



Achtergrond

Bespaar brandstof op zwaar belaste mobiele machines

30 december 2010

Zware off-highway machines worden meestal aangedreven door een dieselmotor in combinatie met hydraulische componenten. Denk bijvoorbeeld aan trekkers, rooiers, bulldozers, kranen of andere nutsvoertuigen. We associëren ze met de grote rookpluim die ze uitspuwen wanneer ze actief zijn in de groeve, op de akker of in het bos. Ze moeten dus wel liters brandstof zuipen en enorm belastend zijn voor het milieu. Of niet?

Mondjesmaat worden mensen zich bewust van de precare situatie waarin onze planeet zich bevindt. Fossiele brandstoffen worden schaars en schadelijke emissies hebben er de afgelopen tientallen jaren voor gezorgd dat het ecologisch evenwicht is verstoord. Gelukkig wordt gezocht naar technologische oplossingen. Groene energie is in opmars. Voorbeeld daarvan is het groot aantal windmolens die als paddenstoelen uit de grond schieten. Waar mogelijk, wordt energie gerecupereerd en hergebruikt.

Ook bestaande systemen kunnen vaak nog een verbeteringslag maken. Door de essentiële componenten van een aandrijfketen op een doordachte wijze af te stemmen op elkaar, zijn dikwijls grote rendementsverhogingen mogelijk - opportuniteiten waarvan het bestaan niet of nauwelijks bekend is. Zo ook in de wereld van de hydraulisch aangedreven mobiele machines.

De Hogeschool West-Vlaanderen doet al meerdere jaren in nauwe samenwerking met de industrie actief onderzoek op het vlak van hydraulische aandrijvingen. In 2008 startte het IWT Tetra-project 'Energie-efficiëntie van mobiele hydraulische applicaties'. Samen met FMTC is een innovatieve globale aansturing ontwikkeld die toelaat om het rendement van de aandrijftrein van mobiele arbeidsmachines te optimaliseren. De rendementsverbetering en bijhorende brandstofbesparing zijn spectaculair.

De tractie van zwaar belaste voertuigen wordt vaak hydrostatisch uitgevoerd. Een dieselmotor drijft een pomp aan, die op zijn beurt een of meerdere hydromotoren voedt. Bij rooi- en spuitmachines bijvoorbeeld wordt elk wiel aangedreven door een afzonderlijke hydromotor. Bij wielladers zitten de hydraulische pomp en motor meestal in hetzelfde blok vevat. De verbinding tussen de hydromotor en de wielen is dan mechanisch.



Zwaar belaste mobiele machines worden vaak hydrostatisch aangedreven.

Werkpunt

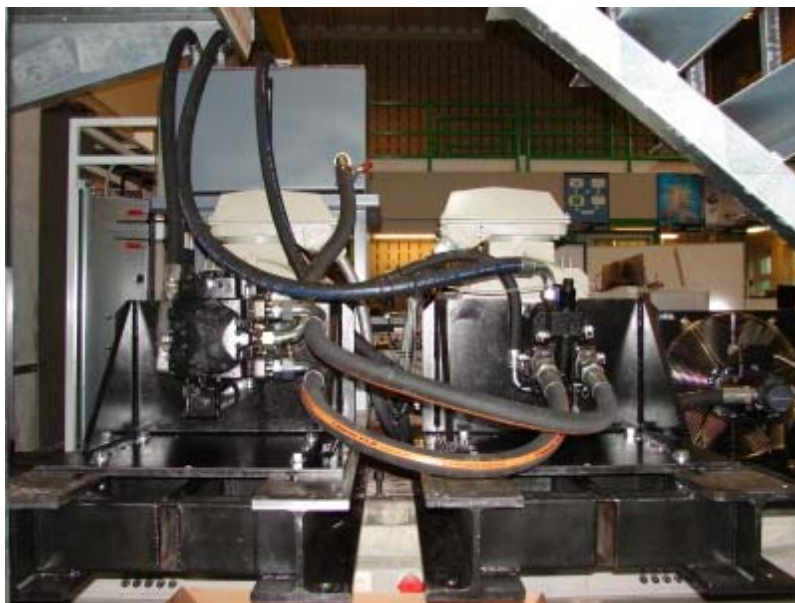
Waarom niet gewoon gebruikmaken van een volledig mechanische aandrijftrein? Een hydrostatische aandrijving biedt enkele onmiskenbare voordelen. Vermits de vermogensoverdracht hydraulisch gebeurt via vaste buizen of flexibele slangen, is er geen nood meer aan aandrijfassen en differentiëlen. Die kunnen bijvoorbeeld hinderlijk zijn wanneer een landbouwmachine over het gewas moet rijden. Bovendien kunnen de slagvolumes van de pomp en de hydromotor elektronisch worden versteld zodat een continu variabele transmissie (CVT) kan worden gerealiseerd. Zo wordt een mechanische versnellingskast overbodig. Bovendien kan de dieselmotor in een werkgebied opereren waar zijn rendement gunstiger is door de gepaste hydraulische slagvolumes te kiezen.

