



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

## Openbaar eindverslag TSE-DEI Pilotproject DEI720010



### Tarnoc Turbineketel [TTK]

24 september 2021

Een TSE DEI-pilotproject van:

**Tarnoc B.V.**  
Churchillaan 71  
2625 GT Delft

**Stichting Wonenbreburg**  
Joannes v Oisterwijkstraat 35  
5041 AB TILBURG

## Inhoudsopgave

<b>1. Inhoudelijk eindrapport</b>	<b>3</b>
1.1 Samenvatting	3
1.2 Inleiding	3
1.3 Doelstelling	3
1.4 Werkwijze	3
1.5 Technische resultaten	4
1.6 Economische resultaten	7
1.7 Effecten op de Topsector Energie	7
1.7.1 <i>Gerealiseerde CO<sub>2</sub>-reductie/flexibiliteit op het elektriciteitsnet</i>	7
1.7.2 <i>Herhalingspotentieel</i>	7
1.7.3 <i>Inbedding in de energiewaardeketen</i>	7
1.8 Conclusies en aanbevelingen	7
1.9 Vervolgstappen	8

## 1. Inhoudelijk eindrapport

### 1.1 Samenvatting

Het doel van dit project was de ontwikkeling van een oplossing voor woningen die van het gas moeten/willen, maar waar een warmtepomp momenteel geen geschikte oplossing voor is: de Tarnoc Turbineketel (TTK). Op basis van dit DEI+ pilotproject kan Tarnoc concluderen dat de Turbineketel geschikt is voor doorontwikkeling en uiteindelijk voor toepassing op de Nederlandse woningmarkt. De ketel heeft langere tijd zelfstandig een woning verwarmd zonder dat hier significant problemen zijn ontstaan. Daarnaast is het meest belangrijke in de ogen van Tarnoc dat de uiteindelijke afnemers van het systeem, de woningcorporaties, erg enthousiast zijn over het project en veel toepassing voor de Turbineketel in hun woningvoorraad zien. Deze corporaties willen dan ook zo snel mogelijk doorgaan met het toepassen van Turbineketels in een opvolgende demonstratie (reeds ingediende DEI+-demo).

### 1.2 Inleiding

De komende jaren moeten er jaarlijks 200.000 bestaande woningen van het gas af. Er zijn echter nog flink wat drempels om over te stappen op een warmtepomp: voor niet alle huizen is een dergelijke technologie wenselijk, geschikt of betaalbaar. De transitie naar van het gas af verloopt daarom nog niet snel genoeg. Er lijkt een concrete marktvraag voor alternatieven, naast warmtepompen, om woningen van het gas af te halen.

### 1.3 Doelstelling

Het doel van dit project was de ontwikkeling van een oplossing voor woningen die van het gas moeten/willen, maar waar een warmtepomp momenteel geen geschikte oplossing voor is. De ontwikkelde en in een pilot geteste Tarnoc Turbineketel (TTK) moet cv-ketels vervangen en ook aanzienlijk goedkoper, stiller, kleiner en eenvoudiger te installeren zijn dan bestaande warmtepompen. Hierbij wordt geen gebruik gemaakt van een buitenunit en is er geen gesloten koudemiddelcircuit nodig.

In dit DEI+ pilotproject is ontwikkeld aan een prototype van de Tarnoc Turbineketel en het aantonen van de werking en prestaties (waaronder continue afgiftetemperatuur, beoogde COP en reductie in energieverbruik voor verwarming en warm water) in een realistische pilotomgeving (i.c. een leegstaande woning van projectpartner Wonenbreburg).

### 1.4 Werkwijze

Gedurende dit DEI+ project is het prototype van de Turbineketel ontwikkeld en getest. De ontwikkelingen waren nodig zodat de Turbineketel toegepast kon worden in de pilotomgeving, en zijn werking als cv-ketel-ervanger kon worden bewezen. Tijdens deze pilottest in een woning in Tilburg zijn de verschillende aspecten van de TTK onderzocht.

