



# Computational Design

Søren Jensen





# Introduktion

## En holistisk tilgang til bygningsdesign

Søren Jensen er en virksomhed hvor viden og teknologi er forankret i grundlæggerfamiliens tro på udvikling og teknikens muligheder. Vi er blandt andet pionerer inden for implementation af BIM i vores byggeprojekter og vi har længe brugt 3D projektering og modellering helt eller delvist i samtlige af vores projekter. Dette er efterhånden en standard som vores kunder ikke kun efterspørger, men forventer.

Vi er teknologientusiaster og for os stopper 3D projektering ikke med BIM. Vi stræber efter at flytte mulighedernes grænser yderligere og herved opnå et godt design, som har en positiv effekt på bygningssmiljøet.

Ved at udnytte den nyeste teknologiske udvikling og de fleksible designprocesser kan vi tilbyde en dynamisk ramme for vores interne projekteringsteams og samarbejdspartnere. Et eksempel på sådanne

processer er parametriske modellering, hvor en 3D model ikke kun er en statisk repræsentation af projektet, men en dynamisk platform styret af udvalgte parametre. Dette giver mulighed for at udforske flere mulige design konfigurationer på meget kort tid og derved opbygge stor viden om et projekt på et meget tidligt stadie.

Denne form for tilgang er medvirkende til at opløse et kendt paradoks, nemlig at beslutninger der træffes på et tidligt stadie, og derfor på baggrund af et lille beslutningsgrundlag, kan have stor effekt, modsat de beslutninger der træffes i en senere fase, hvor beslutningsgrundlaget er langt større.

Parametriske modellering er kun en del af en større værktøjskasse, som vi hos Søren Jensen har valgt at samle under et dedikeret udviklingsteam, Computational Design.



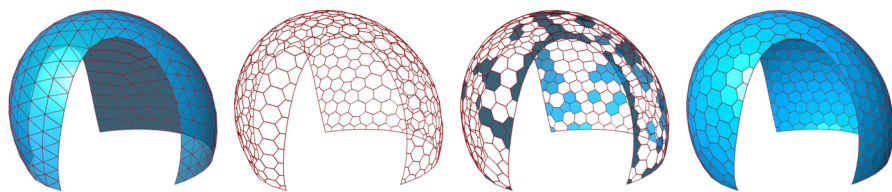
Figur 1: Hurtig feedback giver mulighed for flere designiterationer

**Kompetence:** Computational Design

**Kontaktperson:** Peter Vejrum

**E-mail:** pve@sj.dk

**Telefon:** +45 4194 9353



Søren Jensen



Figur 2 og 3:  
Øverst. Udvikling og optimering af Polyshell pavillonen  
Nederst. Polyshell pavillonen, færdigt resultat

Dette team råder over en lang række værktøjer, som gør det muligt at håndtere mere komplekse problemstillinger og samtidig være mere effektive, både i forhold til tidsforbrug og omkostninger. Teamets opgave er til dels at udvikle værktøjer til internt brug, samt at samarbejde med eksterne partnere i udviklingen af bygningskoncepter.

Vores kompetencer inkluderer blandt andet:

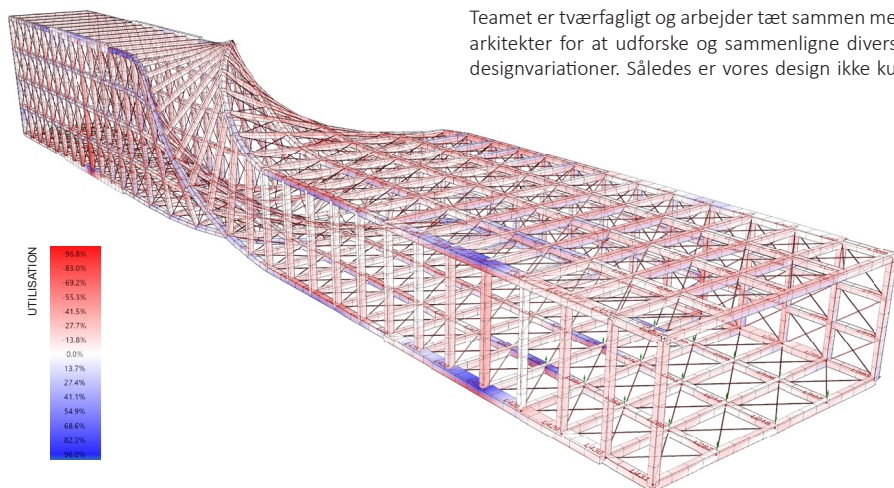
- Konceptuelt parametriske design
- Følsomhedsanalyser
- Databehandling
- Datavisualisering
- Optimering
- Komplekse geometrier
- Interoperabilitet mellem designplatforme
- Parametriske modellering
- Simulation modellering
- Formfindning
- Virtual/Augmented Reality
- CAD/CAM
- CFD

Ved brug af disse teknikker kan vi medvirke til at øge et projekts potentiale og overkomme, normalt hæmmende begrænsninger.

Et klassisk eksempel på en hæmmende begrænsning er projektøkonomien. Brugen af computeralgoritmer gør det blandt andet muligt at rationalisere komplicerede geometrier og derved minimere produktionsomkostningerne. På denne måde udvider Computational Design løsningsområdet og bidrager dermed til at skabe grænseoverskridende arkitektur uden ekstra omkostninger.

Søren Jensen er en virksomhed med meget brede kompetencer og stor grad af faglighed. Samtidigt er det ambitionen, at design af bygninger skal præges af en holistisk tilgang, hvor alle fag involveres fra et tidligt stadium. Vi arbejder med integrerede modeller, hvor blandt andet; energi-, dagslys-, komfort- og konstruktionsdesign er en integreret del af den parametriske designproces. På denne måde kan effektiviteten af forskellige designiterationer eller variationer af parametre hurtigt evalueres på baggrund af de integrerede analyser.

Teamet er tværfagligt og arbejder tæt sammen med arkitekter for at udforske og sammenligne diverse designvariationer. Således er vores design ikke kun



Figur 4: Konstruktionsanalyse af parametriske 3D-model i Grasshopper

**Kompetence:** Computational Design

**Kontaktperson:** Peter Vejrum

**E-mail:** pve@sj.dk

**Telefon:** +45 4194 9353

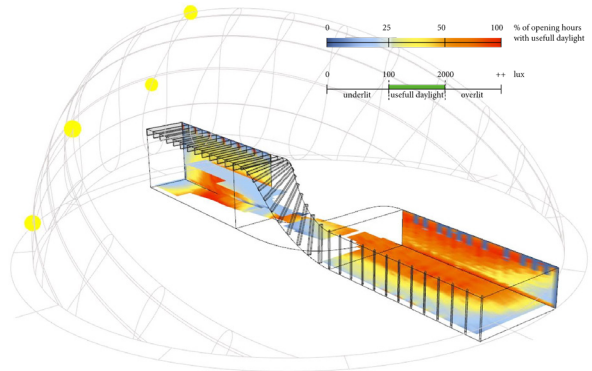
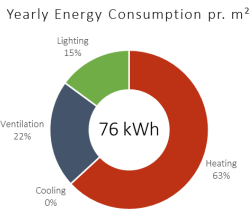
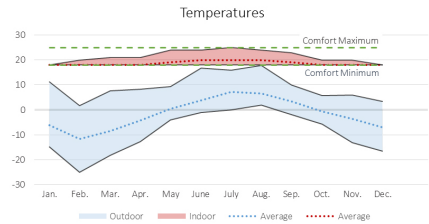
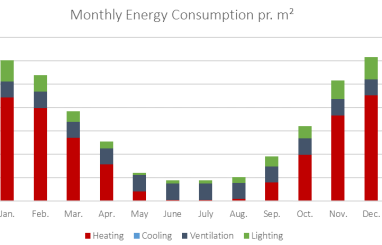
præget af tekniske optimeringer men et detaljeret beslutningsgrundlag på tværs af fag, hvor de æstetiske kvaliteter også inkluderes.

Et andet fokusområde for teamet er derfor visuel kommunikation. Vi arbejder, som oftest, sammen med designere, der er vant til at kommunikere visuelt. Derfor er det vigtigt for os at vores resultater, ligegyldig kompleksiteten, skal kunne kommunikeres på en forståeligt og inspirerende måde. Især gør brugen af parametriske design det muligt at generere store mængder af data på meget kort tid og det er vigtigt at præsentere disse data således at der kan tages en kvalificeret beslutning.

