

**VIL**  
EMPOWERING  
LOGISTICS



# HANDLEIDING TCO MODEL HYDROLOG

AUTEURS: YANNICK VAN DEN BROECK (WATERSTOFNET) EN FILIP VAN HULLE  
(VIL)

JAARTAL: 2021



# INHOUDSOPGAVE

Handleiding TCO model Hydrolog	1
Inhoudsopgave	2
1 Inleiding en opzet	3
2 Handleiding tco tool	4
2.1 Input - output	4
2.2 Forecast	8
3 Disclaimer	12

# 1 INLEIDING EN OPZET

Binnen het Hydrolog-project werd een TCO (*total cost of ownership*) model ontwikkeld om inzichten te bieden in de totale eigendomskosten van een aantal intralogistieke toestellen en hun bijhorende (tank)infrastructuur. De focus ligt op logistieke werktuigen die aangedreven worden op waterstof. Tevens wordt een vergelijking geboden met de 'klassieke' aandrijving op diesel en het zero-emissie alternatief via batterij-elektrische aandrijving (lithium-ion).

Het model wil *high level* inzichten bieden in de totale eigendomskosten en heeft niet de ambitie om detailinzichten te bieden of commerciële offertes aan te reiken. Het model werkt met prijsvorken die kunnen afwijken van de praktijk en bijvoorbeeld geen rekening houden met korting voor grote aantallen, lease- en huurformules, .... Prijsgegevens werden veralgemeend in het model zonder enige referentie naar commerciële producten (toestellen en infrastructuur).

Het model is tot stand gekomen na bevraging van projectdeelnemers Kalmar, Linde Material Handling, Toyota Material Handling en Still. In de gesprekken werd bepaald aan welke functionaliteiten een goed TCO model voor intralogistieke toepassingen dient te voldoen. Tevens werden algemene inzichten verschaft naar prijzen van toestellen, onderdelen (m.n. de aandrijving) en laad- en tankinfrastructuur.

Deze gegevens werden aangevuld met inzichten naar prijsgegevens van belangrijke waterstofonderdelen zoals brandstofcellen, waterstoftankstations en electrolyzers. Hiervoor werden toonaangevende literatuurbronnen gebruikt (cfr. literatuurstudie) alsook gesprekken met leveranciers van brandstofcellen. Voor prijsindicaties van de waterstofinfrastructuur (tankstations en electrolyzers) werd beroep gedaan op een dataset horende bij de studie van Roland Berger (2018) "Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities".

## 2 HANDLEIDING TCO TOOL

### 2.1 Input - output

In het tabblad “input-output algemeen” dient de gebruiker een aantal gegevens in te voeren waarmee het model aan de slag gaat om vervolgens een TCO voor de gevraagde vloot te berekenen.

Onder basis invoergegevens dienen een aantal zaken aangegeven te worden. Allereerst dient een type voertuig geselecteerd te worden. Het model bevat vijf soorten logistieke voertuigen: een heftruck met hefvermogen 2,5 ton en 16 ton, een terminal trekker, een bagage tractor (luchthaven) en een container handler (haven).

Basis invoergegevens			
Voertuigtype		Cargo tractor 18t	
Ondernemingsvorm		/	
Vloot		1	
Elektrolyser		Ja	
Afschrijving over	toestel	5	jaar
Afschrijving over	infrastructuur	10	jaar
"brandstofprijzen"	Elektrolyse H2	9,06	€/kg
	kWh	0,18	€/kWh
	diesel	1,2	€/l
	water	0,0043	€/l

Vervolgens wordt een ondernemingsvorm gekozen (KMO of GO). Dit heeft vooral betrekking op de mogelijke (Vlaamse) subsidieverlening voor waterstofvoertuigen (de Ecologiepremie+, zie literatuurstudie). Indien men geen beroep wenst te doen op subsidies, dan kan dit open gelaten worden.

Dan wordt de grootte van de gewenste vloot aangegeven, gaande van 1 en zonder bovengrens. De volgende keuze bepaalt of de gebruiker on-site waterstof wenst te produceren door middel van elektrolyse. Bepalend voor de kostprijs van de geproduceerde waterstof is de elektriciteits- en de waterprijs die te vinden zijn onder “brandstofprijzen”. De investerings- en operationele kosten van de electrolyser worden verder meegenomen in het TCO model.