Enkel voordelen dus? Uiteraard niet. Het totaalrendement van de hydraulische componenten ligt meestal lager dan dat

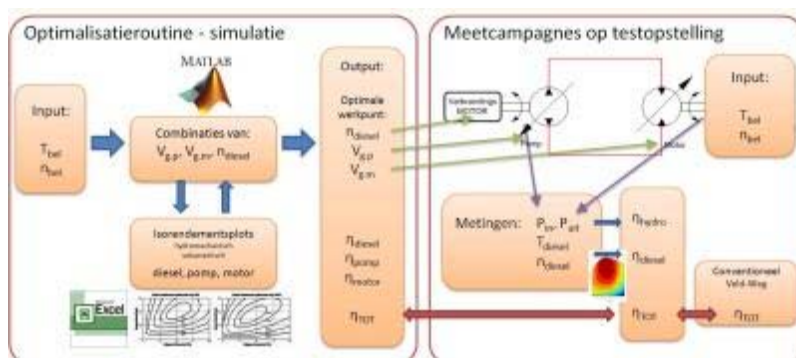
van de mechanische overbrenging. En het geluidsniveau is hoger. Toch weegt dit niet op tegen de voordelen. Het is de taak van onderzoekers om het totaalrendement van de hydrostatische aandrijving (dieselmotor en hydraulische componenten) naar een optimum te drijven. Een intelligente sturing, ontwikkeld door FMTC in samenwerking met Howest, zorgt ervoor dat de hydrostatische rijaandrijving steeds het ideale werkpunt opzoekt.

Om een zekere voertuigsnelheid te bereiken, zijn drie parameters instelbaar in een hydrostatische aandrijving: het aandrijvend toerental van de dieselmotor, het slagvolume van de pomp en het slagvolume van de hydromotoren. Verschillende combinaties van deze parameters kunnen leiden tot dezelfde snelheid. Echter, het totaalrendement zal telkens anders zijn.

Hoe gebeurt de aansturing van deze parameters vandaag de dag? De pomp en de hydromotoren worden aangestuurd volgens een vast stramien. Als een mobiele machine vanuit stilstand vertrekt, is het slagvolume van de hydromotoren maximaal om een groot koppel te leveren. Het slagvolume van de pomp wordt stelselmatig vergroot, zodat het debiet in de gesloten kringloop toeneemt en daarmee ook de voertuigsnelheid. Eens de pomp maximaal is uitgestuurd, wordt het slagvolume van de hydromotor teruggeschroefd om de snelheid verder op te drijven. De communicatie tussen de hydraulische aandrijving en de dieselmotor is gering. Het toerental van de diesel wordt hoog genoeg gekozen zodat het benodigde vermogen zeker kan worden geleverd. In deellast is dit toerental vaak onnodig hoog, zodat de dieselmotor in een energetisch slechte zone werkt.



De testopstelling van Howest simuleert een hydrostatische rijaandrijving van een mobiele machine. Door gebruik te maken van een geoptimaliseerde sturing kan het totaalrendement van de aandrijving gevoelig worden opgekrikt.



