

Literatuurverslag



Alwin van der Paardt
21127816

Julia van der Toorn
21084203

Projectverslag
Toegepaste Wiskunde
Haagse Hogeschool

GreenCycl

Onder begeleiding van:
Joyce MacDuff
Emiel Kaper

20-09-2024

Inhoudsopgave

| | |
|-------------------------------------|---|
| Inleiding | 2 |
| Opdrachtgever..... | 2 |
| Aanleiding | 2 |
| Doel..... | 2 |
| Eisen en wensen | 2 |
| Onderzoeksvragen en methodiek | 3 |
| Afbakening | 3 |
| Situatiebeschrijving | 4 |
| Huidige situatie..... | 4 |
| Traveling salesman problem..... | 4 |
| Dataverkenning | 5 |
| Literatuuronderzoek | 6 |
| Criteria..... | 6 |
| Reactive tabu search..... | 6 |
| Transformatie naar TSP | 7 |
| Local search improvements..... | 7 |
| Literatuurlijst | 8 |

Inleiding

Opdrachtgever

De opdrachtgever voor dit project is GreenCycl, een bedrijf dat zich specialiseert in diensten rondom medische instrumenten. Deze diensten omvatten het geven van advies betreft circulariteit binnen een organisatie, het ontwerpen van circulaire instrumenten en het schoonmaken en testen van medische instrumenten. Tijdens dit project zal de focus liggen op de logistiek rondom het schoonmaken van de instrumenten.

Aanleiding

GreenCycl heeft op dit moment één hub in **de** Meern waar instrumentensets schoongemaakt worden. Alle instrumentensets moeten vanuit de ziekenhuizen eerst naar een hub worden gebracht zodat ze daar gereinigd kunnen worden, waarna ze terug naar het ziekenhuis kunnen. Binnen de komende jaren gaat GreenCycl uitbreiden naar meer locaties, zoals Maastricht, Capelle en Delft. Met deze nieuwe hubs worden ook extra ziekenhuizen aangesloten op het netwerk. Door deze uitbreidingen, wordt de logistiek rondom het ophalen en afleveren van de instrumentensets complexer.

Doel

Om kosten en uitstoot te verminderen, wordt er in dit onderzoek gezocht naar een model dat de meest optimale routes bepaalt voor het ophalen en afleveren van de instrumentensets.

Eisen en wensen

Vanuit de opdrachtgever zijn er enkele eisen en wensen aan dit onderzoek, deze zijn hieronder weergegeven.

Eisen

- De ziekenhuizen moeten binnen de vastgestelde tijd de instrumentensets hebben gekregen.
- Er wordt rekening gehouden met het feit dat een vervoerder langs meerdere ziekenhuizen kan om instrumentensets op te halen en af te leveren voordat er wordt teruggekeerd naar de hub.
- **Instrumentensets mogen alleen naar een ander hub, dan de hub die gelinkt is aan het ziekenhuis, op het moment dat de gelinkte hub aan zijn maximale capaciteit zit.**
- **Chauffeurs mogen niet langer dan 4,5 uur ononderbroken rijden (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023).**

Wensen

- **In het model moet een nieuwe hub toegevoegd kunnen worden, waarna een nieuw routeplan gemaakt kan worden.**
- **In het model moeten nieuwe ziekenhuizen toegevoegd kunnen worden.**
- Het model moet kunnen werken op een nieuwe dataset met andere hoeveelheden van instrumenten per ziekenhuis.
- In het model moeten de maximumcapaciteiten van de hubs aangepast kunnen worden.

Onderzoeksvragen en methodiek

Hoofdvraag: Met welk wiskundig model kan er een set van routes tussen schoonmaakhubs en ziekenhuizen worden opgesteld, zodat de schoongemaakte instrumentensets vóór het afgesproken tijdstip weer terug zijn bij de ziekenhuizen, waarbij de CO₂-uitstoot en kosten worden geminimaliseerd?

Deelvraag 1: Hoe kan het probleem worden geformuleerd als een **Traveling Salesman Problem (TSP)** zodat deze als zodanig kan worden opgelost?

Door verschillende TSP-varianten over het probleem heen te leggen, kunnen de restricties van het probleem op een wiskundige manier meegenomen worden. Daarna kan er dan gekeken worden naar oplosmethoden voor de bruikbare TSP-varianten.

Hiervoor wordt er literatuuronderzoek gedaan naar TSP en varianten hiervan.

Deelvraag 2: Met welke wiskundige modellen kunnen de verschillende varianten van het TSP worden opgelost?

Er zijn veel methoden om TSP op te lossen. Door meerdere methoden te vergelijken, kunnen de meest bruikbare modellen worden gevonden. Dit wordt ook gedaan door literatuuronderzoek te doen naar oplosmethoden voor TSP-varianten, deze te beoordelen op de gestelde criteria en zo de beste modellen te kiezen.

