitenskapen og ingeniørkunsten smeltet sammen.

I motsetning til tradisjonelle håndverkere, bruker ingeniørene et presist ”språk” for å beskrive arbeidet de utfører. Ingeniørene vet hva de gjør, og hvorfor de gjør det. De ser ikke på det nye som et steg inn i det ukjente, fordi beregninger gjør dem i stand til å forutse resultatene. Materialer er ikke lenger en stein eller et stykke tre som skal bearbeides for hånd, men en abstrakt modell beskrevet av egenskaper og parameter.

Tidligere lærte industridesignere om materialer fra bøker, men også av praktisk tilnærming og bearbeiding. I dag endrer situasjonen seg til at industridesignerne i større grad må basere seg på

abstrakt og teoretisk kunnskap. Det er fremdeles rom for noe praktisk erfaring, men utviklingen av nye materialer går så raskt at en industridesigner ikke har mulighet til å opparbeide seg praksis med alle typer materialer.

Den vitenskaplige og tekniske utviklingen gjør at designmulighetene utvider seg stadig. Dermed kreves det i større grad flere aktører i designprosessen. Mengden kunnskap er av en slik størrelse, at spesialister på mange felt kreves for å utvikle gode produkter. Dermed øker avstanden til materien eller materialet, eller mellom teori og praksis. Kommunikasjon mellom ulike profesjoner og spesialister er derfor helt avgjørende. Dårlig informasjonsutveksling kan gjøre det vanskelig for en designer å ha oversikt over alle alternativer og muligheter som eksisterer.

Det er selvsagt umulig å inneha en helhetsforståelse over all informasjon som finnes. Nye verktøy som databaser og dataprogrammer samt ulike spesialister, kan gi en industridesigner mer kunnskap og informasjon, men er likevel ikke tilstrekkelig. En database kan inneholde masse informasjon og svar på mange spørsmål. Men for å kunne bruke et slikt verktøy effektivt, må industridesignerene kunne stille de riktige spørsmålene, og det krever kunnskap i utgangspunktet.

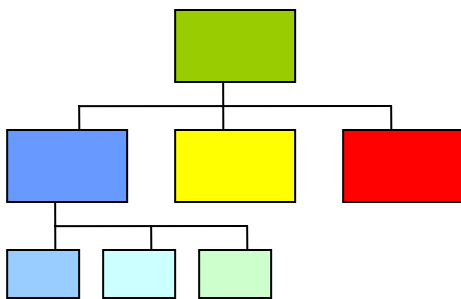
Problemløsning, det vil si å definere problemer og organisere verktøyene eller metodene for å løse dem, er to viktige aspekter i industridesign. Boka *The Material of Invention* beskriver en problemløsningsmodell for industridesignerene, der han eller hun bruker et “makroskop” og et “mikroskop”. Makroskopet brukes til å vurdere samfunnet og tekno- vitenskapen i et helhetsperspektiv. Men en designer trenger også et mikroskop for å kunne fokusere på hvordan ting fungerer, helt ned til den minste detalj. For å kunne bruke makroskopet og mikroskopet effektivt, må begge verktøyene videreutvikles fra tradisjonelle tankemodeller.

Nåtidens vitenskap og særlig teknisk kunnskap, baserer seg på klassifisering og systematisk organisering av viten. Den økende mengde informasjon om blant annet materialer, gjør det vanskelig å foreta faste grupperinger etter egenskaper. Et eksempel på dette er at

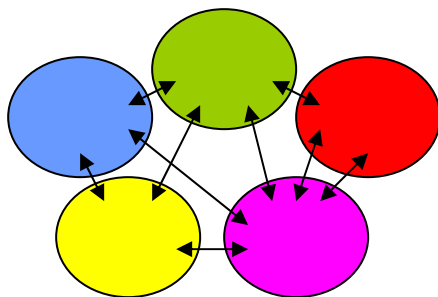
dataprogrammet CES har en annen materialinndeling enn boka *Materials Selection in Mechanical Design*.