Als input wordt aan de hydromotor van de testopstelling een belastingskoppel opgedrongen, bij een gewenst toerental. De hydrostatische rijaandrijving kan aan deze eisen tegemoet komen door het aanpassen van het slagvolume van de variabele pomp, hydromotor en dieseltoerental. De combinatie van deze drie parameters waarbij het totaalrendement van de aandrijving het hoogst ligt, wordt door het besturingsorgaan rekenkundig bepaald op basis van data van de drie componenten. Rendementsverbeteringen leiden tot brandstofbesparingen tot 30 procent.

De vraag was of het mogelijk is om met een meer geavanceerde sturing een hoger totaalrendement van de hydrostatische aandrijftrein te bekomen. Dit kan inderdaad door één controller op een hoger niveau de instelparameters te laten berekenen van zowel de dieselmotor als de hydraulische pomp en motor. Op deze manier kan de interactie tussen deze componenten in rekening worden gebracht bij de aansturing. Het rendement van de dieselmotor is immers functie van zijn toerental en geleverd koppel. Twee grootheden die echter afhangen van de

instelling van de slagvolumes van de hydraulische componenten. Omgekeerd beïnvloedt de instelling van de dieselmotor ook de rendementen van de pomp en de hydromotor, die afhangen van hun toerental, slagvolume en werkdruk. Daarom houdt de in dit project ontwikkelde globale optimalisatieroutine rekening met de efficiëntiemappen van al de aangestuurde componenten in de bepaling van het optimale werkingpunt. Op die manier kunnen de individuele controle-acties van de verschillende componenten op elkaar worden afgestemd.

De routine die we hebben opgesteld, evalueert het totaalrendement van de volledige aandrijftrein voor een grid van mogelijke hydraulische pomp- en motorslagvolumes. Gebaseerd op de systeemvergelijkingen van de verschillende componenten in de aandrijftrein bepaalt de routine de hydraulische en mechanische werkingscondities voor elke combinatie van hydraulische slagvolumes. Hierbij passen we een achterwaartse berekening toe waarbij we uitgaan van een gewenste voertuigsnelheid en lastkoppel. Een polynomiale functie, die de efficiëntiemap van de hydromotor benadert, wordt in de systeemvergelijking van de hydromotor ingevuld. Op deze manier bepalen we de benodigde druk en het debiet in het hydraulische circuit.

