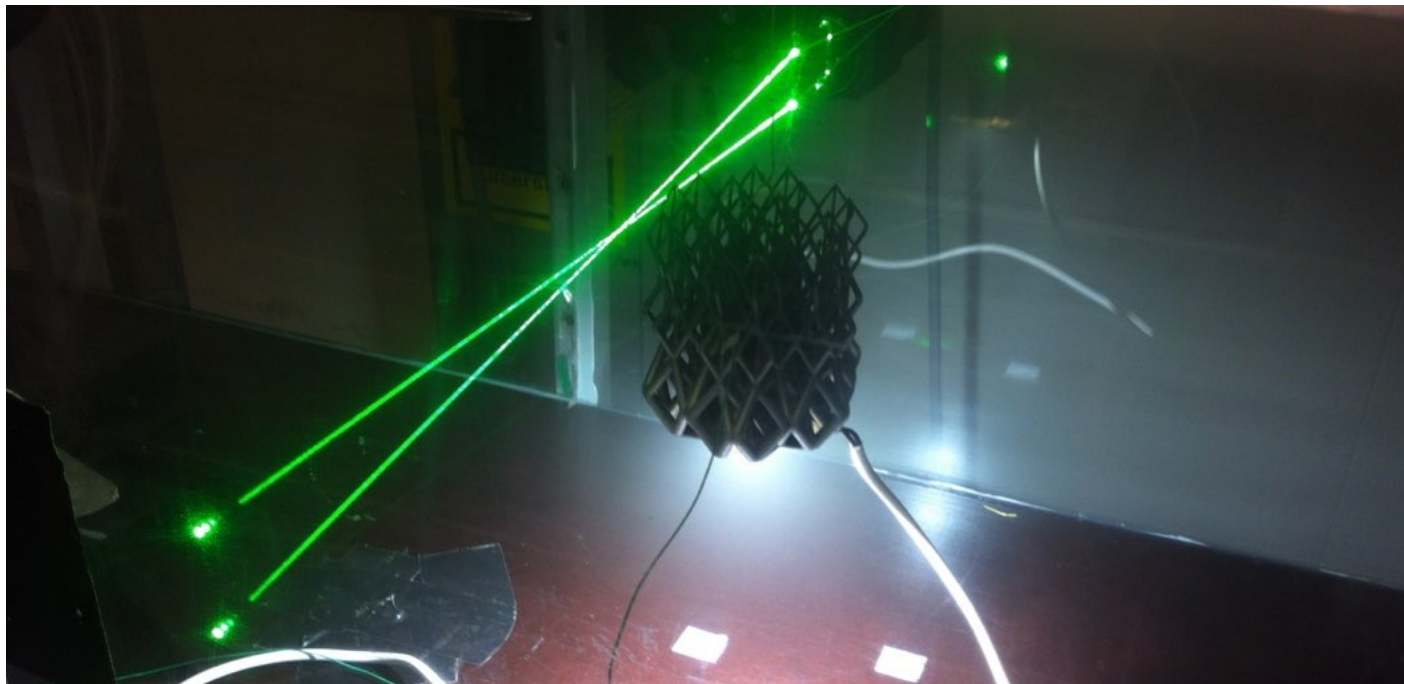


3D køling - ELFORSK 345-020

Forøgelse af passiv køleeffekt

- med brug af 3 dimensionelle kølegeometrier



Forøgelse af passiv køleeffekt

- med brug af 3 dimensionelle kølegeometrier

Jacob Willer Tryde, 2015

AT Lighting ApS

Forside billede:

Viser AT Lighting's kølegeometri *Twist system* i laboratoriet hos Teknologisk Institut i Århus, hvor det måles luftflow hastighed ved hjælp af Laser Doppler Velocometri (LDV).

Alle illustrationer og billeder tilhører AT Lighting med mindre andet er specificeret.

Indholdsfortegnelse

Køling har manglet innovation.....	4
Projekt baggrund	5
Projektpartnere	6
Hypotese	7
Additiv produktion	8
Proces	9
Dataindsamling.....	10
Inspiration	10
Nye geometrier	11
Første generation af designs	15
Måling af 1. generations kølelegemer	16
Tætte strukturer	17
Anden generations design.....	18
Visualisering af flow feltet.....	21
Spotdesign med integreret passiv 3D køling	22
Simpelt og effektivt.....	23
Realisering	24
Videre forskning	25
Fremtidsscenarioe	25
Tak til ELFORSK	25
Appendix	26

Køling har manglet innovation

Forskning indenfor nye geometrier til kølelegemer skal effektivisere og forbedre køling til blandt andet LED'er og computere. Målet er at skabe energibesparelse, bedre ydelse og større driftssikkerhed med nye designs af kølegeometrier med bedre varmefordeling, varmeafgivelse og luftflow.

Siden 2005 har stifterne af AT Lighting arbejdet med lys, herunder LED og design. LED'er har været igennem en kolossal udvikling og er gået fra at være signalbelysning til at blive primær lysteknologi. LED'er disponerer den tilførte energi ved at bruge 30% til lysafgivelse på forsiden hvor fotonerne springer fra katode til anode og skaber lysafgivelsen. På bagsiden afsættes de resterende 70% af energien som varme. Ledes varmen ikke bort brænder LED'en af. Kølet rigtigt har den en levetid på langt over 50.000 timer. Ydermere sikrer en lav driftstemperatur også et større lysoutput da LED'erne performer bedre ved lave temperaturer. Også i computer CPU'er ser man denne problematik og behovet for køling.

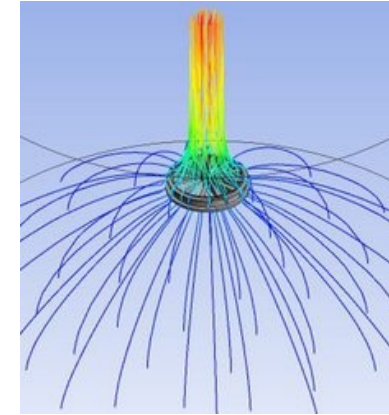
Åbner man forbrugerprodukter finder man typisk højteknologiske LED'er sat sammen med nogle helt konventionelle kølelegemer der ikke har udviklet sig i årtier. Køle-ydelsen er begrænset og har man brug for mere køle-performance tilføjes en blæser for at køle ved hjælp af chill-effekt. Dertil kommer et følgestrøms-forbrug, støj fra blæseren, yderligere komplikation af produktet og yderligere risiko for nedbrud. Osram's Siteco Lunis LED spot's er idag opbygget med i alt 14 dele, monteret med 16 skruer.

- Ydre konstruktion - Ekstruderet alurør, bearbejdet.
- Kølelegeme. aluminiums ekstrudering, skive på 200 g.
- LED modul - Osram
- Reflektor dele
- Plastdele
- Blæser
- Montageskruer

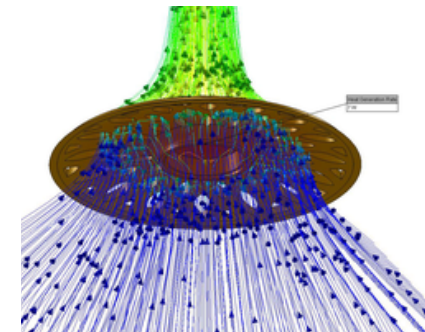
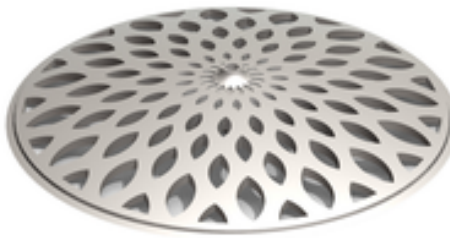


Projekt baggrund

AT Lighting har i deres arbejde med LED oplevet mange problemer og udfordringer med køling. Dette har ført til fokus på designs der er udarbejdet efter form følger funktion, med en særlig hensyntagen til den påkrævede køling af LED'erne. Det første koncept med et innovativt kølesystem er deres LED pære designet i 2009. Kølingen er 100% drevet af naturlig konvektion og benytter et skorstensprincip med indadvendte køleribber der giver en synergi-effekt og et kraftigt træk af køleluft igennem konstruktionen.



I 2010 fik AT Lighting produceret prototyper af et lampedesign med kølelegemet integreret i designet som en del af lampeskærmen. Her er tale om et 2 dimensionelt gittersystem med et hul-mønster der udgør køleluftpassager. Finessen omkring indpasning af kølelegemet i det udvendige design åbnede op for en betydelig optimering ved hjælp af forøget luftflow drevet af naturlig konvektion.



design af LED lamper og køling efter disse ukonventionelle principper bragte nye idéer med sig, men viste også en udfordring. De nye kølelegemer var mest effektive når de var orienteret efter den lodrette akse. Tilter man dem begrænses luftflowet og derved funktionaliteten. En drejelig spot måtte have noget mere for at have optimal køling orienteret i alle retninger.

I 2011 fik folkene bag AT Lighting nye idéer om kølelegemer som 3 dimensionelle gitterstrukturer.

Samtidigt var der stort fokus på 3D print, med muligheder for print direkte i aluminium. Dette åbnede op for mulighederne i at designe helt nye geometrier til brug ved passiv køling. Det passede perfekt ind i AT Lightings ambition om at designe kraftige LED spots med ren passiv køling med optimal funktion orienteret i enhver retning.

3D print maskinerne bliver hurtigere, billigere og mere effektive i kraft af deres transition fra rapid prototyping maskiner og til produktion. blandt andet har 3D systems i 2014 lanceret deres ProX 400 maskine, med fokus på kontinuerlig produktion. Dette muliggør aktuel produktion med 3D print. Ud over at kunne designe komplekse og højeffektive kølelegemer vil man også kunne indtænke funktionaliteter i emnerne der erstatter hvad der tidligere har været mange enkelt-dele i en konstruktion. Man kan dermed spare på dele, montage, materiale og transport da emnet kan produceres lokalt.