En annen og kanskje bedre tilnæringsmåte til materialer er å skille ut dominerende karakteristikk, tilhørende variasjoner, begrensninger og intuitive så vel som ikke-intuitive interaksjoner. Det må altså dannes mer "bevegelige" referanserammer. Å lage en kompositt av polymerer og trefibrer er et eksempel på at den tradisjonelle klassifisering av materialer ikke er tilstrekkelig og kan virke begrensende i designprosessen.

Den vanlige arbeidsmetoden for å løse et problem er å inndele problemet i sine enkelte faktorer for deretter å forsøke å løse problemets bestanddeler ved hjelp av mekaniske komponenter (figur 10). Men når målet er å lage et komplisert produkt, er denne metoden ubrukkelig fordi bestanddelens innbyrdes forhold og avhengighet endres. Det dannes dermed et uoversiktlig nettverk mellom elementene som det kan være vanskelig å holde oversikten over (figur 11).



Figur 10: Problemløsning for i tiden



Figur 11: Problemløsning i dag

En industridesigner må være i stand til å stille spørsmål underveis i designprosessen om den opprinnelige tilnærmingen til problemet er den riktige. Designeren må kunne arbeide seg forbi mentale, kulturelle og ingeniørmessige tregheter som virker hemmende på kreativiteten for å kunne skape "nye" produkter.

Boka *The Material of Invention* bryter med den tradisjonelle metodetankegangen. Fysiske elementer erstattes av forbindelser, enkle og statiske modeller byttes ut med dynamiske og organiske modeller. Fokuset flyttes altså fra delene over til helheten, og fra forholdet mellom delene og helheten. Å designe i en slik kontekst, er å forflytte seg fra helheten til delene og motsatt uten å miste oversikten over sammenhengene og forbindelsene. Dette er svært viktig i vår tid da informasjonsstrømmen og kunnskapen bare blir mer kompleks. Det endelige produkt er ikke et resultat av søken etter all tilgjengelig informasjon, men et resultat av søken etter det tilfredsstillende, det vil si når designeren føler at han eller hun har tilstrekkelig informasjon. Designprosessen er en subjektiv og iterativ prosess, en ikke-lineær sådan, og ikke en prosess som følger en fastsatt og klar forhåndsdefinert plan.

Den økende distansen mellom det tenkende individ og de fysiske materialer, må fylles opp med abstrakt kunnskap, det vil si et språk. Språket må brukes for å kunne omdanne teknisk kunnskap fra de opprinnelige håndverkere til kunnskap som stiller spørsmålene "Hva blir det brukt til?" og "Hvordan fungerer det?". Disse spørsmålene gjør det mulig å oversette mentale bilder til målbare resultater og parameter, slik at kommunikasjon med en rekke profesjoner forenkles for industridesigner.

## Diskusjon

Den ingeniørmessige tilnærmingen til materialer der det i stor grad fokuseres på egenskaper og prosess, kan virke hemmende på kreativiteten og utformingen av nye produkter for en industridesigner. Med det enorme antall materialer som er tilgjengelig i dag, kan det derfor være fristende å velge tradisjonelt; glass til flasker og stål til biler. Men innovasjon og nyskaping krever et åpent sinn. De tradisjonelle brusflaskene av glass er i stor grad erstattet av flasker laget av PET

(polyetylen terephthalate). I biler brukes det mindre og mindre stål, og mer og mer aluminium og plast. Disse endringene hadde ikke vært mulig om ikke de ansvarlige for produktutviklingen i ulike bedrifter og forskningsinstitusjoner hadde hatt evne til å se litt utenfor de tradisjonelle bruksområder og egenskaper til materialer. Et produkt er heller ikke bare avhengig av gode ingeniøregenskaper for å lykkes på markedet. I nesten alt som produseres, fra biler til kjøkkenmaskiner, er formen, teksturen, lukt, lyd og farge viktig for å tilfredsstille brukeren.

