



Openbaar Eindrapport Tomahawk II



Colofon

Projectnummer:	TGOM120007
Projecttitel:	TOMAHAWK II
Penvoerder:	EnergyGO B.V.
Partners:	<ul style="list-style-type: none">• Geodan B.V.• Stichting Waternet
Projectperiode:	1 november 2020 t/m 31 oktober 2022
Datum eindrapport:	27 juli 2023
Contactpersoon	ir. B. Roossien
Contactadres	info@energygo.nl

Samenvatting

De transitie naar aardgasloze wijken is op gang gekomen. Bij het op wijkniveau toepassen van renovatieconcepten van woningen wordt veelal voorbijgegaan aan de impact die deze concepten hebben op de ondergrondse energie-infrastructuur en vice versa. De complexiteit van verschillende technische oplossingen, veel stakeholders en een verscheidenheid aan financiële stromen kan snel leiden tot suboptimale keuzes die uiteindelijk kunnen leiden tot hogere maatschappelijke kosten dan strikt noodzakelijk. Naast warmte komt daar ook de steeds toenemende vraag naar koude bij. De combinatie van warmte- en koude in vijfde generatie uitwisselingsnetten, bijvoorbeeld gevoed met aquathermie stijgen in populariteit. Echter, het voeren van haalbaarheidsstudies hiervan is een kostbare en tijdrovende activiteit.

TOMAHAWK is een analyse- en rekentool om alle betrokken stakeholders in een vroeg stadium te informeren over de totale kosten van de bovengrondse en ondergrondse transformatie om hen zo te helpen een beslissing te maken. TOMAHAWK maakt gebruik van open data en rekent daarmee elke woning in een gebied individueel door voor de verschillende warmtescenario's. In specifiek dit project is TOMAHAWK uitgebreid met o.a. koude, vijfde generatie thermische uitwisselingsnetten en financiële analyses (o.a. BAK bepaling).

In een tweetal casestudies is de tool gedemonstreerd.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
2.	Aanpak.....	7
3.	Resultaten	9
3.1	Tomahawk.....	9
3.2	Casussen	10
3.3	Spin-off en vervolgactiviteiten	10
3.4	Conclusie en aanbeveling	11

1. Inleiding

De transitie naar aardgasloze wijken is op gang gekomen. In het klimaatakkoord is afgesproken dat 7 miljoen woningen en 1 miljoen gebouwen worden getransformeerd naar goed geïsoleerde woningen en gebouwen die duurzaam verwarmd worden.

In dat kader zijn inmiddels veel renovatieconcepten om woningen en kleinbedrijf van het aardgas af te krijgen, waarbij gebruik wordt gemaakt van een verscheidenheid aan technieken, zoals all-electric oplossingen, hoge- en lage temperatuur warmtenetten, groen gas en pelletketels. Bij het op wijkniveau toepassen van deze concepten wordt veelal voorbijgegaan aan de impact die deze concepten hebben op de ondergrondse energie-infrastructuur en vice versa.

De uitdaging ligt erin dat keuzes in isolatie en installatietechniek in vastgoed (bovengronds) impact heeft op de aanleg en beschikbare capaciteit van de energie-infrastructuur (ondergronds). Omgekeerd is echter ook het geval, keuzes in de energie-infrastructuur kunnen de keuzes in vastgoedrenovatie beperken. Er is dus een wisselwerking en samenhang tussen bovengrondse vastgoed en ondergrondse energie-infrastructuur.

Daarnaast zijn bij de transformatie naar een aardgasvrije wijk veel stakeholders betrokken, waaronder de gemeente, woningcorporaties, particuliere vastgoedeigenaren, huurders, bewoner-eigenaren, VvE's, projectontwikkelaars, regionale netbeheerders, warmtebedrijven, energiecoöperaties, industrie, bedrijven en nutsvoorzieningen zoals waterlevering en -zuiveringsbedrijven en afvalverwerkers.

De keuzes voor de bovengrond en ondergrond hebben impact op elk van deze stakeholders in bijvoorbeeld de (des)investeringen die zij moeten doen en de jaarlijkse operationele kosten. Uiteindelijk komen de kosten direct (via bijv. de energierekening, huur of servicekosten) of indirect (via bijv. sociale verdeling van lasten of via de gemeentelijke of algemene middelen vanuit de belastingopbrengsten) bij de eindgebruiker terecht.