Indien niet gekozen wordt voor productie ter plaatse – en de waterstof dus aangeleverd dient te worden – dan kan geopteerd worden voor drie prijzen van waterstof: lage prijs (meestal grijze waterstof) aan 3€ per kg, gemiddelde prijs (meestal blauwe waterstof) aan 5€ per kg en dure (of groene) waterstof aan 10€ per kg.

"brandstofprijzen"	Elektrolyse H2	9,06	€/kg
	Hoge prijs H2	0,18	€/kWh
	Gemiddelde prijs H2	1,2	€/l
	Lage prijs H2		
	Elektrolyse H2	0,0043	€/l

De prijzen van elektriciteit, water en diesel zijn aanpasbaar naargelang de situatie. De prijzen die nu opgenomen zijn in het model zijn algemene gemiddelden.

Ook de afschrijvingstermijn kan aangegeven worden. Standaard is dit bepaald op 5 jaar voor de voertuigen en 10 jaar voor de infrastructuur.

Vervolgens dient aangegeven te worden hoe de vloot ingezet moet worden op basis van shifts. De shiftduur kan gekozen worden en vervolgens het aantal shifts per dag. Er moet ook aangegeven worden of de shifts aaneensluitend plaatsvinden of niet. Dit is met name van belang om te bepalen of er laadtijd is voor batterijvoertuigen tussen de shifts.

Shiftduur	8 h		
Shiften/ week	<b>shifts</b>	<b>hifts aaneensluite</b>	<b>Dagen</b>
	2	Ja	maandag
	1	Ja	dinsdag
	2	Neen	woensdag
	1	Neen	donderdag
	1	Neen	vrijdag
	0	Neen	zaterdag
	0	Neen	zondag
	<b>7</b>		<b>Totaal</b>
max #shifts per dag	2		
#shifts in de week	7		
Opportunity charging mogelijk? (M.b.t. elektrische voertuigen)	Ja		
Indien "Ja": Verwachtte mogelijke "opportunity"la	0		h

Tot slot moet aangegeven worden of "opportunity charging" mogelijk is. Opportunity charging is een systeem (laadinfrastructuur + planning) waarbij batterijen meerdere keren kunnen worden opgeladen tijdens de werkcyclus. Het laat toe dat batterij-elektrische voertuigen één of zelfs meerdere shifts kunnen uitvoeren zonder lange tijd aan de lader te hangen. Er dient aangegeven te worden hoelang geladen kan worden per shift. Het model zal vervolgens de operationele inzetbaarheid van het toestel berekenen.

Met de ingevoerde gegevens zal het model aan de slag gaan om een indicatie te geven van de investeringskosten (CAPEX) en operationele kosten (OPEX) van zowel voertuigen als infrastructuur.

Output algemeen			
	FCEV	BEV	Diesel
<b>CAPEX</b>			
voertuigen	€ 960 000,00	€ 910 000,00	€ 500 000,00
tankstation	€ 518 400,00	€ 800 000,00	€ 57 600,00
elektrolyser	€ 208 539,60	/	/
<b>Totale CAPEX</b>	<b>€ 1 686 939,60</b>	<b>€ 1 710 000,00</b>	<b>€ 557 600,00</b>
<b>OPEX</b>			
toestellen totaal	€ 408 078,70	€ 335 926,47	€ 450 304,00
<i>verzekering voertuigen</i>	€ 30 720,00	€ 29 120,00	€ 16 000,00
<i>brandstof voertuigen</i>	€ 152 718,70	€ 55 935,36	€ 134 784,00
<i>onbeschikbaarheid</i>	€ -	€ 101 111,11	€ -
<i>onderhoud voertuigen</i>	€ 224 640,00	€ 149 760,00	€ 299 520,00
onderhoud tankstation	€ 36 288,00	€ 160 000,00	€ 13 248,00
onderhoud elektrolyser	€ 3 128,09	/	/
<b>Jaarlijkse OPEX</b>	<b>€ 447 494,79</b>	<b>€ 495 926,47</b>	<b>€ 463 552,00</b>
<b>Totaal (OPEX+CAPEX)</b>	<b>€ 2 134 434,39</b>	<b>€ 2 205 926,47</b>	<b>€ 1 021 152,00</b>

De OPEX-kosten bestaan uit de verzekering, de brandstof en het onderhoud van de voertuigen. Ook voor de tank- en laadinfrastructuur en eventueel de electrolyser wordt een geschatte onderhoudskost weergegeven.

