



Programma Technologie

**Ontwikkeling van een Energy Management System voor
slim energiebeheer van een biogasinstallatie**

Stagerapport van

Antoon Grauls

**Kandidaat voor de graad van Professionele bachelor in
Energietechnologie**

Stagementor(en):

Bedrijfsmentoren: Ruben Guilliams & Stien Janssens

Mentor UCLL: Peter Van Hout

Academiejaar: 2025 - 2026

Voorwoord

Deze bachelorproef werd uitgevoerd in het kader van de opleiding Energietechnologie aan UCLL Diepenbeek. De stage werd uitgevoerd bij Guilliams Green Power NV, gelegen te Boutersem, waar gedurende de stageperiode gewerkt is aan de ontwikkeling van een Energy Management System (EMS) voor de biogasinstallatie.

Mijn eerste dank gaat uit naar mijn bedrijfsmentoren Ruben Guilliams en Stien Janssens voor het aanbieden van dit mooie project binnen hun bedrijf. Deze opdracht was een kans voor mij om voor de eerste keer zelf een project uit te werken en hier uit te kunnen leren. Ik heb enorm veel bijgeleerd en ben dankbaar voor de aangename samenwerking tijdens deze stageperiode en in de toekomst.

Daarnaast wil ik graag Rudi Sciot van RS-data bedanken. Tijdens deze stageopdracht is er nauw met hem samengewerkt tijdens de ontwikkeling van de EMS-applicatie en ook hier heb ik veel meer bijgeleerd dan ik had kunnen verwachten.

Verder wil ik mijn UCLL mentor de heer Van Hout bedanken voor de ondersteuning tijdens deze stage. De heer Van Hout is in mijn ogen altijd een goedlachse en aangename leerkracht geweest en ook tijdens deze stageperiode verliep de samenwerking steeds vlot en correct.

Ten slotte bedank ik graag nog mijn vriendin Roxane voor de vele uren hulp en steun die zij mij geboden heeft tijdens deze periode. Roxane is er altijd om naar mij te luisteren of om mij gerust te stellen wanneer bepaalde zaken niet altijd even vlot verlopen. Ook mijn ouders Koen en Griet stonden altijd paraat om mij te helpen waar nodig en bieden al heel mijn leven hun onvoorwaardelijke steun in alles wat ik doe.

Zonder deze mensen was ik nooit tot het punt gekomen waarop ik een succesvol eindwerk had kunnen afmaken en zo een diploma had kunnen behalen.

Antoon Grauls

Juni 2026

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	6
1.1	Bedrijfsvoorstelling.....	6
1.2	Opdrachtschrijving	7
1.2.1	Werking van de biogasinstallatie	7
1.2.2	Stageproject: Biogas Energy Management System.....	9
2	Theoretische uitwerking EMS.....	11
2.1	Kennismaking met biogasinstallatie en bepalen op-/afschakelplan	11
2.1.1	Kennismaking met de biogasinstallatie.....	11
2.1.2	Bepalen van op te nemen toestellen in op-/afschakelplan	12
2.1.3	Bepalen van de op- en afschakelprioriteitenlijsten	12
2.2	Dataverwerking en visualisatie.....	14
2.2.1	Verwerking van ruwe loggingdata.....	15
2.2.2	Controle en visualisatie van verwerkte data.....	16
2.2.3	Analyse ‘probleemkwartieren’.....	18
2.3	Theoretische EMS-simulatie	22
2.3.1	Toelichting werking EMS-simulatie in Excel.....	22
2.3.2	Totaal overzicht van EMS-simulatie in Excel	25
2.3.3	Eerste conclusies	29
3	Ontwikkeling van de EMS-applicatie.....	30
3.1	Achterliggende werking Visual Studio applicatie	32
3.1.1	Config.ini file.....	32
3.1.2	Visualisatie en communicatie met behulp van NuGet packages	32
3.2	SQL database	34
3.2.1	Toestellen- en gebruikerstabellen.....	34
3.2.2	De eenvoudige loggingtabellen	36
3.2.3	De geschakelde toestellentabel (dbo.ToestelData_log).....	37
3.2.4	Archiefdatabase	41
3.3	PLC programma’s in TwinCat 3	42
3.3.1	Uitlezen van actuele Elia-onbalansprijs	42
3.3.2	Testprogramma’s voor toestel data en totaalvermogen	43
3.3.3	Buffer voor het vermijden van dataverlies.....	43
3.4	Opbouw en gebruik van de applicatie	45
3.4.1	MainForm met algemene data en visualisatie.....	45
3.4.2	Moment analyse.....	46