De complexiteit van verschillende technische oplossingen, veel stakeholders en een verscheidenheid aan financiële stromen kan snel leiden tot suboptimale keuzes die uiteindelijk kunnen leiden tot hogere maatschappelijke kosten dan strikt noodzakelijk. Aanvullend kunnen deze keuzes gemaakt worden die grote impact hebben op stakeholders die pas in een later stadium aan tafel komt. Denk bijvoorbeeld aan een woningcorporatie die besluit all-electric te gaan, en de regionale netbeheerder pas op het laatst erbij betreft om het elektriciteitsnet te verzwaren. Of een warmtebedrijf dat een warmtenet aan legt en te laat met een projectontwikkelaar om tafel gaat zitten, waardoor deze laatste al zijn eigen keuzes heeft gemaakt.

Begin 2019 heeft een consortium met o.a. EnergyGO en Geodan een eerste softwaretool ontwikkeld om stakeholders te helpen met bovenstaande vraagstukken. Deze software is

destijds deels tot stand gekomen met behulp van subsidie uit het TSE aardgasvrij programma binnen het project 'TOMAHAWK'.

Begin 2020 heeft EnergyGO de software onder de naam Tomahawk op eigen kosten doorontwikkeld en commercieel op de markt gebracht.

Tegelijkertijd werd kennis over (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten, door EnergyGO verkregen in het onderzoeksproject KOWANET (in consortium met de TU Delft en Mijwater B.V. en met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie) en toegepast in commerciële projecten. Samen met Waternet is bijvoorbeeld een kowanet ontwikkeld voor de Van der Pekbuurt in Amsterdam¹ en in consortium met derde partijen een kowanet voor Tilburg-Zuid.

Kowanetten kennen een geheel ander technisch ontwerp en business case dan traditionele warmtenetten: levering van koude en warmte, een ring/mesh-topologie, decentrale vraaggestuurde circulatiepompen, focus op uitwisseling (matching) van (rest)warmte en (rest)koude en veel thermische (seizoens)opslag.

Het maken van een technisch ontwerp en business case vereist informatie en kennis uit een grote verscheidenheid van disciplines: bouwfysica, gebouwenrenovatieconcepten, hydraulica, vraag- en aanbodmatching, ruimtelijke ordening, financiering, economische stromen, bodemlagen en ondergrondse ruimtelijke impact. Deze exercities zijn in Amsterdam en Tilburg handmatig doorgerekend, waardoor veel effort en tijd nodig is. De projectontwikkeling is daardoor kostbaar en vormt een barrière tot de realisatie van deze kowanetten. In bovengenoemde projecten kwam wel naar voren dat (gedeeltelijke) automatisering van technisch-economische studies van kowanetten haalbaar was.

Daarop heeft EnergyGO het initiatief genomen om samen met Geodan en Waternet te onderzoeken hoe de Tomahawk software verder uit te breiden om ook kowanetten door te kunnen rekenen.

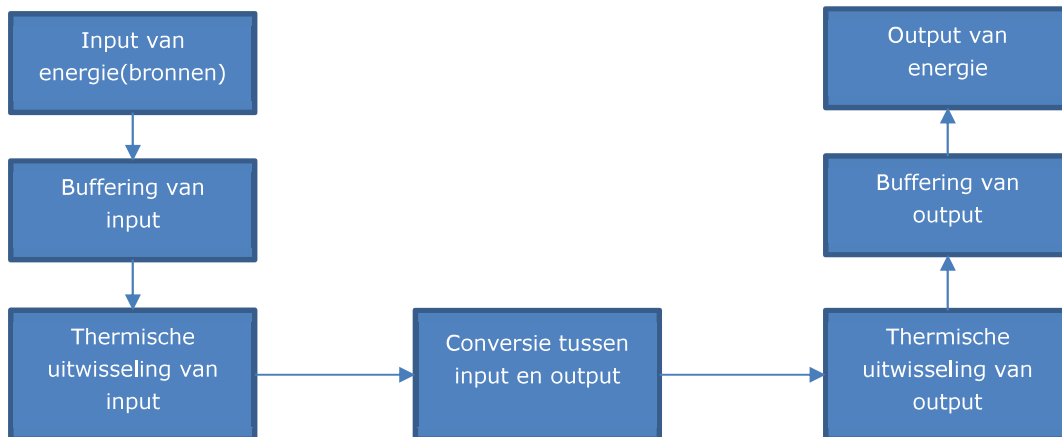
¹ <https://energygo.nl/nl-NL/Publications/Download/23/op-weg-naar-een-aardgasvrije-van-der-pek-buurt>

2. Aanpak

De ontwikkeling van Tomahawk II bestond voornamelijk uit experimentele softwareontwikkeling. Daarbij is zoveel mogelijk voortgebouwd op bestaande tools, waaronder de software Tomahawk (uit het eerste project met eigen doorontwikkelingen), Het softwarepakket Energeyes voor gebouwsimulaties (eigen ontwikkeling van EnergyGO), de GIS-data infrastructuur, waaronder PICO, bij Geodan, De TCO-tool van Waternet en de Excel sheets gebruikt in eerdergenoemde projecten in Amsterdam en Tilburg. Door gebruik te maken van deze tools is veel ontwikkelingstijd bespaard.

