

Schuiven met laadcapaciteit

Adviesbureau Groendus helpt bedrijven om hun energiehuishouding te verduurzamen. Bijvoorbeeld met laadpalen voor elektrisch rijdende medewerkers en klanten, gevoed door de eigen zonnepanelen van het bedrijf. Maar hoe plan je eigenlijk het optimale schema om al die accu's te laden?

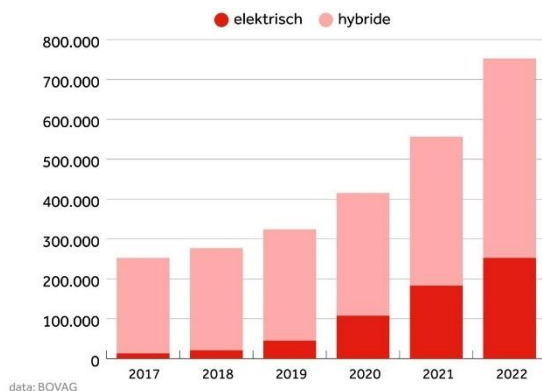
Over op duurzame energie om klimaatverandering af te remmen? Dan moeten we over op elektrisch rijden. Europese regeringen spraken daarom af dat er vanaf 2035 geen nieuwe fossiele brandstofauto's meer mogen worden verkocht. Volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek telde ons land begin 2023 al 511.000 elektrische auto's; 6% van het totaal. In het bedrijfsleven ligt dat percentage fors hoger. Een kwart van de zakelijke personenauto's is elektrisch, de helft van het totale aantal stekkerauto's.



Elektrische laadpaal aan huis. Bron: Vattenfall

Bedrijven zoeken daarom naar manieren om hun elektrisch rijdende klanten en medewerkers van stroom te voorzien. Zonnepanelen op het dak, laadpalen op de parkeerplaats, en iedereen kan aan het eind van de werkdag zorgeloos met een volle accu naar huis.

Elektrisch laden op het parkeerterrein van je bedrijf klinkt ideaal voor klanten en medewerkers, maar blijkt een lastige puzzel. Want wanneer begin je met een auto opladen - zo gauw die inpluigt, of pas als de zonnepanelen veel vermogen leveren? Vroeg laden betekent dure netstroom inkopen, maar met te lang wachten op zon loop je het risico dat auto's niet genoeg lading krijgen om naar huis te komen.



*Verkoop van elektrische en hybride auto's.
Bron: NOS. Data: BOVAG*

Energievraag balanceren

Om zijn laadschema te bepalen, werkt adviesbureau Groendus momenteel met een eenvoudig algoritme dat de prijs van netstroom en zonne-productie vergelijkt. Uitgangspunt is dat auto's zo vol worden geladen, dat de bestuurder weer thuis kan komen. Het algoritme is slim genoeg om stroom terug te leveren aan het net als er meer wordt opgewekt dan verbruikt, maar kan de energievraag gedurende de dag niet overzien en balanceren; soms wordt daarom dure netstroom gebruikt om auto's te laden, terwijl later op de dag zonnestroom over is.

De vraag aan SWI: ontwerp een beter algoritme, dat aan de hand van voorspellingen over de zonne-productie en energieverbruik van de volgende dag een optimaal laadplan uitwerkt.

Nogal een vraagstuk, vonden wiskunde-promovenda Evie Nielen (Technische Universiteit Eindhoven) en haar teamgenoten aan het begin van de SWI-week: "Ik heb best wel eens gedacht: 'dit gaat niet werken'". Aan het eind van de week is die mening gedraaid: "Toen hadden we een best solide aanpak, waar Groendus ook direct van zei: 'dit is nuttig!' Een mooi resultaat dus."

Nielen promoveert in het dagelijks leven op het onderwerp *model order reduction*, oftewel "goedkoop afschatten van dure vergelijkingen". Door slimme versimpelingen kunnen vraagstukken die veel reken-

kracht kosten sneller en goedkoper worden opgelost. SWI leek haar een mooie kans om een week aan heel andere onderwerpen te werken, en te ontdekken wat voor vraagstukken je als wiskundige in het bedrijfsleven tegen kunt komen.

Splitsen

"We kwamen er al snel achter dat dit vraagstuk te complex is om in een week tijd op te lossen", herinnert Nielen zich. Daar maken de onderzoekers snel korte metten mee: als het vraagstuk te groot is, moet je het splitsen in onderdelen die wél behapbaar zijn.