Deelvraag 3: Op welke manier kunnen de verschillende oplosmethodes voor TSP-varianten worden gecombineerd tot een wiskundig model dat een routeplanning kan maken?

Om het probleem op te lossen moeten verschillende oplosmethoden voor TSP-varianten gecombineerd worden om zo aan alle restricties te voldoen. Dit wordt gedaan door de resultaten van voorgaande deelvragen samen te voegen.

Afbakening

Er wordt geen rekening gehouden met actuele verkeersinformatie, alleen met algemene verkeersinformatie verzameld over de afgelopen jaren.

Om te zorgen dat de gevonden routeplanningen om kunnen gaan met vertragingen en onverwachte situaties, wordt er **20%** vertraging ingebouwd. Dit houdt in dat zolang de gemiddelde vertraging van het gehele proces minder is dan 20% van de verwachte tijd, de instrumentensets nog steeds op tijd bij de ziekenhuizen zijn.

Situatiebeschrijving

Dit onderzoek is gericht op het vinden van een heuristiek die de kosten kan minimaliseren door zo efficiënt mogelijk de instrumentensets op te halen en af te leveren bij de ziekenhuizen. In dit hoofdstuk wordt daarvoor eerst de huidige situatie toegelicht, waarna dit als een traveling salesman problem wordt omschreven. Daarna wordt er gekeken naar de data die beschikbaar is gesteld door GreenCycl.

Huidige situatie

Op het moment van dit onderzoek heeft GreenCycle één schoonmaakhub in werking, Utrecht De Meern. Hier worden 24/7 instrumenten, die zijn gebruikt tijdens operaties, schoongemaakt. Om de gebruikte instrumentensets naar de hub te krijgen, worden deze door chauffeurs van GreenCycl regelmatig opgehaald bij de ziekenhuizen. Ook het terugbrengen van de schoongemaakte sets wordt door GreenCycl zelf geregeld. Voor het schoonmaakproces zijn twee tijdsafspraken gemaakt met de ziekenhuizen. Er is een standaard 24-uurs dienst waarbij alle sets die na 17:00 zijn opgehaald, de volgende dag tussen 17:00 en 7:00 de dag erna teruggebracht moeten zijn. Dan is er nog een halve dienst waarbij de sets die na 17:00 zijn opgehaald, voor de volgende ochtend 7:00 terug moeten zijn. Dit geldt alleen voor doordeweekse dagen, voor het weekend geldt dat wat vrijdag is opgehaald, op maandag weer terug moet zijn. Met maar één hub is het bepalen van routes voor het vervoeren van de instrumentensets redelijk overzichtelijk, maar dit wordt ingewikkelder nu GreenCycl nieuwe hubs gaat openen.

Traveling salesman problem

Om dit proces te verduurzamen, moeten de vervoersmiddelen zo efficiënt mogelijk rijden zodat de uitstoot zo laag mogelijk is. Het maken van deze routes is te beschrijven als een traveling salesman problem (TSP). Bij dit probleem wordt er gezocht naar een route langs alle tussenlocaties die begint en eindigt in een thuisstad of depot (Bektas, 2006). In het geval van GreenCycl is de handelsreiziger die deze route rijdt een chauffeur die de instrumenten vervoert, het depot is een hub en de tussenlocaties zijn de ziekenhuizen die allemaal bezocht moeten worden.

Er zijn veel varianten van het TSP die allemaal rekening houden met andere restricties van het probleem. Een aantal varianten die voor dit onderzoek interessant zijn, worden verder toegelicht.

Ten eerste is er het multiple TSP (mTSP) waarbij er meerdere chauffeurs een route starten vanuit een hub, waardoor de ziekenhuizen niet allemaal in dezelfde route hoeven te zitten (Bektas, 2006).

Ten tweede zorgt het multiple-depot TSP voor meer route-opties, omdat de chauffeurs vanuit meerdere hubs kunnen vertrekken (Zhang et al., 2009). Dit zorgt ook voor een grotere complexiteit, omdat de instrumentensets van een ziekenhuis wel weer terug moeten naar dat specifieke ziekenhuis.

Ten derde kunnen er restricties zijn op de tijden waartussen de instrumentensets bij de ziekenhuizen opgehaald en gebracht kunnen worden. Dat wordt het TSP met time windows (TSPTW) genoemd (Ryan et al., 1998). Deze tijdvakken ontstaan bijvoorbeeld bij kleinere klinieken waar er in de nacht niemand aanwezig is. Hierbij moet een chauffeur dus wachten als hij te vroeg aankomt én kan hij niet te laat aankomen.