## Å klassifisere materialer

For en industridesigner i dag kan klassifisering av materialer være vanskelig fordi det hele tiden utvikles nye typer materialer. Materialer betraktes gjerne mer som en sammenhengende enhet enn oppdelte enkeltdeler. Det kan hende at materialet ikke eksisterer før produktet det skal integreres i er utviklet. Med andre ord blir materialet utviklet på bakgrunn av et behov. Materialforskning betraktes gjerne som et område integrert i designprosessen.

Ingeniørvitenskapen betrakter derimot et materiale som et sett egenskaper. I boka *Materials Selection in Mechanical Design* klassifiseres materialer i seks ulike grupper; metaller, polymerer, elastomerer, keramer, glass og kompositter.

Dataprogrammet CES, deler materialene inn i metaller, kompositter, naturlige materialer, skum, polymerer og keramer. Denne klassifiseringen er også gjort i forhold til materialenes egenskaper. Fremstillingsprosesser og bearbeidingsmetoder relateres til hvert enkelt materiale. Det er også mulig å gå andre veien, altså finne et materiale ut i fra en spesifikk fremstillingsprosess.

Det finnes altså forskjellige inndelinger av materialer, og ulike måter å betrakte dem på. Det viser at det eksisterer flytende overganger mellom materialeegenskaper og klassifisering av dem.

## Miljø

Tekniske nyvinninger og miljøforvaltning bør ikke være uforenelige mål. Men siden starten på den industrielle revolusjon, har den teknologiske

utviklingen vært dominerende, noe som har ført til store belastninger på miljøet.

Materialer kan skade miljøet gjennom bruk av produkter som inneholder materialet, gjennom produksjonsprosess og ved avfallshåndtering. Felles for metodene beskrevet i artikkelen, er en så å si fraværende fokus på miljøproblematikken. Dersom miljøbelastning nevnes i bakgrunns litteraturen (se referanseliste), er det som eget tema, og ikke som en integrert del av materialvalgsprosessen.

Undertegnede har evaluert CES 4.0 i student versjon. I originalversjonen av materialvalgsprogrammet finnes energiinnhold som en egenskap til materialer [9]. Energiinnholdet i et materiale kan brukes som en indikator på den miljøbelastning materialet påfører omgivelsene. I studentversjonen av CES er energiinnhold i materialer utelatt. Dette er noe betenkelig fordi programmet brukes av studenter som i en utdanningssituasjon skal lære om materialvalg. Studenter bør læres opp til å tenke miljø på lik linje med andre materialeegenskaper. Selvsagt er det mulig å diskutere om energiinnhold i materialer er den beste indikatoren når det gjelder miljøbevisst materialvalg. I en del situasjoner vil for eksempel mulighet for resirkulering, utslipp av giftige gasser osv. være av større betydning. Men i prinsippet bør studenter lære seg til å vurdere miljøpåvirkning av materialer som en naturlig del av materialvalgsprosessen.

Miljøaspektet bør integreres i alle faser av produktutviklingen, også når det gjelder materialvalg. Dette temaet diskuteres nærmere i artikkelen *Materials and the Environment - methods regarding environmental issues*, skrevet av undertegnede.

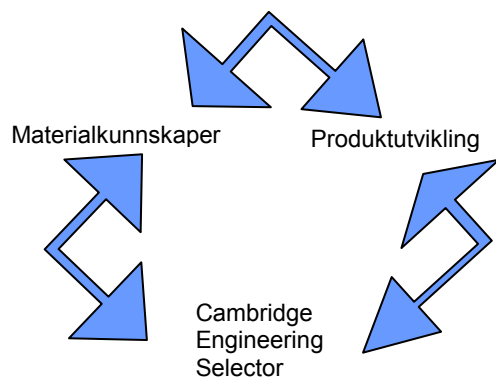
## Hvor befinner produktdesigneren seg?