Vi lægger stor vægt på at vores metoder ikke bliver styret af en mentalitet, hvor vi glemmer vores faglighed og stoler blindt på de producerede resultater.

I stedet gør vi brug af refleksiv tænkning og er alle højtuddannede eksperter med en intuitiv forståelse for vores individuelle fagområder. Vi bruger ikke teknologi bare for at bruge det, vi bruger teknologi for at besvare, "hvad nu hvis...?" spørgsmål og derved understøtte udforskningen af alternativer.

Hos Søren Jensen ser vi et stort potentiale i Computational Design og derfor investerer vi gerne i den videre udvikling. Selvom gruppen er ansvarlig for udviklingen og implementeringen af nye værktøjer, er det ambitionen at værktøjerne bruges bredt i hele firmaet. De udviklede værktøjer er med til at understøtte firmaets ambitioner og samtidigt reduceres projekteringstiden af repetitive og langsomme opgaver, så vi kan bruge tiden på det vi er bedst til - at skabe inspirerende ingeniørkunst.



Figur 5: Visuel kommunikation af data-mængder





# Kompetencer

---

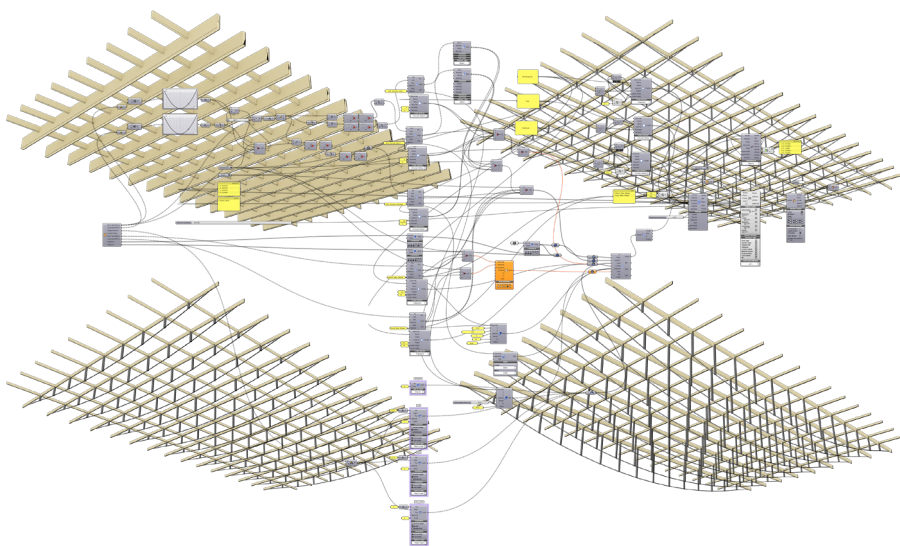
# Parametrisk Modellering

## Parametriske modeller i den tidlige fase

Omkring 80 % af beslutningerne angående bygningers ydeevne bliver truffet inden for de første 20 % af en designproces. Disse beslutninger træffes ofte på baggrund af et lille beslutningsgrundlag. For at gøre det muligt at træffe et kvalificeret valg er det nødvendigt at undersøge adskillige løsningsforslag på et relativt højt detaljeringsniveau. Disse undersøgelser er ofte tidskrævende og uflexible.

I komplekse byggeprojekter kan der nemt forekomme flere hundrede variationer af et konstruktions-element. I de senere faser af et byggeri er det både tidskrævende at modellere og samtidig kan der i

den manuelle proces nemt opstå fejl og mangler. I tilfælde af ændringer af hovedgeometrien skal disse bygningselementer tilpasses og hele modellering-processen skal begynde forfra.



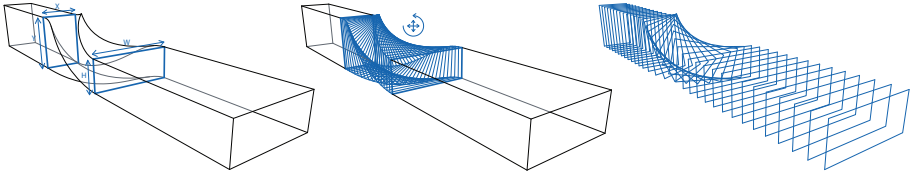
Figur 1: Parametriske modelleringsværktøjer giver mulighed for at udforske et større antal forskellige løsninger

**Kompetence:** Rhino/Grasshopper, Revit/Dynamo

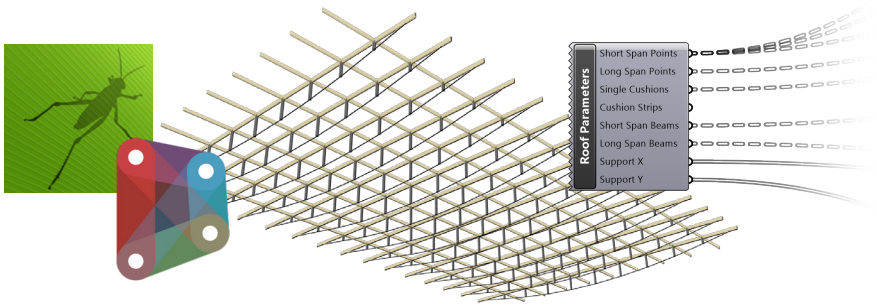
**Kontaktperson:** Peter Vejrum

**E-mail:** pve@sj.dk

**Telefon:** +45 4194 9353



Figur 2: Eksempel på geometriske parametre



Figur 3: Grasshopper og Dynamo anvendes som parametriske modelleringsværktøjer

Hos Søren Jensen anvender vi parametriske modellering for at skabe en fleksibel arbejdsproces, hvor vi kan reagere hurtigt på ændringer, lave følsomhedsanalyser, automatisere modelleringsprocesser og svare på spørgsmål som: "Hvad nu hvis...?".

Ved parametriske modellering er geometrien styret af en række matematiske regelsæt, der forbinder de enkelte elementer i modellen, på denne måde reagerer hele modellen på ændringer af input parametrene. Dette står i kontrast til direkte modellering, hvor de enkelte dele ikke har nogen indbyrdes relationer. Vi anvender både Grasshopper og Dynamo som parametriske modelleringsværktøjer, samt de nyeste plugins til begge platforme.

Brugen af parametriske modellering giver os mulighed for at udforske og præsentere et betydeligt større antal løsninger end ved en mere traditionel tilgang. Desuden kan komplekse geometrier repræ-

senteres på en simpel og intuitiv måde og disse kan nemt tilpasses ændringer i de styrende parametre. Desuden kan repetitive modelleringsopgaver automatiseres og derved opnås der ikke kun en besparelse i mandetimer, men også en hurtigere proces.

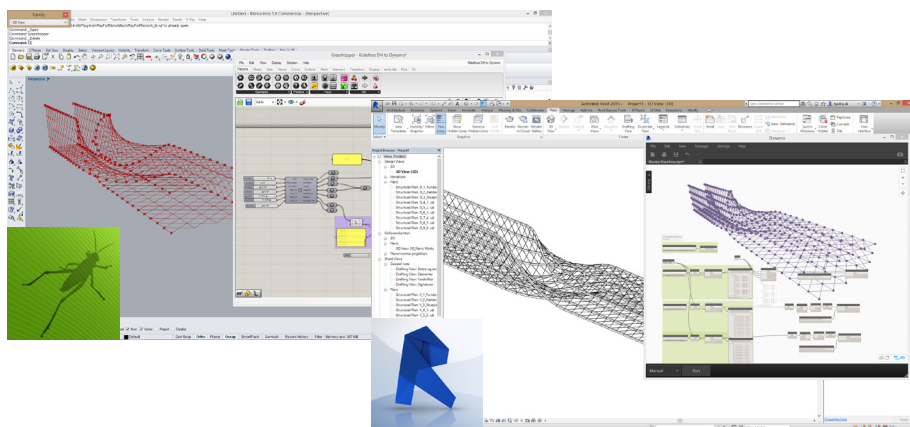
Traditionelle analysemetoder er for langsomme i en dynamisk designproces, hvor et stort antal forskellige variationer skal efterforskes. Alternativet er at basere sine beslutninger på erfaringer og tommelfingerregler. Dette bliver dog sværere og sværere i takt med at projektets kompleksitet stiger, samtidig med at beslutninger taget på baggrund af dette som oftest er konservative og i værste fald hæmmende for udviklingen af innovative designforslag.

