

Het elektriciteitsverbruik van het bedrijf Carwash Clean Car monitoren en optimaliseren door middel van een custom applicatie.

Alexander Bal.

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor: Dr. ir. Sofie Lambert

Co-promotor: Dhr. Kris Van Nuffel

Academiejaar: 2023–2024

Eerste examenperiode

Departement IT en Digitale Innovatie .

**HO
GENT**

Woord vooraf

Deze bachelorproef wordt geschreven in het kader van de opleiding toegepaste informatica aan de Hogeschool Gent te voltooien. Ik heb gekozen om het te hebben over het monitoren van het elektriciteitsverbruik van het bedrijf Carwash Clean Car, zodat ze hun verbruik kunnen optimaliseren door middel van het slim aansturen van hun bedrijfsprocessen.

De reden waarom ik dit onderwerp heb gekozen is omdat er de laatste tijd veel aandacht wordt besteed aan het milieu. Ik wil graag mijn steentje bijdragen aan een beter milieu door middel van het besparen van energie, hierdoor leek dit onderwerp mij interessant en ideaal.

Ik wil graag mijn promotor, Sofie Lambert, bedanken voor de goede begeleiding en de feedback die ik heb gekregen tijdens het schrijven van deze bachelorproef.

Ook wil ik mijn co-promotor, Kris Van Nuffel, bedanken voor de hulp, de tijd die hij heeft vrijgemaakt om mij te begeleiden tijdens deze bachelorproef en de inzichten die hij mij bijgebracht heeft tijdens mijn onderzoek.

Als laatste wil ik ook mijn ouders bedanken om in mij te geloven en mij te steunen tijdens mijn studies.

Samenvatting

Deze bachelorproef heeft waardevolle inzichten voor bedrijven die zich bezighouden met hun energieverbruik en dit willen optimaliseren door middel van bepaalde niet-dringende bedrijfsprocessen slim aan te sturen. Zo kunnen bedrijven hun eigen energiefactuur verlagen.

De overheid stimuleert bedrijven om elektrische voertuigen aan te kopen. De reden hiervoor is, dat er tegen 2026 enkel nog elektrische bedrijfsvoertuigen mogen rondrijden. Dit is gunstig voor het milieu, maar brengt ook uitdagingen met zich mee voor bedrijven en de Belgische energieleveranciers. Zo moeten de bedrijven laadpalen plaatsen om deze bedrijfsvoertuigen op te kunnen laden. Hierdoor gaan de bedrijven meer energie verbruiken aangezien de personeelsleden de auto's tijdens de kantooruren kunnen laden. Hieruit volgt dat het energienet meer belast zal worden. Nu is de vraag van het bedrijf Carwash Clean Car of zij hun energieverbruik kunnen optimaliseren aan de hand van een custom geschreven webapplicatie? Dit onderzoek zal hier een antwoord op bieden aan de hand van een literatuurstudie, waarin verschillende aspecten aan het bod komen in verband met het optimaliseren van het elektriciteitsverbruik. Er worden verschillende algoritmes bekeken voor het prioriteren van de bedrijfsprocessen. Na de literatuurstudie wordt er een proefopstelling gemaakt om de gevonden informatie toe te passen en zo een webapplicatie te creëren voor Carwash Clean Car. Deze applicatie zal dan ook door het bedrijf benut worden, om zo het energieverbruik van bepaalde bedrijfsprocessen te optimaliseren en zo de energiekosten te verlagen.

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	viii
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	2
1.2 Onderzoeksvraag	2
1.2.1 Hoofdonderzoeksvraag	2
1.2.2 Deelonderzoeksvragen	3
1.3 Onderzoeksdoelstelling	3
1.4 Opzet van deze bachelorproef	4
2 Stand van zaken	5
2.1 Energieverbruikers van carwash Clean Car	6
2.2 Peak shaving	7
2.3 Bidirectioneel laden van batterijen	7
2.3.1 Batterijen uit elektrische voertuigen	8
2.3.2 Wat is de impact van bidirectioneel laden?	9
2.4 Algoritmen	10
2.4.1 Het algoritme voor het bepalen van de prioriteit van bedrijfsprocessen	10
2.4.2 Het algoritme voor het optimaal gebruik van bedrijfsprocessen	10
2.4.3 Het algoritme voor het aansturen van bedrijfsprocessen	11
2.5 energiebeheersysteem	11
2.6 Laadpaal voor de elektrische voertuigen	11
2.7 Zonnepanelen	13
2.8 Beluchtingssysteem van het water	14
2.9 Industriële droogkast	15
2.10 protocollen	15
2.11 Data registers	16
2.12 Authenticatie	17
2.13 Backend	17
2.14 Front end	18
2.15 Samenvatting	18
3 Methodologie	20
3.1 Literatuurstudie	20
3.1.1 Deel 1	20

3.1.2	Deel 2	20
3.1.3	Deel 3	20
3.2	Analyse van de vereisten	21
3.3	Proefopstelling	21
3.4	Testen van de proefopstelling	21
3.5	Conclusie	21
4	Analyse van de vereisten	23
4.1	Inloggen en uitloggen van een gebruiker	23
4.2	Aanmaken van nieuwe gebruikers	23
4.3	Weergave van het huidige energieverbruik, de huidige opgewekte energie en de huidige aangekochte energie	24
4.4	Manuele overschrijving van een bedrijfsproces	24
4.5	Weergave van de status, modus, temperatuur, huidige laadvermogen en het huidige energieverbruik van de laadpaal	24
4.6	Aansturen van de laadpaal	24
4.7	Weergeven van de huidige status van het beluchtingssysteem	24
4.8	Lijst met te gebruiken methoden en componenten	25
5	Proefopstelling	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Installatieproces van alle nodige software	26
5.3	Ontwikkelen van de backend	27
5.3.1	Flow 1: Authenticatie	27
5.3.2	Flow 2: Electricity	27
5.3.3	Flow 3: Charging Station	27
5.3.4	Flow 4: Blower	27
5.3.5	Flow 5: Algoritmen	28
5.4	Ontwikkelen van de webapplicatie	28
6	Testresultaten	30
6.1	Testen van de authenticatie flow	30
6.1.1	Login	30
6.1.2	Gebruiker aanmaken	30
6.2	Testen van de electricity flow	31
6.2.1	Status	31
6.3	Testen van de Charging station flow	31
6.3.1	Max current	31
6.3.2	Energy consumed sum	31
6.3.3	Mode	31
6.3.4	Temp	31
6.3.5	1 or 3 phases	31
6.3.6	Auto status	32

6.3.7	Update max current	32
6.3.8	update 1 or 3 phases	32
6.4	Testen van de Blower flow	32
6.4.1	Status	32
6.4.2	Update status	32
7	Conclusie	33
A	Onderzoeksvoorstel	35
A.1	Abstract	35
A.2	Introductie	35
A.3	literatuurstudie	37
A.3.1	Inleiding.	37
A.3.2	Laadpalen	37
A.3.3	Zonnepanelen.	37
A.3.4	Modbus protocol	37
A.3.5	Backend.	37
A.3.6	Progressive web app	38
A.3.7	Dataregisters	38
A.4	Methodologie	38
A.4.1	Literatuurstudie.	38
A.4.2	Selectie van de technologieën	38
A.4.3	Ontwikkeling van de proefopstelling	38
A.4.4	conclusie	39
A.5	Verwacht resultaat, conclusie	40
A.5.1	Verwacht resultaat.	40
A.5.2	Conclusie	40
	Bibliografie	41

Lijst van figuren

2.1	Voorlopige illustratie van de proefopstelling	5
2.2	Een grafische voorstelling van een Modbus TCP Data pakket. (Acro- mag, 2005)	16
A.1	flowchart diagram van de methodologie.	39

List of Listings

5.3.1 prioriteitsalgoritme	28
--------------------------------------	----

1

Inleiding

De proefopstelling van deze bachelorproef is gemaakt voor het bedrijf carwash Clean Car, maar in de literatuurstudie vindt u technieken die in elk bedrijf kunnen toegepast worden om de energiefactuur te verlagen. De eigenaar van deze carwash zoekt naar een oplossing om de maandelijkse energiefactuur te verlagen. Zo heeft de eigenaar al een aantal maatregelen getroffen om de energiefactuur te verlagen. Er werden al zonnepanelen geplaatst en de eigen elektrische voertuigen werden enkel opgeladen bij voldoende zonlicht of na 22 uur, omdat er dan wordt gebruikgemaakt van het nachttarief.

1.1. Probleemstelling

Bedrijven kopen steeds vaker elektrische wagens aan, omdat deze aankoop fiscaal voordeliger is tegenover de aankoop van wagens die rijden op fossiele brandstoffen. Dit komt doordat de Belgische overheid heeft beslist dat tegen 2026 bedrijven enkel nog met elektrische bedrijfsvoertuigen mogen rondrijden. Ten gevolge van de aankoop van elektrische voertuigen plaatsen bedrijven laadpalen, zodat de medewerkers hun wagen in het bedrijf kunnen opladen. Dit zorgt ervoor dat bedrijven hun maandelijkse energiefactuur zien stijgen, want hoe meer laadpalen er gebruikt worden hoe meer elektriciteit er verbruikt wordt. Bedrijven dienen ook vanaf werkjaar 2023 een toegangsvermogen te bepalen en door te geven aan de netbeheerder. Dit toegangsvermogen uitgedrukt in kilowatt, is een eigen inschatting van het maandelijkse piekvermogen. Het maandelijkse piekvermogen wordt bepaald door het kwartier in de maand met het hoogste verbruik, anders verwoord is dit het hoogste gemiddelde vermogen, gemeten in een kwartier, in de maand. Er wordt een boete aangerekend wanneer het werkelijk maandelijks piekvermogen hoger ligt dan het eigen opgegeven toegangsvermogen. Deze bachelorproef onderzoekt hoe bepaalde bedrijven hun maandelijkse energiefactuur kunnen verlagen en de boetes kunnen vermijden door het slim aansturen van de laadpalen en elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen.

1.2. Onderzoeksvraag

1.2.1. Hoofdonderzoeksvraag

In sectie 1.1 werd de hoofdonderzoeksvraag al subtiel vermeld, hieruit kunnen de omstandigheden van carwash Clean Car samengevoegd worden tot één onderzoeksvraag:

- Hoe kan het bedrijf carwash Clean Car zijn maandelijkse energiefactuur verlagen door het slim aansturen van laadpalen en elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen aan de hand van een custom geschreven applicatie?