In het bijzonder voor batterij-elektrische voertuigen is tevens een “onbeschikbaarheidsfactor” opgenomen. De extra kosten ten gevolge van de laadtijd van BEV wordt als volgt berekend.

De gebruiker van het model geeft in:

- De duur van één shift
- Hoeveel shifts er op elke dag van de week gereden worden
- Of de shifts achtereenvolgend plaatsvinden of niet
  - Indien niet, wordt er aangenomen dat de volgende shift pas begint nadat het voertuig volledig is opgeladen
- Of er tijdens een shift mogelijkheid is tot opportunity charging
  - Indien ja: voor hoeveel uur

Op basis van deze gegevens wordt voor elke dag van de week apart berekend voor hoeveel uren per dag het laden zorgt voor de onbeschikbaarheid van een voertuig tijdens shifts. Hier wordt ervan uitgegaan dat daar twee mogelijke oorzaken zijn:

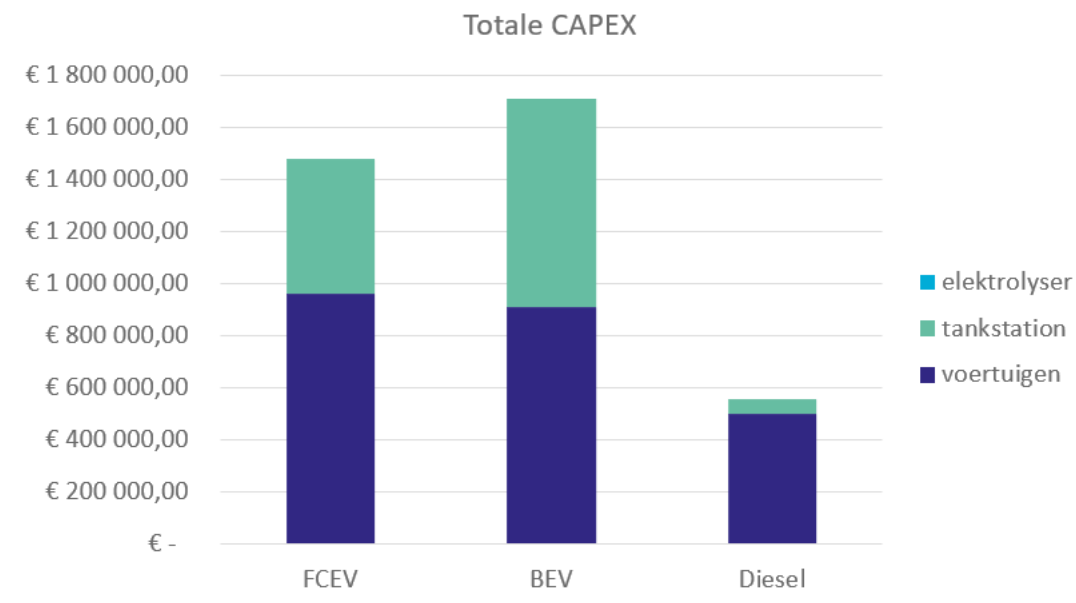
1. De totale duur van alle shifts opgeteld laat niet genoeg tijd over binnen 24 uur om het voertuig voldoende op te laden
2. De duur per shift is langer dan de autonomie van het voertuig. Indien shifts achtereenvolgens plaatsvinden wordt de duur van alle achtereenvolgende shifts vergeleken met de autonomie van het voertuig