De software Tomahawk werkt met 'assets' binnen een 'scenario'. Assets zijn aan elkaar gekoppeld en voeren een bewerking uit op 1 of meerdere energiestromen. Een asset is de cv-ketel die gekoppeld is aan de asset afgiftesysteem, die op zijn beurt weer gekoppeld is aan de asset gebouw. Tomahawk rekent vervolgens in omgekeerde volgorde. Het gebouw heeft een netto warmtevraag (= input). Het afgiftesysteem vult deze warmtevraag in (= output), eventueel met een verlies van warmte door transport. De cv-ketel vult vervolgens de netto warmtevraag en het verlies (= output) in door gas te verbranden (=input) en elektriciteit te gebruiken voor de pomp en ventilator (= input). Deze methodiek is van toepassing op alle vormen van vraag (warmte, koude, tapwater, koken en huishoudelijke apparatuur) en werkt ook door in de infrastructuur.

Om alle mogelijke assets het hoofd te kunnen bieden, is een generiek ontwerp gemaakt van een asset, waarbij ook koeling en uitwisseling ondersteund wordt:



De output van energiestromen wordt gedefinieerd door de vraag van assets waar een asset aan gekoppeld is, bijvoorbeeld een warmtevraag. Deze output kan gebufferd worden, waardoor de benodigde capaciteit (kW) afneemt, maar niet het volume. Thermische uitwisseling vindt eventueel plaats tussen warmte- en koudestromen.

De energiestromen die dan nog ingevuld moeten worden, volgen eventueel uit een energieconversie (bijvoorbeeld van elektriciteit naar warmte). Er kunnen meerdere

conversies plaats vinden. Bijvoorbeeld, bij een wijkwarmtepomp met een COP van 5, wordt 20% van de vraag naar warmte omgezet in een vraag naar elektriciteit en 80% naar een vraag van warmte uit het primaire warmtenet.

Aan de inputzijde vindt ook weer uitwisseling en buffering plaats. Dit kan met bijvoorbeeld buffervaten, maar ook seizoensopslag zoals een WKO kunnen met deze methodiek worden gemodelleerd.

Elk van bovenstaande stappen in een asset zijn optioneel.

Aan elke asset zijn prijscurve's, onderhoudcurve's en levensduur gekoppeld. Met behulp van de curve's wordt, op basis van de benodigde capaciteitgrootte van de asset, de investeringskosten (CAPEX) bepaald.

De investeringen, onderhoud en energiekosten worden, per stakeholder, vervolgens in een financiële module worden doorgerekend, zodat o.a. de maatschappelijke kosten (= jaarlijkse afschrijving + OPEX), netto contante waarden en de BAK berekend kan worden. Hierin kan ook (optioneel) indexering van prijzen worden meegenomen.

Voor leidingen in warmte- en koudenetten is een bijzondere vorm van asset ontwikkeld waarin hydrologische berekeningen worden uitgevoerd, zoals stroomsnelheid, debiet, drukverliezen alsook thermische verliezen conform het Technisch Framework dat ontwikkeld is in Kowanet. Hierdoor is een flinke stap gemaakt van Tomahawk I naar Tomahawk II om naar een geautomatiseerd engineeringconcept te komen. Aan de hand van leidingdiameter en leidinglengte worden de investeringskosten bepaald.

Geodan heeft een algoritme ontwikkeld om tracé's automatisch te genereren en potentiële locaties voor onderstations te bepalen. Deze methode gebruikt als uitgangspunt het wegennetwerk en aan te sluiten gebouwen. Daarbij worden gebouwen gekoppeld aan het dichtstbijzijnde weg of pad, de 'aansluiting'. Via een afstandsmatrix worden de aansluitingen aan elkaar gekoppeld. Via het Kruskal cluster algoritme wordt de 'minimum spanning tree' van de afstandsmatrix bepaald. Het uiteindelijke resultaat is een zo kort mogelijk tracé waarin alle gebouwen zijn aangesloten. Ook wordt de benodigde thermische capaciteit van elk tracédeel bepaald. Uit het algoritme volgt dan de beste locatie voor een Verdeelstation.