1.2.2. Deelonderzoeksvragen

Om de hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden, zal deze opgesplitst worden in deelonderzoeksvragen. Deze deelonderzoeksvragen zullen de basis vormen voor de literatuurstudie en het onderzoek. De deelonderzoeksvragen zijn:

• Probleemdomein:

- Wat zijn de belangrijkste energieverbruikers binnen carwash Clean Car?
- Hoe evolueert het energieverbruik doorheen het jaar?
- Welke factoren beïnvloeden de energiekosten van het bedrijf?
- Op welke manier kan het gebruik van laadpalen voor elektrische voertuigen worden geoptimaliseerd om piekbelastingen te verminderen en kosten te besparen?
- Welke technologische oplossingen zijn beschikbaar voor het slim aansturen van laadpalen en elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen?
- Wat zijn de potentiële voordelen en uitdagingen van het implementeren van een slim energiebeheersysteem in een bedrijf als carwash Clean Car?
- Zijn er best practices of case studies van vergelijkbare bedrijven die succesvol energiebesparende maatregelen hebben geïmplementeerd die relevant zijn voor carwash Clean Car?

• oplossings domein:

- Hoe kan bidirectioneel laden handig zijn binnen deze casus?
- Kan een uitbreiding van de installatie met batterijopslag helpen?
- Welke informatie is er nodig om aan de hand van een algoritme te bepalen welk bedrijfsproces voorrang heeft?
- Welke technologieën zijn er beschikbaar om laadpalen en elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen aan te sturen?
- Welke technologieën zijn er beschikbaar om het energieverbruik van laadpalen en elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen te monitoren?

Doorheen de bachelorproef zullen deze deelonderzoeksvragen beantwoord worden, zodat de hoofdonderzoeksvraag beantwoord kan worden in hoofdstuk 7.

1.3. Onderzoeksdoelstelling

Het beoogde resultaat van deze bachelorproef zal een custom webapplicatie zijn die het bedrijf carwash Clean Car zal helpen om bepaalde bedrijfsprocessen aan te sturen en het energieverbruik te monitoren. Natuurlijk geeft deze applicatie ook inzicht in het energieverbruik van de laadpalen en de elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen, zo kan de eigenaar van carwash Clean Car deze processen bijsturen om de maandelijkse energiefactuur te verlagen.

1.4. Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In hoofdstuk 4 worden de vereisten besproken voor het bepalen van de componenten binnen de proefopstelling.

In Hoofdstuk 5 wordt de proefopstelling besproken en wordt de custom applicatie toegelicht.

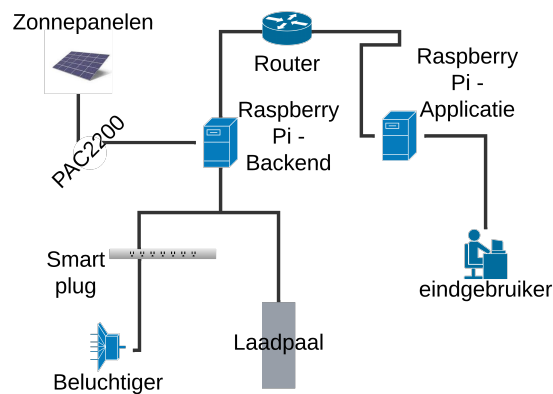
In hoofdstuk 6 worden de testresultaten en verbeteringen van de proefopstelling besproken.

In Hoofdstuk 7, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2

Stand van zaken

Zoals in hoofdstuk 1 werd vermeld, wordt er een oplossing gezocht voor het slim aansturen van bepaalde bedrijfsprocessen van het bedrijf Carwash Clean Car. Voor dat er oplossingen kunnen worden besproken, is het belangrijk dat er een grondige voorkennis wordt opgedaan over het onderwerp. Deze literatuurstudie zal daarbij helpen. Om tot een geschikte oplossing te komen, is de literatuurstudie opgedeeld in 3 delen. In afbeelding 2.1 wordt de voorlopige versie van de proefopstelling weergegeven, zodat een idee kan gevormd worden over hoe alles zal samenwerken.



Figuur (2.1)

Voorlopige illustratie van de proefopstelling

Er zijn verschillende componenten aanwezig in afbeelding 2.1, deze componenten kunnen later nog wijzigen of er kunnen nog componenten bij komen, waardoor dit diagram niet meer klopt. De huidige componenten in het schema van afbeelding 2.1 zijn:

- De zonnepanelen
- De Siemens PAC2200

- De beluchter
- De smarplug waar de beluchter op aangesloten is
- De laadpaal
- 2 Raspberry Pi's
 - 1 Raspberry Pi voor de backend
 - 1 Raspberry Pi voor de webapplicatie
- De router
- De eindgebruiker

2.1. Energieverbruikers van carwash Clean Car

Aangezien deze casus zich richt op een carwash, is 1 van de belangrijkste energieverbruikers de machines en infrastructuur die gebruikt wordt om de tunnel van de carwash aan te sturen. De tunnel kan opgedeeld worden in 2 delen, het eerste deel dient voor het wassen van de auto's, wat gemiddeld 5 kilowatt verbruikt per auto. Het tweede deel van de tunnel zorgt voor het drogen van de auto's, dit verbruikt gemiddeld 50 kilowatt per auto. In de tunnel kunnen er 5 auto's tegelijk gewassen worden, waarvan 1 van die auto's in het deel voor het drogen is. Aangezien het wasproces niet altijd opnieuw moet opstarten, verbruikt de carwash op dat moment gemiddeld 55 kilowatt.

Naast deze tunnel is er ook nog de self carwash, die op het domein gevestigd is. De infrastructuur van deze self carwash hoort dan ook bij de belangrijkste energieverbruikers van het bedrijf. De selfcarwash bestaat uit 5 wasboxen. Als 1 box in gebruik is, wordt 1 pomp geactiveerd en wordt er 2 kilowatt verbruikt. Voor de 5 wasboxen tegelijk, wordt het verbruik dus 10 kilowatt.

Na de 2 belangrijkste energieverbruikers zijn er ook verschillende niet-dringende energieverbruikers, zo staat er een laadpaal geïnstalleerd, deze laadpaal wordt gebruikt voor het opladen van elektrische voertuigen. Het laadvermogen van de laadpaal kan zelf ingesteld worden tot een maximum vermogen van 11 kilowatt.

De tweede niet-dringende energieverbruiker is het beluchtingssysteem van het water, dit systeem is nodig om te voorkomen dat er algen ontstaan in het zelf gerecycleerde water in de waterputten. Het beluchtingssysteem heeft een vermogen van 3 kilowatt. Deze 3 kilowatt fluctueert niet, wat betekent dat het beluchtingssysteem continu 3 kilowatt verbruikt wanneer deze ingeschakeld wordt. Het systeem is niet continu ingeschakeld om schuimvorming te voorkomen.

De laatste energieverbruiker die besproken wordt is de industriële droogkast, deze droogkast wordt gebruikt voor het drogen van de werkkledij en de microvezeldoeken die gebruikt worden bij dieptereinigen. De reden dat deze droogkast besproken wordt is omdat deze al verouderd en energie-intensief is. De droogkast is tot nu toe het niet-dringende bedrijfsproces met het hoogste verbruik. Het energieverbruik is namelijk 14 kilowatt.

De tunnel en self carwash worden in de proefopstelling niet aangesproken, omdat deze niet zomaar uitgeschakeld mogen worden. De industriële droogkast wordt na deze bachelorproef pas toegevoegd aan de proefopstelling, de oorzaak hiervan is dat de componenten om de droogkast slim aan te sturen nog besteld moeten worden. Al de rest van de besproken niet-dringende bedrijfsprocessen zullen wel al geïntegreerd worden met webapplicatie.

2.2. Peak shaving

Het eerste concept dat besproken wordt is peak shaving. De bedoeling van dit concept is om pieken in de aankoop van energie af te vlakken, dit kan gebeuren door bepaalde bedrijfsprocessen te verplaatsen naar momenten waar er minder energie verbruikt wordt of er te veel energie geïnjecteerd wordt op het energienet. Deze methode zorgt voor een meer gelijkvormige verdeling van het energieverbruik.

Er zijn verschillende methoden om peak shaving te bereiken, 1 mogelijke techniek die bij peak shaving gebruikt wordt volgens Uddin e.a. (2018) is het gebruik van een energieopslagsysteem. Om deze methode te gebruiken zijn er batterijen nodig die energie kunnen opslaan, deze batterijen stellen het energieopslagsysteem voor. Volgens Uddin e.a. (2018) kan deze methode peak shaving bereiken door batterijen op te laden wanneer de vraag naar elektriciteit laag is, ook wel een dalperiode genoemd. Deze methode kan economische voordelen opleveren voor het bedrijf, omdat tijdens de hoge vraag naar elektriciteit de batterijen gebruikt kunnen worden.

2.3. Bidirectioneel laden van batterijen

1 van de concepten die aan het opkomen is bij laadpalen is bidirectioneel laden. Dit betekent dat, als een auto opgeladen wordt, deze auto batterij gebruikt kan worden om energie op te slaan voor later gebruik. Wat betekent dat de wagen ook energie kan teruggeven via de laadpaal. Dit zou handig zijn om niet-dringende bedrijfsprocessen aan te sturen als er energie aangekocht wordt. Dit concept kan ook toegepast worden op reserve batterijen die geïnstalleerd worden voor als de elektriciteit wegvalt.

Voor het gebruik van bidirectioneel laden van een auto is er een elektrische auto en een laadpaal nodig die dit ondersteunt. Er zijn al verschillende bedrijven die dit concept toepassen op hun wagens. Hoewel de wagen in de opstelling, een ID.Buzz van Volkswagen, bidirectioneel laden ondersteunt, kan dit nog niet in de proefopstelling benut worden omdat de laadpaal niet over deze functionaliteit beschikt.

Het verschil tussen een laadpaal die de functie van bidirectioneel laden niet heeft en een laadpaal die de functie wel heeft is het type van elektrische stroom dat de laadpaal gebruikt, zo bestaan er twee types van elektrische stroom namelijk wisselstroom (AC) en gelijkstroom (DC) ¹.

Bidirectioneel laden kan voor 2 toepassingen worden gebruikt, namelijk Vehicle-to-Grid (V2G) en Vehicle-to-Home (V2H), volgens Lazzeroni e.a. (2019) is vehicle-to-grid bedoeld voor het verkopen van opgeslagen energie aan het energienet. Terwijl vehicle-to-home daarentegen bedoeld is om de opgeslagen energie later zelf thuis te gebruiken.

Het interessantste voor het bedrijf is de vehicle-to-home oplossing, omdat als de elektriciteit wegvalt, er kan overgeschakeld worden op de batterij van de ID. buzz of reserve batterijen. Het voordeel hiervan is dat de elektriciteit niet moet wegvallen om de batterij van de ID. buzz te gebruiken, waardoor als er enkel energie aangekocht wordt er andere niet-dringende bedrijfsprocessen hiermee verder kunnen worden aangestuurd. De reden dat er niet voor de vehicle-to-grid oplossing gekozen wordt is omdat het bedrijf minder elektriciteit wil injecteren op het energienet, aangezien hier bijna niets aan verdiend wordt. In dit specifieke geval wordt er ingezet op het optimaliseren van het eigen verbruik en het minimaliseren van de injectie.