For produktdesigner er det unaturlig å legge materialeegenskapene såpass mye i bakgrunnen som boka "The Materials of Invention" gjør. Boka mener at materialvalg bør foretas i et holistisk perspektiv og ikke på en tradisjonell reduksjonistisk ingeniørvitenskaplig måte. Helheten må være i fokus, uten å glemme delene. For en produktdesigner vil valg av materialer som oftest være en kontinuerlig prosess gjennom

produktutviklingen basert på erfaring fra tidligere produkter, kunnskap om materialers egenskaper og innovasjon. Behovet for å kunne forene kunnskap om materialer fra et teknisk ståsted og fra et mer designmessig perspektiv er derfor påtrengende.

Programmet CES kan være et nyttig verktøy for produktdesigneren, men forutsetter at brukeren allerede har en del forhåndskunnskap om ulike materialers egenskaper og prosesser. Det er selvsagt mulig å starte med å lese veiledningen og instruksjonene, men informasjonen er overflattisk.

Brukeren må vite en del om begrensninger og materialvalgskrav for å kunne plote materialdiagram i CES programmet. Dermed må produktutviklingen ha kommet såpass langt at det er mulig å ”stille de rette spørsmålene” til programmet. Men for å vite hvilke krav som stilles til materialet og prosessen for et produkt, forutsettes det en viss kunnskap. Det er derfor på mange måter en sirkelprosess det kan være vanskelig å trenge inn i uten erfaring, illustrert i figur 12.

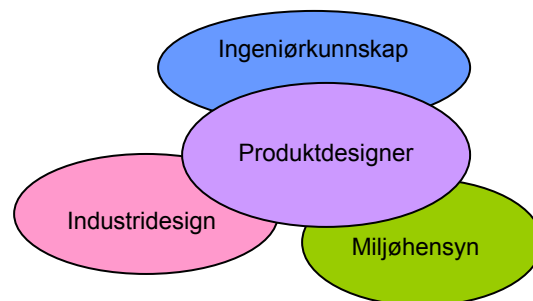


Figur 12: Materialvalg forutsetter kunnskaper

Produktdesigneren er opplært til å integrere miljøperspektivet i designprosessen. Som tidligere nevnt, er ikke miljøpåvirkningene av materialvalg vektlagt i de mest vanlige metodene som brukes i dag, heller ikke i dataprogrammet CES.

Dermed kan materialvalgsfeltet virke enda mer oppsplittet: Produktdesigneren er nødt til å integrere miljøperspektivet inn i ingeniør- og

designkunnskapen i en produktutviklingsprosess. Når ingeniørvitenskapen og industridesigntradisjonen i utgangspunktet bruker ulike materialvalgsmetoder, krever det god kunnskap, kreativitet og erfaring å klare å ivareta miljøaspektet på en god måte.



Figur 13: En stor utfordring for Produktdesigneren er å forene kunnskap og hensyn fra ulike leire

For industridesignere finnes det ikke en oppskrift på materialvalg slik som for ingeniører. Produktdesignere befinner seg et sted midt i mellom disse. Produktdesigneren får med seg teoretisk materialkunnskap gjennom sivilingeniørutdannelsen. Disse kunnskapene er ofte et minimum av det som trengs for å skape forståelse for mulighetene ulike materialer gir. Den teoretiske kunnskapen krever også interesse hos studentene for å kunne anvendes i praktiske prosjekt. Ofte er den materialfaglige delen av prosjektene lite vektlagt.

Materialvalg krever altså en kombinasjon av god basiskunnskap og erfaring. Prosjektarbeider i studietiden der det stilles større krav til materialkunnskaper og materialvalg kan synes å være en vei å gå for å gjøre det lettere for produktdesigneren å forene kunnskap både fra industridesigntradisjonen og ingeniørvitenskapen.