Het project is uitgevoerd door medewerkers van Tarnoc B.V. en is gestart op 23 juni 2020. Het had een looptijd van 12 maanden, en is uitgevoerd aan de hand van de volgende inhoudelijke werkpakketten:

- WP1. Ontwikkeling prototype turbineketel (EO)
- WP2. Bouw proefopstelling voor pilottest (EO)
- WP3. Uitvoeren van verscheidene pilottests met proefopstelling (EO)
- WP4. Techno-economische evaluatie (EO)

## 1.5 Technische resultaten

### **WP1. Ontwikkeling prototype turbineketel (EO)**

Voor toepassing in de Turbineketel zijn tijdens dit DEI+ project 2 sets warmtewisselaars ontwikkeld op basis van de unieke eigenschappen van het Reverse Brayton cycle systeem. De ontwikkelde wisselaars bestaan uit twee types, een lucht/water wisselaar en een lucht/lucht wisselaar. In de lucht/water wisselaar draagt de hete perslucht zijn warmte over aan het water dat door het afgiftesysteem van de woning circuleert. Dit kan dus beschouwd worden als de primaire warmtewisselaar, vergelijkbaar met de condensor in een gangbare warmtepomp. Echter, door de lage dichtheid van lucht - in vergelijking met de soortelijke massa van standaard koudemiddelen - zijn wisselaars die toegepast worden in gangbare warmtepompen niet geschikt voor deze toepassing. Door het hoge volumedebiet van de luchtstroom groeien ook de afmetingen van de wisselaars. Verder was ook het verschil tussen dit luchtzijdige volumedebiet en het volumedebiet van het water een punt van aandacht tijdens de ontwikkeling (luchtvolumedebiet is een orde  $10^3$  hoger dan watervolumedebiet).

Voor aanvang van het project was de verwachting dat de geluidsproductie van de TTK aanzienlijk zou kunnen zijn. Om de geluidsproductie te beperken is de binnenkant van de kast bedekt met geluidsabsorberend materiaal (zie thermo-mechanisch ontwerp). Uit tests bleek dat dit materiaal een 20dB geluidsreductie realiseerde. Echter na de installatie van de TTK in de pilotopstelling was het geproduceerde geluid alsnog meer dan acceptabel zou zijn in een bewoonde situatie. Om geluidsoverlast in en om de pilotwoning te beperken is in het uitlaatkanaal van de Turbineketel een ronde kanaaldemper geplaatst. Deze demper reduceert het kanaal gedragen turbinegeluid dusdanig dat deze bij de uitlaat dakdoorvoer vrijwel onhoorbaar is.

Gedurende een significant deel van de werkzaamheden is er gewerkt aan het maken en verbeteren van het ontwerp van de ketel. Het inpassen van alle onderdelen in de kast op een manier die zowel voor goede efficiëntie zorgt en voor een compacte vormgeving is een essentieel deel van het ontwerpen van een cv-ketel vervanger.

Deze externe installatie van het tapwater systeem behaalde hetzelfde resultaat als een interne versie van het watersysteem, echter was deze installatie sneller te realiseren op korte termijn en maakte het externe ontwerp het eenvoudiger om het systeem te troubleshooten, metingen uit te voeren en aanpassingen te maken.

Voor de hardware- en softwareontwikkeling is voor de eerste versie van het systeem gebruik gemaakt van een combinatie van standaard componenten. De ontwikkelingen hieraan hebben als resultaat gehad dat de Turbineketel een effectieve en betrouwbare hardware- en softwareaansturing heeft.

Nadat alle onderdelen ontworpen en gefabriceerd waren, heeft Tarnoc samen met verschillende leveranciers de Turbineketel daadwerkelijk geassembleerd. Een deel van de montage is gedaan door de leverancier van de omkasting (zie figuur 1). De overige montage en sensormontage is door Tarnoc gedaan.