3.4.3	Maandgegevens.....	48
3.4.4	Motorenlijst.....	49
3.4.5	Gebruikers.....	50
3.5	Optimalisatie en gebruiksvriendelijkheid.....	51
3.5.1	Optimalisatie van het programma.....	51
3.5.2	Gebruiksvriendelijkheid	53
3.6	Verdere stappen na de stageopdracht	54
4	Besluit	55
4.1	Resultaten van de theoretische uitwerking van de data.....	55
4.1.1	Opstellen van de prioriteitenlijsten	55
4.1.2	Theoretische uitwerking van de data en EMS-simulatie in Excel	56
4.2	Ontwikkeling van de EMS-applicatie	56
4.2.1	Visual Studio applicatie	57
4.2.2	SQL database	57
4.2.3	TwinCat 3.....	58
4.3	Slotconclusie.....	59
5	Bibliografie	60

Lijst van illustraties

Fig. 1: Visuele voorstelling biogasinstallatie.....	7
Fig. 2: Vereenvoudigde weergave van huidige indeling van aansluitingen.....	11
Fig. 3: Voorbeeld uitgelezen data per logging.....	15
Fig. 4: Controlegrafiek verwerkte data	17
Fig. 5: Voorbeelden probleemkwartieren	18
Fig. 6: Frequentieverdeling originele probleemkwartieren onder 0 kW.....	19
Fig. 7: Frequentieverdeling probleemkwartieren onder 0 kW na op-/afschakelen	19
Fig. 8: Frequentieverdeling van probleemkwartieren boven 3000 kW.....	21
Fig. 9: EMS-simulatie Excel (Afschakelsimulatie)	22
Fig. 10: EMS-simulatie Excel (Opschakelsimulatie).....	24
Fig. 11: Frequentieverdeling tijd tot halen van gewenst vermogen bij te hoog verbruik.....	25
Fig. 12: Frequentieverdeling tijd tot halen van gewenst vermogen bij te veel injectie.....	26
Fig. 13: Aantal op-/afschakelingen per toestel bij te hoog verbruik	27
Fig. 14: Aantal op-/afschakelingen per toestel bij te veel injectie	28
Fig. 15: SQL tabellen.....	34
Fig. 16: Toestellentabel in SQL database.....	35
Fig. 17: Gebruikerstabel in SQL database	35
Fig. 18: Totaalvermogen tabel in SQL database	36
Fig. 19: Elia-onbalansprijs tabel in SQL database	36
Fig. 20: Voorbeeld 1 toestellenlijst.....	37
Fig. 21: Voorbeeld 2 toestellenlijst.....	38
Fig. 22: Toestellen tabellen in SQL database	38
Fig. 23: ToestelData tabel in SQL database	38
Fig. 24: Active version tabel in SQL database	39
Fig. 25: ConfigSlot tabel (Version ID = 2) in SQL database	40
Fig. 26: ConfigSlot tabel (Version ID = 1) in SQL database	40
Fig. 27: Grafische voorstelling buffer	44
Fig. 28: Mainform EMS-applicatie.....	45
Fig. 29: Moment analyse EMS-applicatie.....	46
Fig. 30: Moment analyse EMS-applicatie (ingezoomd).....	47
Fig. 31: Maandgegevens EMS-applicatie	48
Fig. 32: Toestellenlijst EMS-applicatie	49
Fig. 33: Gebruikersbeheer Admin	50

Fig. 34: Gebruikersbeheer Operator	50
Fig. 35: Gebruikersbeheer Gast	51
Fig. 36: Voorbeeld 1 tooltip.....	52
Fig. 37: Voorbeeld 2 tooltip.....	52