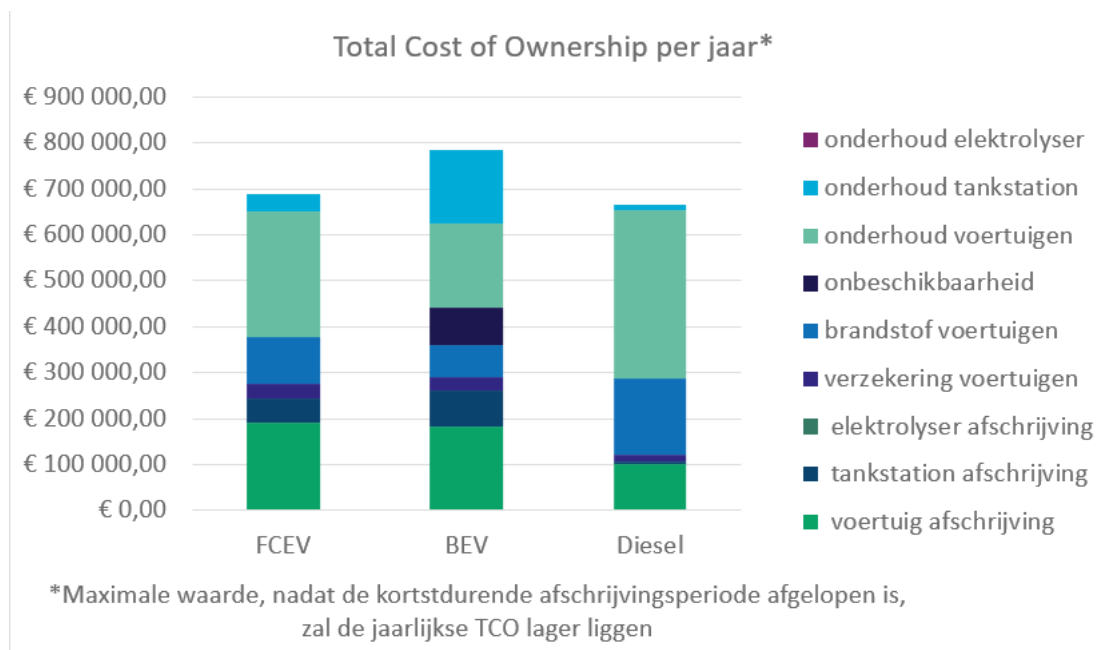
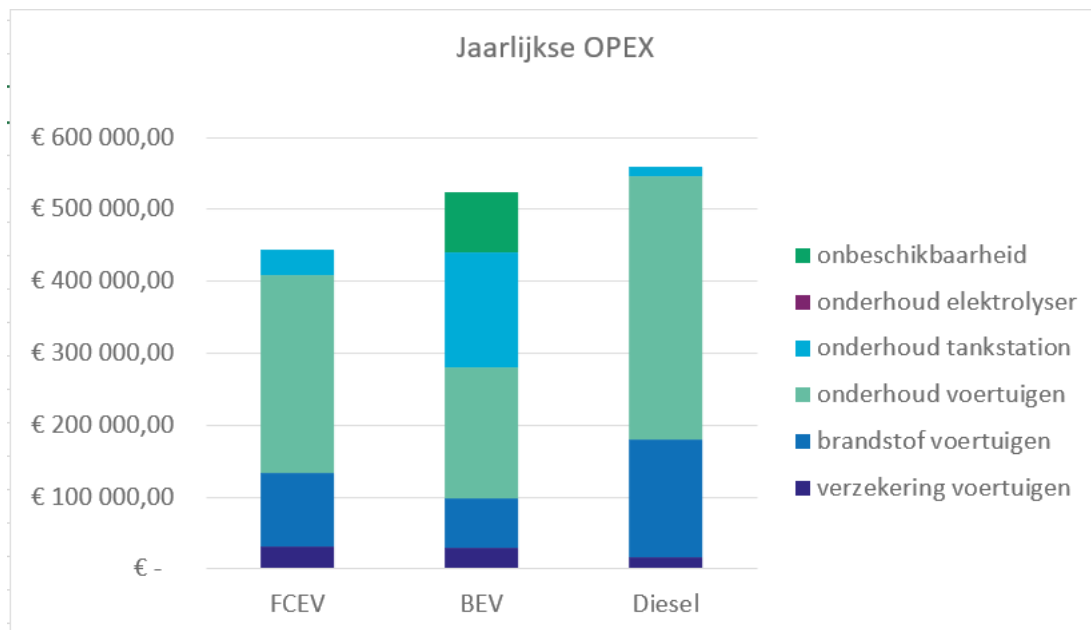
Bovenstaande onbeschikbaarheden worden samengevoegd tot één waarde. Vervolgens wordt het totale aantal uren “opportunity charging” zoals ingegeven door de gebruiker van het model in mindering gebracht op de verkregen waarde om tot een “totale onbeschikbaarheid” te komen per dag.