De wiskundigen besluiten een knip te maken tussen het voorspellen van de toekomstige energievraag en -verbruik, en de optimalisatieslag om die voorspelde auto's met de beschikbare energie zo goed en goedkoop mogelijk te laden. Dat laatste vraagstuk pakken ze in twee stappen aan: eerste de ideale oplossing, dan een realistische.

$$\min_{E^+, E^- \in \mathbb{R}_{\geq 0}^T} \sum_{t=1}^T \underbrace{E_t^+ p_t^+}_{\text{buy energy}} - \underbrace{E_t^- p_t^-}_{\text{sell energy}} + \text{"penalty term"}$$

Formule om het laden van elektrische auto's te optimaliseren. De strafterm stimuleert het algoritme om duurzaam opgewekte stroom zoveel mogelijk te gebruiken om auto's op te laden, in plaats van die terug te verkopen aan het stroomnetwerk. Bron: SWI-team Groendus

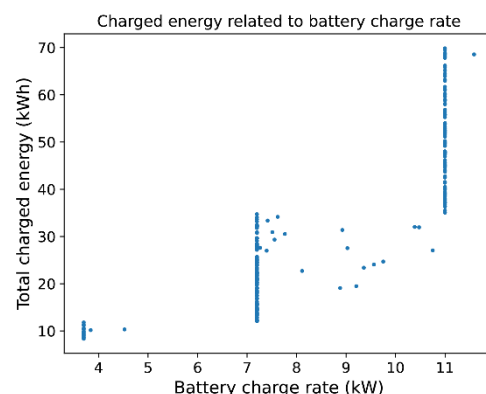
Die 'ideale aanpak voor het stekkerautoprobleem waar Nielen en collega's op uitkomen, stoelt op de techniek van *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Dat is een bekende optimalisatietechniek in de wiskunde. Door alle aspecten van het vraagstuk in vergelijkingen te gieten, kan een automatische *solver* de optimale oplossing uitrekenen waarbij auto's zo vol mogelijk worden geladen tegen de laagste kosten.

MILP is een rekenkundig dure techniek. Er gaat relatief veel rekentijd in zitten, omdat allerlei verschillende opties in details worden nagegaan. Dat vraagt een bijna pietepouterig exacte formulering van het vraagstuk in de vorm van formules, legt Nielen uit. Hoeveel opladers er zijn, het aantal tijdstappen en de hoeveelheid zonnestroom per tijdstip, de kosten en winst om stroom uit of in het stroomnet te sturen, zelfs de maximale laadsnelheden van accu's gaan in het model.

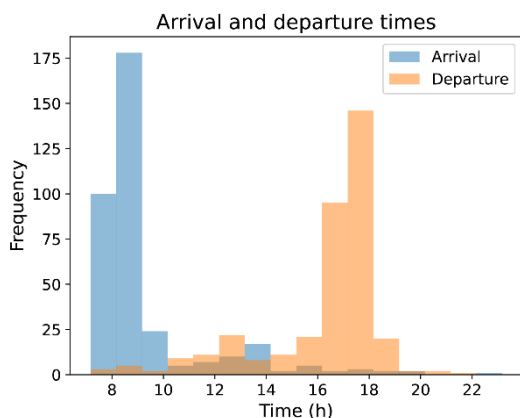
De MILP-techniek vraagt ook zo compleet mogelijke informatie: alsof je aan het begin van de dag exact weet wanneer welke auto binnenkomt en hoeveel stroom de zonnepanelen elk moment opleveren. Weinig realistisch, maar een goed startpunt, zo blijkt.

Met hun MILP-aanpak weten de wiskundigen laad-schema's uit te rekenen die het allerlaatste uit de beschikbare zonnestroom halen. Dat doen ze door hun algoritme strafpunten te geven als het zonnestroom verkoopt terwijl het op een ander moment op de dag energie uit het stroomnet haalt.

Door die strafterm aan te passen, blijken de wiskundigen te kunnen kiezen hoeveel auto's er aan het eind van de dag genoeg lading hebben om naar huis te komen. De grote vraag blijft: werkt deze aanpak ook als je geen perfecte voorkennis hebt over wat de dag gaat brengen?



De MILP-aanpak vraagt veel informatie, zoals hoeveel capaciteit de batterij van elke laadauto heeft en hoe vol die aankomt op het parkeerterrein. Uit een literatuurstudie komen drie groottes en bijbehorende lading naar voren. Bron: SWI-team Groendus



Aankomst- en vertrektijden van elektrische auto's. Bron: SWI-team Groendus

Accutypes en aankomsttijden

Niet alle benodigde informatie om de optimale oplossing uit te rekenen blijkt al beschikbaar. Daarom slaan de wiskundigen aan het simuleren. Zo schatten ze bijvoorbeeld het energieverbruik van het bedrijfspan en zoeken ze uit hoeveel verschil er is in de laadcapaciteit van verschillende autotypes. Daaruit blijkt te voorspellen hoe vol of leeg elektrische auto's bij aankomst zijn.

