

## **Integreret Designoptimering**

v. Jens Fynbo, Niels Olhoff, Ole Sigmund, Marting Bendsøe og John Rasmussen

Et forsøg på at integrere visuelle, ekspressive, æstetiske og funktionelle kriterier med stivheds- og styrkemæssig designoptimering .

Ved hjælp af computerstøttede værktøjer er det i dag muligt at optimere udformningen af konstruktioner under hensyntagen til styrke-, funktions- og omkostningsmæssige kriterier. For mange produkter udgør disse imidlertid en mindre del af værdigrundlaget, og anvendelsesområdet for optimering har hidtil været begrænset. Det har det ikke været muligt at tage hensyn til "bløde" kriterier som fx. æstetik, brugerperception, livsstil og symbolværdi under optimeringen, selvom strukturelt optimale konstruktioner ofte viser sig at være visuelt interessante.

Formålet med dette projekt er at tage hul på optimering med hensyn til "bløde" kriterier, og at undersøge i hvor høj grad dette vil være muligt. Målet er at implementere et mindre antal kriterier relateret til konstruktionens visuelle udtryk i forbindelse med topologi- og eventuelt formoptimering. Endvidere skal det ved brug af cases undersøges i hvor høj grad en sådan facilitet er anvendelig som et praktisk designværktøj. I denne forbindelse kan nævnes, at billedmæssige filtreringsteknikker allerede er i brug indenfor topologioptimering.

Arbejdet forudsætter en symbiose mellem den designmæssige ekspertise, der besiddes af centerets arkitektfaglige del, og den erfaring indenfor optimeringsmetoder, som den ingeniørmæssige del af centeret bidrager med. Aalborg Universitet har gennem de sidste ni år udviklet designoptimeringssystemet ODESSY, der vil fungere som den afprøvningsmæssige ramme for arbejdet. Resultaterne forventes at være videnskabeligt relevante indenfor både det arkitektoniske og det ingeniørmæssige fagområde. I arkitekturen er optimeringsteknologi et forholdsvis nyt fænomen, og indenfor ingeniørvidenskaberne kan arbejdet forstås som et vigtigt bidrag til en bestående kraftig tendens til multidisciplinaritet.

Projektets tyngdepunkt er et Ph.D.-arbejde, som udføres af civilingeniør Jens Fynbo ved Institut for Maskinteknik, Aalborg Universitet. Arbejdet koncentrerer sig om følgende hovedopgaver:

- abdefinition af "bløde" kriterier, som lader sig anvende i en optimeringsproces
- abudvikling af metoder til præcis evaluering af disse kriterier
- abimplementering af kriterierne i et design-optimeringssystem
- abafprøvning af funktionaliteten på en række eksempler af stigende praktisk tilsnit
- abvurdering af brugbarheden af - og fremtidsudsigterne for designoptimering i forbindelse med "bløde" kriterier

IT i designprocessen, ved Peter Krog og Uffe Lentz  
Konstruktionsdesign og IT, ved Per Dombernowsky

Komponentspecifik IT-modelleringsværktøj. - Modeller, ved Kristian Agger

Jens Fynbo, Niels Olhoff og John Rasmussen, Aalborg Universitet.  
Ole Sigmund og Martin P. Bendsøe, Matematisk Institut, DTU.  
Uffe Lentz, Peter Krogh og Kristian Berg Nielsen, AAA ?

Projektets resultater formidles ad anerkendte videnskabelige kanaler samt via internet og foredrag til en bredere offentlighed. Ph.D.-projektet munder ud i en afhandling jvnf. specifikationerne til European Doctorate.

Den samfundsmæssige og økonomiske udvikling stiller stadig større krav til kvalitet og funktionalitet af de menneskeskabte produkter, som vi omgiver os med. Disse krav kan i vid udstrækning honoreres ved brug af informationsteknologi i designprocessen, og derfor er IT-baserede designværktøjer et emne, som nyder stor videnskabelig interesse og er af afgørende samfundsmæssig betydning.

Designoptimering er en IT-baseret teknologi, der direkte retter sig mod effektivisering og forbedring af designprocessen. Designoptimering har i de sidste 10 år udviklet sig fra at være en eksperimenterende disciplin udført af videnskabsmænd til at være i praktisk anvendelse i mange industrier over hele verden, og den er således at finde i adskillige kommercielle systemer til computer-aided design og computer-aided engineering.