## Konklusjon

Artikkelen har beskrevet materialvalg hos ingeniører, industridesignere og produktdesignere. Siden produktdesigneren befinner seg midt i mellom ingeniøren og industridesigneren, kan det være vanskelig for produktdesigneren å anvende materialkunnskapen på en effektiv måte.

Grunnleggende kunnskap om materialegenskaper og produksjonsprosesser er derfor viktig for at produktdesigneren skal kunne kommunisere med andre ingeniører med dypere materialfaglig innsikt. Effektiv bruk av materialvalgsprogrammet CES, forutsetter også slik basiskunnskap. Kunnskapen må ikke virke hemmende på produktdesignerens kreativitet i formgivning og utvikling av produkter. Å vurdere miljøbelastningen til materialer er ikke prioritert i metodene diskutert i artikkelen. Dette er noe produktdesigneren også må ta hensyn til. Et holistisk perspektiv på materialer der produktdesigneren ikke lar seg begrense av materialenes vanligste egenskaper og produksjonsmetoder, samtidig som han eller hun har god basiskunnskap innen materialteori, kan synes å gi det beste utgangspunktet.

## Referanser

- [1] <http://www.biologi.uio.no/plfys/haa/leks/n/neolittisk.htm>, 6/9-02
- [2] [http://www.museumsnett.no/ntm/no/utstillingene/jern\\_og\\_hjerne/elkem/tsld002.htm](http://www.museumsnett.no/ntm/no/utstillingene/jern_og_hjerne/elkem/tsld002.htm), 6/9-02
- [3] *The Material of Invention, Materials and Design*, Ezio Manzini, First MIT Press 1989
- [4] *Materials Selection in Mechanical Design*, 2nd. Edition, Michael F. Ashby, Butterworth Heinemann, 1999
- [5] *Produktutvikling og Design*, artikkel av Professor Per Boelskifte, Symposium 1997
- [6] *Design*- Cappelen's kulturguider 1996
- [7] *Engineering Materials, Properties and Selection*, Kenneth G. Budinski, Prentice Hall International Editions 1996
- [8] *The development and use of a methodology for the environmentally- conscious selection of materials*, Ulrike G.K Wegst and Michael F. Ashby, University of Cambridge, Department of Engineering, UK, <http://www.grantadesign.com/download/papers/university/env1.pdf>, 3/10- 2002
- [9] [www.grantadesign.com](http://www.grantadesign.com), 3/10-2002
- [10] Dataprogrammet CES 4.0- The Cambridge Engineering Selector- Educational version

## Ordliste

**Design**- I artikkelen brukes ordet design i betydning den planlegging og prosess som skal til for å transformere en ide til et industriprodukt.

**Produktdesigner**- En sivilingeniør utdannet ved Institutt for Produktdesign, Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), med fordypning i produktutvikling og design.

## Appendiks A [4]

$\varphi_B$  – elastisk bøyning av bjelke

$\varphi_T$  – elastisk vridning av aksel

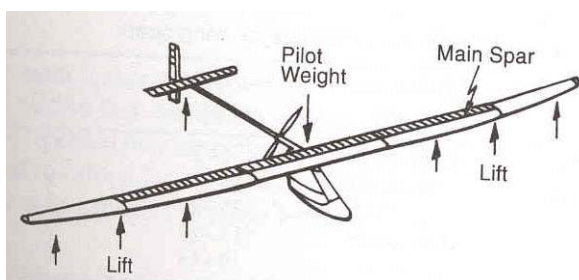
Disse formfaktorene er tilstrekkelige når materialvalget er avhengig av stivhet. Når styrke, dvs. ved flytstart eller brudd, er vesentlig brukes