Verklarende woordenlijst

EMS	Energy Management System
WKK	Warmte-Krachtkoppeling
PLC	Programmable Logic Controller
FCR	Frequency Containment Reserve
BSP	Balancing Service Provider
EAN-code	European Article Numbering code
PV	PhotoVoltaic
LS-netaansluiting	LaagSpanning netaansluiting
SQL	Structured Query Language
ADS communicatie	Automation Device Specification communicatie
JSON	JavaScript Object Notation
AMS Net ID	Automation Device Specification Network Identifier
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
API	Application Programming Interface
URL	Uniform Resource Locator

1 Inleiding

1.1 Bedrijfsvoorstelling

Guilliams Green Power NV maakt deel uit van het vierdelige familiebedrijf Guilliams Group. Naast Guilliams Green Power omvat Guilliams Group verder nog Guilliams Construction Solutions, Guilliams Recycle Solutions en Guilliams Logistic Solutions. De vier bedrijven zijn verspreid over twee locaties. Enerzijds is er een site in Boutersem, waar ook de biogasinstallatie is gevestigd. Anderzijds is er sinds mei 2025 een bijkomende site in Tienen, waar Guilliams Construction Solutions en in de toekomst Guilliams Recycle Solutions grotendeels zijn ondergebracht.

Het familiebedrijf werd oorspronkelijk in 1980 opgericht door de vader van Ruben, Rohald en Reinout Guilliams en fungeerde destijds als landbouwbedrijf. In 2008 zetten de drie broers de eerste stappen in de uitbreiding van het bedrijf door de oprichting van een biogasinstallatie onder de naam Guilliams Green Power, waarna in de daaropvolgende jaren verdere uitbreiding plaatsvond.

De hoofdpdracht van deze stage situeert zich binnen de tak van Guilliams Green Power en richt zich op het energiebeheer van de biogasinstallatie.

Op de site in Boutersem zijn dagelijks een tiental werknemers aanwezig. Ongeveer de helft hiervan bestaat uit operatoren en elektriciens, terwijl de andere helft bestaat uit administratief personeel dat instaat voor het logistieke aspect van de installatie en het transport van materialen.

Tijdens de stage heb ik voor deze opdracht voornamelijk op kantoor gewerkt om de theoretische uitwerking en ontwikkeling van de applicatie te realiseren. Daarnaast ben ik enkele keren mee gaan volgen op de site met operatoren om metingen uit te voeren of om reparaties op te volgen. Dit met als doel een beter inzicht te verkrijgen in de werking van de biogasinstallatie en een duidelijk beeld te vormen van de fysieke ligging en opbouw van de verschillende onderdelen.

1.2 Opdrachtschrijving

1.2.1 Werking van de biogasinstallatie

De biogasinstallatie in Boutersem verwerkt dagelijks 250 ton mest en organisch afval, wat optelt tot ongeveer 90.000 ton per jaar. Dit afvalmateriaal wordt vergist en produceert biogas dat in 3 WKK's wordt verbrand om zo tot 2,8 MW aan groene energie op te wekken, wat jaarlijks ongeveer 8000 gezinnen van energie voorziet. Daarnaast wordt het digestaat dat overblijft na de vergisting verder gesplitst in dikke en dunne fractie. De dikke fractie wordt verkocht als meststof en de dunne fractie wordt verder gezuiverd tot loosbaar water.