Derfor understøtter parametriske modellering en tankegang hvor vi udfordrer normerne og skaber nye og innovative løsninger. Dette er noget vi, som virksomhed, og vores kunder sætter stor pris på.

# Software Interoperabilitet

## Data-flow mellem forskellige platforme

I løbet af et projekteringsforløb bliver der produceret store mængder af data om et byggeri. Dette kan være i form af geometri, analyseresultater, beregninger osv. Da alle fag anvender specialiseret software er disse data som oftest spredt over flere fagdiscipliner og platforme. Mange af disse platforme gør brug af egne filformater og databasesystemer, som umiddelbart ikke er kompatible med hinanden.



Figur 1: Kobling mellem Rhino/grasshopper og Revit via Dynamo

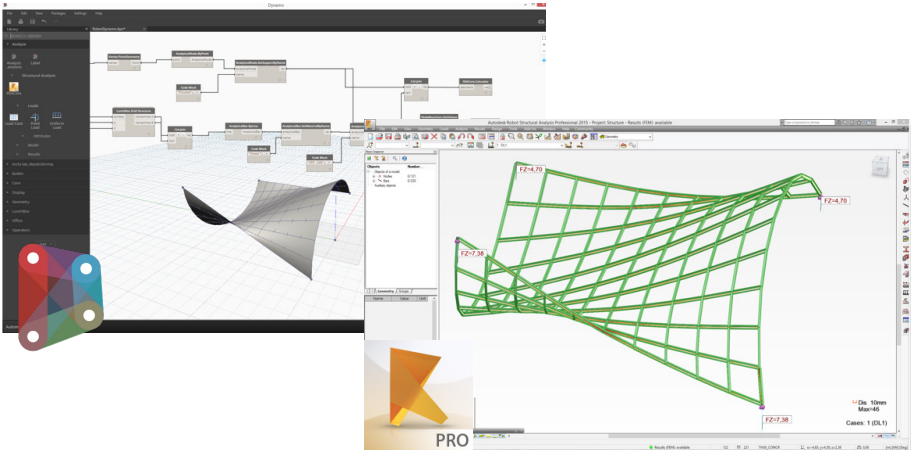
Dette giver som regel anledning til en masse dobbeltarbejde eller en langsommelig proces, hvor data manuelt aflæses og indføres fra én platform til en anden. Dette er i sigens natur ikke en særlig dynamisk måde at arbejde på og noget vi hos Søren Jensen helst undgår. Derfor bruger vi både eksisterende plugins til at linke mellem forskellige platforme og i nogle tilfælde scripter vi egne brugerdefinerede links.

Blandt andet gør vi brug af links mellem vores 3D modelleringværktøjer (Rhinoceros), parametriske værktøjer (Grasshopper og Dynamo), beregninger (Excel, Power Query, Tedds) specialiseret analysesoftware (Robot Structural Analysis, EnergyPlus, Radiance) og dokumentationssoftware (Revit). Vi arbejder løbende med at udvikle links og dermed binde de individuelle faggrupper tættere sammen.

**Kompetence:** Interoperabilitet, Dataflow, Rhino/Grasshopper, Revit/Dynamo, Robot etc.

**Kontaktperson:** Mahmoud Iskandarani  
**E-mail:** mis@sj.dk  
**Telefon:** +45 2429 8440

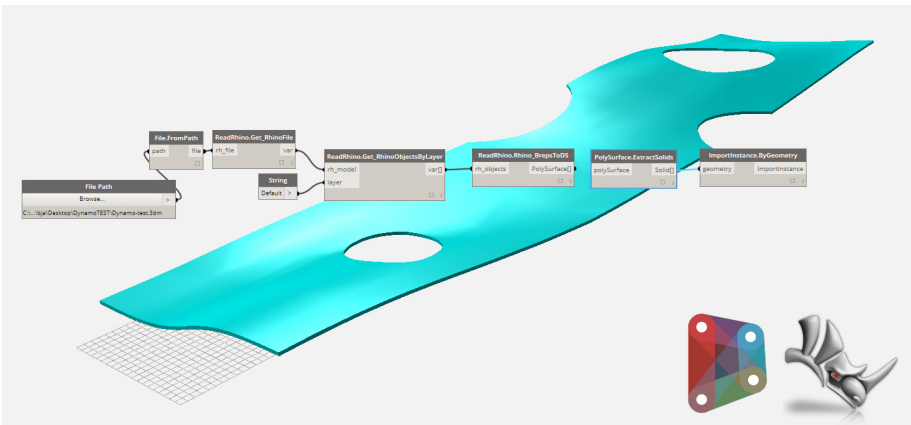
**Kontaktperson:** Tonni Elkjær  
**E-mail:** tek@sj.dk  
**Telefon:** +45 4194 9322



Figur 2: Direkte link mellem Dynamo og Robot Structural Analysis

Der er et stort potentiale i at deles om data og modeller og tidsforbruget kan reduceres kraftigt, specielt ved meget komplekse opgaver. Der bliver skabt en større sammenhæng i projektet, hvor informationer bæres hele vejen på tværs af discipliner og projektfaser. Desuden kan langsommelige proces-

ser og dobbeltarbejde skæres ned til et absolut minimum. Det stående alternativ er at opstarte sine modeller fra bunden og i tilfælde af ændringer skal alle modeller opdateres individuelt, hvilket kræver meget tid og mange ressourcer.

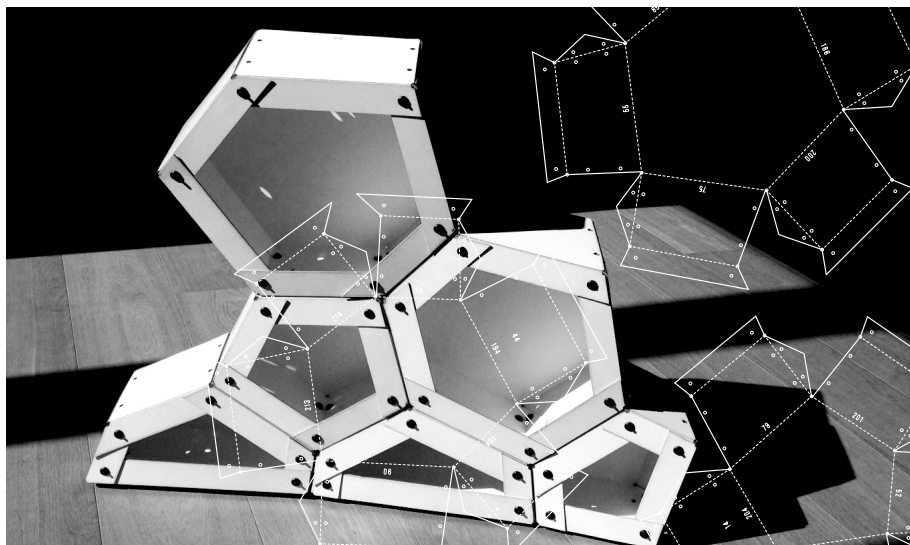


Figur 3: Import af geometri til Dynamo fra Rhino

# Fysiske Prototyper

## Fysiske modeller som designredskab

Hos Søren Jensens Computational Design Team bruger vi en bred vifte af både traditionelle designredskaber, såsom skitse og håndberegninger, og avancerede digitale redskaber, såsom parametriske modellering og interaktive bygningsanalyser. Det er vigtigt for vores designproces at de rigtige værktøjer bliver brugt på det rette tidspunkt og derved giver mest værdi med den kortest mulige responstid. Som en del af denne værktøjskasse, der forbinder den digitale verden med den fysiske, gør vi brug af fysiske prototyper.



Figur 1: Fysisk prototype af konstruktionsprincip. Elementer er skåret på laserskærer og derefter samlet i hånden.

I den digitale tidsalder er det muligt at arbejde med meget avancerede modeller og vi bruger computere til at organisere og præsentere komplekse geometrier. Dog kan det til tider være svært at inspicere og opbygge en intuitiv forståelse for disse geometrier i en digital 2D repræsentation.

I vores modelværksted har vi adgang til blandt andet laserskærer og en 3D printer. Disse værktøjer gør det muligt for os at afprøve ideer ved hjælp af fysiske prototyper. Disse prototyper bruges blandt andet til undersøgelse af samlingsdetaljer, bygningsgeometrier og konstruktionssekvenser.