2.3.1. Batterijen uit elektrische voertuigen

Elk elektrisch voertuig heeft een batterij, deze batterij is nodig om te kunnen rijden. Zo zijn er verschillende batterijen beschikbaar waaruit de fabrikanten van de voertuigen kunnen kiezen, 4 van deze batterijen zijn:

- Lithium-ion (Li-ion) batterij
- Loodaccu
- Nikkel-cadmium (NiCd) batterij
- Nikkel-metaalhydride (NIMH) batterij

¹Deze informatie is op 6 mei 2024 teruggevonden op deze website: <https://www.vlaanderen.be/een-elektrische-wagen-laden/uw-elektrische-wagen-als-thuisbatterij>.

In de volgende 5 paragrafen worden de bovenstaande batterijen besproken, de informatie in deze paragrafen komt van Kumar (2022), de Lithium-ion batterij werd begin jaren 90 uitgevonden. Deze uitvinding was een doorbraak op het gebied van batterijen, aangezien deze batterij efficiënter te werk gaat dan alle andere batterijen. Dit type van batterij wordt in veel draagbare elektronische apparaten gebruikt zoals in mobiele telefoons, laptops, ...

Omdat de lithium-ion batterij een hoge energie-eenheid massa heeft, wordt deze batterij gekozen als batterij in de meeste elektrische voertuigen. Een paar eigenschappen van deze batterij zijn dat de batterij licht in gewicht is en een laag zelfontlading niveau heeft, wat betekent dat ze geen energie ontladen in rusttoestand. Een ander voordeel is dat de batterij met een minimum aan afval kan worden gerecycled.

De loodaccu werd uitgevonden door de Fransman Gaston Planté in 1860. Deze batterij werd tot in de jaren 80 gebruikt bij elektrische voertuigen, maar deze technologie is verdwenen met de komst van de Lithium-ion batterij. Zo zijn de loodaccu's zwaarder en hebben deze een lagere energiedichtheid tegenover de Lithium-ion batterijen. De loodaccu's worden wel nog gebruikt voor toepassingen met een laag vermogen en voor noodstroomvoorziening.

Hoewel de nikkel-cadmium batterij een exceptionele energiedichtheid en hoge efficiëntie had, hadden deze batterijen een lage levensduur. Deze batterij werd in 1899 uitgevonden en had marktdominantie tot het begin van de jaren 90. Ondanks deze dominantie wordt er geen voorkeur gegeven aan deze batterij voor het gebruik in moderne elektrische voertuigen. In de jaren 90 werden deze batterijen gebruikt in elektrische voertuigen, maar werden al snel verboden vanwege hun giftigheid.

Een aangepaste versie van nikkel-cadmium batterijen zijn de nikkel-metaalhydride batterijen, deze batterijen werden in 1989 gepatenteerd. De batterijen worden gebruikt in mild hybride voertuigen dat geen externe bron nodig heeft om op te laden. Ze kunnen enkel opgeladen worden door het regeneratieve remmechanisme. Dit remmechanisme zet kinetische energie om in warmte tijdens het remmen, deze warmte wordt dan gebruikt om de batterij op te laden.

2.3.2. Wat is de impact van bidirectioneel laden?

"De impact van bidirectioneel laden op de batterijen van elektrische voertuigen is een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van smart grid-technologieën"(Dubarry e.a., 2017). Elvan (2017) en Monteiro e.a. (2013) stellen beide oplossingen voor dit probleem voor, waarbij Elvan een modulaire enkelfasige bidirectionele EV-lader met optimalisatie van de stroomdeling voorstelt en Monteiro het ontwerp van een bi-

directionele batterijlader voor EV's bespreekt. Deze oplossingen zijn bedoeld om de efficiëntie en integratie van EV-laders in het slimme elektriciteitsnet te verbeteren. Anuja e.a. (2024) draagt verder bij aan dit gebied door een bidirectionele lader voor EV-toepassingen voor te stellen, die een bidirectionele DC-DC-omvormer bevat voor stroomregeling en netstabiliteit.

2.4. Algoritmen

Om de niet-dringende bedrijfsprocessen slim aan te sturen, kunnen er verschillende algoritmen gebruikt worden. Deze algoritmen worden bepaald aan de hand van de voorwaarden die opgelegd zijn door de eigenaar van het bedrijf. De basisvoorwaarden die bij carwash Clean Car opgelegd zijn, zijn dat de niet-dringende bedrijfsprocessen enkel mogen aangestuurd worden als er meer energie opgewekt wordt dan dat er verbruikt wordt. Als een bedrijfsproces overdag niet aangestuurd is geweest, wordt deze in de nacht uitgevoerd.

Er zijn verschillende soorten algoritmen die aan de hand van de basisvoorwaarden gebruikt kunnen worden, zoals:

- een algoritme voor het bepalen van de prioriteit van bedrijfsprocessen
- een algoritme voor het optimaal gebruik van bedrijfsprocessen
- een algoritme voor de inschakeling van bedrijfsprocessen

Deze 3 algoritmen zijn de algoritmen waarmee de proefopstelling van start gaat. Het kan zijn dat deze algoritmen nog geoptimaliseerd worden of er nog algoritmen bij komen doorheen de testfase van de proefopstelling.

2.4.1. Het algoritme voor het bepalen van de prioriteit van bedrijfsprocessen

Dit algoritme zal aan elk bedrijfsproces een prioriteit toekennen, deze prioriteit zal bepaald worden aan de hand van de laatste keer dat het bedrijfsproces aangestuurd is geweest en de energie die het bedrijfsproces verbruikt. Hoe langer het geleden is dat het bedrijfsproces aangestuurd is geweest, hoe hoger de prioriteit zal zijn. Als er meerdere bedrijfsprocessen zijn die even lang geleden aangestuurd zijn geweest, zal de prioriteit bepaald worden aan de hand van het energieverbruik van het bedrijfsproces.

2.4.2. Het algoritme voor het optimaal gebruik van bedrijfsprocessen

Dit algoritme zal een lijst teruggeven met bedrijfsprocessen die aangestuurd kunnen worden bij het huidige overschot van energie. Deze lijst wordt bepaald aan de hand van de prioriteit van het bedrijfsproces en zal zo het meeste aantal energie

van het huidige overschot van energie in gebruik nemen, zodat de energie zo min mogelijk verspilt wordt.

2.4.3. Het algoritme voor het aansturen van bedrijfsprocessen

Dit algoritme zal gebruikt worden voor het in en uitschakelen van bedrijfsprocessen. Dit gebeurt aan de hand van de laatste lijst die gegenereerd is met het algoritme voor het optimaal gebruik van bedrijfsprocessen.

2.5. energiebeheersysteem

Dit is een systeem voor het beheren en monitoren van de energie die verbruikt wordt binnen het bedrijf. Volgens Falope e.a. (2024) kunnen energiebeheersystemen opgedeeld worden in 2 groepen, namelijk voorspellende energiebeheersystemen en realtime energiebeheersystemen.

In de volgende paragraaf wordt het verschil tussen de 2 groepen van energiebeheersystemen aangehaald aan de hand van de paper van Falope e.a. (2024) een voorspellend energiebeheersysteem maakt gebruik van historische data om een belasting voorspelling, een energievoorziening voorspelling of een combinatie van beide te genereren. Deze voorspellingen zorgen ervoor dat het energieaanbod optimaal overeenstemt met de vraag naar energie. Omdat voorspellingen echter niet 100 % wetenschappelijk ondersteund zijn, moet er als een reserve methode de realtime planning van de energiebelasting geïntegreerd worden in een voorspellend energiebeheersysteem om voorspellingsfouten aan te passen. Een realtime energiebeheersysteem daarentegen, zal gebruikmaken van algoritmen om de regeling van de energiebelasting of energielevering aan te passen.

Het verschil tussen de twee groepen is de aanpak voor het weergeven van de energiebelasting en energielevering om zo de bedrijfsprocessen aan te sturen. Aangezien er niet genoeg data beschikbaar is om een voorspellend energiebeheersysteem te creëren, zal er een realtime energiebeheersysteem gebruikt worden.

2.6. Laadpaal voor de elektrische voertuigen

Het laden van de bedrijfswagens is 1 van de niet-dringende bedrijfsprocessen van Carwash Clean Car. Voor dit bedrijfsproces uit te voeren, heeft het bedrijf 1 laadpaal staan om de 2 bedrijfswagens op te laden. De 2 wagens in kwestie zijn een Volkswagen ID. Buzz en een Volvo XC90 T8. De Volkswagen ID. Buzz is een volledig elektrische wagen, de XC90 daarentegen, is een plug-in hybride wagen. De laadpaal die gebruikt wordt bij het bedrijf is de Eve Single S-line van het merk Alfen. Deze laadpaal is gekozen omdat deze slim aangestuurd kon worden en dat de laadpaal aangesloten kon worden op krachtstroom, in vlaanderen ook wel drijfkracht

genoemd. Dit betekent dat de elektriciteit geleverd wordt met een spanning van 400 volt in plaats van 230 volt².

Volgens Hemavathi en Shinisha (2022) zijn er 2 connector types bij laadpalen, namelijk AC connectoren en DC connectoren. Deze 2 types hebben zelf ook nog elk hun eigen onderverdeling. Zo bestaat er binnen de familie van AC connectoren de onderverdeling binnen type 1 en type 2. Het type 1 is de SAE J1772 standaard. Dit type is de standaard in Amerika en Azië en kan tot 7,4 kilowatt snel laden. Het andere type is de IEC 62196-2 standaard dat gebruikt wordt in Europa. Dit type kan tot 43 kilowatt snel laden. Er zijn 3 DC connectoren, namelijk de CHAdeMO, de CCS en de Tesla connectors. De CHAdeMO connector is uitgevonden in Japan en kan een laadsnelheid bereiken tot 100 kilowatt. Het CCS, kort voor Combined Charging System, is een combinatie van een type 2 AC connector en DC connector. De AC connector kan tot 43 kilowatt en de DC connector tot 100 kilowatt snel laden. De laatste connector is de Tesla connector, deze connector maakt gebruik van de 480 volt snellaad technologie met een maximum oplaadsnelheid van 250 kilowatt. Deze technologie zorgt ervoor dat een auto volledig opgeladen kan worden in 1 uur tijd.