*Figuur 1: Levering omkasting*

### **WP2. Bouw proefopstelling voor pilottest (EO)**

In samenspraak met Breman Woningbeheer Zuid en Wonenbreburg is de installatievoorbereiding van de testopstelling gedaan. Tarnoc heeft locaties van Wonenbreburg en van Tiwos bekeken om de meest geschikte woning te selecteren voor de testopstelling. Nadat de woning geselecteerd was, heeft Tarnoc samen met de werkvoorbereider van Breman de woning bekeken en is er een overzicht gemaakt van de installatiewerkzaamheden. Deze voorbereidingen waren cruciaal voor een goed verloop van de installatie.

Nadat alle eerste ontwerpen en de productie van alle componenten compleet waren, heeft Tarnoc samen met Breman Woningbeheer Zuid de ketel geplaatst in een woning. Breman heeft de volledige waterzijdige installatie en krachtstroominstallatie verzorgd. Nadat deze werkzaamheden compleet waren, heeft Tarnoc de installatie van de sensoren en aansturing gereedgemaakt. Figuur 2 toont de beide dakdoorvoeren.



Figuur 2: Dakdoorvoeren woning Tilburg (links toevoer, recht Afvoer)

### **WP3. Uitvoeren van verscheidene pilottests met proefopstelling (EO)**

Het testen en monitoren van de installatie heeft in verschillende fases plaatsgevonden.

- Unit testing:  
In de eerste instantie zijn alle individuele onderdelen van het systeem getest om te onderzoeken of alles werkt en functioneert naar verwachting. Het doel van deze tests is om te bepalen of een onderdeel wel of niet functioneert.
- Integration testing:  
Gedurende de integration testing wordt er gekeken of de onderlinge componenten goed met elkaar werken en samengevoegd kunnen worden. Dit is niet een test van het totale systeem maar juist van bepaalde samenwerkingen binnen het systeem. Bij deze tests gaat het ook altijd om een absolute beoordeling. Na enige troubleshooting zijn alle tests positief beoordeeld.
- System testing  
In de system testing fase zijn de daadwerkelijke functies voor de eindgebruiker getest. Voor de TTK zijn de twee functies: verwarmen op basis van instructies door thermostaat en warm tapwater leveren. De system testing is ook een absolute test. Echter is de meest belangrijke test de reliability test van het systeem.
- Reliability Testing  
Om de bruikbaarheid van de TTK te onderzoeken moet de betrouwbaarheid van de 2 basis functionaliteiten voor het draaien over een langere periode bepaald worden. De ketel heeft nadat de laatste errors waren opgelost meerdere maanden gedraaid zonder enige problemen.
- Performance Testing  
In parallel met de reliability testing heeft de performance testing plaatsgevonden. Hiervoor is op basis van de gemeten elektriciteit input en warmteafgifte aan de woningen een COP bepaald voor het verwarmen van de woning met gebruik van de TTK.

### **WP4. Techno-economische evaluatie (EO)**

Als deel van het DEI project is er ook een techno-economische evaluatie gedaan om het toekomstpotentieel van de TTK te bepalen. Dit is op meerdere vlakken gedaan. Er is nauw samengewerkt met de potentiële afnemer, de Lentecorporaties, om hun interesse te bepalen. De Lentecorporaties zijn nog steeds erg geïnteresseerd in de potentie van de Turbineketel. Vandaar dat de lente corporaties ook willen deelnemen in het vervolg-demonstratietraject. De corporaties noemen de



eenvoudigheid van de installatie en het comfort voor de bewoners als redenen om de Turbineketel verder toe te passen om de woningvoorraad te verduurzamen. Anderzijds is er ook gekeken naar verschillende technische manieren om de TTK goedkoper en beter produceerbaar te maken.

## 1.6 Economische resultaten

Aangezien de betreffende locatie in eigendom van de woningcorporatie was, zijn de kosten voor het aanleggen van de 3x25A aansluiting, het energieverbruik tijdens de pilot en andere woning gebonden kosten gemaakt door de woningcorporatie.