**Kompetence:** Prototyper, 3D-print, laserskæring, fysiske modeller, digital fabrikation

**Kontaktperson:** Mahmoud Iskandarani  
**E-mail:** mis@sj.dk  
**Telefon:** +45 2429 8440

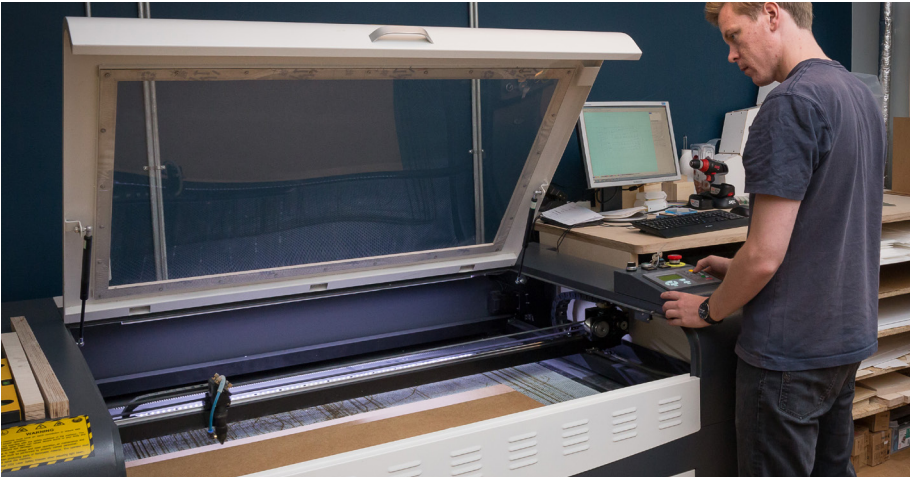
**Kontaktperson:** Tonni Elkjær  
**E-mail:** tek@sj.dk  
**Telefon:** +45 4194 9322



Figur 2: Med fysiske prototyper kan variationer af geometrier nemt sammenlignes.



Figur 3: Prototyper af casing til ny sensorteknologi tages ud af 3D printeren.



Figur 4: Laserskærer er en del af det faste inventar i vores kontormiljø.

Desuden giver prototyper mulighed for at fange eventuelle mangler før man tager projektet videre til produktion og derved kan dyre produktionsfejl undgås.

At fravælge de fysiske redskaber og udelukkende anvende digitale platforme giver en dårligere forståelse for projektet. Fejl og mangler kan være svære

at opdage og kan i værste fald resultere i bekostelige ændringer og tilpasninger.

Hos Søren Jensen ser vi produktionen af prototyper som en uundværlig del af vores designprocess. Anvendelse af fysiske modeller giver øget værdi, ikke kun til de projekterende, men også til vores kunder.

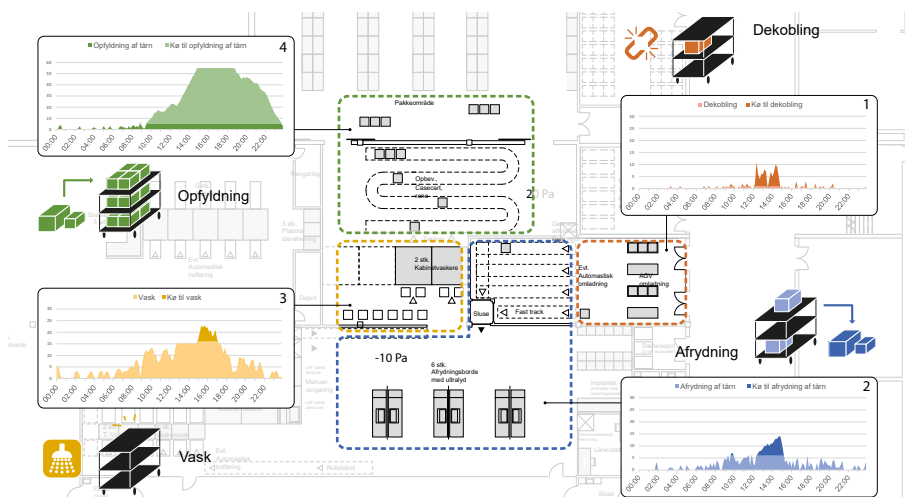
# Simulation Modelling

## Logistik simulering i bygninger

En vigtig faktor i designprocessen er at skabe plads til det flow af mennesker, forbrugsartikler og affaldsprodukter, som skal bevæge sig indeni samt ind og ud af bygningen. Derfor er det nødvendigt at kigge nærmere på disse flow i designprocessen, for at undersøge om der er tilstrækkelig med kapacitet og så der ikke opstår flaskehalse.

Udgangspunktet for at skabe optimalt flow af mennesker, forbrugsartikler og affaldsprodukter i en bygning er statiske beregninger samt flowtegninger og flowbeskrivelser, som så kan danne grundlag for dimensioneringen og disponeringen af de arealer, der skal anvendes. Dette er ofte tilstrækkeligt når

kompleksiteten i flowene er lille. Men efterhånden som kompleksiteten bliver større, bliver beregninger også mere komplicerede. Her er det en fordel at anvende dynamiske simuleringer, hvor det enkelte element med dens parametre, bliver simuleret minut for minut.



Figur 1: Simulering af en sterilcentral.

1. Buvognene i køen foran deklingsprocessen, hvor vogne bliver adskilt.
2. Herefter forsætter de ind i en kø, hvor de venter på at en logistikmedarbejder henter dem for at fjerne eventuelt affald og tomme kasser.
3. Medarbejderne stiller dem efterfølgende, hvis der er plads, til vask i én af de to vaskemaskiner.
4. Efter at vognene er vasket bliver de opbevaret foran pakkeområdet, hvor de venter på at en logistikmedarbejder henter dem for at genopfylde dem med varer som skal ud til afdelingerne.

**Kompetence:** Logistisk simulering, Heatmap- og Sightline analyser

**Kontaktperson:** Nikolaj Børty Nielsen

**E-mail:** nbn@sj.dk

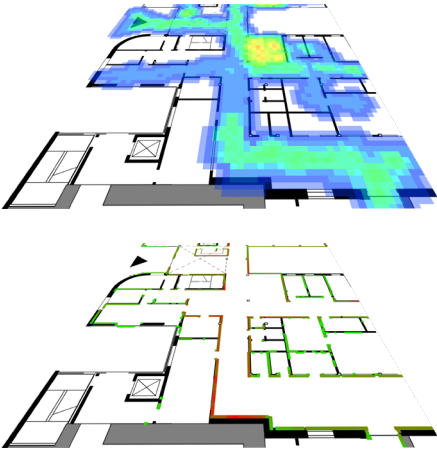
**Telefon:** +45 41949445



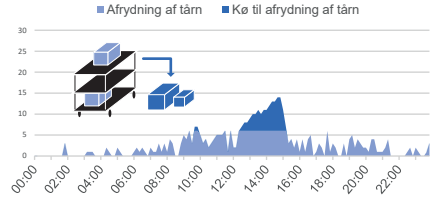
Simuleringsmodellen er med til at:

- Give bedre indblik i forhold til arealbehov
- Give bedre indblik i kapacitetsbehovet for automatiserede del af flowet, som elevatorer
- Fortælle hvor tæt udnyttelsen af systemet er på maksimumkapaciteten
- Give mulighed for afprøvning af forskellige scenarier for hvordan disponeringen af de enkelte arealer påvirker flowet
- Give mulighed for at indarbejde stresstests for de forskellige dele af flowet

En anden metode til simulering af personflowet er gennem visuelle analyser. Hver enkel person simuleres med udgangspunkt i hvilke områder/funktioner de skal benytte. Derved kan man få et indblik i, hvordan personerne f.eks. bevæger sig rundt, når de kommer ind gennem hovedindgangen til bygningen.



*Figur 3:*  
Øverst. Heatmap der viser personbelastning.  
Nederst. Sightline analyse viser brugerens udsyn til og fra bestemmelsessted



*Figur 2:* Grafer giver overblik over belastningen for et givent tidsrum for de forskellige processer

To typer af visuelle analyser kan foretages i denne model. En Heatmap analyse, som er en grafisk afbildning af, hvor personerne befinder sig og hvor ofte. Samt en Sightline analyse, som viser flader/vægge der er synlige for personerne, mens de bevæger sig til og fra deres bestemmelsessted.