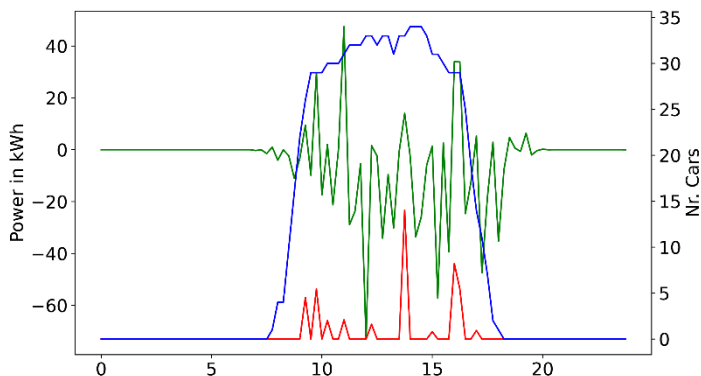
Hun analyse geeft gedetailleerde informatie over de energievraag per auto. Maar hoeveel auto's moeten er per dag eigenlijk geladen worden?

"In ons vraagstuk zijn er twee soorten stroomgebruikers", legt Evie Nielen uit: "allereerst de medewerkers van het bedrijf, die aan het begin van de dag aankomen en inpluggen en aan het eind van de werkdag weer vertrekken. Daarnaast zijn er gasten en klanten die in principe de hele dag door aan kunnen komen."

Om grip te krijgen op de aankomsttijden van stekkerauto's grijpen de wiskundigen naar statistiek. In hun aanpak zijn werknemers er niet exact van negen tot vijf, maar verspreiden ze zich in een klokvormige *normaalverdeling* rondom die tijdstippen. Voor klanten is dat anders: die kunnen in principe de hele dag door aanwaaien.

Zon en ziekmelden

Kunnen de voorspellingen scherper, en kan het MILP-model omgaan met beperkte voorkennis? In hun tweede onderzoeksfase bekijken Nielen en haar collega's een variant op hun MILP-aanpak. Die wordt niet eens per dag doorgerekend, maar krijgt bij elke tijdsstap aangescherpte informatie over bijvoorbeeld de verwachte zonnestroom en de hoeveelheid stekkerauto's op de parkeerplaats.



Uitkomst van het rekenmodel. Blauw: aanwezige elektrische auto's. Groen: energieoverschot. Rood: actieve laadpalen. Bron: SWI-team Groendus

"Een van de aspecten waar we naar kijken is de kans dat werknemers niet naar hun werk komen", vertelt Nielen. Dat kan allerlei oorzaken hebben; ziekte bijvoorbeeld, een thuiswerkdag, of een afspraak buiten de deur. "We hebben een model met kansberekening opgezet op basis van de gemiddelde aankomsttijd van een werknemer. Als die een uur later nog niet binnen is, kun je daar een kans uit halen dat die persoon helemaal niet meer komt; dat scheelt laadcapaciteit die dan vrijkomt voor andere doeleinden."

Of die informatie niet op een andere manier te vinden is? "Je zou dit natuurlijk uit het ziekmeldsysteem kunnen halen", lacht Nielen, "maar of dat zo legaal is?" Een realistischer alternatief is een ticketsysteem waarmee iemand laadcapaciteit reserveert. Dat vraagt wel een dashboardfunctie waarmee het MILP-model makkelijk kan worden bediend door bedrijven, geeft de wiskundige toe: "die mooie strik zit er nu nog niet om, we hebben deze week echt nodig gehad om de wiskundige functionaliteit op te zetten. Maar in de toekomst is dat zeker een optie."

Dicht op de toepassing

Hoe kijkt Nielen terug op de drukke SWI-week? "Het was aanpoten, dat zeker! We hebben veel, hard en lang gewerkt met ons groepje, echt een hogedrukpan. Dat was ook meteen een mooi verschil met de normale manier van werken als onderzoeker. Soms wel wat chaotisch - iedereen wil de diepte in, alles begrijpen, maar je moet ook overleggen om samen verder te komen.

"Tijdens de week werd duidelijk dat ons project op zijn pootjes ging landen. Erg mooi om zo snel resultaat te boeken en zo een bijdrage te leveren aan een probleem uit de praktijk. Als wiskundig onderzoeker zit je soms erg theoretisch te werken. In dit project hadden we een vraagstuk waarmee we juist direct op de toepassing zaten. Ook dat was een interessante ervaring. SWI is echt een aanrader om aan mee te doen."