Projektpartnere

AT Lighting ApS har som hovedansøger varetager projektledelsen og de primære udviklingsopgaver i projektet

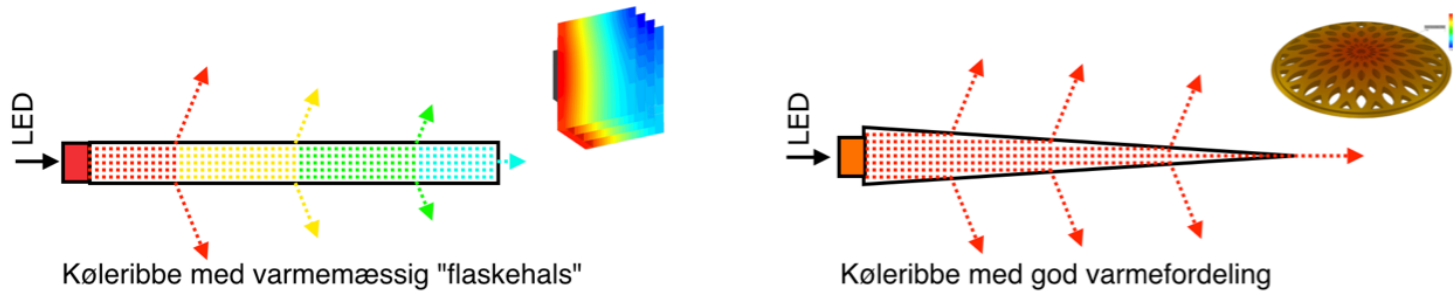
Teknologisk Institut har med deres state-of-the-art laboratorier og ekspertise stået for målinger og kalibreringer

Osram A/S har budt ind med ekspertise og baggrundsviden omkring LED armaturer, samt bidraget med reference LED modul.

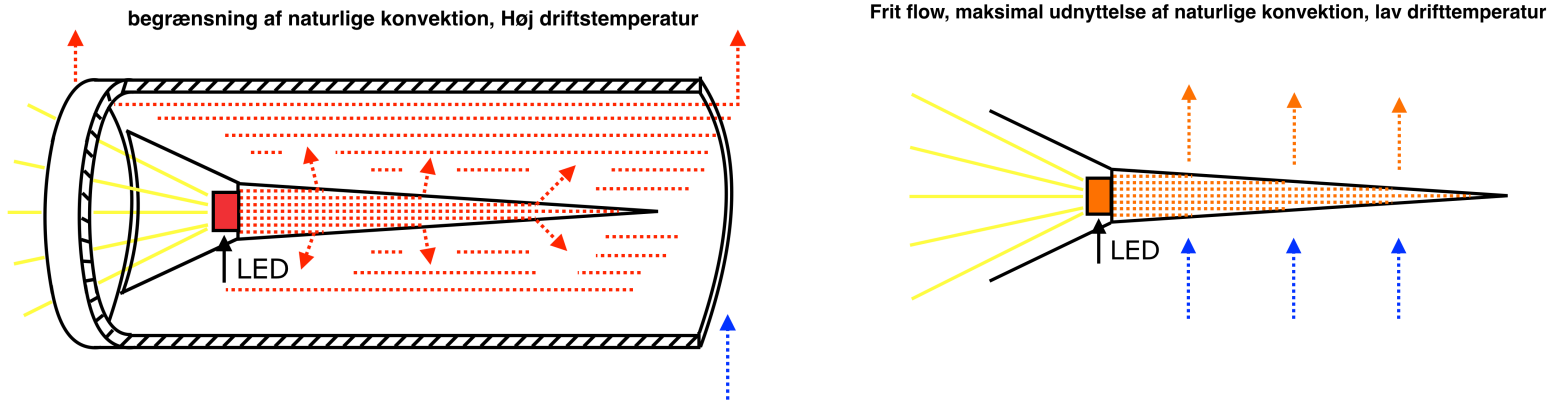
Unic Light ApS. Dansk producent af forskellige armatur typer, med stort netværk og erfaring indenfor diverse lys og belysningsopgaver.

Hypotese

Hypotesen for 3D køling er baseret på en synergi imellem graderet materiale-densitet, åben gitterstruktur og fri luft omkring emnet for optimal udnyttelse af konvektion. Erfaringer har vist at der i de fleste eksisterende kølelegemer er indbyggede "flaskehalse" i geometrisk forstand, hvilket begrænser performance og hæver drift-temperaturen.



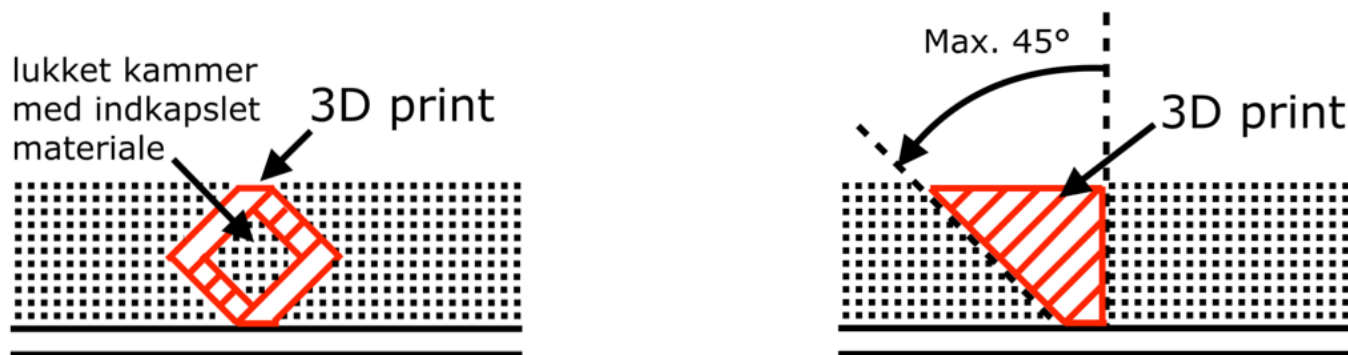
En anden erfaring er det faktum at mange kølesystemer bliver bygget ind i en lukket eller en delvist lukket konstruktion hvorved effekten af naturlig konvektion hæmmes eller helt elimineres. En tredje erfaring er vigtigheden af optimal køleluft passage til at føre varmen fra kølelegeme og til luft.



Vi kan med den geometriske frihed i 3D print designe helt nye kølelegemer med lang bedre passiv performance, som imødekommer disse elementer og kan dermed køle langt mere uden at bruge aktive strømforbrugende systemer som blæsere.

Additiv produktion

Også kaldet 3D print, bygger på et princip hvor man så at sige punktsvejer et emne op ved hjælp af kraftige lasere og metalpulver. Dette er den aktuelle process brugt i projektet, men der findes også andre 3D print metal teknologier. Maskinen bliver forsynet med en 3D fil og bygger herefter op lag for lag indtil emnet er færdigt. Et tyndt lag aluminiumspulver fordeles og laseren sintrer (svejer) de punkter der indgår i designet og resten ligger som understøttelse af det næste lag aluminiumspulver maskinen påfører. På den måde bygges emnerne op topografisk med 0,05 mm lagtykkelse. Denne process muliggør opbygning af geometrier som før ville have været umulige at producere, men den har alligevel nogle begrænsninger. Det er ikke muligt at lave en fuldstændig hul konstruktion. Den vil i så fald være fyldt med løst metalpulver og man vil blive nød til at bore det ud. Det er heller ikke muligt at lave udhæng og stigninger der hælder mere end 45° i forhold til den lodrette akse. I nogle tilfælde vil man kunne designe geometrien så den kan printes liggende for at omgå denne begrænsning. Er man alligevel tvunget til at have udhæng der går over de 45° vil computeren lægge support-materiale til og dette skal fjernes manuelt efterfølgende, såfremt geometrien tillader det. afhængig af designs kan der også opstå spændinger i emnet grundet de punktvis opvarmninger. Det har ikke været et problem med projektets emner, da de er symmetriske og gitterstrukturen "holder" på formen.



Proces

Ideudvikling baseret på inspiration, idéer og koncepter har givet en række 3D gitterstrukturer. processen er en klassisk innovations- og designprocess med følgende stadier.

Behov for forøget passiv køleeffekt.

Data indsamling omkring idéernes område og kontekst.

Analyse. Vende den indsamlede data og se det på afstand for at få det "store billede" og for at definere fokuspunkter.

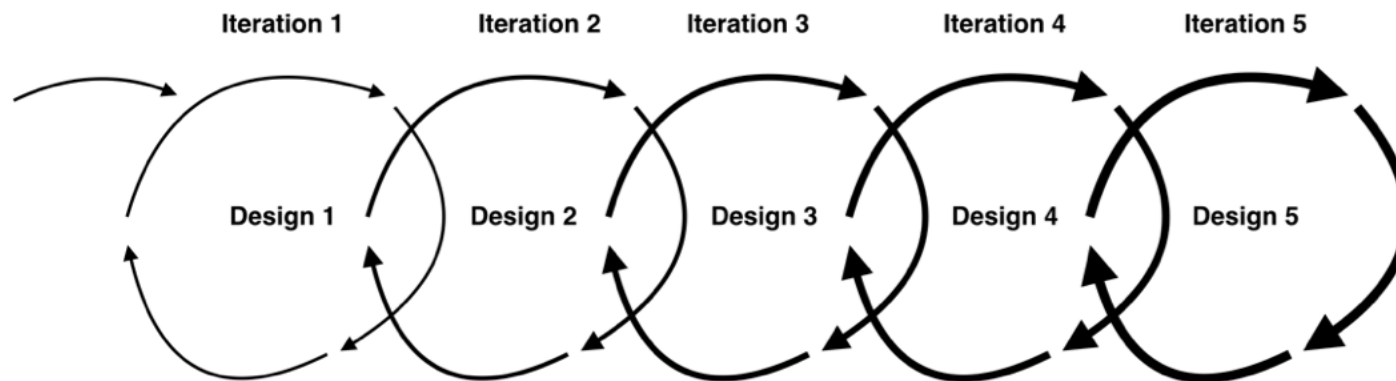
Konklusion. Sætte rammerne efter de indsamlede data op i en specifikation med krav og ønsker.

Idégenerering (brainstorm). Ide-udvikling af en masse idéer og koncepter. En fuldstændig åben og ufiltreret process hvor selv de mest skøre og urealistiske idéer får plads. På trods af at det utopiske i en idé kan den stadig være i stand til at lede til en ny idé der er brugbar, hvilket kan gøre den til et nødvendigt trin på trappen.

Destillering. Tage essensen fra idé genereringens bedste koncepter og lægge dem sammen i det omfang det er muligt. Resulterende i et master-koncept til videreudvikling.

Udvikling. Design af en geometri der i kombination rummer flest mulige af de innovative og effektive elementer, optimeret til funktionalitet og produktion.

Denne process er blevet gentaget, så erfaringerne fra den første iteration er ført med over i iteration 2 og så videre og dermed har skabt projektets moment og evolution.