Daarnaast is er ook een TSP-variant met ophalen en afleveren, oftewel TSP with pick up and delivery (TSPPD) (Gendreau et al., 1998). Hierbij wordt er rekening gehouden met het aantal instrumentensets dat moet worden opgehaald en gebracht bij elk ziekenhuis. Ook wordt de maximale capaciteit van de vervoersmiddelen in de restricties meegenomen.

Het is gebruikelijk om een TSP te optimaliseren op de totaal afgelegde afstand, maar het is in dit geval beter om de totale kosten te minimaliseren. Dit geeft de mogelijkheid om rekening te houden met meer restricties dan alleen de hoeveelheid kilometers. Het aantal chauffeurs, de keuze voor het vervoersmiddel, wachttijden en nog veel meer kan meegenomen worden in het model door hier kosten aan te verbinden (Bektas, 2006). De afgelegde afstand wordt nog steeds meegenomen door te kijken naar bijvoorbeeld de brandstofprijs, wat als bijkomend voordeel ook nog de efficiëntie en duurzaamheid van het vervoersmiddel meeneemt. Daarom is er gekozen in dit onderzoek in plaats van alleen de afstand, de totale kosten te minimaliseren.

Dataverkenning

Voor dit onderzoek is een dataset beschikbaar gesteld door GreenCycl, met daarin de hoeveelheid instrumenten die voor elk ziekenhuis schoongemaakt moet worden en aan welke hub dit ziekenhuis gekoppeld is. In de dataset staan vijf relevante kolommen: de hub waar het instrument schoongemaakt moet worden, het ziekenhuis waar het vandaan komt en naar terug moet, het soort instrument, het aantal instrumenten en de formaten van de instrumentenset.

Literatuuronderzoek

Als eerst worden er criteria opgesteld waarvan het belangrijk is dat de modellen daar goed op scoren. Daarna worden er verschillende modellen bekeken die in andere onderzoeken zijn toegepast op vergelijkbare problemen. Van deze modellen wordt gekeken hoe goed ze voldoen aan de gestelde criteria om zo te bepalen welk model in dit onderzoek gebruikt wordt.

Criteria

Om de modellen te vergelijken, worden ze getoetst op een set criteria. Op basis van deze criteria wordt vervolgens gekozen welke modellen er worden gebruikt voor het eindresultaat. De criteria zijn als volgt:

- Hoe snel is het model?
- Hoeveel locaties kan het model aan?

Reactive tabu search

Het gebruik van reactive tabu search (RTS) voor het oplossen van een mTSP met time windows (mTSPTW) wordt door zowel Ryan et al. (1998) als Zhang et al. (2009) toegepast. In het eerste onderzoek wordt de verwachte doeldekking voor onbemande luchtvaartuigen gemaximaliseerd, waarbij er rekening gehouden wordt met het weer en de kans dat het luchtvaartuig het overleeft. Dit wordt gedaan door het mTSPTW op te lossen met objectgeoriënteerd programmeren met MODSIM van CACI 1997. Het artikel houdt de exacte werking en toepassing van RTS vaag, omdat er vooral wordt gefocust op MODSIM. Het artikel van Zhang et al. (2009) gaat dieper in op de werking van RTS. Allereerst wordt het probleem als mixed integer programming model opgesteld door een doelfunctie en alle bijbehorende criteria te noteren.

Daarna wordt er met een heuristische cluster methode een initiële oplossing gevonden, zodat deze daarna met RTS verbeterd kan worden. Stap 1 van de cluster methode is het maken van meerdere reeksen met ziekenhuizen. Hierin worden alleen verbindingen toegevoegd die toegestaan zijn, waardoor er in elke reeks een toegestane route beland. Deze reeksen bevatten nog geen depot of verbindingen daarmee, dus worden deze in stap 2 toegevoegd. Elke reeks is op dan een route die gereden kan worden.

Nadat er een initiële oplossing hiermee is gecreëerd, wordt RTS toegepast om zo een betere oplossing te vinden. Dit begint met het samenvoegen van alle reeksen, zodat er één lange reeks ontstaat waarbij alle routes achter elkaar staan. Aangezien er in dit probleem maar één start- en einddepot is, ontstaat er één lange route die een aantal keer langs het depot komt. Bij de volgende stap worden er elke keer twee random geselecteerde ziekenhuizen van plek verwisseld en wordt er gecontroleerd of de nieuwe ontstane buur-route toegestaan is. Als dat zo is én deze de beste route tot nu toe is, wordt deze opgeslagen. Anders worden er nieuwe buur-routes gegenereerd tot een vooraf opgesteld maximum is bereikt. Daarna wordt de beste van deze buur-routes gekozen om mee verder te werken. Om te voorkomen dat er een loop ontstaat rond een lokaal optimum, wordt er een tabu-lijst bijgehouden met de al uitgevoerde wissels. Deze wissel kan dan alleen nog uitgevoerd worden als dit leidt tot de beste route tot dan toe. De lengte van de tabu-lijst is bij RTS variërend. Als er een oplossing wordt gevonden die eerder al voorbij is gekomen, wordt de tabu-lijst verlengd om zo de loop te voorkomen. Als na een vastgesteld aantal iteraties geen oplossingen herhaald worden, kan de tabu-lijst worden verkort. Daarnaast is er ook nog een ontsnapingsmechanisme ingebouwd voor als het proces meerdere keren