In vergelijking met gasketels is de aanschaf van het systeem duurder. Echter, de totale gebruikskosten over de levensduur zijn bij de huidige energieprijzen al vrijwel gelijk. Wanneer in de toekomst de gasprijzen naar verwachting stijgt en/of de elektriciteitsprijs daalt, zal de Turbineketel nog goedkoper worden dan de gasketel en is er sprake van een kortere terugverdientijd.

## 1.7 Effecten op de Topsector Energie

### 1.7.1 Gerealiseerde CO<sub>2</sub>-reductie/flexibiliteit op het elektriciteitsnet

Door de beperkte draaitijd van de ketel in de pilotopstelling is er ook maar een beperkte CO<sub>2</sub>-besparingsrealisatie behaald. Een geschat gas equivalent van 465m<sup>3</sup> is er een CO<sub>2</sub>-besparing van 159kg ofwel 19,22% behaald.

### 1.7.2 Herhalingspotentieel

Het Tarnoc-systeem zal worden verkocht aan bezitters van bestaande woningen, via corporaties (of VVE's) of direct aan particulieren (via installateurs). In de komende jaren moeten per jaar 200.000 bestaande woningen van het gas af; in totaal 6 miljoen woningen. Het totale herhalingspotentieel voor de bestaande woningen in Nederland die van het gas af moeten 4.362 kton CO<sub>2</sub> per jaar. Wanneer de energiemix de komende jaren verandert, zal dit uiteraard ook invloed hebben op de (potentiële) CO<sub>2</sub>-besparing.

Cumulatief wordt over de eerste 5 jaar 113 GWh energie en 12,3 kton CO<sub>2</sub> bespaard. Na de eerste introductieperiode van 5 jaar wordt in 2026 beoogd om in ruim 18.000 bestaande woningen de Tarnoc Turbineketel geplaatst te hebben.

### 1.7.3 Inbedding in de energiewaardeketen

De TTK biedt in de toekomst, als onderdeel van de energiewaardeketen, een reeks voordelen. Door het hoge vermogen van de TTK en de snelheid van het afgiftesysteem is er een hogere mate van flexibilisering mogelijk. Bij het toepassen van nachtverlaging van de temperatuur in een woning kan bijvoorbeeld gevarieerd worden met het tijdstip wanneer de woning weer op temperatuur wordt gebracht. Hiermee kan ingespeeld worden op fluctuaties in de beschikbaarheid van duurzame energie, of verschillen in de actieve stroomprijzen.

## 1.8 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van dit DEI+ pilotproject kan Tarnoc concluderen dat de Turbineketel geschikt is voor doorontwikkeling en uiteindelijk voor toepassing op de Nederlandse woningmarkt. De ketel heeft langere tijd zelfstandig een woning verwarmd zonder dat hier significant problemen zijn ontstaan. Tarnoc heeft kunnen bewijzen dat de TTK in de basis goed functioneert, en met een paar aanpassingen de COP verder kan verbeteren. Daarnaast is het meest belangrijke aspect voor Tarnoc dat de uiteindelijke afnemers van het systeem, de woningcorporaties, erg enthousiast zijn over het project en veel toepassing voor de Turbineketel in hun woningvoorraad zien. Deze corporaties willen daarom ook zo snel mogelijk doorgaan met het toepassen van Turbineketels in de opvolgende demonstratie.

### **1.9 Vervolgstappen**

De betrokken woningcorporaties zijn nog steeds geïnteresseerd in de Turbineketel als potentiële verduurzamingsmaatregel van hun woningbestand. De learnings van de pilot worden meegenomen in de volgende versie van het apparaat. De verbeterde versie van het systeem zal worden doorontwikkeld en getest. Het project zal vervolgens in de volgende fase in 8 bewoonde woningen van de Lentecorporaties worden toegepast. Als onderdeel van dit vervolgproject hebben Tarnoc en haar partners een subsidieaanvraag ingediend voor een DEI+ demonstratieproject. Dit project, waarin getest zal worden in de winter van 2021/2022, dient als volgende stap naar het toetreden van de markt.