Denne model er med til at:

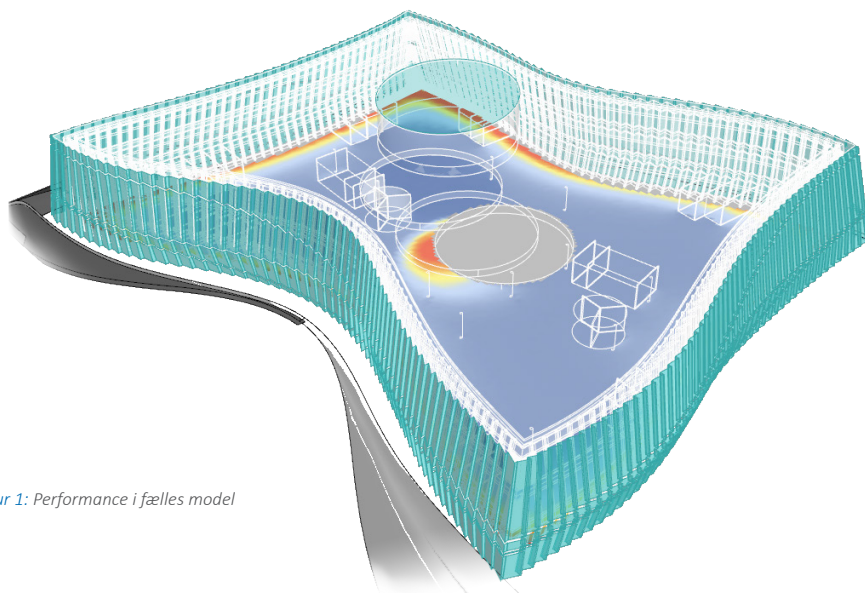
- Give indblik i, hvor personerne færdes i specifikke dele af bygningen. Dette er relevant i forhold til arealudnyttelsen, akustik og belysning.
- Give indblik i hvor skilte skal placeres for at sikre en optimal wayfinding.

Med Simulation Modelling tages et skridt væk fra de døde vægge og lofter i bygningen, ved at kigge nærmere på hvordan bygningens tiltænkte funktioner bliver. Herved er det muligt at opnå et indblik i, hvordan den fremtidige hverdag ser ud, allerede inden det første spadestik er taget. Det giver en større sikkerhed for bygherren end ved brug af statiske analyser.

# Integreret Design

## Performance i tidligt design

Vi tror på, og er drevet af, at fantastisk arkitektur kan skabes samtidig med at dette forbedrer menneskers oplevelse og begrænser miljøbelastningen. Vi mener, at bæredygtigt design er skabelsen af exceptionelle rum med en høj grad af brugerkomfort og en minimal tilførsel af energi. For os er design en uadskillelig komponent af bæredygtigt byggeri, og vi ønsker at styrke arkitekturen samtidig med, at denne forbedrer inde- og udeforhold for mennesker. Dette gøres mest succesfuldt ved at vi involverer os tidligt.



*Figur 1: Performance i fælles model*

Der er i dag, udover krav til arkitektur og funktionalitet, høje energikrav og ambitioner omkring sundhed og brugertilfredshed. Dette medfører tilsammen en høj grad af kompleksitet i bygningsdesignet. Tidligt design er præget af store løsningsrum med en høj grad af ubestemte parametre.

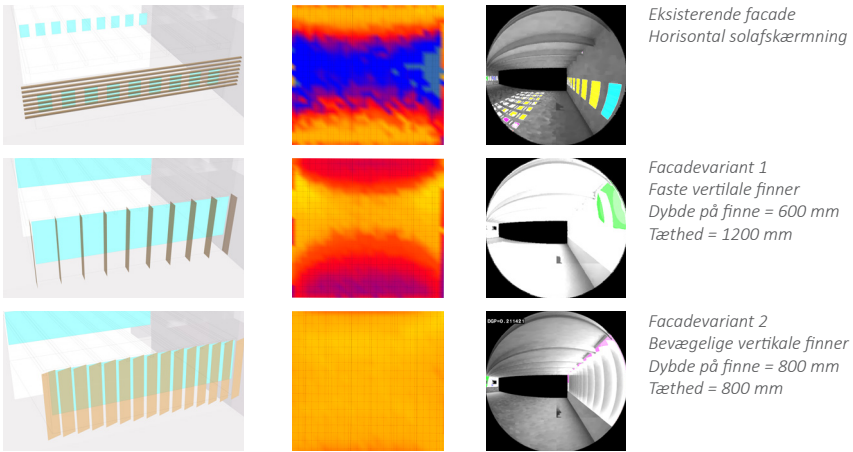
Traditionelt rådgives ved brug af tommelfingerregler, der er erfaringsbaserede i forhold til generelle designkonfigurationer uden hensyn til specifik geometri samt kontekst. Konventionelle simuleringssystemer indbefatter typisk en træg og systematisk modellering af geometri og installationer,

**Kompetence:** Integreret design- og analysemodel, indeklimavisualisering, følsomhedsanalyse

**Kontaktperson:** Jon Wedersøe Strunge

**E-mail:** jws@sj.dk

**Telefon:** +45 41949471



Figur 2: Klimabaseret dagslyssimulering og blændingsstudie for forskellige facadekonstellationer

hvilket betyder at designet skal have en høj færdighedsgrad. Styrke og svagheder, der karakteriserer det individuelle projekt bliver af disse årsager ikke udnyttet optimalt mens designet kan påvirkes i "tide".

Vores ambition er at bidrage med rådgivning og IT-værktøjer, der er tilpasset designproblemet abstraktionsniveau og detaljeringsgrad, med det formål at gøre rådgivningen relevant og påvirke designet før det fastlåses. Vi er fagnørder med en holistisk og designorienteret tilgang til bygningsdesign. Vi anvender analyseværktøjer i en fælles platform, som designteamet kan interagere med og opnå indsigt i kompleksiteten, og kan sammenligne store løsnings- og parameterområder. Dertil tilføres en designintelligens gennem rangering, følsomhedsanalyse og optimering af designvariationer, for at afdække begrænsninger og udnytte muligheder for det individuelle design.

Let forståelig visualisering af performance hjælper designteamet til at opbygge intuition og dermed inddrage bæredygtige designvalg. Dette bidrager til en øget viden på tværs af faggrænser. Gennem

denne indsigt kan der foretages mere informerede og holistiske designvalg, og med en fælles forståelse øges muligheden for at vælge en højt performerende løsning. Dette kan bidrage til, at drive processen imod innovativt og vidensbaseret design fremfor blot at "gøre som vi plejer".

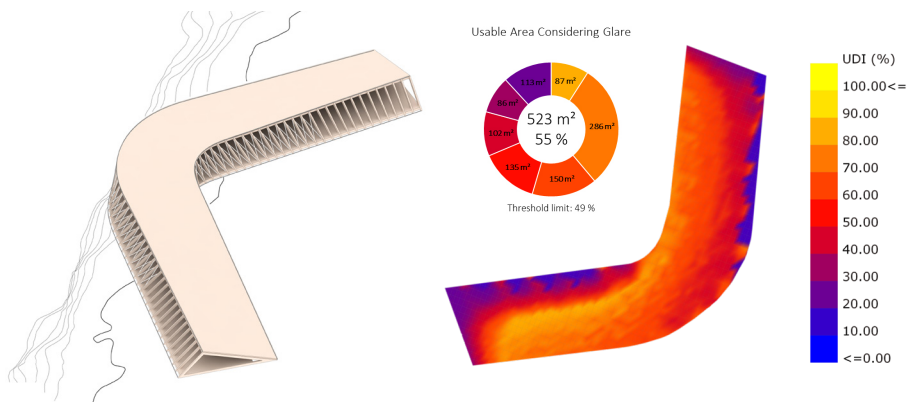
Værktøjerne muliggør studier som ellers ville være omfangsfulde, eksempelvis af kompleks geometri. De bidrager med en effektivitet i designet, da geometrien i analysen bliver mindre simplificeret. Krav fra myndigheder, byggeprogram, lokalitet og fabrikation kan indlægges som begrænsninger i modellen hvorved teamets indsats kan intensiveres på at designe.

Med denne tidlige tilgang til samarbejde, er vi i stand til at udfordre designet og kommunikere arkitekturens indflydelse på komfort og energiforbrug. I hvert projekt genereres således ny viden, der kan ende ud i unikke løsninger. Dette bidrager tilsammen til et beslutningsgrundlag for at skabe et succesfuldt bæredygtigt design og til målet om at designe høj komfort og lav belastning.