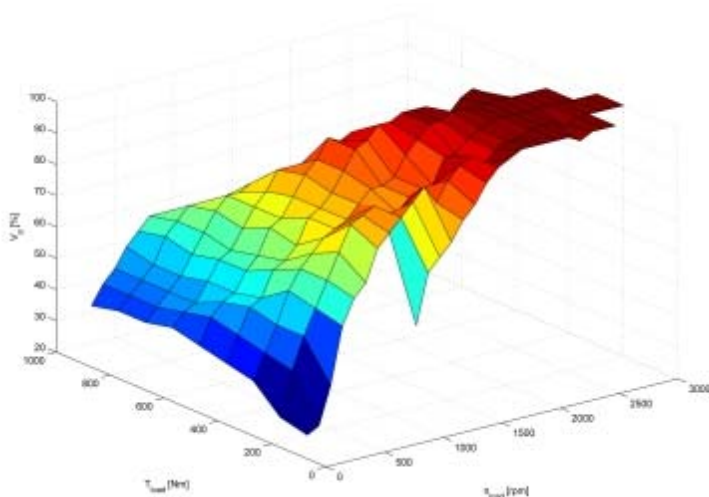
30 procent

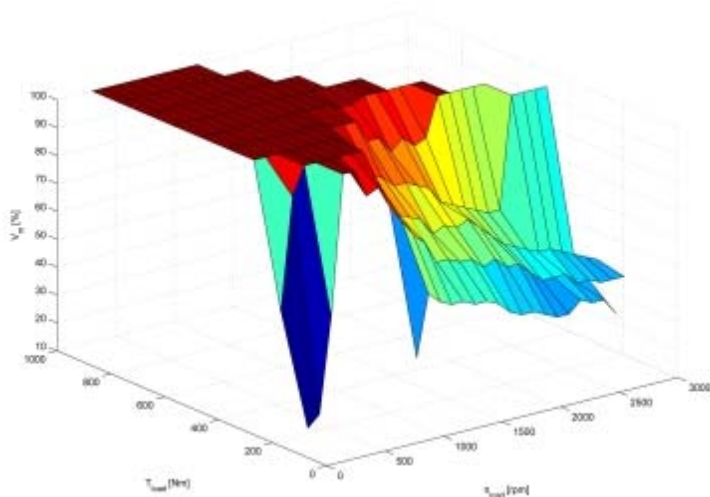
Door een gelijkaardige berekening toe te passen bij de evaluatie van de pompwerking kan het lastkoppel en toerental van de dieselmotor worden berekend. Voor sommige slagvolumes zullen de benodigde drukken, debieten, dieseltoleranties en -koppels de maximaal toegelaten waarden echter overschrijden. De routine checkt dit automatisch en sluit deze onrealistische instellingen uit. Het totaalrendement van de toegelaten werkingpunten wordt vervolgens bepaald door de rendementen van de dieselmotor, de pomp en de hydromotor te vermenigvuldigen. Door deze procedure te herhalen voor alle mogelijke slagvolumes en de berekende totaalrendementen te vergelijken, kan een ruwe schatting van het meest efficiënte werkingpunt worden berekend.

In een tweede fase voeren we dan een verfijnde zoekactie rond het gevonden werkingpunt uit. Zo krijgen de optimale instelparameters een grotere graad van nauwkeurigheid. Volgens de resultaten van de optimalisatieroutine zijn procentuele rendementsverbeteringen van 25 procent ten opzichte van de huidige aansturing geen utopie.

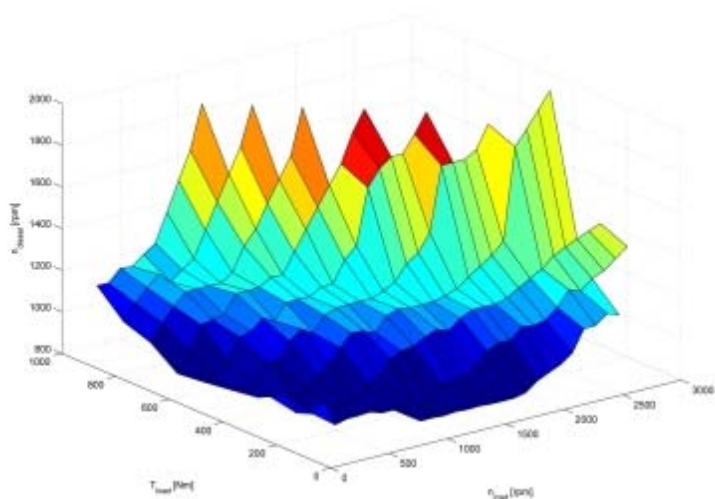
De optimalisatieroutine heeft Howest geïmplementeerd en uitvoerig gevalideerd aan de hand van een testopstelling die dit jaar is gebouwd in zijn hydraulicalab. Hier neemt een asynchrone elektromotor (110 kW) de plaats in van de dieselmotor. De elektromotor is frequentiegestuurd en kan de variabele pomp (165 cm³) aandrijven tot 3000 toeren per minuut. Er is één variabele hydromotor (160 cm³) aanwezig die wordt belast met een elektromotor (110 kW) in koppelmodus. Zo kan de hogeschool realistische belastingscycli van bijvoorbeeld landbouwmachines of wielladers simuleren op de testopstelling.

Experimenten op deze testopstelling bevestigen de theoretisch voorspelde rendementsverbeteringen op de totale aandrijving van 25 procent. Dit zal zich natuurlijk ook weerspiegelen in het brandstofverbruik. Dankzij de geoptimaliseerde aandrijving hoeft het vermogen geproduceerd door de dieselmotor niet meer zo hoog te zijn en verschuift het werkingpunt van de dieselmotor naar een efficiëntere zone. Het levert brandstofbesparingen die 20 tot 30 procent bedragen.

