

VU Research Portal

Efficient Algorithms for Infrastructure Networks: Planning Issues and Economic Impact

Phillipson, F.

2014

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Phillipson, F. (2014). *Efficient Algorithms for Infrastructure Networks: Planning Issues and Economic Impact*.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Nederlandse samenvatting

Efficiënte algoritmes voor infrastructurele netwerken: planningsproblemen en economische impact

Leveranciers van elektriciteit en telecommunicatiediensten zitten in een roerige periode. De markt ligt open voor concurrentie en de vraag van klanten verandert enorm. Dit stelt hen voor een enorme uitdaging.

Steeds meer informatie halen we digitaal naar ons toe. Mobiele en vaste netwerken hebben hierdoor te maken met een explosieve groei aan dataverkeer. Het einde hiervan is nog niet in zicht, voornamelijk door de toename van videodiensten die in steeds hogere resolutie worden gevraagd. Voor vaste netwerken betekent dit dat de standaard internet-aansluiting via ADSL tot ongeveer 8 Mb per seconde niet meer volstaat. Aanbieders via de kabel (coax-kabel) zijn al vrij ver in het verglazen van hun netwerk, waardoor ze op dit moment al tenminste 100 Mb per seconde kunnen aanbieden, maar ook dit zal binnenkort niet meer voldoende zijn. Telecomoperators die een standaard telecommunicatie netwerk via zogenaamde twisted pair-koperkabel beheren zijn nog niet zo ver. Deels zijn ze bezig met het uitrollen van VDSL-gebaseerde netwerken, waarbij het glas tot aan de straatkast (fibre to the cabinet, FttCab) wordt gebracht en een snelheid tot ongeveer 100 Mb kan worden bereikt. Dit is nu misschien voldoende maar zeker niet toekomstvast. Daarnaast zijn ze in bepaalde gebieden glasverbindingen aan het aanbieden tot aan het huis, ook bekend als Fibre to the Home (FttH). Dit laatste gaat echter niet snel genoeg. In de afgelopen vijf jaar is ongeveer 25%¹ [138] van het land bereikt, waarbij waarschijnlijk bij het makkelijkste deel is begonnen. Een dergelijke aansluiting kost ook rond de 1000 euro per aansluiting wat een enorme investering betekent voor de operators. Een groot dilemma. Moeten ze nu snel een netwerk uitrollen waarvan ze nu al weten dat deze niet toekomstbestendig is, of, langzaam, een duur toekomstvast netwerk, waarbij misschien geen klant meer overblijft? In dit proefschrift wordt hier een planmatige oplossing voor geboden.

Elektriciteitsnetwerken hebben met een ander dilemma te maken. Hier neemt niet alleen de vraag toe bijvoorbeeld door elektrische auto's, ook gaan de klanten (huishoudens) deels hun eigen elektriciteit opwekken. Zij worden ook wel *prosumers* genoemd, een combinatie van producer en consumer. Zonnepanelen worden gemeengoed, maar ook steeds meer elektriciteit-opwekkende cv-ketels (zogenaamde micro-WKK) en kleine windmolens worden bij huizen of lokaal in woonwijken geplaatst. Deze productie is ook nog eens zeer variabel, want afhankelijk van zon en wind. De toenemende vraag en de

¹Stand september 2013.

onzekere lokale productie vraagt veel van de leveranciers. Hoe kunnen zij hun netwerk in balans houden? Oplossingen zoals zelf de opwekking flexibel maken, via (prijs-)prikkel de vraag van de consumenten beïnvloeden en smart grids introduceren worden als maatregelen onderzocht. Natuurlijk is er daarnaast nog de, zeer dure, oplossing van versterking en vernieuwing van de netwerkkabels. In dit proefschrift wordt gekeken naar een oplossing die ligt op tactisch niveau. Hoeveel van elk soort lokale opwekker moeten we waar plaatsen, zodat we het transportverlies en het verlies door vraag-aanbodmismatch minimaliseren?