Dataindsamling

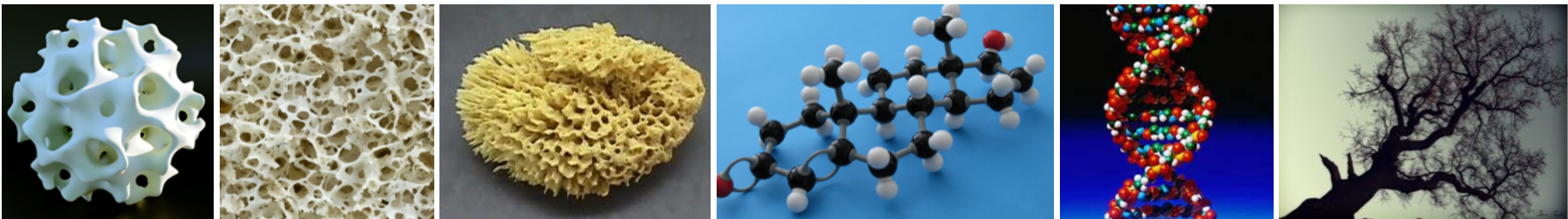
AT Lightings erfaringer er baseret på omfattende research og test, både selvstændigt, men også i samarbejde med blandt andet Osram, Teknologisk Institut og DTU Fotonik. Der har været testet på eksisterende kølelegemer, der er foretaget CFD (Computational Fluid Dynamics) simuleringer af 3D CAD geometrier og der er produceret prototyper som er testet. Dette er grundlaget for projektets retning og snit. Fagfolk har også været i tale. Eksempelvis har vi holdt møde med DTU lektor Torben Lenau. Hans speciale er biomimetik, der søger naturens måde at løse problemer på. Også DTU Lektor Knud Erik Meyer har været i tale med fokus på Fluid mekanik. Der er også søgt i forskningslitteratur og der findes materiale fra blandt andet Hewlett Packard og Bell laboratorierne som har arbejdet med nye geometrier til køling i en mere simpel form.

Firmaet Mechatronix leverer kølelegemer til adskillige globale LED producenter. De har også gjort sig erfaringer, men synes at holde sig til en meget konventionel måde at løse og skalere køling på. (www.mechatronix-asia).

Alcatel-Lucent's Bell Labs i Irland har noteret følgende omkring *thermal management* ".it is relevant to note that major Telco's spend >\$1Bn each year on electricity and up to 50% of that is used to cool the equipment" Link: [Bell Labs Ireland - Alcatel-Lucent](#). De forsker i at forbedre kølingen i deres produkter og ser blandt andet på komplekse kølegeometrier, med fokus på passiv køling. Link til symposium: [Advanced Heat Sinks Enabled by Three-Dimensional Printing](#)

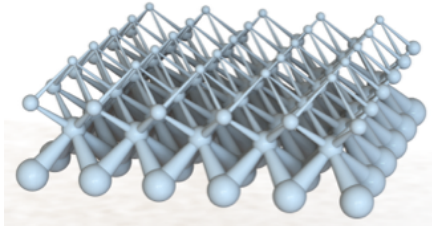
Inspiration

Der er mange steder at hente inspiration, men især ét tema har budt på udtømmelige kilder. Naturen. At tage det biomimetiske perspektiv har vist os mange 3 dimensionelle forgreninger og gitterstrukturer. Det være sig koraller, knoglestrukturer, molekyler, træers forgreninger etc. Men også matematikken har budt på geometrier med forskellige 3 dimensionelle systematikker. I den graduerede sfære har vi også undersøgt fraktaler af forskellig art, blandt andet i træers forgreninger etc. Arkitekturen gemmer også på byggerier hvor man har brugt 3 dimensionelle gitterstrukturer i spaceframes.



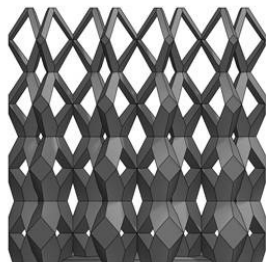
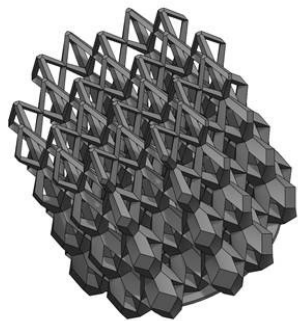
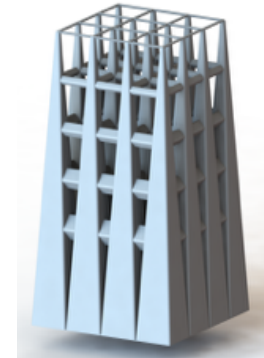
Nye geometrier

Ideudvikling baseret på inspiration, idéer og koncepter har ført til en lang række konceptoplæg til 3D gitterstrukturer. Den åbne brainstorm gav mange forskellige geometriske tilgange. Nedenfor er præsenteret nogle af de indledende koncepter.



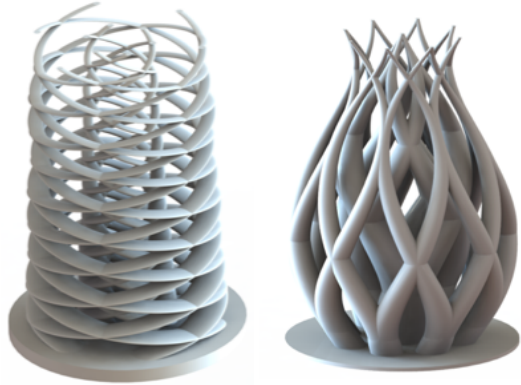
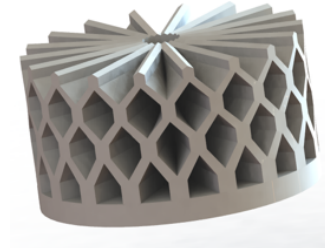
Molekyleprincippet har bragt et design frem hvor vi kan sætte kugler i system og forbinde dem i et gitter. Dette har fordelen af at kunne give graduering i alle retninger og der er gode muligheder for luftflow imellem molekylestrukturene. Det kan dog blive problematisk at få dem til at overholde 45° reglen ved 3D print og den skal derfor rettes mht. "molekylerne" og forbindelsernes vinkler.

Spir der vokser op fra basen og forbindes til de nærtstående spir. Det spir der er i centeret af basen er tykkest og de spir der er nærmere yderperiferien er tyndere for at overholde gradueringen i både X, Y og Z-aksen. Der er problemer i de tværgående forbindelser og der mangler luftflow-kanaler ind fra den nederste del af gittersystemmet. Designet kan justeres og det ledte videre til det næste design.



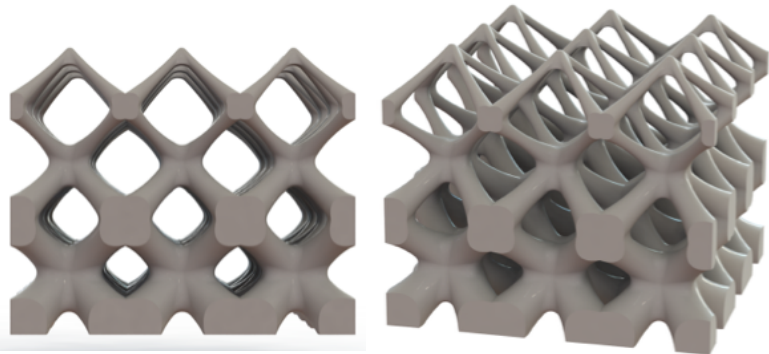
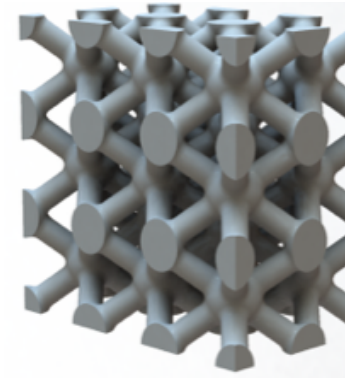
Kvadratiske profiler der zig-zag'er op og mødes i sæt, som igen sættes i system så de danner et gitter. konceptet overholder den lodrette graduering og 45° reglen, samtidigt med at den formmæssigt har et flot og teknisk forløb.

Plisseringer i lag hvor hvert lag mødes i punkterne hvor de er højest og lavest, hvilket forbinder dem og giver et graderet forløb. Det er æstetisk flot, men det mangler luftflow-kanaler og den overholder ikke de produktionsmæssige 45°. Løses dette er der muligheder for meget overflade og fin æstetik.



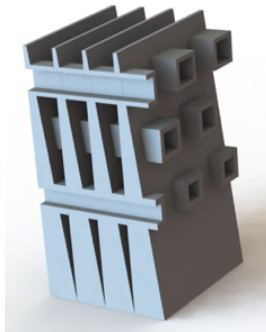
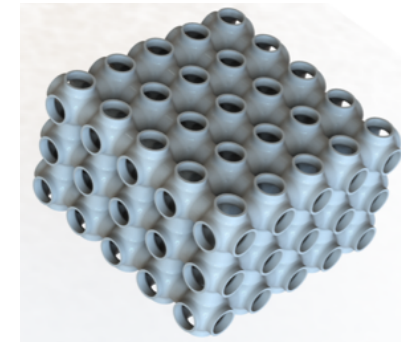
Helix spiralforløb der krydser undervejs i bevægelsen opad. Nogle mere organisk udseende konstruktioner der overholder alle regler, hvis man bygger den rigtig op. I skitsefasen har det også handlet om at finde de rette proportioner for at få det rette forhold imellem graduering og luftflow. Har æstetiske muligheder der adskiller sig fra de modulære.

Cube cell er også modulært og bygget op i et kubisk format med en kerne i centeret af kubens og forgreninger ud til de 8 hjørner hvor den møder den næste celle. Dette er et forgreningsprincip, der overholder opbygnings-reglerne og som også er kendt indenfor letvægts-strukturer.



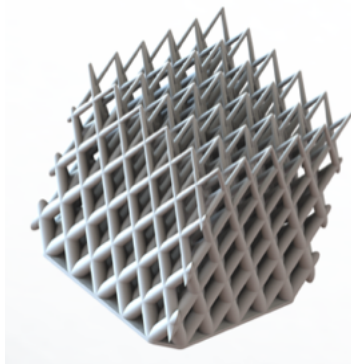
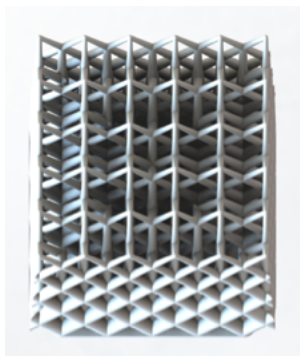
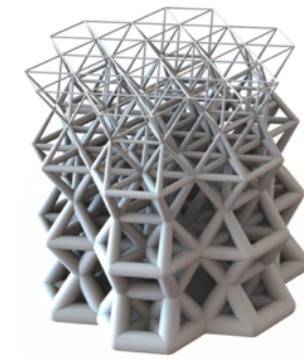
Bonestructure er lavet af celler med forskellig densitet. De har fået et udtryk a la knoglestruktur. Kombineret og sat i den rigtige sekvens danner de en graduering. En god modulær opbygning der overholder luftflow og konstruktionsregler.