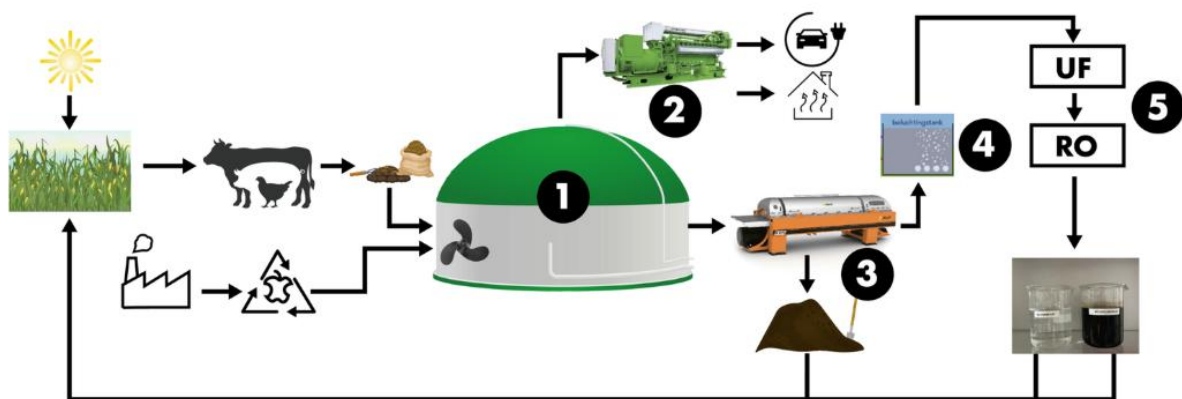


Fig. 1: Visuele voorstelling biogasinstallatie

De werking van deze biogasinstallatie is opgedeeld in 5 fases (1).

Fase 1: Organische afvalverwerking via anaerobe vergisting

Na het aanvoeren van mest en organisch materiaal komen deze in de vergisters terecht waar het gemixt en opgewarmd wordt. Initieel wordt het materiaal verdeeld over twee vergisters (vergister A en B) die vervolgens vergister C voeden. In dit vergistingsproces worden de organische stoffen afgebroken door micro-organismen (anaerobe vergisting) en wordt er zowel biogas als digestaat geproduceerd.

Fase 2: Productie van groene energie

Het vrijgekomen biogas wordt verbrand in drie WKK's. Twee WKK's (WKK A & B) met een vermogen van elk 635 kW en één WKK (WKK C) met een vermogen van 1501 kW. Hierdoor wordt er enerzijds groene energie opgewekt om op het net te zetten, en anderzijds ontwikkelt er zich warmte wat verder nuttig gebruikt wordt doorheen de site.

Fase 3: Productie van organische meststoffen

Het overgebleven digestaat van de vergisting wordt opgesplitst in dikke en dunne fractie. Dit gebeurt in centrifuges die de zwaardere/grotere delen scheiden van de lichtere/kleinere delen. De dikke fractie is een bron van mineralen, waaronder fosfor, en is uitstekende meststof dat opnieuw verkocht wordt aan landbouwers om hun velden mee te bemesten. De dunne fractie bevat stikstof en kalium en wordt in verdere fases verwerkt binnen de site.

Fase 4: Waterzuivering

De resterende dunne fractie wordt gevoed naar beluchtingstanks waarin de aanwezige stikstof wordt omgezet naar stikstofgas door middel van dompelbeluchters die zich in de vloeistof bevinden. Deze dompelbeluchters laten zuurstof vrij dat zal stijgen doorheen de vloeistof. De stikstofatomen binden zich vervolgens aan de zuurstofatomen en vormen samen stikstofgas, dat vrijkomt in de atmosfeer. De overgebleven vloeistof bevat voornamelijk kalium dat enerzijds kan worden ingedampt om de concentratie te verhogen, en anderzijds verder behandeld kan worden in fase 5.

Fase 5: Waterbehandeling

De resterende vloeistof ondergaat een proces van ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Dit resulteert in proper water en vloeistof met een geconcentreerde kaliuminhoud. Het propere, losbare water wordt voornamelijk intern gebruikt binnen de biogasinstallatie, maar kan gebruikt worden door landbouwers in periodes van droogte.

1.2.2 Stageproject: Biogas Energy Management System

Ongeveer anderhalf jaar vóór de start van deze stageopdracht werden er 24 elektrische loggings geïnstalleerd in de biogasinstallatie. Deze werden geplaatst om een grafisch beeld te verkrijgen van het verbruik van de verschillende onderdelen binnen de site. Tot op heden werden deze data enkel gevisualiseerd via een webpagina opgezet door het bedrijf SensEnergies. Daarnaast zijn er ook nog zes digitale meters van Fluvius aanwezig.

