Laveren tussen burgers en ondergrond

We willen wel stroom, maar geen elektriciteitslijn in onze achtertuin. En dat is slechts één van de vele aspecten waar NM Group rekening mee houdt als het een nieuwe elektriciteitslijn ontwerpt. Het Britse bedrijf kwam naar Nederland voor advies over het optimaliseren van de routes.

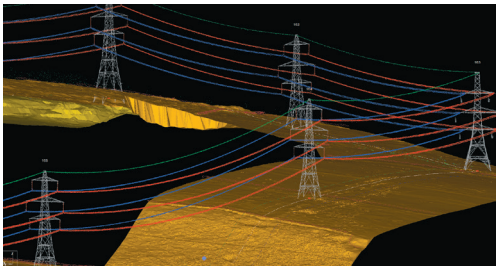
Nee, het was niet omdat Nederlandse wiskundigen zoveel beter staan aangeschreven dan hun Engelse collega's. "Via een wiskundige bij Leeds University hoorden we van het bestaan van dit soort studiegroepen. Utrecht was toevallig de eerstvolgende in Europa", zo verklaart Chris Williams de aanwezigheid van een Brits bedrijf bij de Utrechtse Studiegroep Wiskunde met de Industrie. Williams is softwareontwikkelaar bij NM Group, een bedrijf dat 'Innovation in Infrastructure' als bedrijfsslogan heeft. Het bedrijf is expert in de planning van nieuwe infrastructuur, zoals nieuwe spoorwegen of pijpleidingen. Het bedrijf gebruikt daarvoor onder meer satellietdata en 3D-metingen van het landschap. NM Group is specialist op het gebied van elektriciteitsnetwerken; zo helpt NM Group bij het bepalen van de beste route voor nieuwe elektriciteitslijnen. En dat is ook, wat Williams en zijn collega Paul Richardson naar Nederland bracht.

Beeld Peter Kaminski, Flickr

Door de opkomst van alternatieve energiebronnen verandert overal ter wereld het energielandschap. Vroeger werd alle stroom door een klein aantal centrales opgewekt. Nu komen daar andere bronnen bij, zoals windparken en de stroom van zonnecellen. Er zijn nieuwe lijnen nodig om al die bronnen te bereiken, en bestaande lijnen moeten worden aangepast aan de nieuwe situatie. Werk genoeg voor NM Group, zo verzekert Richardson de wiskundigen tijdens zijn presentatie op maandag.

Aan de bouw van een nieuwe hoogspanningslijn gaat een periode van intensieve planning vooraf. Tal van belangen moeten in die fase tegen elkaar worden afgewogen. Zo willen mensen niet graag een hoogspanningsleiding in hun achtertuin, maar liever ook niet in een natuurgebied. Bestaande infrastructuur, de ondergrond, de vegetatie, het hoogteverschil dat moet worden overbrugd; al die factoren spelen mee. NM Group probeert om de elektriciteitslijn zo kort mogelijk te houden en toch tussen alle probleempunten door te laveren. Daarbij heeft het bedrijf ook technische eisen: de afstand tussen twee masten kan niet oneindig groot zijn. Er moet van tijd tot tijd een plek zijn een mast neer te zetten: om 'te landen', zoals dat in jargon heet. Het aantal masten en hun plaatsing is alweer een optimalisatieprobleem. Hoge masten kunnen grotere afstanden overbruggen, maar kosten meer en zijn over grotere afstanden zichtbaarder. Daarnaast heeft een 'recht-toe-recht-aan-route' de voorkeur. Masten waarbij de draden rechtdoor lopen, zijn namelijk het goedkoopst. De trekkrachten houden elkaar in evenwicht. Als de kabels een hoek maken, is een sterkere mast nodig.

Bij de planning moeten alle factoren tegen elkaar worden afgewogen, iets wat met de hand bijna niet te doen is. NM Group gebruikt daarom planningssoftware voor het uitstippelen van de beste route. Het bedrijf deelt het terrein daarvoor op in een rooster van zeshoeken van twee kilometer doorsnee. Williams: "Om het probleem behapbaar te maken, drukken we alles uit in geld. Als een zeshoek in de buurt van een woonwijk ligt, wordt de prijs voor die zeshoek hoger, omdat de sociale kosten daar hoog zijn. Een stevige effen ondergrond drukt de prijs van een zeshoek, en zo kun je allerlei factoren meenemen."



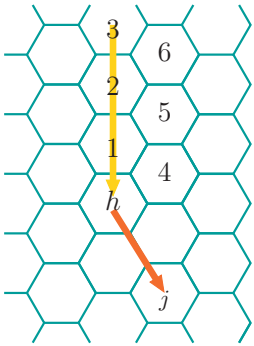
Beelden van de planning van een nieuwe hoogspanningslijn. Beeld NM Group.

Het bedrijf heeft uitgebreide tabellen, waarin al die kosten staan. Daarmee kan de software berekenen wat – noem eens wat - een zeshoek van zandgrond bij een industriegebied en naast een doorgaande weg kost. “Voor de studiegroep doet het er niet toe wat een zeshoek duur of goedkoop maakt. Het gaat er om dat iedere zeshoek zijn eigen prijskaartje heeft”, zo benadrukt Richardson. De software berekent de goedkoopste route door het rooster. Daarna doet NM Group aanvullend grondonderzoek om de optimale lijn van de masten binnen de zeshoeken te bepalen. Williams: “We doen de berekening dan nog een keer, met een grid van kleinere zeshoekjes.”
“Onze software is best goed, maar af en toe komen er routes met rare hoeken uit”, vertelt Williams. “We begrepen niet goed, wat we daar aan moesten doen.” NM Group besloot daarom een Studiegroep Wiskunde met de Industrie te vragen, hoe zij de beste route zouden berekenen.