Surface cells er igen modulært, men har en overflade som udgangspunkt i stedet for en forgrening. Dette koncept har en kombination af indre og ydre overflade, samt luftflowkanaler. Det giver et stort overflade areal, men en mere lukket struktur i forhold til luftflow, samtidigt med at den er svær at få til at overholde 45° reglen.



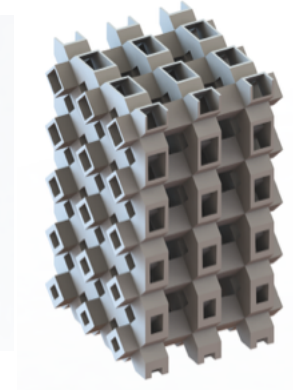
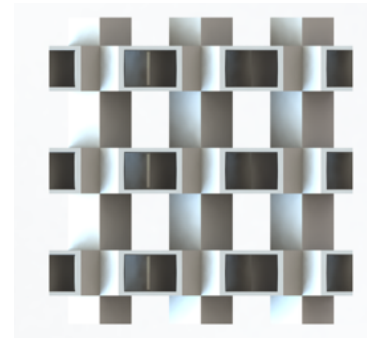
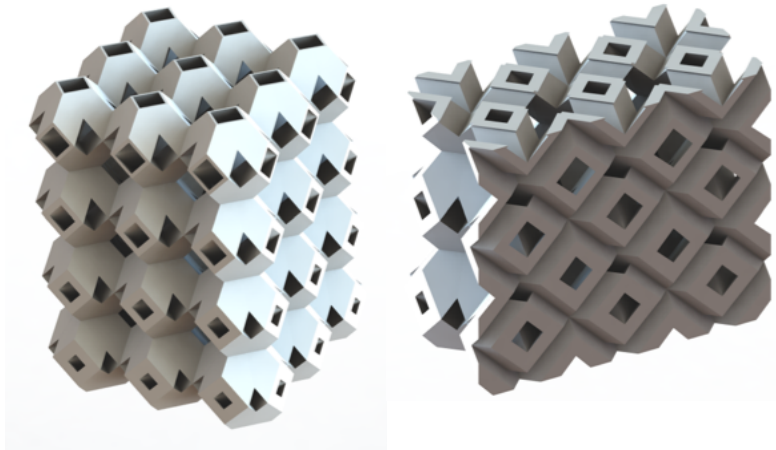
Kiler med tværgående "rør". Et design der kombinerer 2 grundformer for at opnå et 3D system. For stor lukkethed, men princippet kan måske bruges i en anden udformning.

Cylindrisk forgrening i gentagelser der danner et gittersystem af de graduerede cylindriske profiler. Det giver et system der kan optimeres til 3D print ved fjernelse af de vandrette forgreninger og det overholder gradueringen.



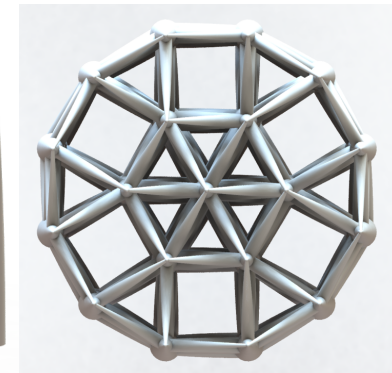
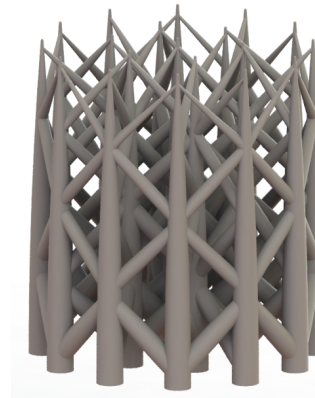
Cylindriske profiler i et "flettet" mønster der skaber kvadratiske moduler. En form der kan være mere orienteret imod kvadratiske varmekilder som eksempelvis en CPU.

Firkantrør i et krydsende mønster, der skaber et system af både indre varme-flader og luftflowkanaler samt ydre, kombineret med tværgående profiler. Geometrien er ikke mulig at printe uden support-materiale og vil derfor kræve justeringer.



Kvadratiske profiler der zig-zag'er op og mødes i sæt, som igen sættes i system så de danner et gitter. konceptet overholder den lodrette graduering og 45° reglen, samtidigt med at den formmæssigt har et flot forløb, med både indre og ydre flader.

Spir der rejser sig fra varmekilden og op. Tykkere mod midten og tyndere imod yderdiameteren. De er forbundet på tværs, hvilket giver et stort overfladeareal, en ideel forgrening og aftagende godstykkelse. Gode i forbindelse med 3D print opbygning.



Første generation af designs

Første generation af designs er printet og varmebehandlet aluminium fra en underleverandør til Teknologisk Institut.



Geometrierne er bygget op over en base på 52 mm i diameter og de vejer alle 122 gram, men derfra har de hver deres karakteristik.

Geometri nummer 1 er designet efter et forløb af kvadratiske bjælker der zig-zag'er opad og møder de tilstødende zig-zag forløb, for derved at blive til et systematisk gitter. Luftkanalerne i bunden er små og størrelsen tiltager i takt med afstanden fra varmekilden.

Geometri nummer 2 gør brug af helix-spiralforløb med profiler der aftager i tykkelse imens at de snor sig væk fra varmekilden. Gitterforløbet opstår i de felter hvor højre og venstre forløb krydser hinanden. Denne type har færre forgreninger og en mere åben struktur

Geometri nummer 3 er bygget op med mange spir der rejser sig lodret op fra basen. Den mest centrerede er kraftigst og de yderste er tyndest. Spirerne er forbundet til de spir der støder op til via tvær forgreninger. Der er mindre luftkanaler i centeret af gitteret og større i yderdiametere.

Måling af 1. generations kølelegemer

Mange designoplæg og i blandt dem en række vellykkede designs der overholder princippet om forgreninger og graduering. Geometrierne har succesfuldt kunne 3D printes uden supportmateriale og kan gå direkte fra maskinen og ind i det tiltænkte produkt. I dette tilfælde test,

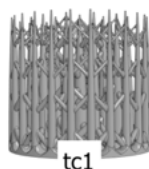
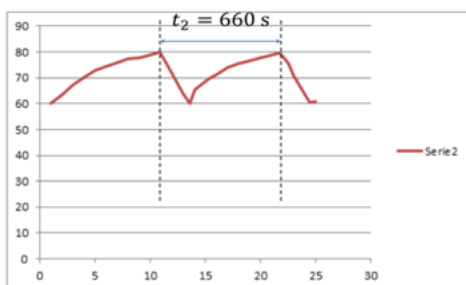
Desværre er luftkanalerne for små og den største erfaring handler om at dimensionere luftkanalerne op for at få luften til at rejse igennem strukturen og udnytte kølelegemernes overflade optimalt.

LED modulerne har en indbygget termo-switch der slår fra ved 80° C. Denne termostat-styring udnyttede Teknologisk i de første målinger. Søjlen %on refererer til hvor lang tid LED'en lyser med henholdsvis *ingen køling/helix/double grad*. Det ses hermed at designet kaldet "double grad" har en %on værdi på 80% og er dermed det mest effektive køleelement. Derfor går vi videre med designs baseret på denne geometri. Illustrationen herunder viser et udpluk af Teknologisk data. Mere kan ses i appendix.

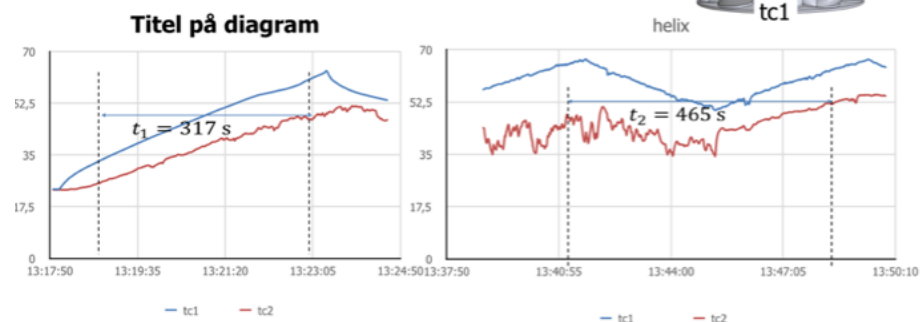
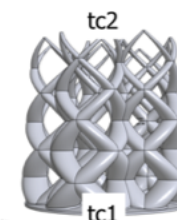
LED with cooling (double grad)



	T1 [s]	T2 [s]	%on[% t2]
No cooling	55	248	10 %
Helix	317	465	60 %
Double grad		660	80 %

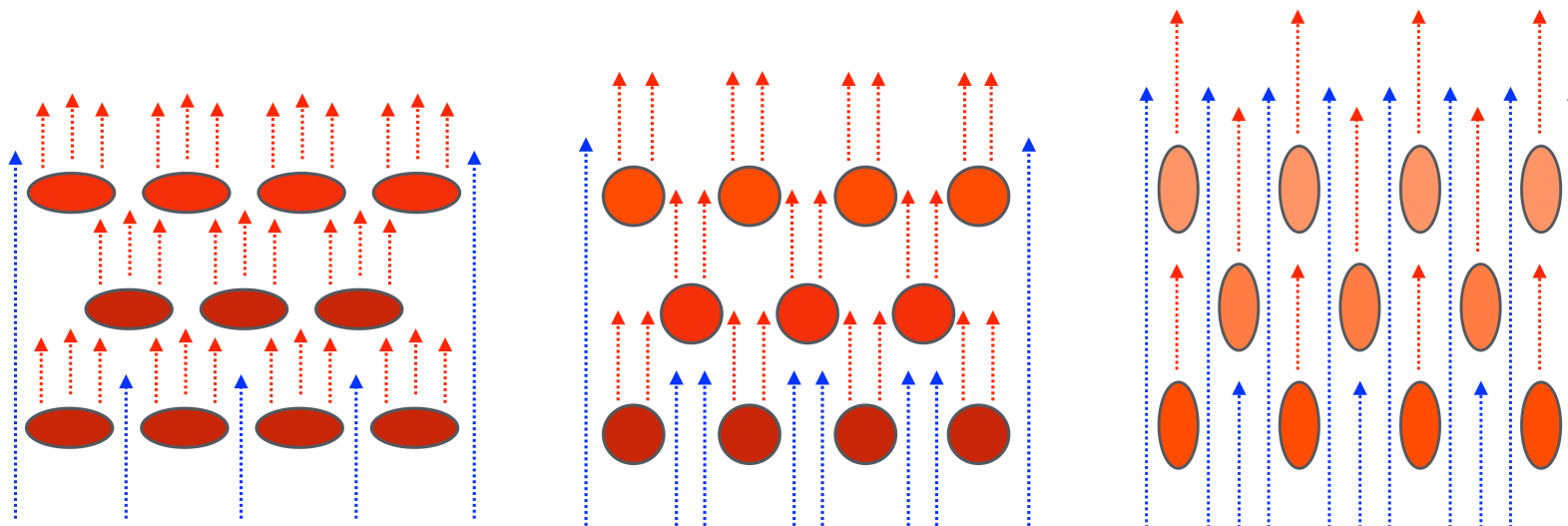


LED with cooling (helix)



Tætte strukturer

Giver man designet en struktur, der er for tæt, risikerer man at skabe en u hensigtsmæssig geometri i forhold til det lodrette konvektionsdrevne lufttræk. Erfaringen giver os en formodning der er simpelt illustreret som følgende. De røde pile viser den varme der afgives fra kølegeometrien og overføres til luft og de blå pile, den kolde luft der trækkes igennem af konvektion.