Meget af den udviklingsmæssige interesse har hidtil været centreret om optimering med hensyn strukturelle kriterier, fx. stivhed, styrke eller vibrationer. Det skyldes, at strukturelle kriterier har et veludviklet matematisk teorigrundlag, som lader sig implementere i software, og derfor præger dette område også i dag optimeringsværktøjerne. Imidlertid udgør strukturelle kriterier kun en mindre del af værdigrundlaget for de fleste produkter. Denne situation har været kendt siden vor tidsregnings begyndelse, hvor den romerske arkitekt Vitruvius lagde grundlaget for vore dages designforståelse med sit ti-binds værk om arkitekturteori. Vitruvius hævdede, at god arkitektur hviler på tre søjler:

- ! abFirmitas, de strukturelle hensyn
- ! abUtilitas, de funktionelle hensyn
- ! abVenustas, de æstetiske hensyn

Vitruvius' indsigt har vist sig at være så langtidsholdbar, at næsten al design den dag i dag kan forstås ud fra balancen mellem disse tre hensyn. Vitruvius hævder også, at der er en symbiotisk forbindelse mellem søjlerne, således at god arkitektur ikke blot indeholder elementer fra dem alle, men i tilgift lader dem samarbejde om at løse opgaven.

Både moderne og klassisk arkitektur bærer vidnesbyrd om arkitekters bevidste eller ubevidste udnyttelse af symbiose mellem Firmitas og Venustas. De klassiske kirkerum, som med deres højde var en enorm udfordring for datidens byggeteknologi, giver beskueren en umiddelbar æstetisk oplevelse, der er tæt forbundet med det faktum, at rummene strukturelt set befinder sig på grænsen af det mulige. Moderne arkitekters fascination af minimalkonstruktioner og design af bygninger med specielle og synlige bæremekanismer er et andet fremtrædende eksempel. Det er i den forbindelse interessant, at nutidens arkitekter massivt afviser det 19. århundredes tendenser til at skjule bygningers strukturelle funktion bag beklædning.

I de seneste år har optimeringsteknologien bevæget sig ind på nye områder i kraft af resultater vedrørende design af eftergivelige mekanismer (Sigmund et.al., <http://www.topopt.dtu.dk>). Disse resultater har vakt enorm opsigt og fascinerer de fleste, der ser dem for første gang. Den Vitruvianske fortolkning af denne fascination er, at den er en ubevidst reaktion på, at optimering hermed for første gang overskider grænsen mellem Firmitas og Utilitas; disse mekanismer er nemlig designet på grundlag af deres funktion snarere end deres strukturelle egenskaber. Det er yderst interessant, at dette konceptuelt store skridt opnås ved en meget lille ændring af den matematiske problemformulering, som anvendes til strukturelt design.

Selvom de nye resultater kun er en spæd begyndelse på designoptimering med hensyn til funktionalitet, kan det med rimelighed hævdes, at optimeringsteknologien nu kun mangler at tage hul på den sidste Vitruvianske søjle, Venustas: optimering med hensyn til æstetik.

Anvendelse af optimeringsteknologi stiller følgende to fundamentale krav:

1. Det skal være muligt at definere problemet præcist i form af følgende tre begreber:

**Designvariable**, som er et sæt parametre, der tilsammen beskriver konstruktionens udformning. Designvariable kan være kontinuerte eller diskrete. Det er muligt at repræsentere alle designproblemer - også de helt konceptuelle - i form af designvariable. Designvariablene udspænder tilsammen designrummet og kan derfor repræsentere en begrænsning af den designmæssige mangfoldighed for optimeringsproblemet. Derfor er definitionen af designvariable altafgørende for optimeringsprocessens resultat.

**Begrænsninger** (constraints), som er et sæt krav til det endelige resultat. Der er ingen begrænsning på antallet af begrænsninger, men hver af dem begrænser udfaldsrummet og dermed de designmæssige muligheder. I visse tilfælde kan begrænsninger være indbyrdes udelukkende, og det kan i sådanne tilfælde være umuligt at finde et design, som opfylder dem alle.