oplossingen opnieuw vindt. Dan worden er een aantal random wissels uitgevoerd, zodat er een nieuwe oplossing ontstaat van waaruit het algoritme weer verder kan optimaliseren. Om de oplossingen voor RTS op te slaan, worden binaire bomen gebruikt. Hiermee kunnen oplossingen eenvoudig worden vergeleken door van boven naar onder de losse elementen te vergelijken.

Transformatie naar TSP

Voor een TSP zijn veel meer oplosmethoden dan voor een mTSP en deze zijn niet altijd eenvoudig aan te passen om toch te gebruiken (Bektas, 2006). Daarom is het ook een mogelijkheid om het mTSP om te schrijven naar een TSP. Toch blijken oplosmethoden gebaseerd op deze transformatie niet effectief, omdat dit de complexiteit enorm vergroot. Dit maakt het probleem als gevolg minder oplosbaar dan dat het al was voor de transformatie.

Local search improvements

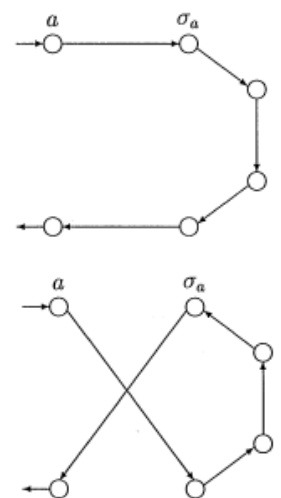
Een veel voorkomende variatie van TSP is het traveling salesmen problem with pickup and delivery (TSPPD). Voor dit onderzoek is de variant met één enkele hub en meerdere locaties, waar zowel gebracht als opgehaald wordt, interessant.

Bij een TSPPD-model komen meerdere nieuwe eisen kijken. Zo moet op elke route het aantal producten dat wordt vervoerd altijd onder de maximumcapaciteit van het vervoersmiddel blijven. Dit betekent dat de totale hoeveelheid producten die opgehaald wordt lager moet zijn dan de maximale capaciteit, net zoals het maximale aantal producten dat gebracht wordt. Verder kan het zijn dat bepaalde routes niet mogelijk zijn, omdat deze ervoor zouden zorgen dat het vervoersmiddel tijdelijk boven de maximale capaciteit zit (Gendreau et al., 1998).

Een van de methodes die dit probleem oplost, is het model van Gendreau et al. (1998). In dit model wordt de totale graaf verkleind naar een circulaire graaf, met daarin de ophaal- en bezorglocaties en één hub. Om vervolgens deze oplossing te verbeteren, wordt gekeken naar twee methodes: local search improvements en tabu search.

Local search improvements is een bestaande techniek voor het verbeteren van TSP-oplossingen. Hierbij worden twee lijnen van de huidige oplossing gewisseld, zoals te zien is in figuur 1 (Gendreau et al., 1998). Na deze wijziging wordt vervolgens gekeken of dit een verbetering geeft van de oplossing. Voor ophalen en afleveren moet er als extra controle worden gekeken of de capaciteit van het voertuig door de wijziging niet overschreden wordt.

Vervolgens wordt er ook gekeken naar een verbetermethode die gebruik maakt van tabu search. Deze methode is voortgebouwd op local search improvements. Door tabu search kunnen slechtere en onmogelijke oplossingen tijdelijk geaccepteerd worden, zodat vanuit die tussenoplossing een verbetering gevonden kan worden.



Figuur 1: local search improvement visualisatie

Literatuurlijst

- Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.10.004>
- Gendreau, M., Laporte, G., & Vigo, D. (1998). Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery. *Computers & Operations Research*, 26(7), 699–714. [https://doi.org/10.1016/s0305-0548\(98\)00085-9](https://doi.org/10.1016/s0305-0548(98)00085-9)
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023, 30 november). *Wat is er wettelijk geregeld voor de rijtijden en rusttijden bij wegvervoer?* Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/werktijden/vraag-en-antwoord/rijtijden-en-rusttijden-wegvervoer>
- Ryan, J., Bailey, T., Moore, J., & Carlton, W. (1998). Reactive Tabu Search in unmanned aerial reconnaissance simulations. *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274)*, 1, 873–879. <https://doi.org/10.1109/wsc.1998.745084>
- Zhang, R., Yun, W. Y., & Moon, I. (2009). A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem. *Transportation Research Part E Logistics And Transportation Review*, 45(6), 904–914. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.04.012>