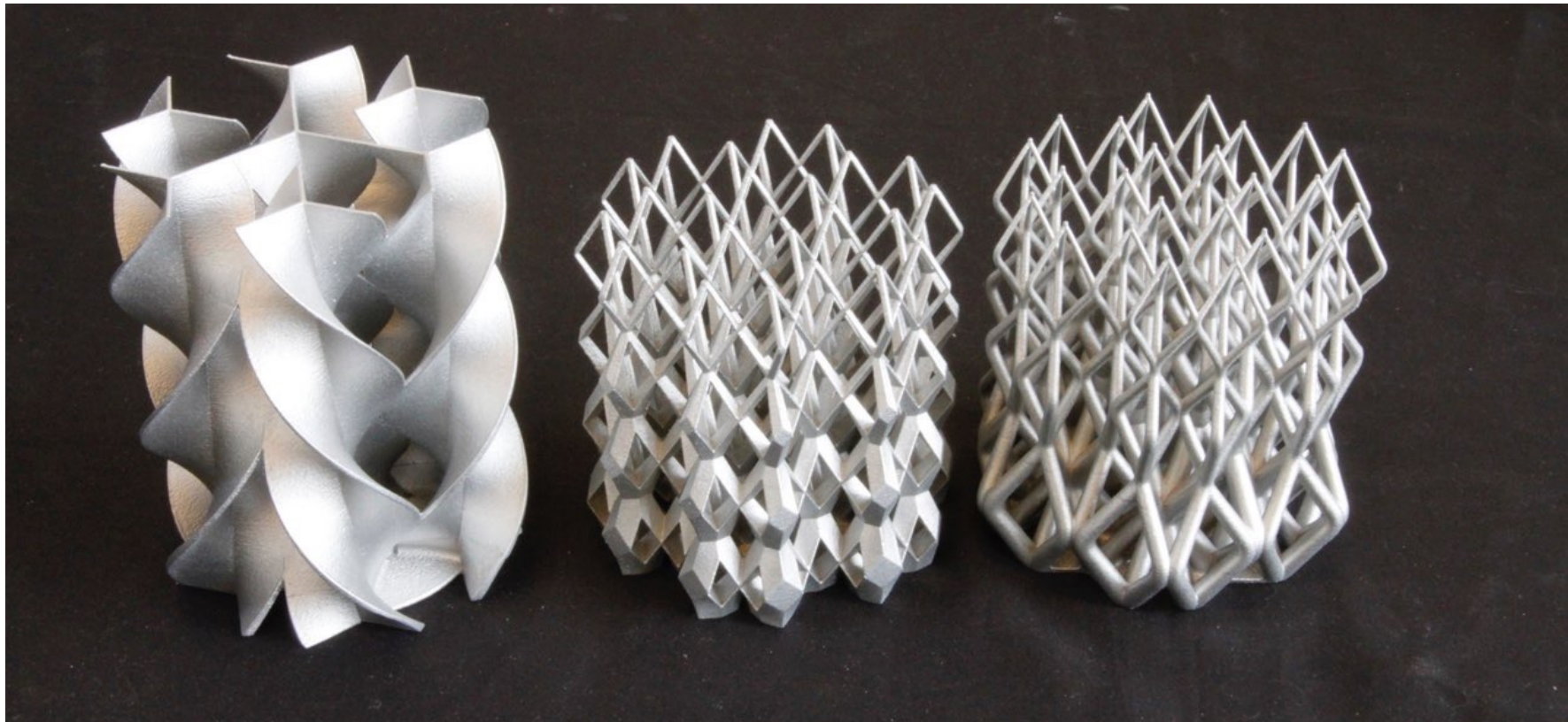


Modellen til venstre viser et design der blokerer konvektionstrækket, hvorimod lufthastigheden og varmeafgivelsen bliver højest i modellen til højre, da køleluften bedre kan rejse igennem kølestrukturen, hvilket giver bedre køling og lavere driftstemperatur.

Anden generations design

Med fokus på optimale luftkanaler, startede næste designfase med at skalere kølelegemerne op i størrelse i for at generere større luftkanaler i geometrierne. Ydermere fik geometrierne nu udhæng der gik ud over basen. Dette for at få en bedre vandring af luft ind i kølelegemet i en lodret positionering der viste sig for svag i forhold til en skrå og en vandret positionering. Arbejdet med design og 3D modellering af disse viste sig at være meget tidskrævende på grund af den høje kompleksitet.

Anden generation er bygget op over den samme base på 52mm, men har nu et udhæng og en vægt på 300 gram.

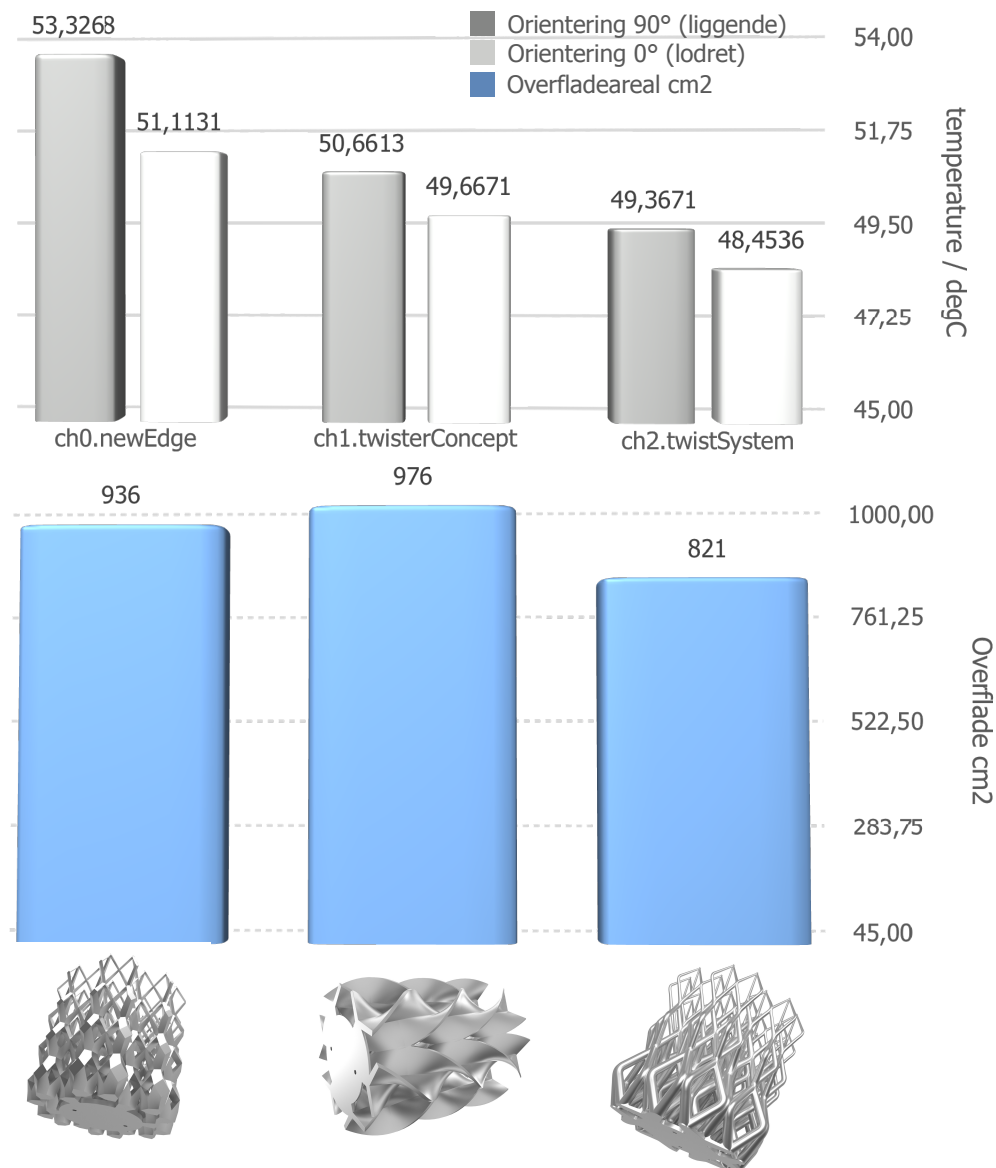


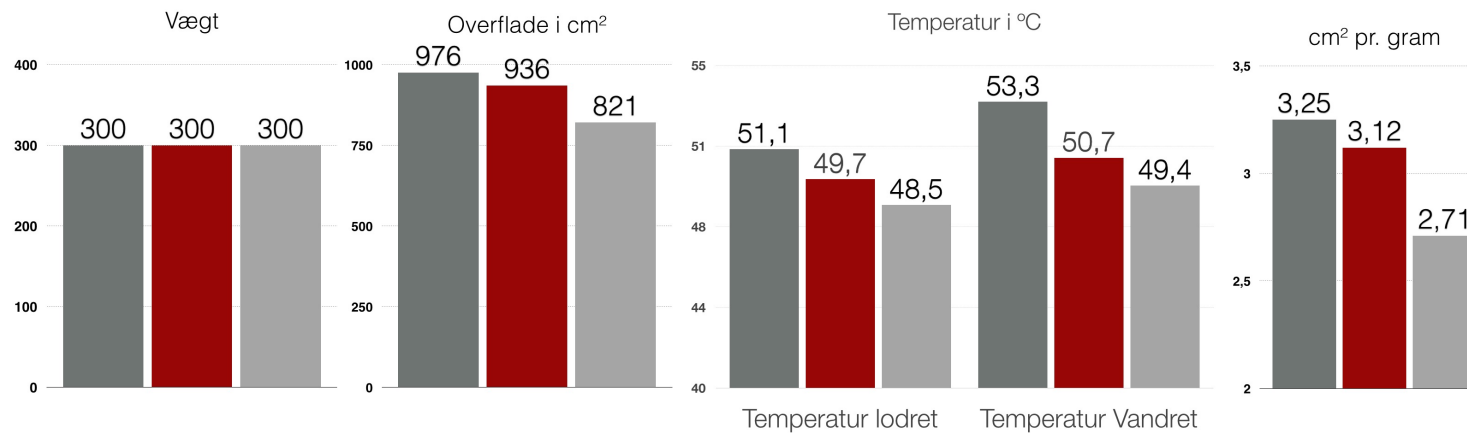
Effekt sat op imod masse og overflade.