De totalen van alle dagen worden bij elkaar opgeteld en gedeeld door het totale aantal werkuren van het voertuig om tot een procentuele onbeschikbaarheid te komen. Deze procentuele onbeschikbaarheid wordt in relatie gebracht tot de CAPEX-prijs van het voertuig om een ‘penalty’ te berekenen voor de onbeschikbaarheid van het voertuig, zijnde in de vorm van verminderde productiviteit of de noodzaak om reservetoestellen te voorzien om de gewenste productiviteit te bereiken.

Voor het tanken van waterstof of diesel wordt geen onbeschikbaarheid berekend omdat aangenomen wordt dat de tanktijden verwaarloosbaar zijn t.o.v. laadtijden.

De CAPEX, OPEX en TCO-kosten voor het ingegeven scenario worden ook grafisch weergegeven in het model:





## 2.2 Forecast

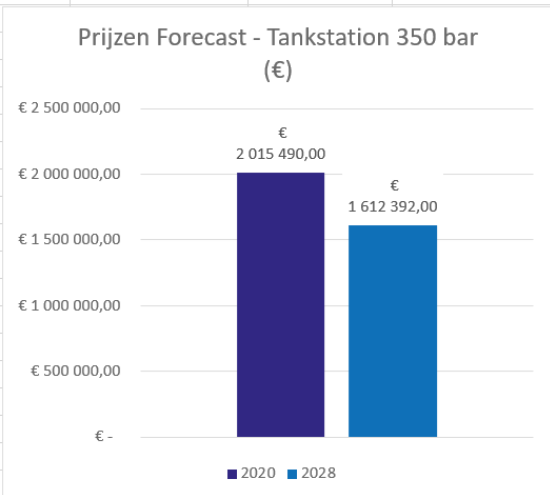
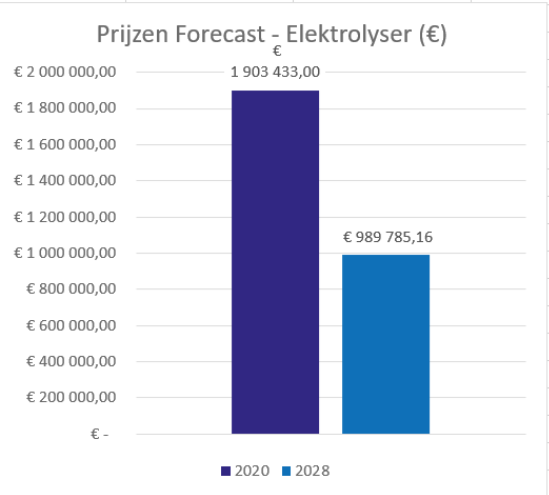
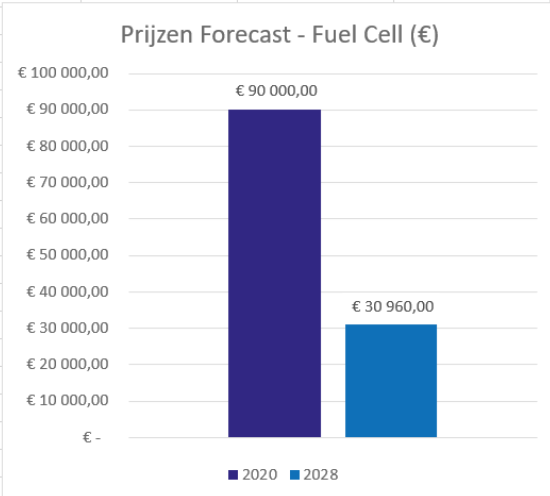
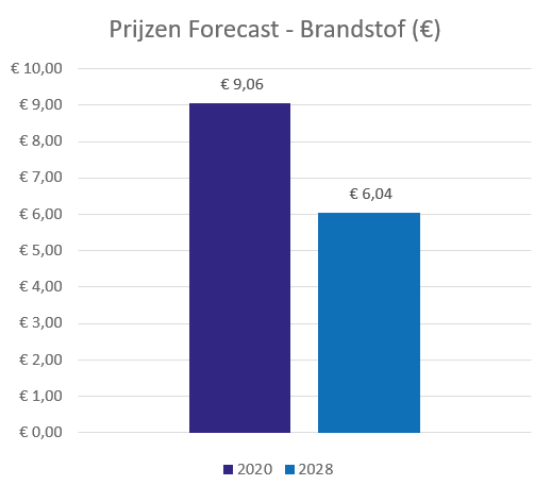
Naast een indicatie van de 'as-is' situatie (2020) voor het ingegeven scenario via de tab 'input-output', biedt het model ook inzichten voor evoluties in de toekomst i.h.b. voor de waterstofdelen die een return on investment momenteel nog moeilijk maken. Er zijn twee tabbladen met voorspellingen: 'key H2 components forecast' en '10 year forecast'.