De laadpaal van Carwash Clean Car heeft een AC type 2 connector, maar is beperkt tot een laadsnelheid van 11 kilowatt. Volgens de datasheet van Alfen³ komt de geïnstalleerde laadpaal al met verschillende slimme laad functies, zoals active load balancing, ook wel dynamic load balancing genoemd. Dit houdt in dat de laadpaal actief het stroomverbruik in de gaten houdt, zodat deze zo het laadvermogen aanpast voor de laadpaal.⁴ Uiteindelijk bleek dit niet te werken hoe de eigenaar van Carwash Clean Car dit bedoelde. De uitbater wilde dat de laadpaal ingeschakeld werd wanneer er meer zonne-energie is dan dat er gebruikt wordt, dus de laadpaal moet ingeschakeld worden als er 11 kilowatt of meer geproduceerd wordt. De reden dat dit niet werkt is omdat, vanaf er meer zonne-energieproductie is, dan energie dat gebruikt wordt, de waarde op de energiemeter negatief is. De oplossing hiervoor is zelf de laadpaal aan te spreken, dit kan door 1 van de ingang protocollen aan te spreken die beschikbaar zijn op de laadpaal, deze protocollen zijn:

- DSMR 4.0-4.2 en SMR5.0
- Externe relais
- Modbus TCP/IP (externe kilowattuur meter)

²Deze informatie is op 18 mei 2024 teruggevonden op deze website: <https://www.woorden.org/woord/krachtstroom>.

³Deze informatie is op 6 mei 2024 teruggevonden op deze website: <https://alfen.com/nl-be/file-download/download/public/2753>.

⁴Deze informatie is teruggevonden op 6 mei 2024 op deze website: <https://www.elix.nl/load-balancing-alles-wat-je-moet-weten/>.

- Modbus TCP/IP Slave (energiebeheersysteem)
- Modbus RTU (externe kilowattuur meter)
- Télé-information client (slimme meter linky)

Het protocol dat aangesproken zal worden is het Modbus TCP/IP Slave protocol. Dit komt doordat de webapplicatie die ontwikkeld wordt een energiebeheersysteem is. Zo kan er aan de hand van een prioriteits algoritme bekeken worden of laadpaal ingeschakeld mag worden.

2.7. Zonnepanelen

De zonnepanelen van carwash Clean Car zijn geplaatst om de maandelijkse energiefactuur te verlagen. Sinds begin 2022 merkt het bedrijf op dat op momenten dat de infrastructuur van de carwash niet actief is, er meer energie geïnjecteerd wordt op het energienet, omdat op deze momenten het energieverbruik van de wasstraat wegvalt. Als de zonneproductie beperkt is en de infrastructuur van de carwash plus de niet-dringende energie-intensieve bedrijfsprocessen actief zijn, valt op dat dan wel energie aangekocht moet worden, dit zorgt er dan weer voor dat de maandelijkse energiefactuur te duur wordt.

Het bedrijf heeft in totaal 432 ET-Solar zonnepanelen op hun domein. Het piekvermogen van 1 paneel bedraagt 235 wattpiek, dus als alle panelen samen hun volledige capaciteit benutten, bedraagt het piekvermogen 101 520 wattpiek. De gemiddelde opbrengst van 06/05/2023 tot en met 06/05/2024 bedraagt 149,01 kilowatt. Om de opgewekte zonne-energie om te zetten naar elektriciteit zijn er omvormers nodig, hiervoor maakt de carwash gebruik van deze omvormers:

- ABB Trio 27,6 TL (2x geïnstalleerd)
- SMA Tripower 15000 TL (1x geïnstalleerd)
- SMA Tripower 17000 TL (1x geïnstalleerd)

Voor het uitlezen van de hoeveelheid energie die opgewekt wordt met de zonnepanelen bij het bedrijf zijn er 2 apparaten die geïnstalleerd zijn en gebruikt kunnen worden. Zo kan de opgewekte energie geraadpleegd worden via De Solarlog 1000 van Solarinventors. Het nadeel van de Solarlog 1000 is dat het enkel de opgewekte energie meet en niet de aangekochte energie of het verbruik van energie, maar hier heeft de eigenaar een energiemonitor voor geïnstalleerd, namelijk de Siemens PAC2200. Deze energiemonitor kan het huidige verbruik en aangekochte energie monitoren. De combinatie van de 2 apparaten zorgt ervoor dat alle factoren, zoals het huidige energieverbruik, de huidige opwekking van energie en de energie die

geïnjecteerd wordt op het energienet, kunnen geraadpleegd worden.

Om het apparaat van Solarlog te integreren met de applicatie, zal deze uitgelezen moeten worden. Aangezien het Modbus TCP protocol op dit apparaat geïnstalleerd staat, zal dit protocol gebruikt moeten worden voor het uitlezen van de opgewekte energie. Als de opgewekte energie uitgelezen is kan deze data weergegeven worden aan de hand van een grafiek die eens de data wijzigt geüpdatet wordt.

Voor het aanspreken van de Siemens PAC2200 zijn er verschillende protocollen beschikbaar. De ondersteunde communicatieprotocollen van dit apparaat zijn teruggevonden bij de subtitel Ethernet onderaan pagina 28 van de handleiding van Siemens van dit product⁵:

- Modbus TCP
- Web Server (HTTP)
- SNTP
- DHCP

Aangezien er data verkregen moet worden, kunnen er 3 van deze protocollen niet gebruikt worden, namelijk de webserver, het SNTP protocol en het DHCP protocol. Om de data te verkrijgen zal dus het Modbus TCP protocol gebruikt moeten worden. In sectie 2.10 wordt er dieper ingegaan op het Modbus protocol.

2.8. Beluchtingssysteem van het water

Het bedrijf carwash Clean Car zuivert een deel van het water dat er gebruikt wordt in de carwash zelf, voor dit proces is er een beluchtingssysteem geïnstalleerd. Dit beluchtingssysteem verbruikt continu 3 kilowatt en moet niet de hele dag actief zijn, hierdoor wordt dit proces momenteel enkel in de nacht uitgevoerd. Dit bedrijfsproces moet minimaal 30 minuten per 24 uur aanstaan. Daarom kwam de vraag of deze beluchter ook smart aangestuurd kan worden aan de hand van een smart plug.

Voor het beluchtingssysteem slim aan te sturen is er een smart plug voorzien, deze smart plug zal verbonden zijn met het internet om aangestuurd te kunnen worden. Via de webapplicatie zal er een booleaanse waarde doorgestuurd worden naar de backend. De backend zal dan op zijn beurt, aan de hand van de booleaanse waarde, een signaal doorsturen naar de smart plug om deze aan of af te zetten.

⁵Deze informatie is op 17 april 2024 teruggevonden op deze website: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/681/109476681/att_108732/v1/SITRANS_PAC2200_UM_EN-US_A6V1020.pdf.

De benodigdheden voor het automatisch aansturen van de smart plug is niet veel, namelijk een smart plug met internetverbinding en een applicatie voor het aansturen ervan is voldoende. Het aansturen zelf gebeurt aan de hand van een booleaanse waarde. Aan de hand van deze booleaanse waarde zal de backend het juiste signaal doorsturen naar de smart plug om deze in of uit te schakelen.

2.9. Industriële droogkast

De industriële droogkast is een van de niet-dringende bedrijfsprocessen die nog niet geïntegreerd is in de proefopstelling. Dit bedrijfsproces wordt gebruikt om de werkkledij van de eigenaar en de microvezeldoeken die de eigenaar gebruikt voor dieptereinigingen. De reden hiervoor is dat het component dat nodig is om de droogkast slim aan te sturen nog besteld moet worden. 1 van de redenen dat de droogkast geïntegreerd moet worden in de proefopstelling is omdat deze droogkast verouderd en energie-intensief is. Het component dat nog nodig is om deze droogkast slim aan te sturen is een smart plug.

2.10. protocollen

Aangezien er verschillende protocollen nodig zijn voor de apparaten, zoals de zonnepanelen en de laadpaal aan te spreken, worden deze hier uitgebreider besproken. De reden hiervoor is dat er een grondige voorkennis wordt opgedaan over de protocollen die gebruikt kunnen worden.

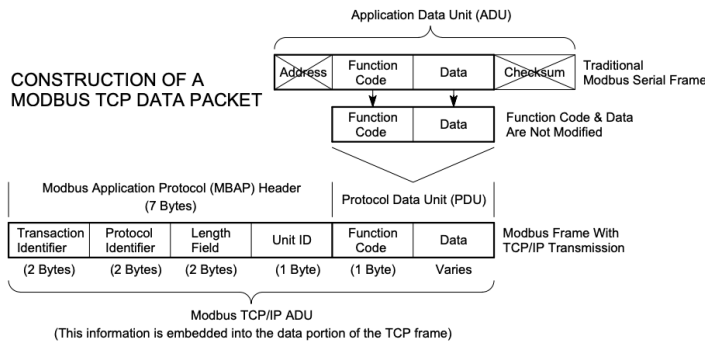
De protocollen die gebruikt gaan worden zijn versies van het Modbus protocol. Zo wordt voor de zonnepanelen Modbus TCP/IP gebruikt en voor laadpaal zal Modbus TCP/IP Slave connectie gebruikt worden.

"Het Modbus protocol is ontwikkeld in 1979 door Modicon, het werd oorspronkelijk ontwikkeld om industriële automatisering en Modicon controllers te programmeren. Sindsdien is het Modbus protocol een industrie standaard geworden voor het overdragen van discrete analoge I/O informatie en het registreren van data tussen industriële controle en monitoring apparaten."(Acromag, [2005](#))

"Apparaten die het Modbus protocol gebruiken om te communiceren, maken gebruik van een master-slave (client-server) techniek, waarin enkel 1 apparaat (de master of client) de transacties (anders verwoord queries) kan beginnen. De andere apparaten (slaves of servers) antwoorden door de gevraagde data door te geven aan de master, of door de actie door te voeren dat gevraagd werd in de query."(Acromag, [2005](#))

"Het Modbus TCP/IP ook wel Modbus-TCP genoemd protocol is het Modbus protocol met een TCP interface dat op ethernet draait." (Acromag, 2005) In afbeelding 2.2 wordt de constructie van een Modbus TCP Data pakket weergegeven.

Voor de laadpaal wordt het Modbus TCP/IP Slave protocol toegepast, wat wil zeggen dat de backend de master is en de laadpaal de slave die de data voorziet aan de backend.



Figuur (2.2)

Een grafische voorstelling van een Modbus TCP Data pakket. (Acromag, 2005)

2.11. Data registers

Aangezien het Modbus protocol gebruikt wordt om een verbinding te kunnen maken met de nodige apparatuur, moet ook bekend zijn welke data registers gebruikt moeten worden.

Om de metingen van de Siemens PAC2200 op te halen, wordt data register 65 uitgelezen, in dit register staat het totaal actief vermogen opgeslagen. Dit register is nodig om te weten of er energie opgewekt of aangekocht wordt. Nadat de waarde is opgehaald wordt er nog een berekening uitgevoerd om deze waarde in de juiste eenheid weer te geven.