$\varphi'_B$  – svikt ("failure") i bøyning

$\varphi'_T$  – svikt ("failure") i vridning av aksel

## Appendiks B [4]

Materialvalg for en vingebjelke



Krav

Funksjon	Vingebjelke
Mål	Minimere massen
Begrensninger	Stivhet og lengde er bestemt

Det søkes en største verdi for indeksen

$$M_1 = ((E^{1/2} \varphi_B) / \rho)$$

Material	E-modul (GPa)	Tetthet $P$ (Mg/m <sup>3</sup> )	Form-faktor $\varphi_B$	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	$M_1^*$
Balsa	4,2-5,2	0,17-0,24	1-2	<b>11</b>	11-15
Rødgran	9,8-11,9	0,36-0,44	1-2	9	9-12
Stål	200-210	7,82-7,84	25-30	1,8	9-10
Al 7075 T6	71-73	2,8-2,82	15-25	3	12-15
CFRP	100-160	1,5-1,6	10-15	7	<b>23-28</b>

\*Indeksverdiene er basert på gjennomsnitt av materialegenskapene og samsvarer til variasjonsbredden for verdiene av  $\varphi_B$

Tabellen viser aktuelle materialer og data. Hvis alle materialer har samme form, blir indeksen

$$M = (E^{1/2} / \rho)$$

Uten formfaktor er balsa eller rødgran best. Ved å la bjelken ha et rektangulært tverrsnitt, massivt for tre og hult for aluminium og CFRP, er CFRP desidert beste alternativ, da brukes  $M_1$ .

Hvorfor er det vanlig å bruke tre? Årsaken er at cellestrukturen i treet danner en indre form slik at en trebjelke får egenskaper som en I- bjelke.

I dag lages det gode tynnveggede aluminiumsrør. Aluminium er stivere enn balsatre og rødgran, men har ti ganger høyere tetthet. Derfor er massiv aluminium mindre attraktivt. Men med rørform får aluminium en formfaktor som er langt bedre enn tre. CFRP (carbon-fibre reinforced polymer) er i massiv form omtrent like bra som rødgran. Dagens kompositt- teknologi gjør det mulig å lage formfaktorer på minst ti, og det gir en ytelse som er attraktiv for flykonstruktører, selv når kostnadene tas i betraktning.

## Appendiks C [10]

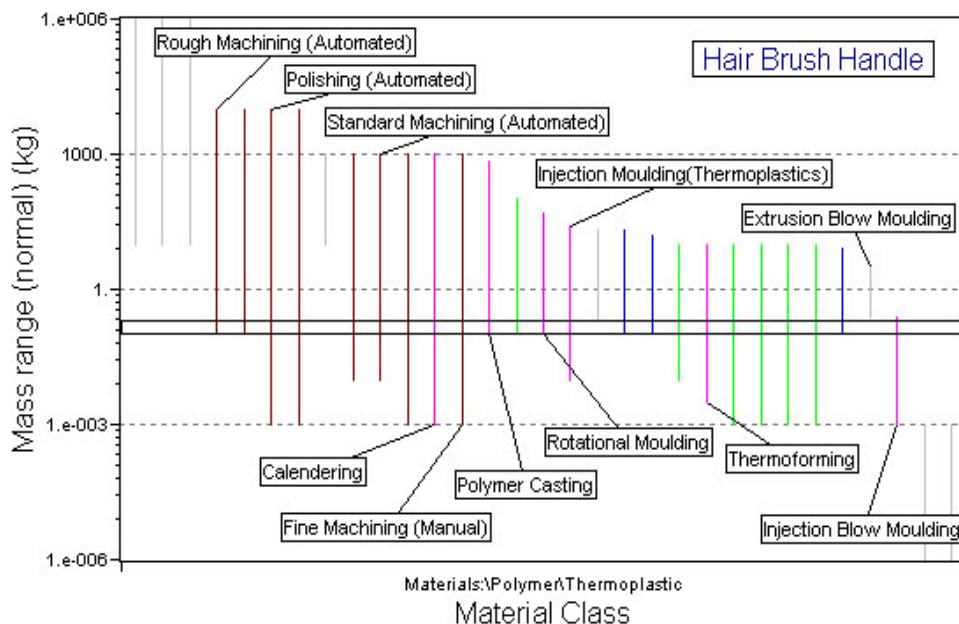
Det skal produseres en hårbørste (håndtak).