# Dynamisk Komfortanalyse

## Energieffektivt og klimatisk design

Bygninger opleves af mennesker. Oplevelsen påvirkes af en række komfortfaktorer, og kvaliteten af bygningens mikroklimaer, skabt af bygningsdesignet og installationerne, har stor indflydelse på menneskers velvære. Energieffektive bygninger er kun effektive når brugerne af bygningen er komfortable. Når ambitionen er at skabe en energi- og komfortmæssig højtydende bygning, bør der tages designværktøjer i brug, der er i stand til at påvise hvad bygningsform og designparametre betyder for den reelle brug af bygningen.



Figur 1: Analyse af brugbare dagslystimer for Isfjord projektet

I dag stilles der i bygningsreglementet krav til performance gennem energiramme og dagslysfaktor. Eftervisning heraf udføres med et benchmarking værktøj, der ser overordnet på bygningen. Dagslysfaktoren beskriver et geometrisk forhold mellem dagslysniveauet, inde og ude, på en overskyet dag, og tager ikke hensyn til de reelle dagslysforhold på alle timer med direkte solindfald.

Vores ambition er, at bidrage til bygningsdesignet ved at inddrage komfortanalyser og lokal klimadata og variationen heraf i tid og rum. Eksempler på det-

te er det reelle lys- og varmeindfald samt udetemperatur, og det deraf affødte behov for tilførsel af ventilation, varme og belysning for at sikre komfort, time for time. Målet er, at identificere og sammenligne hvad bygningsmasse, orientering, facadeåbninger og passive tiltag, herunder solafskærmning, termisk masse og naturlig ventilation betyder for driften og installationerne.

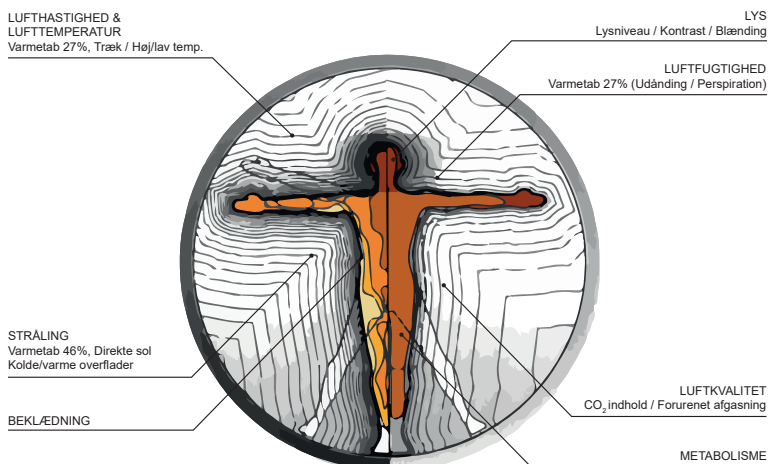
Computational Design muliggør, at vi som ingeniører kan forfølge såkaldt performancebaseret design. Her understøtter formen bygningens funktion

**Kompetence:** Klimabaseret dagslys-, energi- og indeklimasimulering, tidlig analyse af bygningsmasser & udekomfort

**Kontaktperson:** Jon Wedersøe Strunge

**E-mail:** jws@sj.dk

**Telefon:** +45 41949471



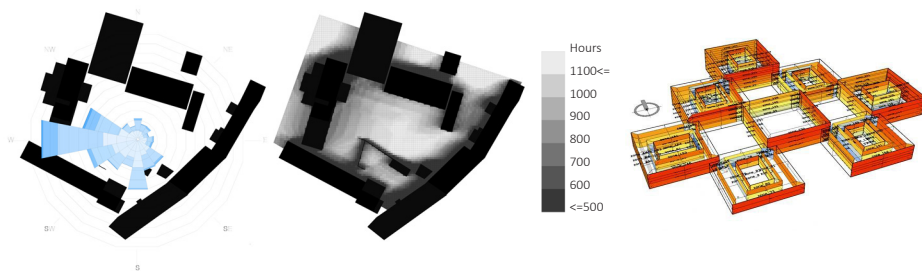
Figur 2: Komfortfaktorer

og hjælper passivt til at indeklimaet fluktuerer indenfor intervallet af de ønskede komfortkriterier. Vi arbejder med designstrategier, der imødekommer dette gennem tidlig dynamisk simulering og klassificering i henhold til normer, samt benchmarking af energiforbruget til varme, ventilation og belysning.

Ved at tilpasse indfaldet af solvarme og dagslys reduceres behovet for opvarmning, køling og elektrisk belysning samt en bekostelig tilførsel af ekstra kvadratmeter og plads til HVAC-anlæg for at sikre komforten. Således anvendes eksempelvis automatisk inddeling af bygningsmasser i mikroklimaer for tidlig beregning af kølebehov og deraf afledte

teknik- og skaktarealer. Ved at simulere og påvirke designet "i tide", kan der opnås driftbesparelser og en bedre integrering af teknik.

Simulering, selv i de senere faser, viser sig at have en kort tilbagebetalingstid på 1-2 måneder<sup>1</sup>, og dertil har passive tiltag typisk en længere holdbarhed end aktive systemer. Indeklimaet påvirker koncentrations-, arbejdsevne og kan ses på bundlinjen. Til eksempel har et studie vist at et godt indeklima kan forøge medarbejder produktiviteten med op imod 18%<sup>2</sup>. Vi mener derfor, at passivt design i formgivning, giver bred værdi.



Figur 3: Tv. Vindrose, Midt. Analyse af solforhold i gårdrum, Th. Analyse af kølebehov for bygningsmasse

<sup>1</sup> <http://energy.gov/eere/buildings/articles/shockingly-short-payback-energy-modeling>

<sup>2</sup> HVAC Magasinet 8, 2006 Indeklima og produktivitet, Kasper Lyng Jensen



# Referencer

---

# Væksthuset Botanisk Have

## En kuppel formet af solens gang

Botanisk Haves palmehus er formet af solens gang. Den kulede form og drejningen i forhold til verdenshjørnerne er opnået via parametriske design med integrerede energianalyser. Formen sikrer størst muligt solindfald om vinteren og mindst muligt indfald om sommeren, og der er samtidig opnået den mindste overflade i forhold til størst mulig volumen.



Tilbage i 1969 stod arkitekten C.F. Møller for designet af det ikoniske væksthus i botanisk have i Aarhus. I 2008 vandt selvsamme arkitektkonkurrencen om en udvidelse af væksthuset. Det vindende forslag bestod i en optimering af en kuppelform i samarbejde med Søren Jensen Rådgivende Ingeniørfirma og universitet i Bath.

Indeklimaet i væksthuset skulle kontrolleres minutøst for at sikre de rette vækstbetingelser og samtidigt være så bæredygtigt som muligt. For at mindske energiforbruget til opvarmning om vinteren skulle solindfaldet maksimeres, imidlertid skulle det ikke være på bekostning af et højt energiforbrug til køling om sommeren.

**Periode:** 2009-2013

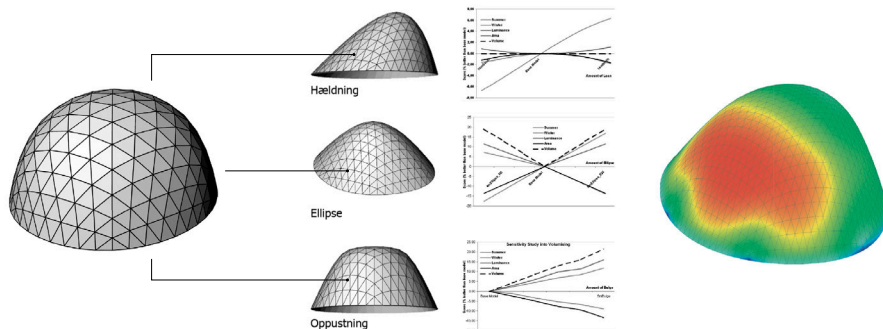
**Omfang:** 3300 m<sup>2</sup>

**Lokalitet:** Aarhus

**Arkitekt:** C.F. Møller

**Bygherre:** Bygningsstyrelsen og Aarhus Universitet

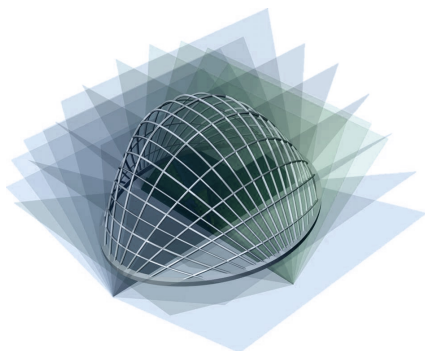




Figur 1: Optimal form genereret ved parametriske variationer af kuplens form ud fra integrerede energistudier

Ved hjælp af teknikker som 'subdivision surfaces' blev en dobbeltkrum kuppeloverflade genereret på baggrund af et simpelt kontrolpolygon. Dette polygon blev brugt til at undersøge adskillige geometriske variationer hvor det relative solindfald blev bestemt for både sommer og vinterperioden. Den optimale form af kuplen kunne nu bestemmes på baggrund af disse to kriterier. Dette resulterede i en kuppel der havde et elliptisk fodaftryk, der samtidig hældte til den ene side.