Voor de laadpaal aan te sturen zijn er meerdere registers die gebruikt kunnen worden. Hier is een lijst van de data registers die carwash Clean Car belangrijk vindt:

- Modbus Slave Max Current (1210) - Dit register wordt gebruikt om de maximale stroom, die de laadpaal mag gebruiken, te bepalen.
- Real Energy Consumed Sum (390) - Dit register geeft weer hoeveel energie de laadpaal op dat moment gebruikt.
- Mode 3 state (1201) - Dit register geeft de laadmodus van de laadpaal weer.
- Temperature (1102) - Dit register geeft de temperatuur van de laadpaal weer.

- Charge using 1 or 3 phases (1215) - Met dit register kan bepaald worden of de laadpaal in single- of 3-phase moet laden.

Bij deze registers, hebben registers 1210 en 1215 read/write privileges en registers 390, 1201 en 1102 read privileges, dit betekent dat registers 1210 en 1215 ook gebruikt kunnen worden om de laadpaal aan te sturen. Registers 390, 1201 en 1102 daarentegen kunnen enkel aangesproken worden om waarden uit te lezen.

2.12. Authenticatie

Er zijn verschillende manieren om een gebruiker te authenticeren in een applicatie. Zo zijn er ook verschillende authenticatie providers die gebruikt kunnen worden, maar aangezien de applicatie die gebouwd wordt voor Carwash Clean Car een interne applicatie is, wordt er gebruikgemaakt van een zelf geschreven authenticatie service. Deze service zal een e-mailadres en wachtwoord verwachten van de gebruiker. De applicatie zal enkel aanspreekbaar zijn voor het netwerk van de carwash, maar ook via een VPN-connectie met het netwerk van de carwash door middel van het ip adres van de webserver in te geven in de webbrowser. Als deze correct zijn, zal de service een token terugsturen naar de applicatie. Dit token wordt dan gebruikt om de gebruiker te authenticeren in de applicatie.

2.13. Backend

Omdat er verschillende apparaten moeten aangestuurd worden, kan de vraag gesteld worden of dat deze allemaal rechtstreeks via de applicatie worden aangestuurd of dat er tussen de applicatie en de apparatuur, nog een extra service uitgewerkt wordt dat deze dan aanstuurt.

Een oplossing is dat er een backend met verschillende endpoints wordt opgesteld, zodat alle connecties met de apparaten makkelijk te testen vallen. De bedoeling is dan dat de applicatie de juiste waarden naar de juiste endpoints stuurt, zodat de apparaten niet rechtstreeks in contact met de applicatie komen te staan.

De endpoints van de backend zijn opgedeeld per apparaat. Dit wil zeggen dat alle requests voor het apparaat in kwestie naar de endpoint van het apparaat in kwestie worden doorgestuurd. Dit zijn de endpoints van de API:

- **Authenticatie:**
 - GET-request
 - * /login/:email
 - POST-request
 - * /login/create-user

- **Zonnepanelen:**

- GET-request
 - * /electricity/status

- **Laadpaal:**

- GET-request
 - * /charging-station/max-current
 - * /charging-station/energy-consumed-sum
 - * /charging-station/mode
 - * /charging-station/temp
 - * /charging-station/charge/1-3-phases
 - * /charging-station/auto-status
- POST-request
 - * /charging-station/update-max-current
 - * /charging-station/charge/update-1-3-phases

- **Beluchtingssysteem:**

- GET-request
 - * /blower/status
- POST-request
 - * /blower/update-status

2.14. Front end

De front end van de applicatie is een belangrijk deel van het volledige plaatje, omdat de eindgebruiker hier het meeste interactie mee heeft. Het framework dat gebruikt zal worden is React JS, omdat dit de voorkeur was van het bedrijf.

De reden dat dit de voorkeur is voor het bedrijf is omdat er veel documentatie en een actieve community over React JS beschikbaar is, dus als er een update nodig is aan het programma kan deze makkelijk door een derde partij doorgevoerd worden.

2.15. Samenvatting

In de literatuurstudie kwamen de belangrijkste spelers en methoden voor het besparen van energie aan bod. Zo is er een diepere kennis opgedaan over de spelers en methoden, met deze kennis kan er aan de proefopstelling gestart worden, om zo het project met succes af te kunnen ronden.

Zo is er te weten gekomen dat de 2 belangrijkste energieverbruikers de carwash en self-carwash zijn en dat de niet-dringende energieverbruikers bestaan uit de laadpaal, het beluchtingssysteem van het water en de industriële droogkast.

Als alle energieverbruikers geweten zijn, werden er methoden gezocht om de energiefactuur te verlagen. De 4 onderzochte methoden zijn: peak shaving, bidirectioneel laden van batterijen, het gebruik van algoritmen om de bedrijfsprocessen automatisch aan te sturen en energiebeheersystemen. Uit de onderzochte methoden bleek dat het gebruik van bidirectioneel laden nog niet kan toegepast worden in de carwash, aangezien de juiste infrastructuur nog niet aanwezig is. Zo is er gekozen om de andere 3 methoden toe te passen binnen de applicatie.

Na het bespreken van de methoden zijn de verschillende niet-dringende energieverbruikers en apparaten voor energieopbrengst besproken. In de hoofdstukken van de niet-dringende energieverbruikers is er dieper ingegaan op hoe deze apparatuur werkt en indien de apparatuur zelf niet slim aangestuurd kan worden, wat de benodigheden zijn om dit wel te kunnen. Zo is er bij de laadpaal besloten dat de communicatie via het Modbus TCP/IP Slave protocol moet gebeuren. Bij de zonnepanelen werd de conclusie getrokken dat er 2 monitorsystemen in de carwash geïnstalleerd zijn, namelijk de Solarlog 1000 van Solarinventors en de Siemens PAC2200, maar dat de monitor van Siemens ook de aangekochte energie kan raadplegen en de monitor van Solarinventors deze functionaliteit niet heeft. Voor het beluchtingssysteem van het water en de industriële droogkast aan te sturen zijn er smart plugs nodig. Aangezien er 1 smart plug aanwezig is in het bedrijf, dat geïnstalleerd staat bij het beluchtingssysteem, is besloten de industriële droogkast momenteel nog niet te integreren in de proefopstelling.

Het laatste deel van de literatuurstudie bevat de gebruikte protocollen, data registers, authenticatie van de applicatie, de backend en de front end. In het deel van de protocollen werd waargenomen dat enkel verschillende variaties van het Modbus protocol nodig zijn in de proefopstelling. In het hoofdstuk van de data registers werden de door het bedrijf gekozen data registers besproken en aangehaald wat deze juist deden. De authenticatie is zelf geschreven, omdat het een applicatie is die enkel beschikbaar is via het netwerk van de carwash. De conclusie van de backend bevatte alle endpoints van de API, zodat de webapplicatie niet rechtstreeks met de apparaten moet communiceren. In het deel van de front end werd de keuze van het gebruikte framework verantwoord.

3

Methodologie

3.1. Literatuurstudie

Om het onderzoek te starten wordt er eerst een literatuurstudie uitgevoerd. De literatuurstudie is opgedeeld in 3 delen. Elk deel van de literatuurstudie focust zich op een klein onderdeel van de onderzoeksvraag. Eens een deel is afgewerkt, komt hier een lijst uit voort met mogelijke oplossingen die gebruikt kunnen worden in het volgende deel.

3.1.1. Deel 1

Het eerste deel bestaat uit het bepalen van het energieverbruik van de belangrijkste bedrijfsprocessen en de niet-dringende bedrijfsprocessen, om dan concepten en methoden te bespreken die het gebruikt kunnen worden om het energieverbruik efficiënter te laten verlopen, dat zo de energiefactuur verlaagt.

3.1.2. Deel 2

In het tweede deel wordt namelijk onderzocht hoe de gevonden concepten en methoden kunnen toegepast worden op de niet-dringende bedrijfsprocessen. Op het einde van dit deel is er bekend welke bedrijfsprocessen en concepten en methoden in de proefopstelling gebruikt kunnen worden.

3.1.3. Deel 3

Het laatste deel van deze studie bestaat uit het onderzoeken van de samenwerking van de componenten en gevonden concepten en methoden die gebruikt worden in de proefopstelling. Zodat het ontwikkelen van de proefopstelling vlot te werk gaat.

3.2. Analyse van de vereisten

In dit hoofdstuk worden de vereisten vastgelegd voor de proefopstelling, dit gebeurt aan de hand van een requirementsanalyse. Aan de hand van deze vereisten wordt dan afgewogen welke componenten zeker in de proefopstelling verwerkt moeten zitten.

3.3. Proefopstelling

Na het hoofdstuk van de analyse van de vereisten wordt er een proefopstelling ontwikkeld met de gekozen bedrijfsprocessen en de gekozen concepten en methoden. Hierbij wordt een webapplicatie ontwikkeld die minimum volgende functionaliteit moet bevatten:

- Het inloggen en uitloggen van een gebruiker.
- Het aansturen van de bedrijfsprocessen.
- Het weergeven van het huidige energieverbruik.

De proefopstelling bevat ook backend applicatie die de volgende verzoeken van de webapplicatie afhandeld:

- Het inloggen en uitloggen van een gebruiker.
- De aansturing van de bedrijfsprocessen, volgend uit de verzoeken van de webapplicatie.
- De data opvragen voor de weergave van het huidige energieverbruik

De combinatie van deze 2 applicaties zorgt dan voor het eindproduct van deze fase.

3.4. Testen van de proefopstelling

De volgende stap in de bachelorproef is het testen en verbeteren van de bachelorproef. Dit is een herhalend proces, zodat de proefopstelling zeker voldoet aan de verwachtingen van het bedrijf en de doelstellingen van deze bachelorproef. Het eindproduct van deze fase is een lijst van doorgevoerde verbeteringen. Deze verbeteringen worden dan besproken in dit hoofdstuk.

3.5. Conclusie

De laatste fase van deze bachelorproef is het schrijven van een conclusie. Hier wordt de finale versie van de proefopstelling en de verbeteringen tegenover vorige versies besproken. Er worden ook oplossingen van methoden aangeboden die in de literatuurstudie besproken zijn, maar niet binnen de proefopstelling passen. Het eindproduct van deze fase is een conclusie over de finale versie proefopstelling en

een advies van aanpassingen die geïmplementeerd kunnen worden om het verbruik van het bedrijf nog verder te optimaliseren.

4

Analyse van de vereisten

In dit hoofdstuk is het de bedoeling om de vereisten voor de applicatie te bespreken, dit gebeurt door eerst een lijst van de vereisten op te stellen, om nadien elke vereiste apart uit te leggen waarom deze nodig is. Na het bespreken van deze vereisten wordt gekeken welke methoden en componenten er gebruikt kunnen worden in de applicatie. Het bepalen van de methoden en componenten die zeker in de applicatie moeten verwerkt zijn gebeurt aan de hand van de vereisten.