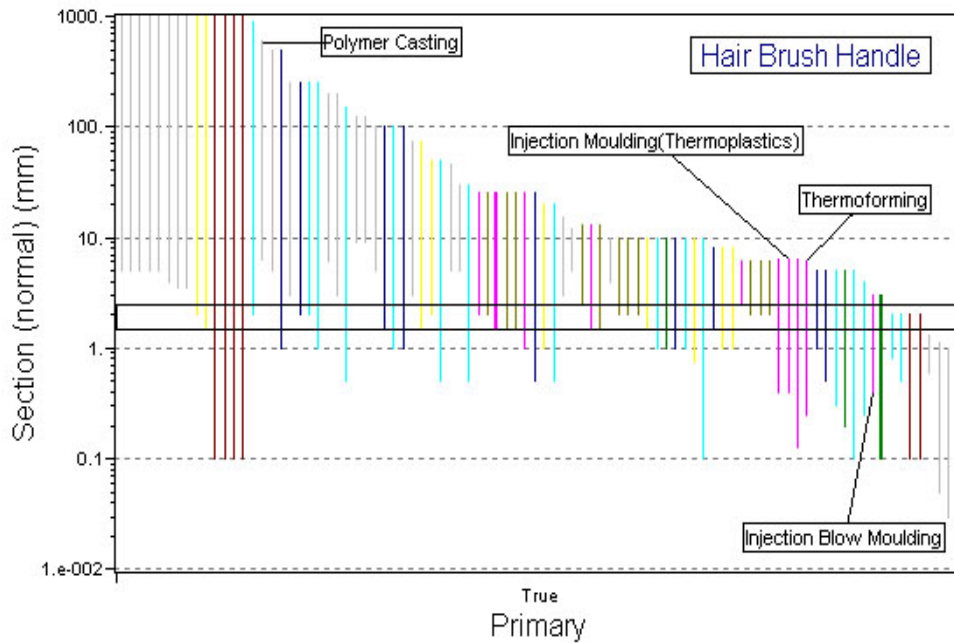
Krav

Materialklasse	Nylon
Prosessklasse	Primær, atskilt
Formklasse	3D objekt
Masse	0,1-0,2 kg
Minimumssnitt	2 mm
Overflatebehandling	0,5 µm
Seriestørrelse	100,000

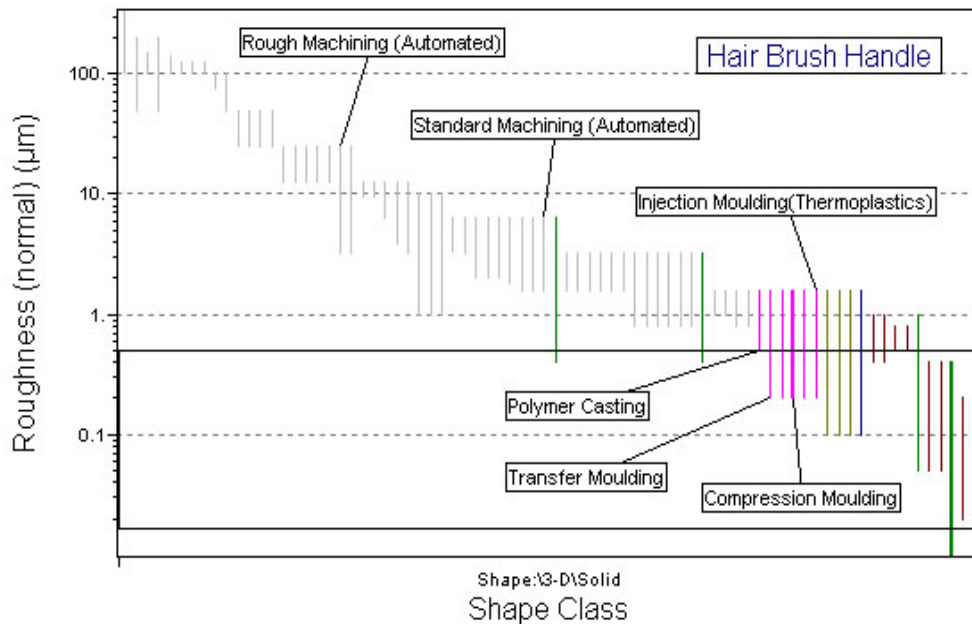
Overflaten må være glatt slik at en prosessoperasjon er nok. Produktet skal være billig. Nedenfor vises diagrammene som brukes i valg av prosess laget av CES.