De groep ging niet aan de slag met de software van het bedrijf, maar besloot bij nul te beginnen. De indeling met de zeshoeken hielden ze wel aan. “Het probleem was wiskundig gezien eenvoudig geweest, als de kosten van de lijn alleen zouden hebben afgehangen van de kosten van de zeshoeken zelf. Het zijn de bijkomende kosten voor de masten, die het probleem ingewikkelder maken”, aldus Erik Bruin, een van de wiskundigen die aan het probleem werkte. Want voor de lijn zelf zijn ook weer tal van scenario’s denkbaar: hoe groot maak je de masten – en dus de

sprongen – en waar zet je ze neer? “Al die opties vergroot het aantal mogelijkheden voor een nieuwe lijn enorm”, benadrukt Bruin. “Het is de kunst uit al die scenario’s de beste te vissen.”

Omdat het zoeken van de optimale route door een rooster van zeshoeken met verschillend gewicht wiskundige gezien zo eenvoudig is, besloten de wiskundigen dat het probleem tot die vorm terug moest worden gebracht. De zeshoeken kregen van hen niet langer één prijs, maar een hele lijst met prijzen, voor ieder denkbaar scenario. Bruin: “We stopten alle kosten voor de lijn in de zeshoeken.” Naast de vaste ‘oppervlaktekosten’ kende de groep ‘sprongkosten’ en ‘hoekkosten’ toe aan de zeshoeken. “De sprongkosten zijn de kosten om met een mast in een zeshoek te landen. De hoekkosten zijn de meerkosten als de mast onder een hoek staat.” De sprongkosten hangen af van de afstand. “Ook hier splits je uit naar alle mogelijke scenario’s. Als de lijn uit de naastgelegen zeshoek komt, hoeft de mast niet hoog te zijn en zijn de kosten laag. De sprongkosten zijn dan lager dan wanneer de lijn van een verder weg gelegen zeshoek komt.”



$$(h, 3) \rightarrow (j, h)$$

Voor iedere hoek (h,i) -> (j,h) is de kostprijs van de zeshoek de som van de landingskosten in h, de sprongkosten van i naar h en de hoekkosten voor h, gegeven door i, h en j.

Om de hoekkosten goed mee te kunnen nemen, namen de wiskundigen ook hier alle scenario’s mee voor alle ingaande en uitgaande lijnen. “Stel dat je een zeshoek A hebt. De lijn kan uit de aangrenzende zeshoeken komen, maar ook een grotere

sprong maken. Dan komt ze uit verderop gelegen zeshoeken." De afstand die met één sprong te overbruggen is, is beperkt, dus dat beperkt de straal N waarbinnen de volgende mast moet staan. "Vanuit zeshoek A gaat de lijn daarna weer verder. Ook nu kan je een sprong met maximaal afstand N maken. Ook nu nemen we alle uitgaande mogelijkheden mee. Zo heb je alle mogelijke hoeken te pakken waarbij een mast binnen een straal N verbonden is met een mast in zeshoek A – en daarmee alle mogelijke hoekkosten."
Het mooie van deze methode is dat alle informatie over alle mogelijke scenario's uiteindelijk wordt vastgelegd. Bruin: "Samen vormt dit alles een grote graaf, waardoor je met Dijkstra's kortstepadalgoritme het optimale pad kunt berekenen. We hebben bewijzen dat ieder mogelijk pad bestaande uit zeshoeken, is verwerkt in de graaf en dat de bijbehorende kosten corresponderen. Een kortste pad bestaande uit zeshoeken correspondeert dus met een kortste pad in onze graaf."

Het minder goede nieuws is dat de aanpak een botte-bijl-methode is. "Alle opties in de computer proppen en rekenen maar", zo vat Bruin het bondig samen. "In theorie werkt het uitstekend, maar of het ook praktisch haalbaar is?" Bruin twijfelt daarover, maar Williams denkt dat het kan: "De wiskundigen hebben aangegeven hoeveel rekenkracht dit kost, en volgens mij is dat geen probleem." Hij is blij met de gekozen aanpak: "Ik vind het concept van dit systeem heel goed. Bovendien treedt dat probleem met die rare hoeken hierin niet op."

Williams mocht dan al tevreden zijn, de wiskundigen waren dat nog niet. Ze wilden graag een eleganter algoritme om uit alle scenario's de beste keus te maken. "Wij wilden iets snellers dan Dijkstra", aldus Bruin. Dus maakte de groep aan het eind van de week nog een start met een ander zoekalgoritme, A*, dat op basis van heuristiek werkt. Net als Dijkstra's kortstepad-algoritme zoekt A* de kortste weg tussen twee punten van een graaf, maar de aanpak is net even anders. Waar Dijkstra begint te rekenen vanaf het beginpunt van de route, gebruikt het algoritme A* een *short cut*: het maakt eerst een schatting, welke zeshoeken met de meeste waarschijnlijkheid op de route liggen. Dat zijn vaak de zeshoeken die halverwege het begin en eindpunt liggen. Vanuit daar begint het een route te zoeken. Zo heeft het algoritme al snel de kosten voor een eerste route te pakken, die bovendien niet onwaarschijnlijk is. Daarmee zijn alternatieven dan snel te vergelijken.

Williams: “Dat zoekalgoritme is een verbetering ten opzichte van Dijkstra. Je hoeft niet meer alle scenario’s helemaal door te lopen om de beste te vinden.” Hij ging tevreden naar huis. “Ik vind dat de wiskundigen goed werk hebben geleverd, zeker wanneer je bedenkt hoe weinig tijd ze hadden. Het was een productieve week.”
Het werk zal ook niet verstoffen op de plank. Williams zegt de ideeën snel te willen testen en implementeren.