Den øverste tabel viser LEDens arbejdstemperatur under stabile forhold. Dvs. jo lavere temperatur desto mere varme bliver fjernet fra LED'en hvilket betyder mere effektiv køling. Det ses at designet "twistSystem" har en stabil arbejdstemperatur på 48,45 grader C i oprejst tilstand. Hvis køleelementet roteres til liggende orientering fås en arbejdstemperatur på 49,36 grader C, dvs. kølevirkningen en anelse lavere. Det køleelement der køler bedst er altså "twistSystem" i oprejst tilstand, hvilket er det design som der laves yderligere målinger på, herunder målinger som skal karakteriserer konvektionen omkring kølegeometrien. Geometrien har med sin åbne struktur og sit design en fordel af øget konvektionsdrevet luftgennemstrømning og dermed højere effektivitet i overførsel af varme til luft. Utroligt nok er det også det design der har det mindste overfladeareal.

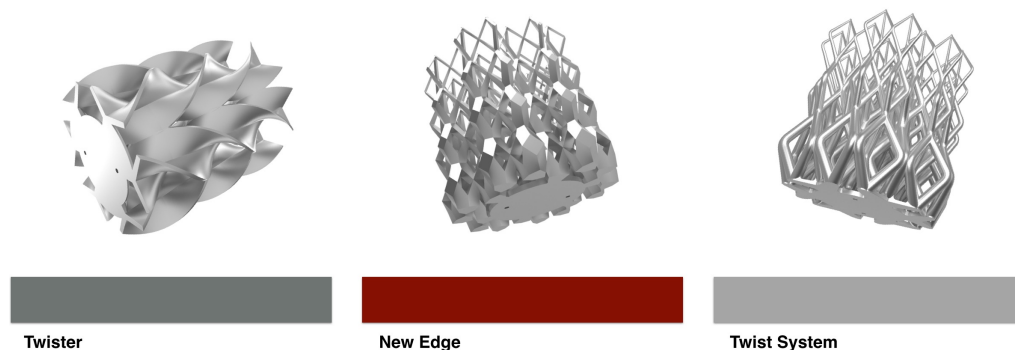
Et klart signal om at luftgennemstrømningen er af afgørende betydning når varmen skal ledes væk. Den bedste køling sker i lodret stilling, hvilket er gældende for alle 3 geometrier.

ch0.newEdge(90°)	ch1.twisterConcept(90°)	ch2.twistSystem(90°)
53,33 °C	50,66 °C	49,37 °C
±0,46 °C	±0,42 °C	±0,39 °C
ch0.newEdge(0°)	ch1.twisterConcept(0°)	ch2.twistSystem(0°)
51,11 °C	49,67 °C	48,45 °C
±0,46 °C	±0,47 °C	±0,40 °C





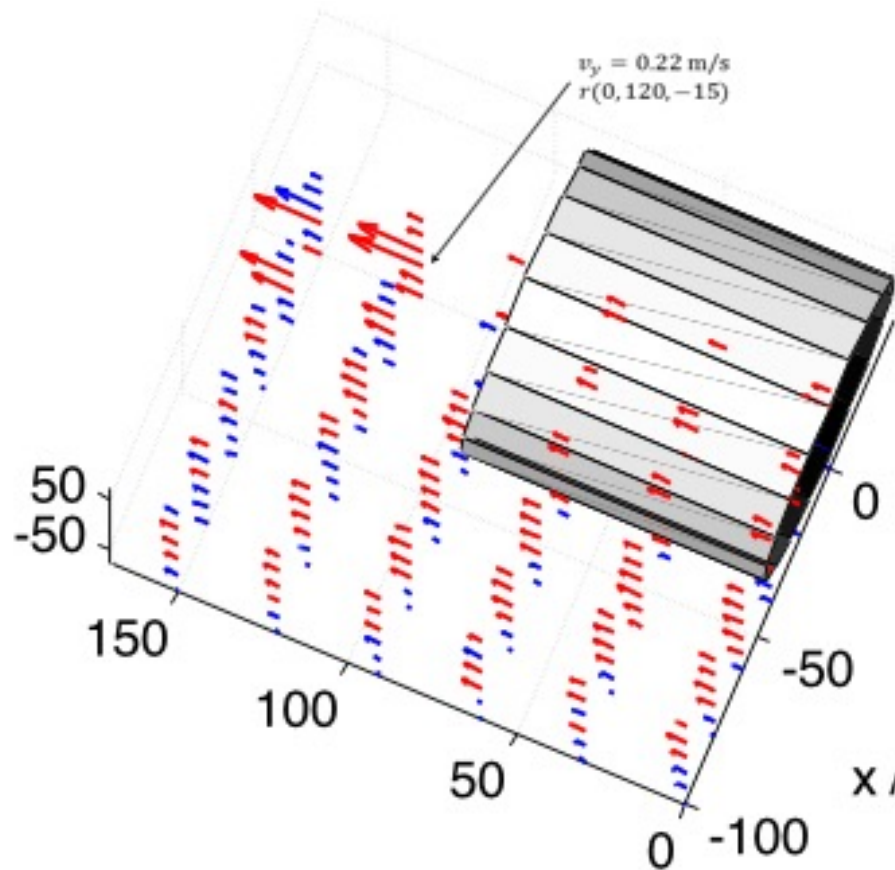
Figurene viser sammenligningen af de 3 geometrier ud fra vægt, overflade, drifttemperatur (Osrams 26 Watt LED modul) og overflade areal i forhold til vægt. Designet Twist System har de bedste køleegenskaber med sin åbne gitterstruktur og optimal overførsel af varme til luft.



Undersøgelserne er bygget op omkring de 3 geometrier Twister, New Edge og Twist System, som alle har har samme vægt, men forskellige grader af åbenhed i struktur og størrelse af overfladeareal.

	Weight gram	Surface area cm ²	ΔT in °C 0° orientation	ΔT in °C 90° orientation	Average ΔT in °C	Surface (cm ²) to weight (gram) Ratio
Twister	300	976	22,5	23,5	23	3,25
NewEdge	300	936	24	26,5	25,25	3.12
TwistSystem	300	821	21,5	22,5	22	2,74

Visualisering af flow feltet



← Above
95% confidence level
← below

Dette plot viser konvektionen omkring kølelementet "twistSystem" (den grå cylinder repræsenterer kølelementet og pilene repræsenterer størrelsen på konvektionen). Jo længere pile desto mere konvektion i det pågældende punkt. Dataene viser at stort set alt konvektionen finder sted oven over og midt for selve kølegeometrien, den længste pil i punktet $r(0 \text{ cm}, 120 \text{ cm}, -15 \text{ cm})$ repræsenterer en lufthastighed på 0.22 m/s . Konklusionen på disse måledata er som før nævnt, at stort set al konvektionen (og dermed al køleeffekten) finder sted ovenover kølelementet, og man kunne derfor med fordel kigge nærmere på om man kunne komme af med mere varme ud af siderne på kølelementet.

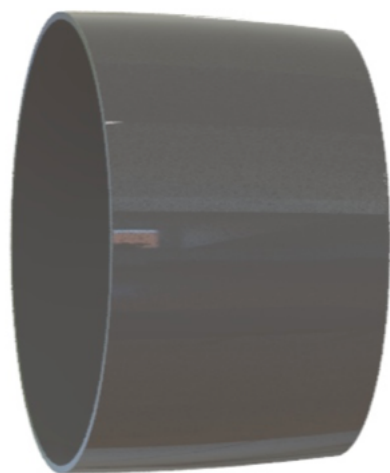
Spotdesign med integreret passiv 3D køling

En højeffektiv LED spot med rent passiv køling der udnytter den naturlige konvektion kan i en 3D printet version tage sig ud som følgende. Hovedbestanddelen er det additivt producerede kølelegeme, med integreret beslag for montering af plast kappe omkring LED og reflektor, samt ophæng.



Simpelt og effektivt

Den viden vi har genereret undervejs i projektet er kommet til udtryk i endnu et design der tager udgangspunkt i den bedste funktion. I dette er der fokus på en simpel støbning af kølelegemet, der i sin form rummer mest muligt af fordelene fra de 3D printede geometrier. Konstruktionen kan i en forsimpning brydes ned til 4 elementer. Kølelegeme, LED modul, reflektor og en plastkappe, hvilket kan monteres med 3-5 skruer. En klar forsimpning fra de eksisterende armaturer, uden følgestrøms-forbrugere.