Diagrammet viser variasjonsbredden for masse sammenliknet med materialklasse. Boksen viser hvilke prosesser som takler en masse på 0.1-0.2 kg.

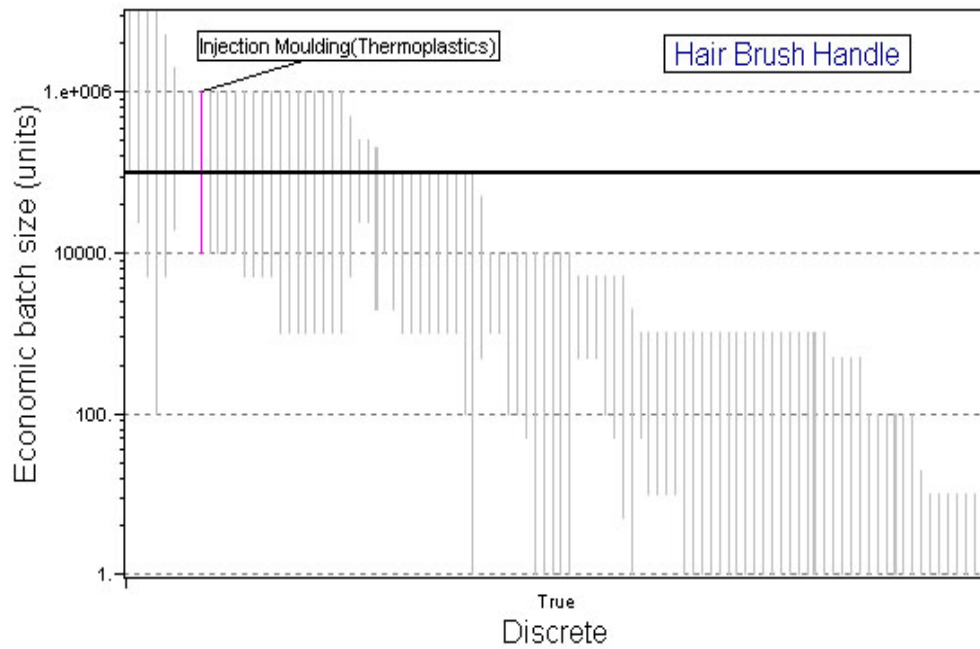


Diagrammet viser variasjonsbredden for snitt mot prosessklasse. Boksen viser hvilke prosesser som kan produsere tykkelser på 1.5-2.5 mm.



Diagrammet viser variasjonsbredden for ujevnheter i overflaten og formklasse. Boksen viser hvilke prosesser som kan lage en svært glatt overflate for 3D objekter.





Diagrammet viser seriestørrelse sammenliknet med prosessklasse.

Diagrammet viser at bare sprøytstøping takler alle prosesskravene. På grunn av høye investeringskostnader for utstyr, er prosessen kun lønnsom for store seriestørrelser.