Voor beide probleemgebieden wordt in dit proefschrift gekeken naar (tactische) planningvraagstukken, die allen zeer complex zijn om op te lossen. De operationele toepassing van de voorgestelde algoritmes bepalen mede de scope van de oplossingen die gepresenteerd worden in dit proefschrift. Door de wens vanuit de praktijk naar interactieve planningstools gaat de aandacht uit naar schaalbare methodieken die een voldoende goede oplossing genereren binnen een beperkte rekentijd.

Telecominfrastructuur

Bovenstaand dilemma voor telecomoperators vraagt om een uitrolstrategie die zoveel mogelijk aan de klantvraag voldoet, maar ook economisch op de lange termijn haalbaar is. Steeds, adhoc, aan de klantvraag voldoen kan te duur worden. Zo goedkoop mogelijk een toekomstvaste infrastructuur neerleggen kan ertoe leiden dat er op een gegeven moment geen klanten meer over zijn, aangezien ze allemaal zijn overgestapt naar de concurrent, ‘de kabel’, die eerder de gewenste internetsnelheid kan bieden. In dit proefschrift wordt een economisch model gepresenteerd dat allerlei strategieën kan doorrekenen. Analyses met dit model leiden tot de conclusie dat een migratiepad van ADSL, via FttCab (VDSL-gebaseerd) en FttCurb (G.Fast-gebaseerd) naar FttH zowel qua investering voordelig is als de klanten vasthoudt.

Voor dit migratiepad is het van belang de opeenvolgende infrastructuren zoveel mogelijk in elkaars verlengde te bouwen, waarbij steeds bij de planning van de huidige oplossing rekening wordt gehouden met de karakteristieken en structuur van de volgende. In dit proefschrift wordt daarvan een voorbeeld gegeven. Vervolgens wordt voor elk van de migratiestappen (ADSL naar FttCab, FttCab naar FttCurb en FttCurb naar FttH) een planningsmethodiek gepresenteerd.

Voor de eerste migratiestap (stap 1), FttCab planning, wordt een planningsmethodiek gepresenteerd, in eerste instantie gebaseerd op drie stappen. Hier wordt eerst bepaald welke straatkasten voorzien moeten worden van actieve apparatuur voor de overgang van glasvezel naar koper. Doel hierbij is een minimum aantal kasten te voorzien, uit kosten oogpunt, waarbij wel een minimale dekkingsgraad van bijvoorbeeld 95% wordt gehaald. Dit houdt bij VDSL in dat 95% van de huizen binnen één kilometer over koperkabel vanaf de actieve apparatuur kunnen worden bereikt. Vervolgens moeten de geactiveerde straatkasten via een glasvezelring verbonden worden. Hiertoe worden eerst clusters gemaakt van een bepaalde maximale omvang, vanwege de capaciteit van de glasvezelring (stap 2) en wordt de route van deze ringen bepaald (stap 3). Alle drie de problemen zijn op zich al moeilijk oplosbaar (NP-hard). Voor elk van de drie problemen

wordt daarom een heuristiek voorgesteld en wordt getoond hoe goed deze werkt. Van belang hierbij is dat we vooral geïnteresseerd zijn in een voldoende goede oplossing, die binnen enkele seconden te berekenen is. Voor stap 1 wordt daarom een greedy heuristiek ontwikkeld die voor alle testcases binnen één seconde een goede oplossing geeft. Voor stap 2 wordt een heuristiek ontwikkeld gebaseerd op Lloyd's algoritme voor het oplossen van zogenaamde k -means clusters. Voor stap 3 is het van belang glasvezelringen te creëren die elk niet tweemaal hetzelfde stukje traject gebruiken. Hiervoor wordt een heuristiek ontwikkeld die op basis van Dijkstra's algoritme en een TSP insertion algoritme snel een initiële oplossing vindt en dan op een greedy wijze de knelpunten oplost. Om een idee te krijgen hoe goed de driestaps aanpak werkt wordt vervolgens gekeken naar een methodiek die de tweede en derde stap simultaan oplost. Zoals te verwachten was geeft deze methodiek betere oplossingen, aangezien informatie over de routing wordt meegenomen in de clustering. Ook is zoals verwacht de rekentijd van deze methode langer, maar minder lang dan verwacht.