4.1. Inloggen en uitloggen van een gebruiker

Aangezien de webapplicatie gevoelige informatie van het bedrijf weergeeft, moet deze informatie afgeschermd worden. Hiervoor zal er een mailadres en wachtwoord worden gevraagd. Als de combinatie van het mailadres en wachtwoord kloppen zal deze gebruiker ingelogd worden. Als de gebruiker wilt uitloggen, zal deze op de knop voor het uitloggen moeten drukken.

4.2. Aanmaken van nieuwe gebruikers

Omdat de webapplicatie privaat is mogen enkel ingelogde gebruikers nieuwe gebruikers aanmaken. Dit is een extra vorm van beveiliging, zodat niet iedereen een account kan aanmaken voor de webapplicatie. Het mailadres dat gelinkt is aan de gebruiker die ingelogd is, zal automatisch een mail verzenden naar het mailadres van de nieuwe gebruiker met een login en een tijdelijk wachtwoord. Het tijdelijk wachtwoord kan nadien nog veranderd worden in de gebruikersinstellingen.

4.3. Weergave van het huidige energieverbruik, de huidige opgewekte energie en de huidige aangekochte energie

Het bedrijf wil graag weten wat het huidige energieverbruik is van alle bedrijfsprocessen die op dat moment aan staan. Dit wordt weergegeven aan de hand van een grafiek, aan de hand van deze grafiek kan het bedrijf ook de huidige opgewekte energie en de huidige aankoop van energie raadplegen. Deze grafiek wordt live geüpdatet, zodat deze altijd de laatste data bevat.

4.4. Manuele overschrijving van een bedrijfsproces

Elk bedrijfsproces moet een optie hebben om deze manueel aan te sturen. Als een bedrijfsproces manueel aangestuurd wordt, mogen de algoritmes deze niet uitschakelen of aansturen. Dit is nodig indien het bedrijf een bedrijfsproces dringend nodig heeft, maar er niet genoeg energie is om dit bedrijfsproces aan te sturen.

4.5. Weergave van de status, modus, temperatuur, huidige laadvermogen en het huidige energieverbruik van de laadpaal

Voor al deze informatie weer te geven wordt de data in tekstvelden gestoken die automatisch veranderen wanneer de data wijzigt. De tekstvelden zullen dus altijd de laatste informatie bevatten van de laadpaal.

4.6. Aansturen van de laadpaal

Het aansturen van de laadpaal bevat het instellen van het maximumvermogen de laadpaal mag verbruiken en of de laadpaal enkel- of driefasig moet laden. Het maximum vermogen zal aangestuurd kunnen worden aan de hand van vooraf bepaalde vermogens en een invoerveld om het vermogen zelf te bepalen. Aangezien er maar 2 opties zijn voor in hoeveel fasen de laadpaal moet laden, zal dit bepaald worden aan de hand van een knop.

4.7. Weergeven van de huidige status van het beluchtings-systeem

Het beluchtingssysteem moet ook een status hebben die weergegeven wordt in de webapplicatie. Deze status zal weergegeven worden aan de hand van een tekstveld dat automatisch verandert wanneer de status wijzigt

4.8. Lijst met te gebruiken methoden en componenten

Om de applicatie te maken zijn de volgende methoden en componenten nodig:

- Algoritmes
- Het Modbus protocol
- De laadpaal
- De registers die nodig zijn voor het aansturen van de laadpaal
- De Siemens PAC2200
- De Solarlog 1000
- Een smartplug voor het beluchtingssysteem
- Het principe van peak shaving

De batterijen voor energieopslag zijn niet van toepassing op het bedrijf, aangezien deze nog niet geïnstalleerd zijn. Hierdoor moet er nog geen rekening gehouden worden met het concept van bidirectioneel laden. Het kan wel dat deze module later bijgebouwd moet worden in de applicatie, eens de batterijen geïnstalleerd zijn, zodat deze ook automatisch aangestuurd wordt.

Een ander component dat niet aanwezig is in de proefopstelling is de industriële droogkast. Dit komt doordat er nog geen smart plug aangekocht is voor het aansturen van dit component. Dit zal later dan nog geïntegreerd moeten worden met de applicatie.

5

Proefopstelling

5.1. Inleiding

In dit deel van de bachelorproef wordt er besproken, hoe de proefopstelling opgezet is, welke problemen zich voordoen tijdens het opzetten van de proefopstelling, hoe deze problemen opgelost zijn, welke problemen er zich voordoen tijdens het ontwikkelen van de applicatie en hoe deze opgelost zijn geweest. Het einddoel van dit hoofdstuk is een werkende applicatie te hebben.

5.2. Installatieproces van alle nodige software

Het eerste wat gebeurd is, is het installeren van het besturingssysteem op de Raspberry Pi. Het besturingssysteem op de SD-kaart zetten ging vlot aangezien het team van Raspberry Pi, hier zelf een tool voor heeft gecreëerd. In deze tool kan er gekozen worden op welk Raspberry Pi model het besturingssysteem geïnstalleerd moet worden, zo worden alle besturingssystemen weergegeven die compatibel zijn met het gekozen model. Na het kiezen van het besturingssysteem zijn er al instellingen ingesteld geweest via de tool, zo is er al een standaard WIFI-connectie opgezet, een gebruiker aangemaakt en is het SSH-protocol aangezet geweest.

De volgende stap was het installeren van node-red, deze installatie is vlot verlopen, aangezien er op de website van node-red een commando staat voor de command-line die alle nodige software installeert voor een basis node-red installatie ¹.

De laatste stap van het installeren van alle nodige software was het aanmaken van de React JS applicatie, deze applicatie maakt gebruik van het Next JS framework

¹Het commando kan teruggevonden worden op deze website: <https://nodered.org/docs/getting-started/raspberrypi>. Deze link is bezocht op 14 mei 2024.

met tailwind CSS. Dit is de basis van de webapplicatie, tijdens het ontwikkelen worden er nog extra packages geïnstalleerd om het ontwikkelen van de applicatie makkelijker te maken.

5.3. Ontwikkelen van de backend

De backend bestaat uit verschillende flows met elk hun eigen functionaliteit. Door het project op te delen in verschillende flows is het makkelijk te onderscheiden waar welke functionaliteit staat.

5.3.1. Flow 1: Authenticatie

De eerste flow wordt gebruikt voor het inloggen en aanmaken van een gebruiker. Het inloggen van een gebruiker gebeurt aan de hand van het ophalen van de gebruiker informatie uit de databank met het mailadres dat wordt doorgegeven. Als er een mailadres van een gebruiker overeenkomt met het doorgegeven mailadres, dan wordt de gebruikersinformatie teruggegeven. Zo kan de webapplicatie kijken of het gehashte wachtwoord overeenkomt met het opgegeven wachtwoord.

5.3.2. Flow 2: Electricity

Deze flow wordt gebruikt voor het ophalen van het huidige energieverbruik, de huidige energieopbrengst en de huidige aankoop van energie. Zo worden al deze waarden teruggegeven in een JSON object. In deze flow worden ook berekeningen uitgevoerd zodat de waarden in het juiste formaat worden weergegeven.

5.3.3. Flow 3: Charging Station

In deze flow worden alle requests van de laadpaal afgehandeld. Zo wordt voor elke GET-request de waarde opgehaald via het modbus protocol en opgeslagen in een globale variabele. De waarde van de globale variabele wordt dan opgeroepen en in een JSON object gestoken, zodat dit JSON object teruggestuurd kan worden.

De POST-requests krijgen een body mee, vanuit de webapplicatie, aan de hand van deze body wordt de juiste waarde doorgegeven aan de laadpaal zijn register. Zodat de laadpaal aangestuurd kan worden.

5.3.4. Flow 4: Blower

Deze flow dient voor het aansturen van het beluchtingssysteem van het water. Zo zijn er 2 requests die afgehandeld moeten worden, namelijk 1 GET-request en 1 POST-request. De GET-request wordt gebruikt om te weten of het beluchtings-systeem ingeschakeld is.

De POST-request krijgt een body mee, vanuit de webapplicatie, de waarde in deze

body is een booleaanse waarde. Aan de hand van deze booleaanse waarde kan het beluchtingsysteem dan ingeschakeld worden.

5.3.5. Flow 5: Algoritmen

De laatste flow bevat de algoritmen om de bedrijfsprocessen automatisch aan te sturen. In deze flow zijn er 2 algoritmen aanwezig, het eerste algoritme zal de prioriteiten van de bedrijfsprocessen bepalen en in de databank stockeren. Nadien kan het tweede algoritme bepalen welke bedrijfsprocessen ingeschakeld kunnen worden, en deze dan inschakelen. In codefragment 5.3.1 wordt het prioriteitsalgoritme weergegeven.

```
1      let elektriciteitStatus = flow.get("elektriciteitStatus");
2      let autoStatus = flow.get('autoStatus');
3      let prioriteit = {
4          "auto": 1,
5          "blower": 2
6      }
7
8      if (elektriciteitStatus[0].huidigVerbruik < 0) {
9          if (elektriciteitStatus[0].huidigVerbruik < -14 &&
10             autoStatus[0].batterij < 60) {
11              prioriteit.auto = 1;
12              prioriteit.blower = 2;
13          } else {
14              prioriteit.blower = 1;
15              prioriteit.auto = 2;
16          }
17      }
18      msg.payload = prioriteit;
19
20      return msg;
```

Listing 5.3.1: Dit algoritme bepaald de prioriteiten van de bedrijfsprocessen.

5.4. Ontwikkelen van de webapplicatie

De webapplicatie is ontwikkeld in React JS. De styling van de applicatie is gebeurd met Tailwind CSS. In de broncode van de applicatie worden verschillende thema packages gebruikt, de meest gebruikte packages zijn ShadCn UI en ChartJS. ShadCn UI is een library met verschillende componenten, deze componenten kunnen verder gepersonaliseerd worden met Tailwind CSS. ChartJS wordt gebruikt om de gra-

fiek van het elektriciteitsverbruik te genereren.

6

Testresultaten

In dit hoofdstuk worden alle routes van de API getest en verbeterd als er fouten in zitten. Bij het testen van de API wordt er gekeken of deze aan bepaalde criteria voldoet. Deze criteria zijn:

- De API is opgedeeld in verschillende routes.
- Elke route stuurt een JSON object terug.
- Routes met gevoelige data zijn niet publiek beschikbaar.

6.1. Testen van de authenticatie flow

6.1.1. Login

Deze route geeft een JSON object terug als er een email wordt gezocht. Indien er geen email meegegeven is geeft deze route een error. De route kan niet afgeschermd worden, dus voldoet deze route aan alle testcriteria.