Verder is enkele maanden na de installatie van de elektrische loggings een accu van 1MW/2MWh geplaatst om in te spelen op de FCR-balansmarkt. Deze balansmarkt heeft als doel afwijkingen in de netfrequentie binnen ongeveer 30 seconden te stabiliseren rond 50 Hz. Batterijsystemen zijn hiervoor bijzonder geschikt, aangezien zij zeer snel hun vermogen kunnen verhogen of verlagen en daardoor onmiddellijk kunnen reageren op frequentieafwijkingen.

De opdracht van deze stage bestond uit de theoretische verwerking en visualisatie van de data van de 24 elektrische loggings en de digitale meters van Fluvius in Excel. Verder kon er, in het geval dat er voldoende tijd restte tijdens de stageperiode, ook gestart worden aan de ontwikkeling van de eerste versie van de bijbehorende EMS-applicatie. Het doel van deze applicatie is enerzijds de visualisatie van de data en anderzijds moet het enkele sturingsmogelijkheden bevatten.

Dit samen met als doel een Energy Management System (EMS) te ontwikkelen dat achterliggend aangestuurd wordt door een Beckhoff CX5230 PLC. Deze PLC-sturing werd ontwikkeld door de vaste externe programmeur van het bedrijf RS-data, die in het verleden de ontwikkeling en aansturing van de biogasinstallatie ook heeft uitgevoerd.

Het doel van dit EMS is driedelig :

- 1) Op basis van de actuele Elia-onbalansprijs, die via de PLC wordt uitgelezen, kan worden bepaald of de installatie maximaal energie moet opwekken of de opgewekte energie moet worden geminimaliseerd. Dit maakt het mogelijk om in te spelen op gunstige energieprijzen en het injecteren van energie tijdens negatieve prijzen te beperken.
- 2) Wanneer één of meerdere WKK's stilliggen ten gevolge van onderhoud of een storing, is het mogelijk dat er onvoldoende energie wordt geproduceerd om het verbruik van de rest van de site te dekken. Dit betekent dat Guilliams op deze momenten energie moet afnemen van het net. Aangezien dit gepaard gaat met extra importkosten, dient dit zo veel mogelijk vermeden te worden.
- 3) De nieuw geplaatste accu wordt aangestuurd door een externe firma Centrica die BSP (Balancing Service Provider) is voor Elia. Daarom is er binnen Guilliams zelf geen controle over de aansturing hiervan. Hierdoor kunnen er momenten optreden waarop de drie WKK's op maximaal vermogen draaien, terwijl de accu gelijktijdig energie injecteert op het net. Het gevolg is dat het totale geïnjekteerde vermogen van Guilliams de contractuele limiet van 3000 kW kan overschrijden. Ook dit dient maximaal vermeden te worden aangezien dit boetes tot gevolg kan hebben.

2 Theoretische uitwerking EMS

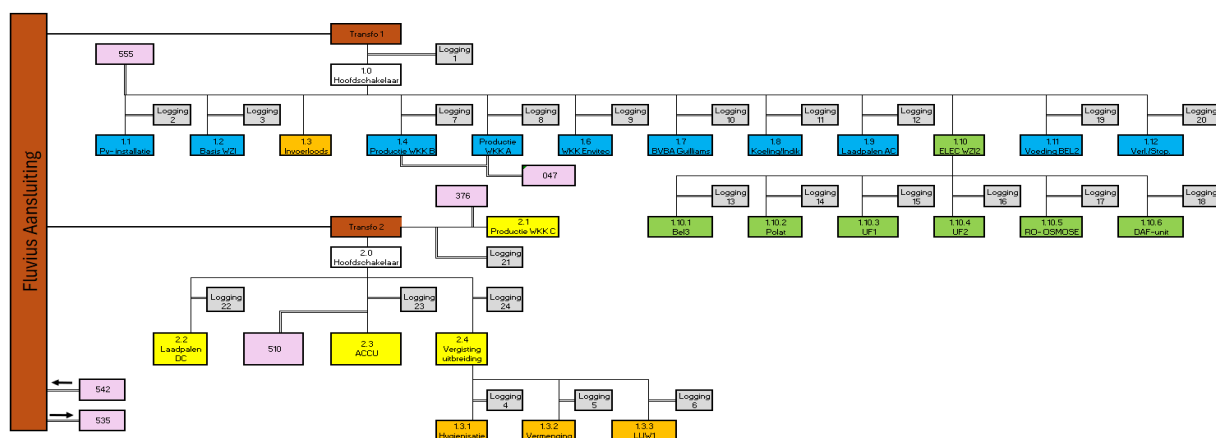
2.1 Kennismaking met biogasinstallatie en bepalen op-/afschakelplan