Voor de tweede migratiestap, FttCurb planning, worden de planningsopties geïnventariseerd. Hier worden de drie belangrijkste keuzes benoemd die spelen indien een FttCurb netwerk, gebaseerd op de technologie G.Fast, wordt aangelegd. Eerst moet bepaald worden of alle huizen worden aangesloten binnen de gewenste lengte, voor G.Fast ongeveer 200 meter, of slechts een bepaald percentage. Daarna moet bepaald worden of de nieuwe actieve nodes een capaciteitsbeperking hebben, of dat er ongelimiteerd kan worden uitgebreid op één lokatie. Tenslotte moet bepaald worden of de nieuwe actieve punten worden aangesloten met glasvezel via een ster- of boomstructuur, of via een ringstructuur. Als elke keuze twee opties heeft, dan heb zijn er totaal acht mogelijke configuraties van het netwerk. In dit proefschrift wordt voor elk van de acht opties de planningsmethodiek beschreven. Vervolgens wordt voor twee steden, Amsterdam en Den Haag, de planning via één van de bovenstaande methodes uitgevoerd waardoor een goede indicatie wordt gegeven van de kosten van dit netwerk. De resultaten van dit onderzoek kunnen ook gebruikt worden als validatie van het eerder genoemde (eenvoudigere) economische model.

De derde migratiestap tenslotte betreft de FttH planning. Hierbij wordt getoond hoe de lokatie van de nieuwe centrale node (de PoP) kan worden bepaald. Een eenvoudige heuristiek, de zogenaamde JMS-heuristiek, wordt op een aantal punten uitgebreid om meer details in deze methode mee te nemen. Vervolgens wordt gekeken hoe vanuit deze PoP de glasvezels naar de huizen moeten gaan lopen. Dit lijkt een triviale vraag, maar hier is veel winst te halen. Er wordt een nieuwe methode beschreven die bepaalt hoe de precieze loop van de glasvezels naar de woningen zo economisch mogelijk gekozen kan worden. Daarnaast wordt een uitbreiding op dit model gepresenteerd die de mogelijkheid biedt verder te kijken dan de aanlegkosten voor de aannemer of netwerkeigenaar. Het aanleggen van een dergelijk netwerk brengt namelijk veel overlast met zich mee. Straten worden tijdelijk afgesloten, winkels zijn onbereikbaar, groenvoorzieningen en bomen worden aangetast, enzovoort. Met de nieuwe methodiek kunnen deze kosten worden meegewogen en tevens kunnen mogelijkheden worden meegenomen om de vezels of buizen mee te leggen met andere infrastructurele werkzaamheden zoals herbestratingen en vernieuwingen van de riolering. Hierdoor komt er een gefaseerde aanleg tot stand die minder overlast oplevert.

Elektriciteitsinfrastructuur

De producenten van elektriciteit en de beheerders van de netwerken hebben zoals gezegd te maken met toenemende vraag en van een toename van sterk variabele aanbod door lokale opwekker zoals zonnecellen en windmolens. In dit proefschrift worden twee onderzoeken beschreven die kijken naar tactische planning van deze opwekkers. Hoeveel moeten er van welk soort geplaatst worden en waar moeten deze opwekkers geplaatst worden om verliezen te minimaliseren? Lokale opwekking kan transportverliezen verminderen omdat de elektriciteit niet ver getransporteerd hoeft te worden. Aan de andere kant zorgt deze opwekking voor grote variabiliteit in het aanbod, waarbij ook overschotten kunnen ontstaan die weer getransporteerd moeten worden, opgeslagen moeten worden met de bijkomende verliezen of die verloren gaan door gebrek aan vraag. Bij windmolens geldt vervolgens nog dat wanneer op een grotere schaal wordt gekeken, spreiding zorgt voor een lagere variabiliteit door een lagere correlatie tussen de wind op verschillende plaatsen. Als het waait in Middelburg, dan zal het ook waaien in Vlissingen. Dat het (even hard) waait in Groningen is een stuk minder zeker.