Den bærende konstruktion består af en række radiale buer, der buer i ét plan. Disse buer blev genereret i en parametriske model ved at skære formen med en række planer og blev samtidigt rationaliseret, således at buerne kunne fabrikeres ved hjælp af så få valseradier som muligt.



Figur 2: Selve konstruktionens geometri er genereret ud fra en række radiale skæringsplaner

Den succesfulde udførelse er, i høj grad, et produkt af et tæt samarbejde mellem universitetsforskere, ingeniører og arkitekter. Brugen af en specialproduceret software gjorde det muligt at udforske en stor mængde løsninger og kommunikere resultater på tværs af fag og landegrænser. Dette er et strålende eksempel på hvordan både konstruktions- og energidesign kan integreres i en enkel computational design model og være medvirkende til at skabe et innovativt design.

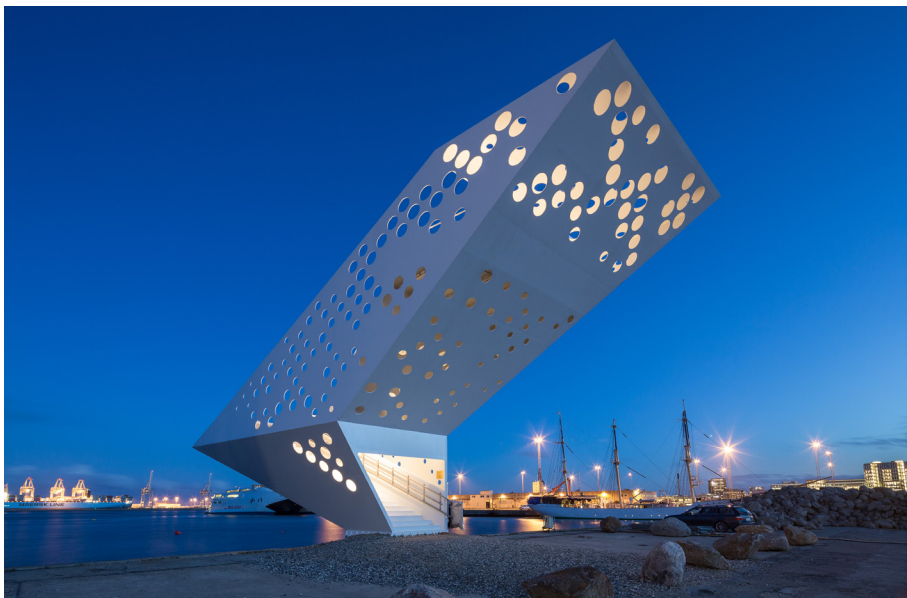


Figur 3: Væksthusets stålbuer løftes på plads i sektioner til det færdige resultat med ETFE-puder

# Udsigtstårn Aarhus Havn

## Et tårn i balance

Det dynamisk udseende udkigstårn på Aarhus havn, er opført som en stålkonstruktion, der står med sit smalle fæste på den eksisterende havnekaj. Tårnets geometri er optimeret ved anvendelse af parametriske analyser. Disse analyser indebærer ligeledes vurderinger af tårnets stabilitet og understøtningsforhold, der er tilpasset den eksisterende kajkonstruktion.



I 2013 vandt Dorte Mandrup Arkitekter en konkurrence angående designet af et nyt vartegn, i form af et udkigstårn på Aarhus havn. Søren Jensens Computational Design team blev kort herefter involveret i det konceptuelle design af tårnet set fra et konstruktionsperspektiv. Den markante geometri er direkte afledt af begrænsningerne i konkurrenceprogrammet.

En af de største statiske udfordringer var det lille fodaftryk i relation til det samlede volumen af tårnet. Det betyder en iboende ustabilitet som er meget følsom overfor små ændringer i placeringen af tyngdepunktet. Parametriske modeller blev i dette tilfælde brugt til at undersøge disse variationer i placeringen af tyngdepunktet ved at variere tårnets ydre geometri.

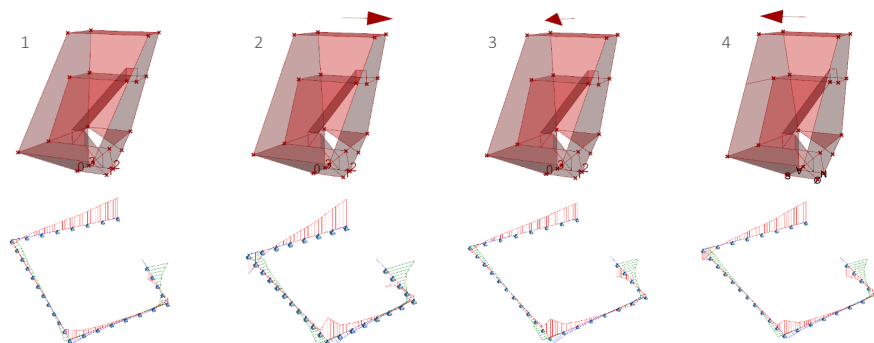
**Periode:** 2014-2015

**Omfang:** 7,5 m (højde)

**Lokalitet:** Aarhus

**Arkitekt:** Dorte Mandrup Arkitekter

**Bygherre:** Aarhus Kommune med støtte fra Salling Fonden



Figur 1: Ved parametriske variationer af tårnets geometri kunne spændinger i fundamentet optimeres

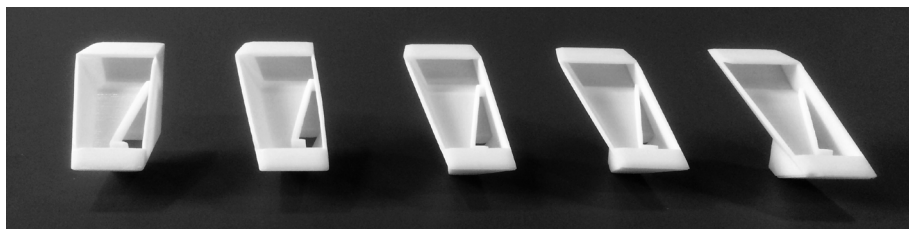
Den parametriske model blev sammenkædet med Autodesk Robot™ Structural Analysis Professional og FEA resultater blev produceret i takt med at ændringer i geometrien blev efterforsket. Herved kunne den mest gunstige placering af tyngdepunktet findes og derved den mindst mulige spænding på fundamenterne. Denne optimeringsproces inkluderede også spændingsfordelingen i pladerne og det resulterede i en geometri med en jævn spændingsfordeling. På denne måde kunne pladetykkelser, og derfor vægt og omkostninger holdes nede samtidig med at det arkitektoniske udtryk blev bibeholdt.

I det oprindelige arkitektoniske design bestod tårnet af en række penetrerede stålplader, for at opnå et mere diffust udtryk og samtidigt give mulighed for udsyn til alle sider. I det oprindelige forslag var placeringen og størrelsen af disse huller vilkårligt bestemt. I forbindelse med hovedprojektet blev det

besluttet, at disse huller skulle være mindre vilkårlige og skulle afspejle spændingerne i stålpladerne. Derfor blev den parametriske model udvidet til at inkludere en spændingsanalyse og en algoritme, der bestemte placeringen og størrelsen af hullerne, baseret på resultaterne af denne analyse. Algoritmen tog også højde for områder hvor huller ikke var praktisk mulige, blandt andet ved samlinger og placering af gelænder.

Større huller blev også favoriseret i områder, hvor der var behov for det størst mulige udsyn.

Brugen af fysiske prototyper og parametriske modelering koblet med analyseværktøjer gav mulighed for en ny type kommunikation mellem ingeniører og arkitekter og bidrog til forståelse af designet og dets fysiske egenskaber. Denne tilgang gjorde det muligt at udforske de konstruktive udfordringer på en kreativ måde.