6.1.2. Gebruiker aanmaken

Deze route geeft, indien een gebruiker aangemaakt is, een JSON object terug. Als het aanmaken van een gebruiker niet lukt, geeft deze route de fout weer. De route moet afgeschermd zijn, aangezien enkel actieve gebruikers nieuwe gebruikers kunnen aanmaken. Het afschermen van deze route gebeurde eerst niet en is aangepast dat dit wel gebeurt. Na de aanpassingen voldoet deze route aan alle testcriteria.

6.2. Testen van de electricity flow

6.2.1. Status

Deze route geeft 3 waarden terug in een JSON object, deze waarden zijn: het huidige verbruik, de huidige opbrengst en de huidige import van energie. Deze route moet afgeschermd worden, omdat deze data bevat die niet iedereen mag zien. Dit gebeurde eerst niet en is aangepast zodat dit wel gebeurt. Na de aanpassingen voldoet deze route aan alle criteria.

6.3. Testen van de Charging station flow

6.3.1. Max current

Deze route geeft de maximale stroom die de laadpaal mag gebruiken weer. De waarde die deze route teruggeeft wordt in een JSON object gestoken. Deze route moet afgeschermd worden aangezien deze gevoelige data bevat. Het afschermen van de route gebeurde eerst niet, dit is aangepast geweest. Na de aanpassingen voldoet deze route aan alle criteria.

6.3.2. Energy consumed sum

Deze route geeft weer hoeveel energie de laadpaal op dat moment gebruikt. Deze waarde wordt in een JSON object gestoken. Deze route moet afgeschermd worden omdat deze gevoelige data bevat. Deze route voldoet aan alle criteria.

6.3.3. Mode

Deze route geeft weer in welke modus de laadpaal staat. Deze waarde wordt in een JSON object gestoken. Deze route moet afgeschermd worden, omdat aan de hand van de modus, er bepaalde informatie teruggevonden kan worden in de handleiding van de laadpaal. Het afschermen van de route is nog niet geïmplementeerd. Na deze aanpassing voldoet deze route aan alle criteria.

6.3.4. Temp

Deze route geeft de temperatuur in graden celsius van de laadpaal weer. Deze waarde wordt in een JSON object gestoken. Deze route moet niet afgeschermd worden, omdat de temperatuur van de laadpaal een niet belangrijk gegeven is. Deze route voldoet aan alle criteria.

6.3.5. 1 or 3 phases

Deze route geeft weer of de laadpaal eenfasig of driefasig aan het laden is. Deze waarde wordt in een JSON object gestoken. De route moet afgeschermd zijn, omdat deze gevoelige data over de laadpaal weergeeft. De afscherming van deze route moet nog geïmplementeerd worden, eens dit gebeurt is, voldoet deze route

aan alle criteria.

6.3.6. Auto status

Deze route geeft het batterijpercentage en het kilometer bereik van de auto weer. Deze waarden worden in een JSON object gestoken. De route moet afgeschermd worden, omdat deze gevoelige data over de auto weergeeft. De afscherming van deze route moet nog geïmplementeerd worden, eens dit gebeurd is, voldoet deze route aan alle criteria.

6.3.7. Update max current

Deze route wordt gebruikt om de maximale stroom die de laadpaal mag gebruiken te wijzigen. Deze route geeft een JSON object terug met een melding, deze melding bevat of het wijzigen van deze waarde gelukt is. De route moet afgeschermd worden, omdat deze wijzigingen kan aanbrengen in de laadpaal. De afscherming van deze route moet nog geïmplementeerd worden, eens dit gebeurd is, voldoet deze route aan alle criteria.

6.3.8. update 1 or 3 phases

Deze route wordt gebruikt om te schakelen tussen eenfasig en driefasig laden. Deze route geeft een JSON object terug met een melding, deze melding bevat of het wijzigen van deze waarde gelukt is. De route moet afgeschermd worden, omdat deze wijzigingen kan aanbrengen in de laadpaal. De afscherming van deze route moet nog geïmplementeerd worden, eens dit gebeurd is, voldoet deze route aan alle criteria.

6.4. Testen van de Blower flow

6.4.1. Status

Deze route wordt gebruikt om de status van het beluchtingssysteem op te halen. Deze status wordt in een JSON object gestoken. De route moet afgeschermd worden, omdat deze gevoelige data over het beluchtingssysteem weergeeft. De afscherming van deze route moet nog geïmplementeerd worden, eens dit gebeurd is, voldoet deze route aan alle criteria.

6.4.2. Update status

Deze route wordt gebruikt om de status van het beluchtingssysteem te wijzigen. Deze route geeft een JSON object terug met een melding, deze melding bevat of het wijzigen van deze waarde gelukt is. De route moet afgeschermd worden, omdat deze wijzigingen kan aanbrengen in de laadpaal. De afscherming van deze route moet nog geïmplementeerd worden, eens dit gebeurd is, voldoet deze route aan alle criteria.

7

Conclusie

In dit onderzoek werd er gezocht naar een antwoord op de onderzoeksvraag: “Hoe kan het bedrijf carwash Clean Car zijn maandelijkse energiefactuur verlagen door het slim aansturen van laadpalen en elektriciteit-intensieve bedrijfsprocessen aan de hand van een custom geschreven applicatie?”. Om op deze vraag een antwoord te vinden werden eerst de deelvragen beantwoord aan de hand van een literatuurstudie en een proefopstelling.

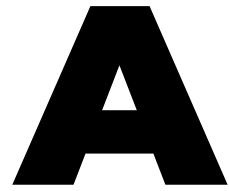
In de literatuurstudie zijn eerst de verschillende energieverbruikers bepaald, deze energieverbruikers kunnen dan opgedeeld worden in 2 groepen, namelijk dringende en niet-dringende bedrijfsprocessen. De dringende bedrijfsprocessen bestaan uit het aansturen van de tunnel van de carwash en de selfcarwash. De niet-dringende bedrijfsprocessen bestaan uit de laadpaal, het beluchtingssysteem van het water en de industriële droogkast.

Na het bespreken van de energieverbruikers zijn er uit de literatuurstudie verschillende concepten om de energiefactuur te verlagen voortgekomen. Zo is er gesproken over Peak Shaving, bidirectioneel laden, het gebruik van algoritmen en energiebeheersystemen.

Het besluit over peak shaving is dat het toegepast kan worden in de proefopstelling. Hierdoor is dit ook geïmplementeerd in de applicatie. Bidirectioneel laden kan momenteel nog niet gebruikt worden, aangezien de laadpaal die momenteel geïnstalleerd staat dit nog niet ondersteunt. Het gebruik van algoritmen kan wel toegepast worden in de proefopstelling, maar kan nog verder uitgewerkt worden voor specifieke scenario's die nog niet konden getest worden. Het energiebeheersysteem is uiteindelijk een groot onderdeel van de proefopstelling geworden, aangezien er via de applicatie alle bedrijfsprocessen aangestuurd kunnen worden, valt

dit onder de categorie van een energiebeheersysteem.

Indien het bedrijf later toch gebruik wil maken van bidirectioneel laden, zou er ook onderzoek gedaan kunnen worden over hoe batterijen aangesloten kunnen worden voor het opslaan van energie. Met de bedoeling de opgeslagen energie later te gebruiken wanneer de energieprijis hoger is.



Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

A.1. Abstract

De overheid stimuleert bedrijven om elektrische voertuigen aan te kopen. Wat gunstig is voor het milieu, maar ook uitdagingen met zich meebrengt voor bedrijven. Zo moeten er laadpalen geplaatst worden om de auto's op te laden. Hierdoor gaan de bedrijven meer energie verbruiken aangezien de personeelsleden de auto's laden tijdens de kantooruren. Maar hoe kan het bedrijf Carwash Clean Car zijn laadpalen voor auto's laten aansturen via een custom geschreven applicatie om zo het energieverbruik te optimaliseren? Dit onderzoek zal hier een antwoord op geven aan de hand van een literatuurstudie, waar er verschillende technologieën worden bekeken, welke connecties moeten gemaakt worden om de juiste dataregisters aan te spreken van de laadpalen en monitoring van het energieverbruik. Na de literatuurstudie wordt er een proefopstelling opgesteld om de gevonden informatie toe te passen, om zo een web applicatie te maken voor het bedrijf. Deze applicatie zal dan ook door het bedrijf benut worden, om zo het energieverbruik van bepaalde processen te optimaliseren en zo de energiekosten te verlagen.

A.2. Introductie

Bedrijven kopen veel vaker elektrische wagens aan, omdat deze aankoop fiscaal voordeliger is tegenover de aankoop van wagens die rijden op fossiele brandstoffen. Elektrische wagens zijn, momenteel, namelijk 100% fiscaal aftrekbaar. Ten gevolge van deze aankoop, plaatsen bedrijven laadpalen, zodat de medewerkers hun

wagen aan het bedrijf kunnen opladen. Dit zorgt ervoor dat bedrijven hun maandelijkse energiefactuur beginnen te stijgen, want hoe meer laadpalen er gebruikt worden, hoe meer elektriciteit er verbruikt wordt. Boven op de vorige reden, dienen bedrijven vanaf werkjaar 2023 een toegangsvermogen te bepalen. Dit toegangsvermogen uitgedrukt in kilowatt, is een eigen inschatting van het maandelijkse piekvermogen. Het maandelijkse piekvermogen bevat het kwartier in de maand met het hoogste verbruik, anders verwoordt is dit het hoogste gemiddelde vermogen, gemeten in een kwartier. Er wordt een boete aangerekend wanneer het werkelijk maandelijkse piekvermogen hoger ligt dan het eigen opgegeven toegangsvermogen. Dit bedrag is gebaseerd op het verschil tussen het te hoge piekvermogen en het doorgegeven toegangsvermogen. Die waarde in kilowatt wordt dan 12 maanden lang aangerekend volgens een tarief dat 50% hoger ligt dan het toegangsvermogen.¹

De regel van het piekvermogen geldt ook voor Carwash Clean Car, een kleine zelfstandige, gelegen te Dendermonde. De eigenaar van deze carwash zoekt hierdoor naar een oplossing om de maandelijkse energiefactuur te verlagen. De eigenaar heeft al een aantal maatregelen getroffen om de energiefactuur te verlagen. Er werden zonnepanelen geplaatst en de eigen voertuigen worden enkel opgeladen bij voldoende zonlicht of na 22 uur, omdat er dan gebruik wordt gemaakt van het nachttarief. Maar de wagens enkel laden bij voldoende zonuren helpt niet om de energiefactuur te verlagen, omdat de eigenaar bij deze maatregel niet mag vergeten om de wagen los te koppelen van het net wanneer er onvoldoende zonlicht is. Daarom wordt er in deze bachelorproef onderzoek gedaan om de volgende vragen te beantwoorden: "Hoe kan het elektriciteitsverbruik van het bedrijf Carwash Clean Car gemonitord worden, zodat het verbruik van de laadpalen voor voertuigen geoptimaliseerd kan worden door middel van een custom applicatie?", "Kan het elektriciteitsverbruik van Carwash Clean Car geoptimaliseerd worden door elektriciteits intensieve processen aan te sturen via de custom applicatie?", "Is er een mogelijkheid om andere bedrijfsprocessen aan te sturen via de applicatie door middel van smart plugs?".