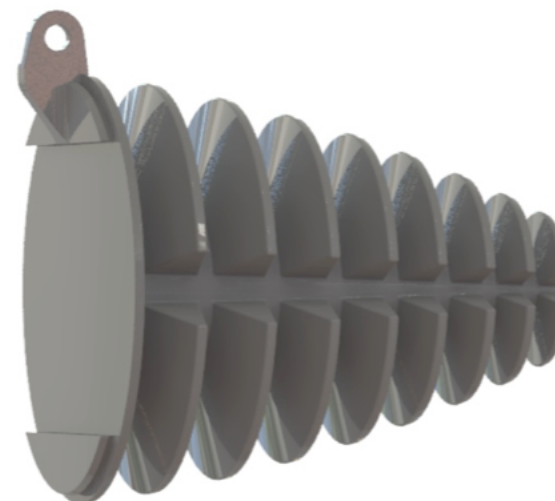
Hus



Reflektor



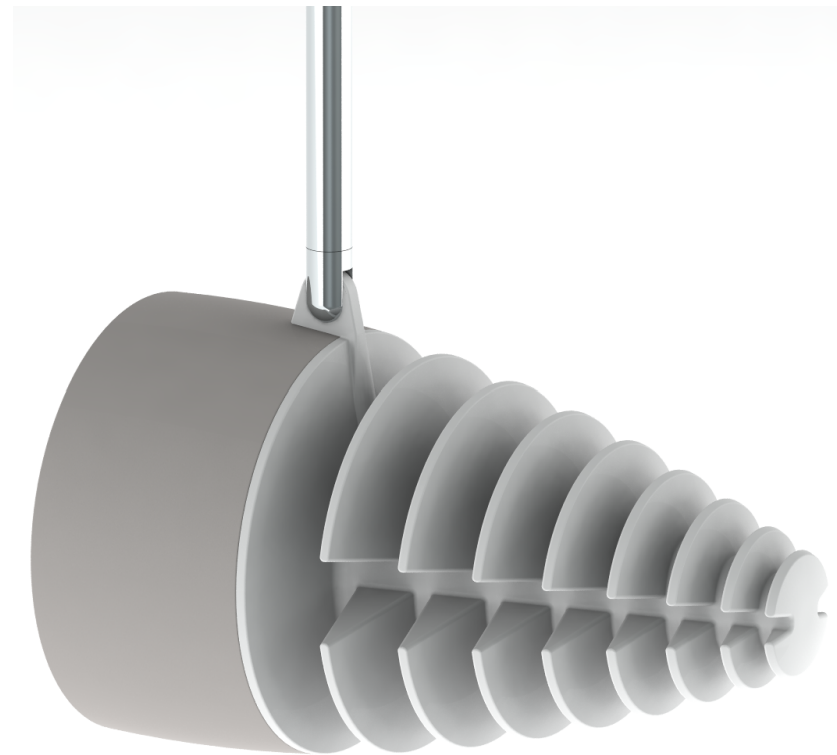
LED modul



Aluminiums kølelegeme

Realisering

Armaturdesignet er under realisering hos projektpartner Unic Light ApS, der spår det stor interesse pga. af muligheden for maksimal funktion og levetid i et simpelt og flot produkt, med en konkurrencedygtig pris.



Videre forskning

DTU Mekanik har fundet teknologien meget relevant og involveret deres Topologi-eksperter i et projekt der fortsætter arbejdet med fokus på at bygge software der kan auto-generere disse komplekse supergeometrier. Dette projekt har opnået anerkendelse fra Innovationsfonden og er støttet med 5 M DKK i et samlet projektbudget på 8 M DKK og har også software virksomheden Apiosoft ApS med som partner. resultaterne vil give ingeniører og designere mulighed for at bruge og udnytte de nye geometrier med stor effektgevinst og tidsbesparelse i udviklingsfasen. Optimerings-software har været forbeholdt meget specialiserede ingeniører. Med HYPERCOOL projektet vil denne teknologi få en platform der er let anvendelig og kompatibel med gængse 3D design- og udviklingsprogrammer.

Fremtidsscenario

Vi ser et paradigmeskift i måden at designe fremtidens produkter, med optimal funktion tænkt ind i nye banebrydende designs, produceret ved hjælp af additive manufacture (3D print). Mulighederne i at indtænke flere funktioner i hvert printet emne bliver en vej til at skabe meget komplekse geometrier og meget simpel montage. Dette kan foregå lokalt og blive en del af et skift i retning af flere lokale produktions-arbejdspladser, med fragtbesparelser og større muligheder for at customise til specifikke behov.

Tak til ELFORSK

For anerkendelse af projektets relevans og for at hjælpe og støtte op både før, under og efter. Det har været en startmotor til noget der fortsat udvikler sig i næste teknologi-generation og resultaterne har kun været mulige med denne hjælp.

Appendix



TEKNOLOGISK
INSTITUT

it's all about innovation





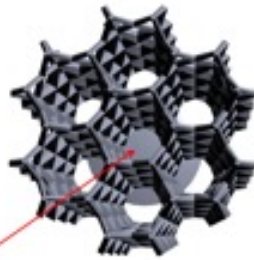
TEKNOLOGISK
INSTITUT

ELForsk 345020: Passive 3D cooling

New element designs
DTI, Calibration

New element designs

- newEdge

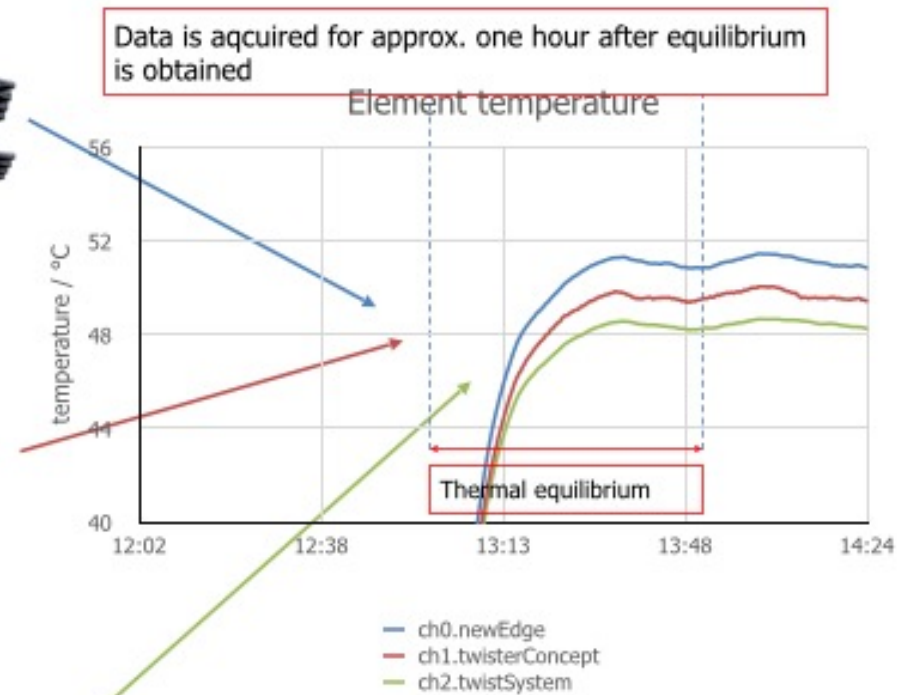


thermocouple position

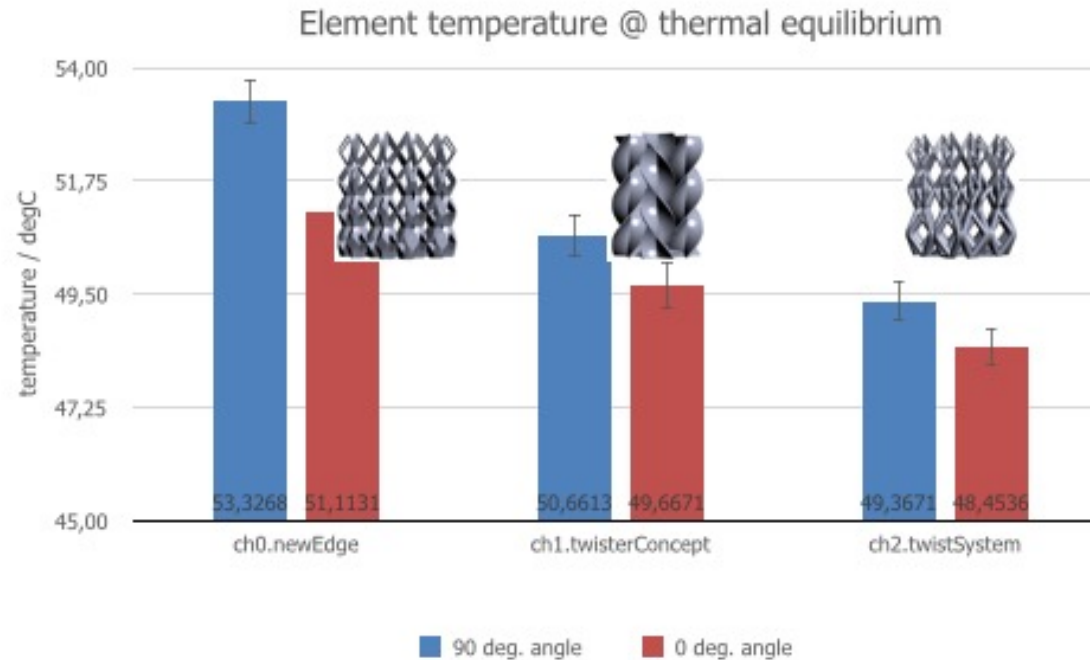
- twisterConcept



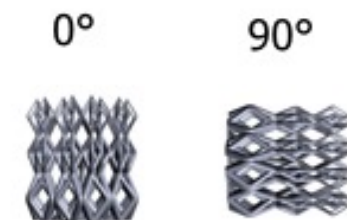
- twistSystem



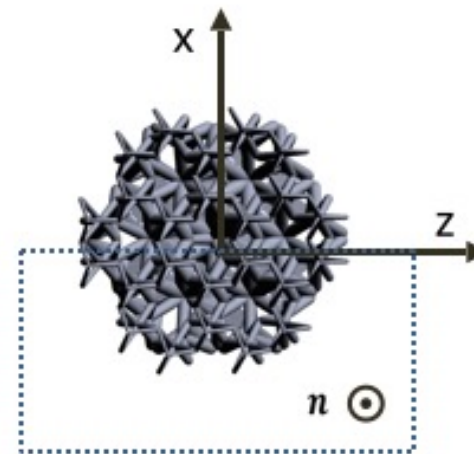
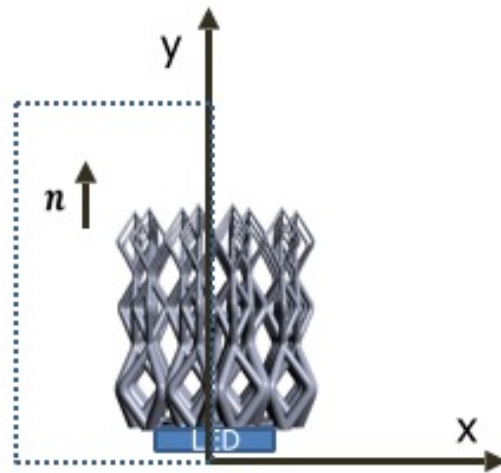
Convective heat transfer ability



ch0.newEdge(90°)	ch1.twisterConcept(90°)	ch2.twistSystem(90°)
53,33 °C	50,66 °C	49,37 °C
±0,46 °C	±0,42 °C	±0,39 °C
ch0.newEdge(0°)	ch1.twisterConcept(0°)	ch2.twistSystem(0°)
51,11 °C	49,67 °C	48,45 °C
±0,46 °C	±0,47 °C	±0,40 °C



