

Systematische aanpak voor optimaal ontwerp van koelsystemen voor aandrijvingen

17 februari 2017, 01:00

Pieter Beyl

Een systematische modelgebaseerde aanpak voor het ontwerp van koelsystemen werd succesvol toegepast op cases van Picanol (koeling van elektrische motoren), NV Michel Van de Wiele (koeling van een groot aantal actuatoren) en Bluways (koeling van elektrische energieopslagsystemen).

Binnen het OPCOPE-project werkte Flanders Make - de geassocieerde labo's UGent-EEDT en KULeuven-Electa inbegrepen - aan deze systematische modelgebaseerde aanpak voor het ontwerp van koelsystemen.

Het ontwerp van koelsystemen wordt almaar uitdagender. Er worden steeds vaker compacte, krachtige actuatoren ingebouwd om de functionaliteit van machines te verhogen, wat leidt tot hogere vermogensdichtheden en hogere eisen qua koeling. De state of the practice is vaak nog dat men het koelsysteem achteraf ontwerpt. Dit leidt tot trial-and-error oplossingen en overgedimensioneerde systemen. Het is optimaler om al in de beginfase rekening te houden met de koeling. Een systematische modelgebaseerde aanpak vereenvoudigt het co-ontwerp van actuatoren en koeling.

Het startpunt van de systematische benadering voor de ontwikkeling van koelsystemen is de bepaling van de koelmethode, zoals weergegeven in onderstaande figuur 1.



Vuistregels voor bepalen optimale koeling (figuur 1)

In dit artikel focussen we op het ontwerp van koelsystemen met vloeistofkoeling.

Uitdagingen bij het ontwerp van koelsystemen zijn de beperkingen van beschikbare plaats, gewicht en totale kost, gekoppeld aan de gewenste thermische prestaties (thermische geleidbaarheid) en de gewenste hydraulische prestaties (pompvermogen nodig voor circulatie van de koelvloeistof).

Modellering

Ten opzichte van iteratief testen laten modellen toe om snel en goedkoop verschillende concepten te evalueren in verschillende condities in een simulatieomgeving in een beperkte tijd en aan een beperkte kost.

In oplopende graad van detail kunnen volgende methodes voor thermisch-hydraulische berekeningen worden onderscheiden:

- eenvoudige berekeningen op basis van formules en correlaties
- discrete parametermodellen
- FE-simulaties met een vereenvoudigd model van de vloeistofstroom in kanalen
- CFD-simulaties

Het voordeel van discrete parametermodellen voor industriële toepassingen is de eenvoud, waardoor men snel tot resultaten komt. Dit laat ook systeemsimulaties toe waardoor de thermische bottlenecks geïdentificeerd kunnen worden. Deze modellen laten toe om volgende parameters van het vloeistofkoelsysteem met koelplaat (zie figuur 3) te optimaliseren:

- Koelplaat: geometrie en materiaal
- Koelkanalen: topologie, lengte en diameter
- Pomp: debiet en drukval
- Radiator: koelvermogen
- Warmtebron: co-ontwerp van actuatoren met koelsysteem. Hiervoor werd een [elektrothermisch motormodel](#) ontwikkeld.

Onderstaande figuur 2 toont de opbouw van het model van een koelplaat met inputs en outputs, de warmtebronnen en de koelkanalen.



(Klik om te vergroten)

Voorbeeld van een model voor thermische en hydraulische simulaties (geïmplementeerd in Matlab): de warmtebronnen zijn weergegeven in het rood en het vloeistofkanaal in het blauw. Geometrie en positie van het kanaal, eigenschappen van het materiaal en koelvloeistof zijn parameters van het model (figuur 2)

Het model is geldig voor toepassingen met:

- eenfasige vloeistofstroom in kanaal
- kanalen met ronde doorsnede
- kanalen bestaande uit rechte stukken en bochten van 90°
- koelplaten en warmtebronnen bestaande uit prismatische elementen
- natuurlijke convectie en straling < 10% van totale warmteoverdracht

Experimentele validatie

Binnen het project werd een labo-opstelling gerealiseerd voor validatie van het model in een temperatuur-geconditioneerde ruimte. Daarbij laat de opstelling toe de invloed van een aantal ontwerpparameters op de prestaties van een vloeistofgekoelde plaat te evalueren om indien nodig het ontwerp aan te passen. Figuur 3 geeft een schematisch beeld van de opstelling en toont een geïnstumenteerde koelplaat.