Onder 'key H2 components forecast' is het mogelijk om voor een aantal belangrijke waterstofonderdelen zoals de prijs van de waterstof, de brandstofcel, de elektrolyser en de tankinfrastructuur voor verschillende groottes/vermogens een prijsindicatie te bekomen tussen



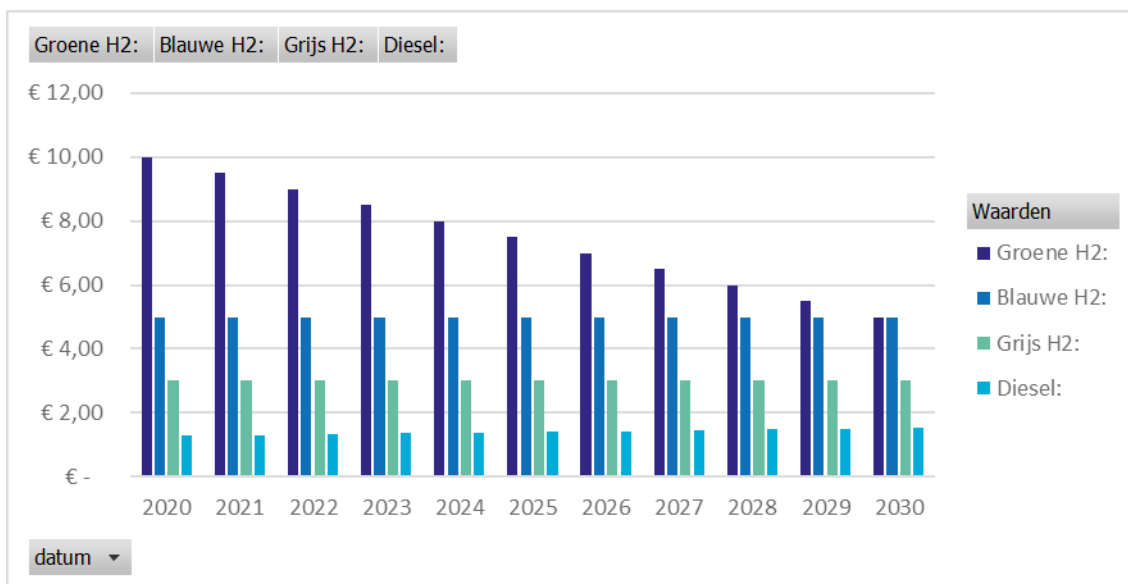
nu en 2030. Tevens is het mogelijk een grafische vergelijking tussen 2020 en het gewenste jaar weer te geven.

Prijzen		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Brandstof	Elektrolyse H2	€ 9,06	€ 8,61	€ 8,19	€ 7,78	€ 7,40	€ 7,03	€ 6,68
Fuel cell	30 kW	€ 90 000,00	€ 82 620,00	€ 75 240,00	€ 67 860,00	€ 60 480,00	€ 53 100,00	€ 45 720,00
Elektrolyser	1,5 MW	€ 1 903 433,00	€ 1 789 227,02	€ 1 675 021,04	€ 1 560 815,06	€ 1 446 609,08	€ 1 332 403,10	€ 1 218 197,12
KMO	1,5 MW	€ 1 389 506,09	€ 1 306 135,72	€ 1 222 765,36	€ 1 139 394,99	€ 1 056 024,63	€ 972 654,26	€ 889 283,90
GO	1,5 MW	€ 1 646 469,55	€ 1 547 681,37	€ 1 448 893,20	€ 1 350 105,03	€ 1 251 316,85	€ 1 152 528,68	€ 1 053 740,51
Tankstation 350bar	600 kg/dag	€ 2 015 490,00	€ 1 965 102,75	€ 1 914 715,50	€ 1 864 328,25	€ 1 813 941,00	€ 1 763 553,75	€ 1 713 166,50
KMO	600 kg/dag	€ 1 471 307,70	€ 1 434 525,01	€ 1 397 742,32	€ 1 360 959,62	€ 1 324 176,93	€ 1 287 394,24	€ 1 250 611,55
GO	600 kg/dag	€ 1 743 398,85	€ 1 699 813,88	€ 1 656 228,91	€ 1 612 643,94	€ 1 569 058,97	€ 1 525 473,99	€ 1 481 889,02