Vooraleer gestart kon worden met de verwerking van de data en de uitwerking van het EMS, diende een overzicht te worden opgesteld van alle verbruikers en opwekkers binnen de biogasinstallatie. Alle verbruikers en opwekkers vallen onder één van de 24 geïnstalleerde elektrische loggings verspreid over de site. Zoals vermeld in de opdrachtvoorstelling werden deze elektrische loggings ongeveer anderhalf jaar vóór de start van deze stage geïnstalleerd. Hierdoor was er 14 maanden aan bruikbare data beschikbaar, waarop de verdere uitwerking van deze opdracht gebaseerd werd.

2.1.1 Kennismaking met de biogasinstallatie

Een overzicht van deze loggings was reeds aanwezig vóór de start van deze stageopdracht, maar bleek niet langer volledig up-to-date. Daarom werd dit overzicht in eerste instantie geactualiseerd.

Het overzicht in Fig. 2 geeft een vereenvoudigde weergave weer van de huidige situatie, waarbij wordt geïllustreerd hoe elk onderdeel binnen de installatie is aangesloten. De kleuren van de onderdelen zijn bepaald op basis van de elektrische kasten waartoe deze behoren. De roze vakjes stellen de Fluvius-tellers voor, waarbij telkens de laatste drie cijfers van de EAN-code worden weergegeven.



2.1.2 Bepalen van op te nemen toestellen in op-/afschakelplan

Voor de start van de stage was er reeds een overzicht van alle elektromotoren binnen de site. In eerste instantie werd deze lijst geactualiseerd en werd bepaald welke verbruikers door het EMS op-/afgeschakeld kunnen worden. Hiervoor werd gekeken naar de volgende twee eigenschappen.

- **Is het toestel vrij op-/afschakelbaar?**

Enkel onderdelen van de biogasinstallatie die individueel op-/afschakelbaar zijn omdat ze niet afhankelijk zijn van andere onderdelen of niet permanent dienen te draaien voor de correcte werking van de biogasinstallatie, zijn van toepassing in het EMS.

- **Heeft het toestel impact op het totaalvermogen?**

Enkel verbruikers en opwekkers die voldoende vermogen op of af kunnen schakelen zijn van toepassing in het EMS.

Alle elektromotoren die voldoen aan deze twee voorwaarden zijn meegenomen in het op-/afschakelplan. Hieruit is vastgesteld dat 35 van de 170 elektromotoren in de installatie opgenomen konden worden in het EMS. Deze lijst kan uiteraard in de toekomst nog veranderen als blijkt dat bepaalde toestellen niet het gewenste effect hebben binnen deze sturing of als er toestellen toegevoegd of verwijderd worden.

2.1.3 Bepalen van de op- en afschakelprioriteitenlijsten

Vervolgens zijn er op deze 35 elektromotoren de volgende drie metingen uitgevoerd.

- 1) Op-/afschakelsnelheid
- 2) Totaal haalbare vermogenswinst
- 3) Maximale stilstandperiode

Op basis van deze metingen werden twee prioriteitenlijsten opgesteld, zoals weergegeven in Tabel 1 en Tabel 2. Enerzijds is er een prioriteitenlijst die van toepassing is bij een tekort aan energieopwekking, en anderzijds een prioriteitenlijst die van toepassing is bij overmatige energie-injectie.

Deze prioriteitenlijsten vormen de basis voor de aansturing van het EMS. De toestellen worden hierbij op basis van hun prioriteit één voor één op- of afgeschakeld, afhankelijk van de benodigde energiereductie of het energieoverschot.