Links: de schematische voorstelling van de testopstelling met de koelplaat, een pomp, een buffervat en een koeler om de opgewarmde vloeistof uit de koelplaat terug op de gewenste temperatuur te brengen; midden: de koelplaat voor een matrix van 12 warmtebronnen, uitgerust met sensoren; rechts: de binnenkant van een koelplaat met koelkanalen (figuur 3)

Figuur 4 toont de resultaten van de metingen en simulaties, die een goede overeenkomst weergeven. De figuur links toont de totale thermische weerstand van de warmtebron (dit komt overeen met de verhouding van de verschiltemperatuur tussen warmtebron en ingaande koelvloeistof en het vermogen van de warmtebron). De figuur rechts toont de drukval over de koelplaat in functie van het debiet.

Verschillende koelplaten werden getest in verschillende condities. De nauwkeurigheid van deze discrete parametermodellen is ca. 20 procent.



(Klik om te vergroten)

Vergelijking tussen simulaties en metingen - links: thermisch, rechts: hydraulisch (figuur 4)

Bedrijven aan het woord

Dominique Maes (Manager Technology-IP, NV Michel Van de Wiele): *"Om de designmogelijkheden voor onze klanten te maximaliseren voorzien wij steeds vaker aparte aansturingen met een groot aantal compacte actuatoren. Voor zulke machineontwikkelingen is een systematische modelgebaseerde aanpak voor het gebruik van waterkoeling een must. De resultaten van het project zijn voor ons 100 procent inzetbaar."*

Op figuur 5 is een tuftmachine te zien met een zeer groot aantal actuatoren voor individuele aansturing van de draden. Voor dergelijke toepassingen is het ontwerp van een optimaal koelsysteem een grote uitdaging.



Tuftmachine (figuur 5, bron: Van de Wiele)

Koen Maertens (R&D Portfolio Manager, Picanol): *"In het Flanders Make-project werden modellen van motor en koelplaat voor vloeistofkoeling ontwikkeld en gevalideerd. We gebruiken deze modellen om het co-ontwerp van onze aandrijflijn en bijhorende koeling te optimaliseren."*

Naast modellen voor vloeistofkoeling werden in het project ook vereenvoudigde modellen voor luchtkoeling ontwikkeld. Bluways heeft dit met succes toegepast in hun nieuw ontwerp. Johan Lecoutere (CEO, Bluways): *"Op basis van de modellen gebruiken we in ons nieuw ontwerp ventilatoren die tien keer compacter zijn en 10 dB stiller, wat een direct voordeel oplevert voor onze klanten."* Koeling is een belangrijk aspect dat meegenomen moet worden bij

energieopslagsystemen, zeker voor de levensduur van batterijen. Daarom stapt Bluways ook mee in een volgend onderzoeksproject over hoogperformante koelsystemen.

OPCOPE-project

Binnen het OPCOPE-project ontwikkelde Flanders Make een systematische manier om koelsystemen te ontwerpen. Er werden een systematische aanpak en een aantal vuistregels opgesteld om het koelconcept te bepalen. Daarnaast werden thermohydraulische modellen gemaakt die een snelle conceptgeneratie en -evaluatie toelaten.

Met de opgedane kennis en de ontwikkelingen wil Flanders Make de kennisopbouw binnen grote bedrijven rond het ontwerp van koelsystemen versnellen en wil het korte termijnondersteuning bieden aan kmo's die geconfronteerd worden met problematieken rond het ontwerpen van koelsystemen.

Op 23 februari organiseert Flanders Make een publiek [seminarie](#) waarop de projectresultaten toegelicht worden, samen met sprekers uit de industrie.

Bronnen

- OPCOPE-project
- Project [High performance cooling of integrated drivetrains](#)

Auteurs



Pieter Beyl