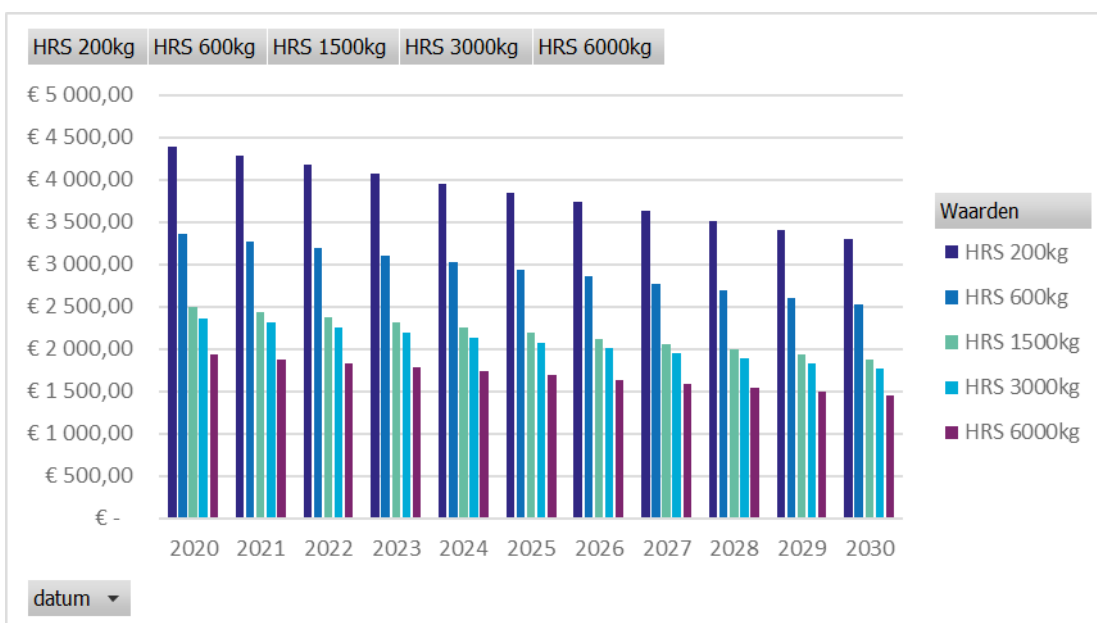


Deze forecast geeft een gevoel van de verwachte prijsdalingen van de waterstofgerelateerde onderdelen van de TCO van intralogistieke voertuigen en laat toe om investeringen in de tijd te plannen. Uiteraard zijn de verwachte prijsdalingen sterk afhankelijk van de marktontwikkelingen de komende jaren, overheidssteun, veranderende wet- en regelgeving, ... en dus sterk onder voorbehoud.

Het tabblad '10 year forecast' tot slot biedt een grafisch overzicht van de verwachte brandstofprijzen voor de komende tien jaar. Voor diesel wordt uitgegaan van een stijging gelet op stijgende CO2 prijzen en mogelijke vormen van CO2 taxatie.