Figur 2: 3D-printede modeller bidrog til forståelsen af tårnets balance

# Ilulissat Isfjordcenter

## Integreret konstruktions- og energidesign i et tidligt stadie

Oplevelsescenter i et UNESCO-beskyttet område i Grønland. Den markante snoede form understreges af en række limtræsrammer, der udkrager dramatisk ud over det barske landskab. Parametriske modeller med integreret energi- og konstruktionsanalyse blev anvendt i de tidlige designfaser, hvor både den statiske og energimæssige ydeevne blev optimeret.



Den internationale konkurrence om design af Isfjordcentret blev i 2016 vundet af Dorte Mandrup Arkitekter i samarbejde med blandt andet Søren Jensen. Besøgscenteret udføres, med respekt for det unikke landskab. Bygningen er formet i en elegant kurve, der let svævende buer ud over dalen ved Seremiut. De besøgende kommer til at opleve en spektakulær udsigt ud over isfjorden, der er på listen over UNESCO World Heritage.

Søren Jensens konkurrenceteam har via Computational Design fundet frem til en løsning på projektets komplekse relationer mellem form, konstruktion og bæredygtighed. Der er benyttet parametriske modeller til at analysere både konstruktion og energi, herigennem er der udviklet et koncept, hvor flere løsninger og geometriske variationer er blevet undersøgt og evalueret.

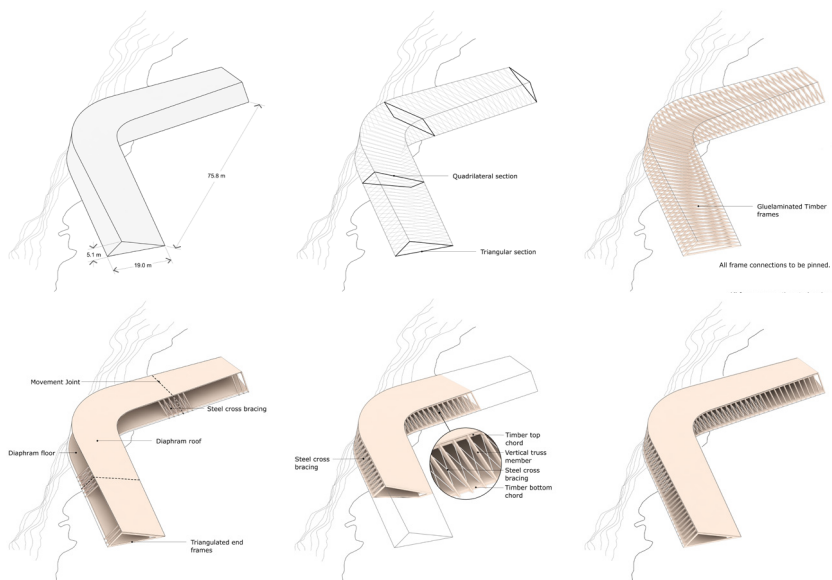
**Periode:** 2016-

**Omfang:** 9000 m<sup>2</sup>

**Lokalitet:** Ilulissat, Grønland

**Arkitekt:** Dorte Mandrup Arkitekter

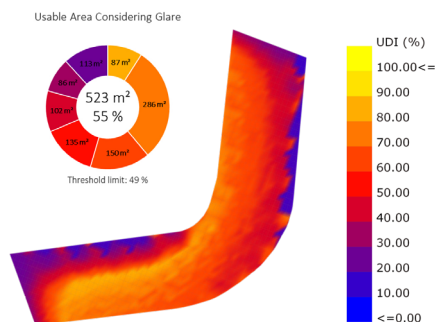
**Bygherre:** Finansieret af Realdania



Figur 1: Konstruktionsopbygning opbygget som parametriske model

Hovedmålet for designet har været at skabe et fremragende indeklima med det mindst mulige energibehov. Det gøres ved en integreret designproces, hvor alle de passive gevinster fra klimaskærmen udnyttes. Blandt andet indeholder de parametriske undersøgelser blændingsstudier, energiforbrug og statisk virkemåde. Disse tidlige undersøgelser har givet arkitekt og bygherre en tillid til designet, som ikke ville kunne være opnået på anden vis.

Søren Jensens Computational Design team vil også være en del af den videre projektering hvor de parametriske studier skal forfines og hvor blandt andet udfordringer med at integrere de parametriske værktøjer med vores dokumentationsværktøj, Revit™, skal undersøges nærmere.



Figur 2: UDI-simulering brugt til vurdering af designet

# Polyshell Pavilion

## Dobbeltkrumme konstruktioner af et fladt materiale

PolyShell er resultatet af et VidenSprint, der undersøger, hvordan ultratynde pladematerialer af næsten ubetydelig iboende stivhed kan formes til skalkonstruktioner, der har stor spændvidde. For at opnå dette er der anvendt avancerede geometriske optimeringsalgoritmer samt parametriske modellering.



I forbindelse med IASS konferencen 2015 i Amsterdam blev der udskrevet en konkurrence om design af en letvægstkonstruktion. Søren Jensen blev shortlisted med PolyShell Pavillonen.

Pavillonens geometri er udviklet til at skabe en følelse af et omsluttet og personligt rum – I kontrast til den store åbne volumen ved Muziekgebouw, som skulle huse udstillingen. Materialet modificerer lys

og akustik i rummet, hvilket bidrager til at forstærke oplevelsen af at være omsluttet.

Til designet og fabrikationen af konstruktionen, er der anvendt en række digitale værktøjer, som hurtigt er ved at blive en integreret del af ingeniørens og arkitekternes moderne kultur- parametriske modellering, optimeringsalgoritmer og digital fabrikation.

**Periode:** 2015

**Omfang:** 4 x 4 x 4 m

**Anledning:** IASS Konference 2015

**Lokalitet:** Muziekgebouw, Amsterdam

**Arkitekt:** Søren Jensen Computational Design Team



Figur 1: Translucent materiale med samlingsdetaljer udført med sorte plastnitter

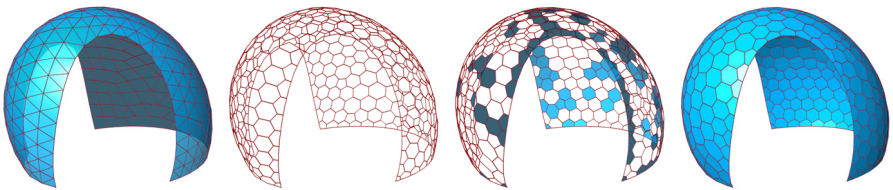
Skallens elementer er lavet af 100% genbrugte polypropylen plader, som er laserskåret og afmærket, så de let kan foldes til stive kasser. For at danne den stive skalstruktur kobles kasserne sammen ved hjælp af simple plast-popnitter.

Pavillonen består af 208 unikke bokse, der er foldet ud fra et skæremønster fra et fladt plademateriale. For at muliggøre dette skulle alle flader i den endelige konstruktion være plane. Der blev anvendt planiseringsalgoritmer for at opnå det ønskede resultat og derved kunne en kompleks form konstrueres ved hjælp af meget simple midler.

Den parametriske model indeholdt også konstruktionsanalyse og resultaterne herfra blev brugt til at

bestemme skallens tykkelse således at konstruktionsdybden blev afledt af kræfternes fordeling.

Projektet er unikt i den forstand at geometrien er skabt uden todimensionelle repræsentationer af det færdige resultat. Geometrien er drevet af de enkelte dele, der tilsammen skaber helheden. Denne form for produktion er kun muligt ved brug af digitale fabrikationsværktøjer, hvor der arbejdes med meget små tolerancer og hvor data kan føres hele vejen fra den tredimensionelle repræsentation til den digitale fabrikation. Fabrikationsværktøjerne arbejder i dette tilfælde direkte fra data hentet fra 3D modellen og derved bliver hele den todimensionelle repræsentation unødvendig.



Figur 2: Generering af plane sekskantede plader fra indledende trekantede flader





## Aarhus

Åboulevarden 13  
8000 Aarhus C  
tlf.: +45 86 12 26 11  
e-mail: info@sj.dk

## København

Frederiksborggade 1, 2. tv  
1360 København K  
tlf.: +45 86 12 26 11  
e-mail: info@sj.dk

[www.sj.dk](http://www.sj.dk)