**Objektfunktion** (værdigrundlag, kriteriefunktion, kostfunktion), som er den egenskab ved konstruktionen, der efterstræbes i tilgift til opfyldelse af begrænsningerne. Det er

sædvanligvis sådan, at et uendeligt antal forskellige designs opfylder alle begrænsninger, og det optimale design er den af de tilladelige udformninger, der bedst muligt tilgodeser objektfunktionen. Der kan aldrig være mere end én objektfunktion. Hvis man ønsker at tilgodesse flere egenskaber som objektfunktioner, må de kombineres til et enkelt kriterium.

2. abProblemet skal være analysérbart og optimérbart.

**Analysérbart** betyder, at der skal eksistere automatiske analysemetoder, som for en given kombination af designvariablenes værdier kan evaluere i hvor høj grad designet opfylder begrænsningerne og tilgodeser objektfunktionen. Det er sædvanligvis også nødvendigt at have en analysemetode, som kan afsløre konstruktionens reaktion på potentielle ændringer af designvariablene, en såkaldt sensitivitetsanalyse.

**Optimérbart** betyder, at det på grundlag af analysen skal være muligt med en vis pålidelighed at estimere ændringer, som vil føre til en forbedring af konstruktionen.

Optimering af æstetiske kriterier repræsenterer en række vanskeligheder i forhold til ovennævnte krav:

1. abDet er sandsynligt, at optimering af denne type er at finde i et tidligt stadium af designprocessen, hvor der skal genereres grundlæggende formmæssige idéer. Designeren vil derfor normalt ikke have en forudfattet mening om konstruktionens overordnede topologi/layout, og det er nødvendigt med en type parametrisering, som lægger meget få eller ingen begrænsninger på resultatet af processen. Af denne årsag er det sandsynligt, at designvariable af topologioptimeringstypen vil være det bedste valg. Strukturen opfattes i denne type modeller som bestående af et stort antal elementer, der hver kan opfattes som pixels i et billede. Hvert element kan være fyldt i varierende grad med materiale, der visuelt repræsenteres ved gråtoner. Densiteten (eller gråtonen) af hvert element udgør en designvariabel, og på samme måde som pixels kan danne billeder af hvadsomhelst, kan denne model også repræsentere alle konstruktioner.
2. abDen præcise definition af problemet vil volde vanskeligheder. Æstetiske kriterier er særdeles subjektive, og de afhænger i høj grad af den kontekst, som konstruktionen befinder sig i. Skønhed kan optræde i en klassisk fortolkning fx. som harmoniske proportioner, men det er en alt for snæver definition til praktisk anvendelse. Det skal være muligt at skabe en konstruktion, der er "skøn som en sønderskudt banegård". Det er ikke realistisk at tro, at æstetiske kriterier vil blive direkte analysérbare, og det er derfor af afgørende betydning at understrege, at sigtet er at stille et værktøj til rådighed, som kan forsyne designeren med input baseret på mere håndfaste kriterier i form af visuelt udtryk. Kriterier som retningsbestemthed, åbenhed, lukkethed, lethed, rumskabelse, kontinuitet, kompleksitet, kantethed samt lighed med forud-definerede geometriske former, fx. kubisme, vil formodentlig være overkommelige at implementere.
3. abDer eksisterer ikke et teorigrundlag for implementering af analysen med hensyn til fx. ovenstående kriterier. Der eksisterer imidlertid en række velbekrevne metoder fra billedanalyse, som formodes at kunne danne grundlag for arbejdet. Den valgte designmodel fra topologioptimering formodes at ville lette implementeringen af sådanne metoder, idet designmodellen umiddelbart kan opfattes som et to- eller tredimensionalt billede.

Projektets målsætning er primært grundvidenskabeligt, idet der er tale om originale og hidtil i store træk uudforskede idéer. Det er hensigten med arbejdet at afklare, om de foreslåede metoder kan danne grundlag for optimering med hensyn til æstetiske kriterier. Det må forventes, at der ligger et forholdsvis langt udviklingsforløb forud for frembringelsen af et praktisk anvendeligt værktøj.

Den udviklede teknologi forventes imidlertid implementeret i det eksisterende designoptimeringssystem ODESSY, og hermed vil der være åbnet mulighed for optimering med hensyn til hybride strukturelle og æstetiske kriterier, og der kan eksperimenteres med teknologiens anvendelighed på konkrete problemer.