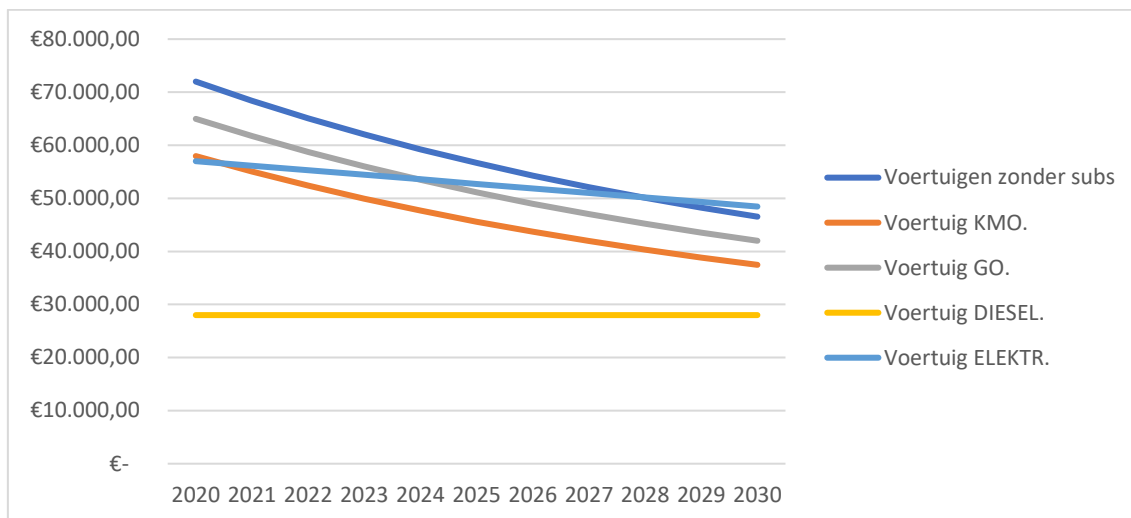


Ook voor de tankinfrastructuur is er een grafische weergave voor verschillende groottes/capaciteit van tankstations, gaande van 200 tot 6000 kg. De prijs wordt uitgedrukt per kg capaciteit per dag. Bijvoorbeeld voor een tankstation met doorzetcapaciteit van 200 kg per dag, komt de totale investering in 2020 neer op  $€ 4.395,86 \times 200 = € 879.172$ . De grafiek laat duidelijk zien dat schaalvergroting leidt tot een relatief lagere kostprijs per kg capaciteit en dat er het komende decennium voor tankstations een prijsdaling verwacht wordt.



Allicht het interessantste onderdeel van dit tabblad is de verwachte aankoopprijs van de voertuigen die opgenomen zijn in het TCO model. Bepalend hierbij is de aandrijflijn waarbij rekening gehouden wordt met een verwachte prijsdaling van brandstofcellen en batterijen. De voorspelling geeft een idee wanneer waterstofvoertuigen en batterijvoertuigen ongeveer even duur zullen zijn in aankoop. Voor dieselloestellen verwachten we geen significante

prijsverschillen. Tevens wordt rekening gehouden met subsidiemogelijkheden (Vlaamse Ecologiepremie+) die de *cost gap* versneld kunnen dichten.



Voor een goed functioneren van deze grafiek is het belangrijk om eerst het gewenste toestel aan te duiden in het tabblad input-output en de vloot op 1 te zetten. Vervolgens dient men onder het tabblad 10 year forecast de draaitabel te vernieuwen door te klikken op 'Draaigrafiek analyseren' (PivotTable Analyze) en vervolgens op vernieuwen (refresh).

### 3 DISCLAIMER

Hoewel dit model met zorg is samengesteld, geeft het geen enkele garantie omtrent de juistheid, accuraatheid of volledigheid van de hierin vervatte gegevens. Als auteur van het model aanvaarden WaterstofNet vzw en VIL vzw geen enkele aansprakelijkheid voor de inhoud van het model.

Voor de samenstelling van het model werd informatie verzameld bij deelnemers van het project Hydrolog en externe partijen, documenten en studies. De inhoud van het model heeft geen enkele commerciële implicatie. Noch de auteurs, noch de geconsulteerde partijen zijn op geen enkele wijze gebonden aan de inhoud van het model, laat staan dat ze ervoor aansprakelijkheid gesteld kunnen worden.

Dit model is uitsluitend bedoeld voor informatie. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



**VIL**

EMPOWERING  
LOGISTICS



Koninklijkelaan 76, 2600 Berchem  
• T +32 3 229 05 00

**WWW.VIL.BE**  
info@vil.be