In het eerste onderzoek wordt gekeken naar één wijk en wordt bepaald welke combinatie van lokale opwekkers het minste verlies oplevert. Als elk huis kan kiezen uit meerdere soorten lokale opwekkers, welke keuze over al de huizen heen is dan, voor wat betreft transportverliezen, de beste keuze. Hiervoor wordt een Kwadratisch Mixed Integer Programmeringsprobleem gedefinieerd dat vereenvoudigd moet worden om het te kunnen oplossen. Afhankelijk van de verschillende aannames, zoals de vraag of het is toegestaan om overproductie naar andere districten te vervoeren, of het is toegestaan om een opslagsysteem te gebruiken en of er extra vraag is van elektrische voertuigen en warmtepompen, worden er verschillende resultaten uit het model verkregen. De verschillende resultaten geven wel aan dat toepassing van een optimale mix in de wijk energieverlies aanzienlijk kan verminderen. Een andere vraag is of het gebruik van de DG's, warmtepompen en elektrische voertuigen zorgt voor capaciteitsproblemen in het net. Als alle huizen beide soorten DG's hebben dan komen we geen problemen tegen van overbelasting. Bij het gebruik van warmtepompen en elektrische voertuigen is helaas problematischer. De meeste problemen met overbelasting komen van het gebruik van elektrische voertuigen, die zoveel van het netwerk eisen dat al zeer snel overbelasting van de kabels ontstaat. Het nadeel van het hebben van zowel micro-WKK systemen als zonnepanelen is dat ze elektriciteit genereren in dezelfde periode van de dag, ze zijn sterk gecorreleerd. Echter, elk type DG heeft een positieve eigenschap die kan worden gebruikt in specifieke situaties. Omdat zonnepanelen relatief kleine hoeveelheden elektriciteit produceren, kunnen ze gebruikt worden als aanvulling op andere opwekkers. En omdat micro-WKK veel elektriciteit genereren zijn zij vooral bruikbaar wanneer er een grote toename is in de vraag, bijvoorbeeld als gevolg van warmtepompen en elektrische voertuigen. Efficiënte opslagsystemen zullen natuurlijk erg helpen bij het verlagen van de verliezen door lokale generatie. Helaas zijn die nu nog niet van voldoende kwaliteit voorhanden. Deze resultaten tonen ook aan dat in plaats van willekeurig inzetten van DG's in de wijk, het beter kan zijn om de samenwerking tussen de huiseigenaren te bevorderen zodat grote reducties in energieverlies kunnen worden bereikt. Op deze manier zal het veel rendabeler zijn voor de hele wijk. Dit is politiek natuurlijk erg

moeilijk en zal makkelijker kunnen gaan via woningbouwcorporaties.

In het tweede onderzoek wordt gezocht naar de optimale locaties om een bepaald aantal nieuwe windmolens te bouwen, om de verwachte transportverliezen te minimaliseren. Hier moeten twee afwegingen gemaakt worden: lokale of centrale plaatsing en spreiding of concentratie. Hiervoor is een wiskundig model geformuleerd, een zogenaamd Generation Expansion Planning probleem voor verliesminimalisatie. Dit is een tweestaps stochastische probleem. Dit probleem blijkt moeilijk oplosbaar. Daarom wordt een eenvoudige heuristiek gepresenteerd, samen met een procedure om windscenario's te simuleren voor steady state windenergie in meerdere gebieden. Hiermee worden resultaten voor het Nederlandse netwerk gegenereerd. Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat de afname van transmissieverliezen door het plaatsen van windmolens aanzienlijk zwakker is in het stochastische model dan voor het deterministische model. De stochastische windmolens worden verder uit elkaar geplaatst dan deterministische, maar interessante effecten doen zich slechts voor bij hogere penetratie windmolens. Voor de specifieke Nederlandse situatie geldt dat de optimale verdeling van windenergie over Nederland een hogere spreiding vertoont dan alleen verklaard kan worden uit de stochasticiteit. Het locatie-afhankelijke karakter van windenergie is zeer relevant voor het effect op de netwerkprestaties. Groningen en Friesland zijn de enige regio's waar de plaatsing van windturbines zou leiden tot vermindering van de transmissieverliezen in het HS-net. Maar bij de huidige omvang van windenergie lijkt een spreidingstrategie voor windturbines niet relevant, noch vanuit een commercieel oogpunt (variantie reductie van de totale productie voor de Nederlandse markt), noch vanuit een technisch oogpunt (het verminderen van de transmissie verliezen).