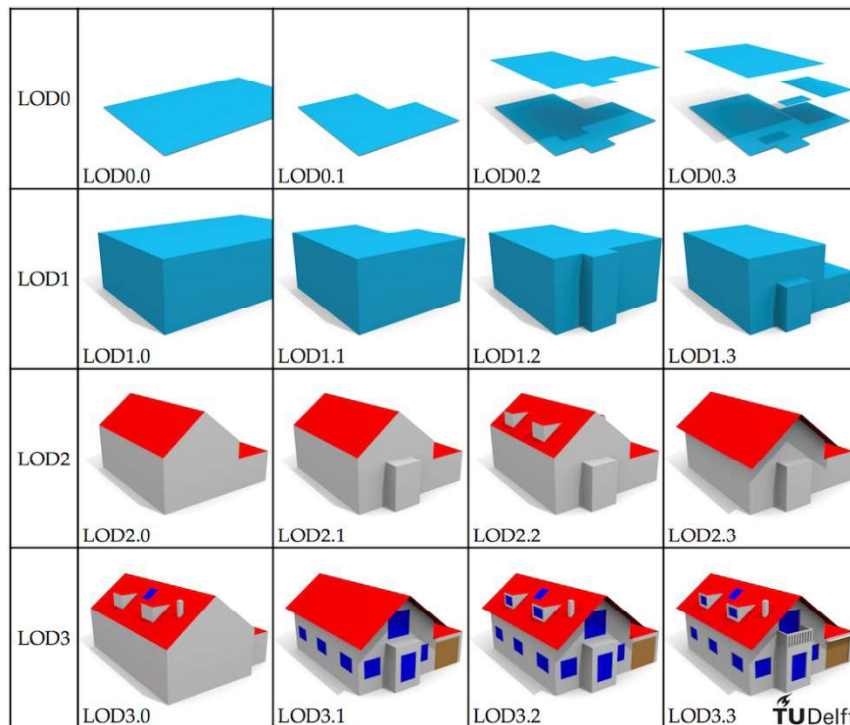
Een vereenvoudigde versie van de algoritme is geïmplementeerd in de software Tomahawk. Het algoritme van Geodan is dusdanig complex dat nog gekeken wordt hoe deze geïntegreerd zou kunnen worden.

3. Resultaten

3.1 Tomahawk

Het project heeft geleid tot een doorontwikkelde (demonstratie)versie van de software Tomahawk waarin kowanetten doorgerekend kunnen worden.

- Naast warmtevraag kunnen gebouwen ook een koudevraag hebben.
- Niet-residentiele gebouwen, met uitzondering van industrie, kunnen meegenomen worden in scenario's. Er zijn bouwfysische modellen ontwikkeld voor o.a. kantoren, onderwijs, bijeenkomstruimten, retail en gezondheidszorg.
- Sloop/nieuwbouw woningen kunnen onderdeel zijn van een scenario.
- De 'level of detail' van gebouwen is verhoogd van LOD 1.2 naar LOD 2.2 door toepassing van de bij de TU Delft ontwikkelde 3D-BAG. Hierdoor zijn de rekenresultaten nauwkeuriger.
- De Standaard (van Standaard en Streefwaarden) is berekend voor alle woningen in Nederland
- Renovaties van gebouwen kan nu ook plaats vinden op basis van een vaste netto warmtevraag (in kWh/m²) naast het gebruik van Rc-waarden. Hierdoor kan beter aangesloten worden bij de Standaard.
- Jaarlijkse warmte- en koudevraag wordt omgerekend naar warmte- en koudeprofielen. Deze profielen worden ingezet voor het bepalen van o.a. buffering en thermische uitwisseling.
- Toepassing van individuele koeltechnieken (airco, warmtepomp) zijn onderdeel van de individuele scenario's
- Kowanetten (vijfde generatie uitwisselingsnetten) zijn een nieuw scenario binnen Tomahawk en toepasbaar met o.a. aquathermie en rioolthermie.
- Een tool om automatisch tracés van warmte- en koudenetten te maken.
- Een tool om te bepalen wat potentiële locaties zijn voor onderstations.
- Een 3D – tool om de grootte en interferentie van WKO-bronnen te bepalen.



Figuur 1: Tomahawk rekent op niveau LOD2.2

3.2 Casussen

Tomahawk is toegepast in twee casussen:

- Nederhorst Ten Berg aansluiten op Aquathermie
- De buurt Oostoever, Amsterdam aansluiten op aquathermie

De casussen zijn gevonden via Waternet. De verschillende tools zijn toegepast op deze casussen. Daarbij is uitgegaan van de standaard uitgangspunten voor de verschillende scenario's en de gegevens in deze gebieden zoals beschikbaar in Tomahawk. Er zijn geen handmatige toevoegingen of wijzigingen gemaakt. De resultaten zijn in een Powerpoint gepresenteerd aan de betrokken stakeholders en zijn te vinden op de website².