Als het onderzoek succesvol is, kan de eigenaar van Carwash Clean Car het energieverbruik van de laadpalen optimaliseren door een custom geschreven applicatie te ontwikkelen. Het onderzoek van de literatuurstudie zal de nodige informatie leveren voor het ontwikkelen van deze applicatie, door verschillende technologieën te onderzoeken, de juiste connecties te maken en het energieverbruik te monitoren. Na het onderzoek wordt een prototype van de applicatie gemaakt, die wordt gebruikt om de gevonden informatie te testen.

¹Deze informatie is gevonden op de website van Fluvius.

A.3. literatuurstudie

A.3.1. Inleiding

In dit deel van het voorstel is onderzoek gedaan naar verschillende types laadpalen voor wagens, het monitoren van zonne-energie en de behoeften voor het aansturen van laadpalen en het uitlezen van dataregisters. Tot slot wordt bekeken of het mogelijk is om een progressive web app te maken.

A.3.2. Laadpalen

Er zijn verschillende laadpalen voor elektrische voertuigen. Momenteel is er één laadpaal op het domein van het bedrijf. De laadpaal die gebruikt wordt is de Eve Single S-line van Alfen. Deze laadpaal is gekozen geweest, omdat er in het bedrijf een hoogspanningscabine aanwezig is en deze laadpaal daar op aangesloten moest worden.

A.3.3. Zonnepanelen

Het bedrijf gebruikt zonnepanelen om de energiefactuur te verlagen. Het zou dan ook de bedoeling zijn om deze zonnepanelen nuttig te gebruiken, door middel van het monitoren van de data van de zonnepanelen. Deze data zou dan kunnen gebruikt worden om de laadpalen slim aan te sturen.

A.3.4. Modbus protocol

Het Modbus protocol is een communicatieprotocol dat gebruikt wordt om dataregisters uit te lezen van verschillende apparaten. Het protocol werd origineel geïmplementeerd als een applicatie-level protocol dat gebruikt zou worden om data te versturen over een seriële laag, maar is ondertussen uitgebreid naar implementaties over seriële, TCP/IP en de user datagram protocol (UDP) ². Met dit protocol kunnen er verschillende data registers uitgelezen worden, zoals de status van de laadpaal, het verbruik van de laadpaal, de spanning van de laadpaal, de energie die zonnepanelen momenteel opbrengen. Het protocol zal gebruikt worden om de dataregisters uit te lezen en opdrachten te versturen naar de laadpalen.

A.3.5. Backend

De backend van de applicatie zal geschreven worden in Node-RED. Node-RED is een visuele tool die wordt gebruikt om applicaties te maken door middel van het verbinden van verschillende nodes. Deze nodes kunnen verschillende taken uitvoeren, zoals het versturen van een e-mail, het versturen van een HTTP request, ... Hier wordt Node-RED gebruikt om de dataregisters uit te lezen van de laadpalen en zonnepanelen. Deze data wordt dan opgevraagd door de progressive web app. De progressive web app zal dan op zijn beurt de data gebruiken om de laadpalen

²Deze informatie is gevonden op de website van NI

aan te sturen.

A.3.6. Progressive web app

De progressive web app zal geschreven worden in ReactJS. ReactJS is een JavaScript library die wordt gebruikt om user interfaces te maken. De progressive web app zal gebruikmaken van de data die opgevraagd wordt door de backend om de laadpalen aan te sturen. Deze data van de zonnepanelen zal in een grafiek gegoten worden zodat de eigenaar een idee heeft van hoeveel energie er wordt verbruikt en hoeveel energie er wordt opgewekt. De progressive web app zal ook een overzicht geven van de laadpalen, waar de eigenaar de laadpalen kan aansturen.

A.3.7. Dataregisters

Online zijn er lijsten te vinden over de dataregisters van de laadpalen en zonnepanelen. Voor deze bachelorproef wordt er gebruik gemaakt van lijst die beschikbaar is op de website van Alfen (2020). De lijst van de dataregisters van de zonnepanelen staat op de website van SolarInvestors ³.

A.4. Methodologie

A.4.1. Literatuurstudie

Om het onderzoek te starten wordt er eerst een literatuurstudie gedaan. Hierbij wordt er meer informatie gezocht over de verschillende apparaten die nodig zijn om het onderzoek succesvol te laten verlopen. Er wordt ook gekeken naar de verschillende technologieën die gebruikt kunnen worden om de laadpalen aan te sturen en de dataregisters uit te lezen. Deze informatie komt uit wetenschappelijke artikelen en de documentatie van de technologieën. De voorkennis dat er verkregen is, is dan ook het eindresultaat van deze literatuurstudie. Het opstellen van de literatuurstudie gebeurt in de eerste 3 weken van het onderzoek.

A.4.2. Selectie van de technologieën

Aan de hand van de literatuurstudie wordt er een selectie gemaakt van de technologieën die gebruikt zullen worden in het onderzoek. Er wordt gekeken naar welke technologieën het meest geschikt zijn voor het onderzoek en de haalbaarheid van de implementatie. De enddeliverable van deze fase is een lijst met de technologieën die gebruikt zullen worden in het onderzoek. Deze fase wordt uitgevoerd in de 4de week van het onderzoek.

A.4.3. Ontwikkeling van de proefopstelling

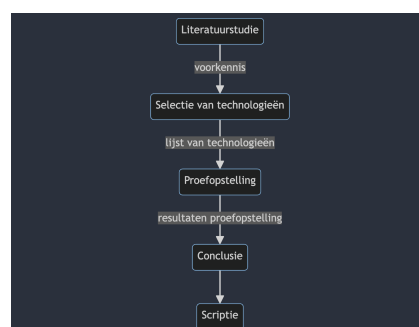
Na de selectie van de technologieën wordt er een proefopstelling ontwikkeld. Hierbij wordt een progressive web app gemaakt die de laadpalen kan aansturen in het

³Deze informatie is gevonden op de website van SolarInvestors

lokale netwerk. De progressive web app zal ook de data van de zonnepanelen uitlezen, om zo de laadpalen te kunnen aansturen. Naast de progressive web app zal er ook een backend applicatie geschreven worden die de verzoeken afhandelt tussen de progressive web app en de laadpalen. De end deliverable van deze fase is een werkende proefopstelling. Deze fase wordt uitgevoerd in de 5de tot en met de 9de week van het onderzoek.

A.4.4. conclusie

Na het ontwikkelen van de proefopstelling wordt er een conclusie geschreven. Hierbij wordt er gekeken of de proefopstelling voldoet aan de verwachtingen en de doelstellingen van het onderzoek. De end deliverable van deze fase is een conclusie. Deze fase wordt uitgevoerd in de 10de week van het onderzoek.



Figuur (A.1)

flowchart diagram van de methodologie.

A.5. Verwacht resultaat, conclusie

A.5.1. Verwacht resultaat

De verwachte resultaten van het onderzoek zijn dat het elektriciteitsverbruik van het bedrijf Carwash Clean Car meer afgevlakt wordt, dit kan door het monitoren en beheren van hun elektriciteitsverbruik. Hierbij kan er gezien worden hoeveel energie er wordt aangekocht. Deze gegevens kunnen geanalyseerd worden, om zo de elektrische voertuigen automatisch van het bedrijf te laten laden wanneer er groene energie over is.

A.5.2. Conclusie

De conclusie van het onderzoek is dat het mogelijk is om het elektriciteitsverbruik van het bedrijf Carwash Clean Car te monitoren en te beheren. Dit kan door het monitoren van de dataregisters van de laadpalen en de zonnepanelen. De dataregisters van de laadpalen en de zonnepanelen kunnen uitgelezen worden door middel van het Modbus protocol. De dataregisters van de laadpalen en de zonnepanelen kunnen uitgelezen worden door middel van een backend applicatie die geschreven is in Node-RED. De progressive web app zal de data van de laadpalen en de zonnepanelen gebruiken om de laadpalen aan te sturen. De progressive web app zal geschreven worden in ReactJS.

Bibliografie

- Acromag, I. (2005, januari 1). *Introduction to modbus TCP/IP*. Verkregen april 17, 2024, van https://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro_modbustcp.pdf
- Alfen. (2020, oktober 30). *Modbus Slave TCP/IP*. Verkregen december 10, 2023, van <https://alfen.com/file-download/download/public/1610>
- Anuja, G., Rhenie, S. E. K., Remsangpuii, K., Sridhar, M. R., Sridharan, R., & Elango, S. (2024). Bidirectional Charger for Electric Vehicle Applications. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, 2(03), 520–528. <https://doi.org/10.47392/irjaeh.2024.0075>
- Dubarry, M., Devie, A., & McKenzie, K. (2017). Durability and reliability of electric vehicle batteries under electric utility grid operations: Bidirectional charging impact analysis. *Journal of Power Sources*, 358, 39–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.05.015>
- Elvan, F. (2017). A Modular Single-Phase Bidirectional EV Charger with Current Sharing Optimization. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:35429705>
- Falope, T., Lao, L., Hanak, D., & Huo, D. (2024). Hybrid energy system integration and management for solar energy: A review. *Energy Conversion and Management: X*, 21, 100527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100527>
- Hemavathi, S., & Shinisha, A. (2022). A study on trends and developments in electric vehicle charging technologies. *Journal of Energy Storage*, 52, 105013. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105013>
- Kumar, A. (2022, oktober 16). *Different Types of Batteries used in EV vehicles* (Skill-Lync, Red.). Verkregen mei 12, 2024, van <https://skill-lync.com/blogs/different-types-of-batteries-used-in-ev-vehicles>
- Lazzeroni, P., Olivero, S., Repetto, M., Stirano, F., & Vallet, M. (2019). Optimal battery management for vehicle-to-home and vehicle-to-grid operations in a residential case study. *Energy*, 175, 704–721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.113>
- Monteiro, V., Ferreira, J. C., Meléndez, A. A. N., & Afonso, J. L. (2013). Electric Vehicles On-Board Battery Charger for the Future Smart Grids. In *Technological Innovation for the Internet of Things* (pp. 351–358). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37291-9_38
- Uddin, M., Romlie, M. F., Abdullah, M. F., Abd Halim, S., Abu Bakar, A. H., & Chia Kwang, T. (2018). A review on peak load shaving strategies. *Renewable and Sustaina-*

ble Energy Reviews, 82, 3323–3332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.056>