Frame of reference and definition of the measurement grid



grid	x [mm]	y [mm]	Z [mm]
start	0	0	-75
increment	-20	30	30
count	6	6	6
end	-100	150	75

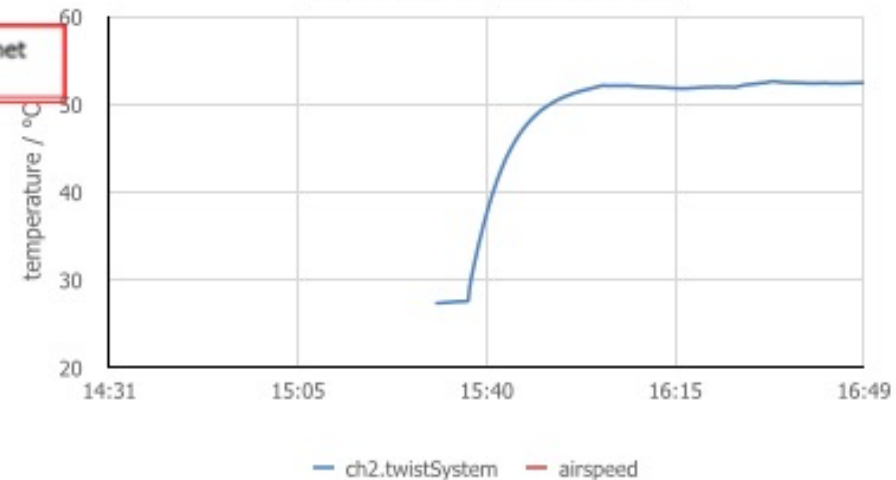
Correlation of LED temperature and air velocity

LDV målevolumen er placeret ca. 2 cm ovenover emnet
 $r(x = 0 \text{ mm}, y = 120 \text{ mm}, z = -15 \text{ mm})$

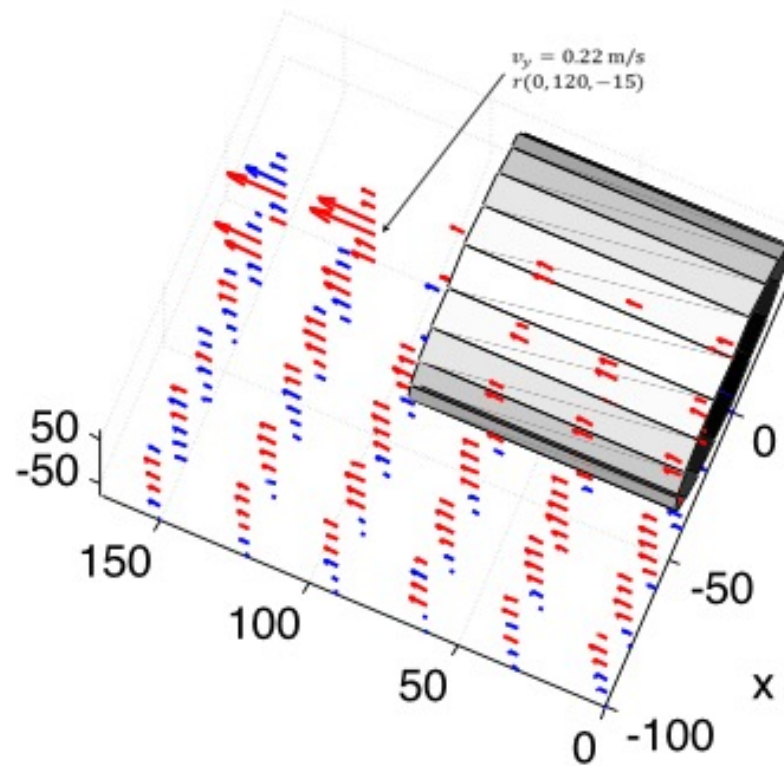


TC er placeret i bunden tæt ved centrum

Temperature vs. convection

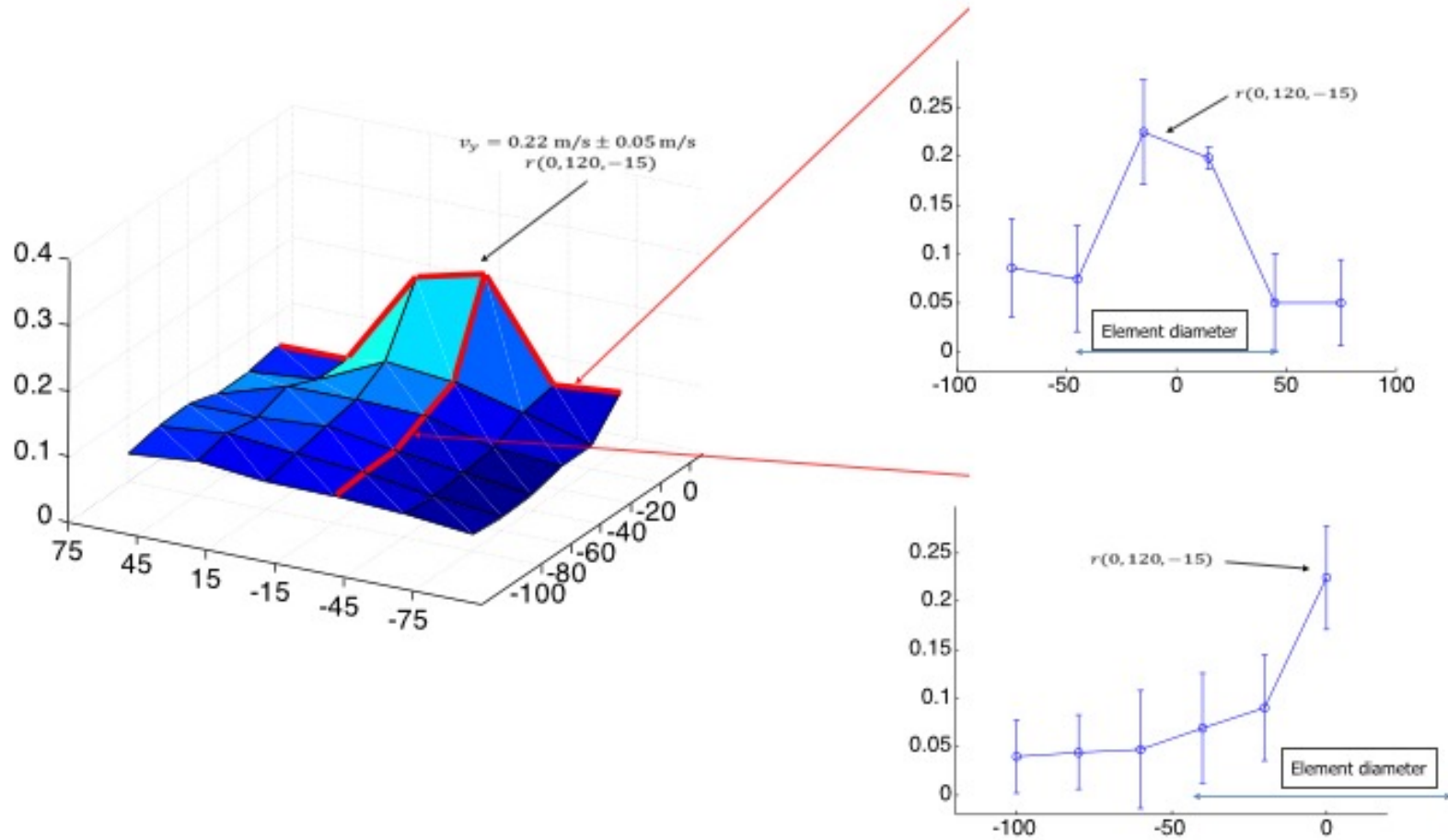


Visualization of the flow field

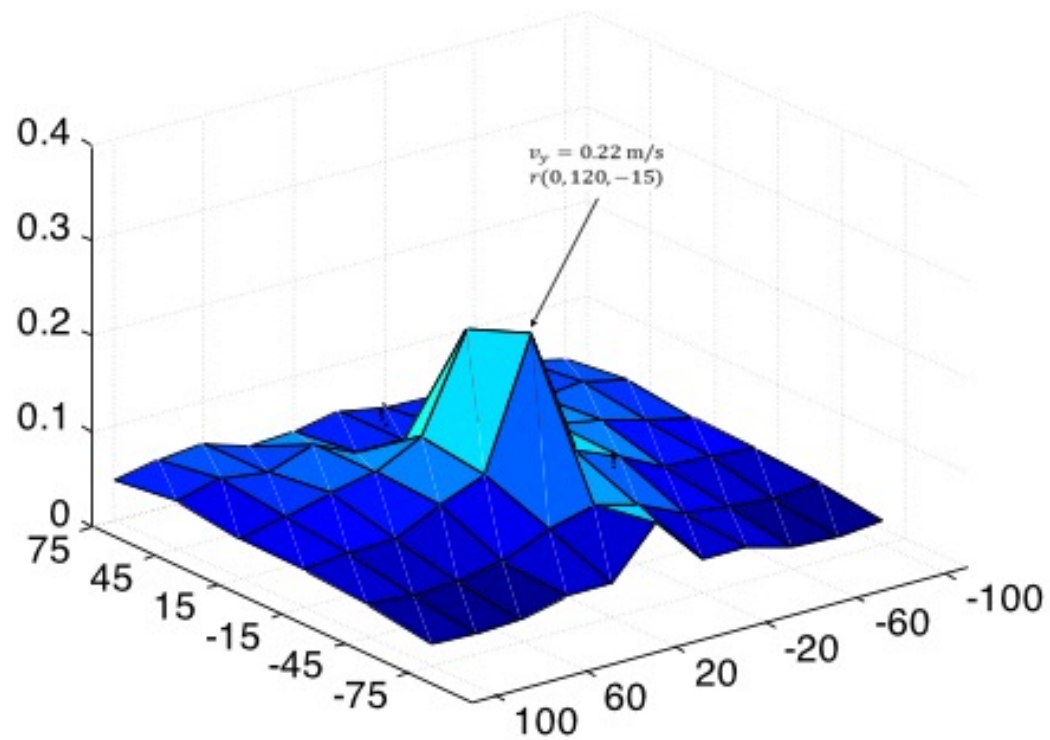


← Above
95% confidence level
← below

Air velocity lineplots



Data extrapolation



The black circle (xz-contour) indicates the position of the cooling element in relation to the reference frame