3.3 Spin-off en vervolgactiviteiten

De experimentele softwareontwikkeling binnen het TOMAHAWK II project wordt door EnergyGO verder doorontwikkeld en uiteindelijk geïntegreerd in de bestaande commerciële versie van de software. De eerste resultaten en casussen zijn zeer positief.

² <https://tki.tomahawk-energy.nl>

Geodan heeft in het kader van Tomahawk scripts ontwikkeld voor het maken van verrijkte datasets. Deze datasets blijft Geodan inzetten in vraagstukken op het gebied van de energietransitie. Daarnaast is een tool ontwikkeld om een optimaal tracé voor warmte koudenetten te ontwikkelen. De eerste resultaten zien er veelbelovend uit, en Geodan neemt deze mee in haar verdere ontwikkelingen.

3.4 Conclusie en aanbeveling

Uit de ontwikkeling en casusstudies hebben we de volgende aanbevelingen:

- Open data zijn niet altijd even betrouwbaar. Zo blijken oppervlakken in de Basisadministratie gebouwen niet altijd te kloppen. In de Oostoever waren twee van de 873 gebouwen met foutieve informatie (een oppervlak van 12 m² in plaats van 120 m², beide fouten zijn via het kadaster gerapporteerd en inmiddels hersteld.) Dit betekent dat gebruikers van Tomahawk altijd een handmatige visuele check moeten doen op de invoergegevens.
- Open data zijn niet altijd compleet. Zo mist bijvoorbeeld veel informatie over open WKO's om een goede analyse te kunnen maken over de impact in de ondergrond (en eventuele interferentie). Het verdient de aanbeveling dat data en prestaties van WKO's beter worden geregistreerd in (openbare) datasets, zoals de diepte van de bron(nen) en het debiet waarmee water wordt onttrokken en ingevoed.
- Warmtenetten zijn op dit moment moeilijk financieel rendabel te krijgen. Kosten voor het aanleggen van leidingen zijn hoog, zeker bij grondgebonden woningen. Daarnaast zijn woningen steeds beter geïsoleerd, of worden zij, bijvoorbeeld vanuit de Standaard, steeds beter geïsoleerd. Gevolg is een lagere volumeafname en daardoor lagere omzet voor het warmtebedrijf, terwijl de investeringskosten (nagenoeg) gelijk blijven. Verder zijn de relatieve hoge elektriciteitsprijzen een bottleneck in de operationele kosten.
- Veel woningen voldoen al aan de 'Standaard' en zijn daarmee (op papier) klaar voor een aanvoertemperatuur van 50 °C. Daarmee neemt de noodzaak van aanleg van hoge temperatuur warmtenetten (>55 °C) sterk af. Toch worden deze warmtenetten nog veelvuldig ontwikkeld.
- Doordat woningen ook koudevraag hebben en er in thermische uitwisselingsnetten met seizoensopslag wordt gewerkt, is de opslag al deels in balans. De koudevraag compenseert een deel de warmtevraag in de wintermaanden. De regeneratiebehoefte is daardoor lager. Dit betekent mogelijk hogere kosten voor de regeneratiebron, of een groter aantal benodigd aansluitingen om het warmtenet rendabel te krijgen.
- De energiemarkt is het afgelopen jaar zeer wispelturig geweest. Hoewel dit een kans biedt om de flexibiliteit van een thermische warmtenet in te zetten, verhoogd het ook de risico's, waardoor eventuele financiële voordelen van de flexibiliteit in een klap verdwijnen. Het warmtenet moet immers warmte leveren, het kan met behulp van buffers het moment dat de warmte wordt geproduceerd alleen beperkt verschuiven. Door flexibiliteit op een gunstig moment in te zetten ontstaat een marktpositie. Bijvoorbeeld een buffer wordt niet aangevuld omdat er een tekort

aan elektriciteit is en de warmtepomp uit blijft staan. Op een gegeven moment is het buffer leeg en wordt de warmtepomp gedwongen warmte te gaan leveren, ook als het tekort (en daarmee de prijzen) nog groter is geworden. Bij het schrijven van Tomahawk II hadden we deze paradigma-shift in de markt niet voorzien. Aanbeveling is om hier losstaand verder onderzoek naar te doen.