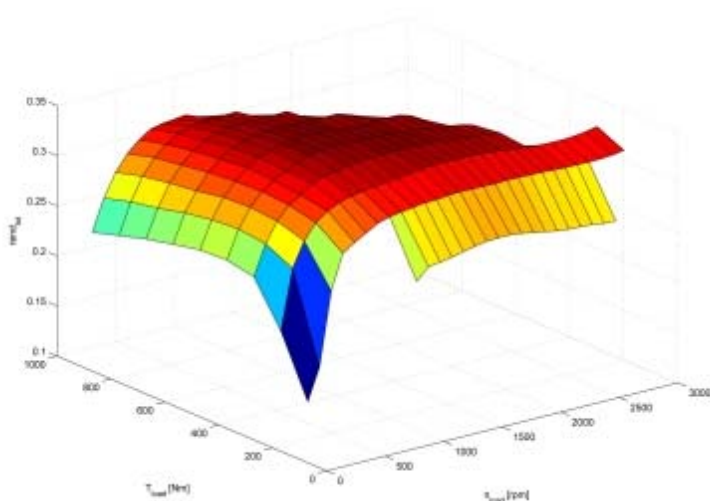




Deze figuren geven het ideale slagvolume weer van de variabele pomp (Vp) en hydromotor (Vm) in functie van het belastingskoppel (Tload) en het gewenst uitgaand toerental (nload).



Het ideale dieseltorerental in functie van het belastingskoppel (Tload) en het gewenst uitgaand toerental (nload).



Het totaalrendement van de aandrijving bij optimale aansturing in functie van het belastingskoppel (Tload) en het gewenst uitgaand toerental (nload). Dit rendement is het product van de rendementen van de pomp, hydromotor en dieselmotor.

Roet

We merken dat constructeurs inspanningen leveren om hun machines groener te maken. Het is vooral een gevolg van de strenge eisen die door de overheid worden opgelegd inzake schadelijke emissies. Vooral de uitstoot van NOx en koolstof (roet) wordt aan banden gelegd. De nadruk ligt hier sterk op de nabehandeling van de uitlaatgassen. De

inspuiting van Adblue (32,5 procent ureum opgelost in gedemineraliseerd water) neutraliseert grotendeels de uitstoot van NOx. Een partikelfilter moet het vrijkomen van roetdeeltjes minimaliseren. Goede evoluties, zo blijkt.

Helaas besteden de regelingen minder aandacht aan de bron van het kwaad. Het rendement van machines kan immers vaak nog gevoelig worden opgekrikt zoals ook blijkt uit de resultaten van dit project. In verder onderzoek zou ook de schadelijke uitstoot in rekening kunnen genomen worden bij de aansturing van het voertuig. Dit kan door mappen van de uitstoot van de dieselmotor in de optimalisatieroutine toe te voegen en beperkingen op de emissies op te leggen. Daarnaast is natuurlijk ook nog een belangrijke taak weggelegd voor de constructeurs die moeten op zoek gaan naar efficiëntere en milieuvriendelijkere verbrandingsmotoren.

Het Tetra-onderzoeksteam van de Hogeschool West-Vlaanderen bestaat uit Bart Vanwalleghem (projectleider, werkleider lab elektromechanische aandrijvingen), Bram Vanseveren (onderzoeksmedewerker), Kurt Stockman (co-projectleider, docent en opleidingscoördinator elektromechanica) en Carl Dousy (onderzoeksmedewerker). Bij de ontwikkeling hebben zij samengewerkt met Wim Symens (programmameerder Ecologische machines), Gregory Pinte (projectleider van controleprojecten) en Erik Hostens (projectingenieur van controleprojecten) van het FMTC.

Carl Dousy en Gregory Pinte

[Terug naar overzicht](#)

© Mechatronica Magazine | Deze pagina op internet: <http://www.mechatronicamagazine.nl/nieuws/achtergrond/bekijk/artikel/bespaar-brandstof-op-zwaar-belaste-mobiele-machines.html>