Prioriteitenlijst bij te weinig energieopwekking			
Nr.	Logging	Toestel	Aan/uit
1	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 15	Uit
2	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 14	Uit
3	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 13	Uit
4	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 12	Uit
5	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 11	Uit
6	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 10	Uit
7	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 9	Uit
8	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 8	Uit
9	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 7	Uit
10	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 6	Uit
11	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 5	Uit
12	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 4	Uit
13	1.2 BEL1	Dompelbeluchter 3	Uit
14	1.2 BEL1	Dompelbeluchter 2	Uit
15	1.2 BEL1	Dompelbeluchter 1	Uit
16	1.2 BEL1	Luchtblower 1/Matten	Uit
17	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 4	Uit
18	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 3	Uit
19	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 2	Uit
20	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 1	Uit
21	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 4	Uit
22	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 3	Uit
23	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 2	Uit
24	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 1	Uit
25	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 4	Uit
26	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 3	Uit
27	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 2	Uit
28	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 1	Uit
29	2.1	WKK C (900...1501 kWh)	Aan
30	1.10.3	UF1	Uit
31	1.10.4	UF2	Uit
32	1.10.5	RO	Uit
33	1.10.6	DAF unit	Uit
34	2.1	WKK C (0...900 kWh)	Aan
35	1.4 / 1.5	WKK A&B	Aan

Tabel 2: Prioriteitenlijst bij te weinig opwekking

Prioriteitenlijst bij overmatige energie-injectie			
Nr.	Logging	Toestel	Aan/uit
1	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 1	Aan
2	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 2	Aan
3	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 3	Aan
4	1.3.2 Vermenging	Mixer verg A 4	Aan
5	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 1	Aan
6	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 2	Aan
7	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 3	Aan
8	1.3.2 Vermenging	Mixer verg B 4	Aan
9	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 1	Aan
10	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 2	Aan
11	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 3	Aan
12	2.4.1 Vergisting	Mixer verg C 4	Aan
13	1.2 BEL1	Dompelbeluchter 1	Aan
14	1.2 BEL1	Dompelbeluchter 2	Aan
15	1.2 BEL1	Dompelbeluchter 3	Aan
16	1.2 BEL1	Luchtblower 1/Matten	Aan
17	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 4	Aan
18	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 5	Aan
19	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 6	Aan
20	1.11 BEL2	Dompelbeluchter 7	Aan
21	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 8	Aan
22	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 9	Aan
23	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 10	Aan
24	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 11	Aan
25	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 12	Aan
26	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 13	Aan
27	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 14	Aan
28	1.10.1 BEL3	Dompelbeluchter 15	Aan
29	2.1	WKK C (900...1501 kWh)	Uit
30	1.4 / 1.5	WKK A&B	Uit
31	2.1	WKK C (0...900 kWh)	Uit

Tabel 1: Prioriteitenlijst bij overmatige energie-injectie

2.2 Dataverwerking en visualisatie

De volgende stap in de stageopdracht betreft de dataverwerking en visualisatie van de gegevens. De beschikbare data is enerzijds opgehaald via MyFluvius en omvat de kwartiergegevens van de digitale tellers van Fluvius. Anderzijds zijn de kwartiergegevens van de 24 elektrische loggings opgehaald uit de database van SensEnergies. De metingen van de elektrische loggings zijn gestart rond januari 2025 en de stageperiode is gestart in februari 2026. We hebben daarom ongeveer 14 maanden aan beschikbare data. Een volledig overzicht van alle beschikbare databronnen is te zien in Tabel 4 en Tabel 3.

Digitale meters Fluvius	
EAN 555	PV installatie
EAN 047	WKK A & B
EAN 376	WKK C
EAN 510	Accu
EAN 542	Totaal netinjectie
EAN 535	Totaal netafname

Tabel 4: Overzicht digitale meters Fluvius

Elektrische loggings SensEnergies	
1.0	LS netaansluiting
1.10.1	BEL3
1.10.2	Polat centrifuge
1.10.3	UF1
1.10.4	UF2
1.10.5	Omgekeerde osmose
1.10.6	DAF unit
1.2	Basiskasten WZI
1.4	WKK B
1.5	WKK A
1.6	Voedingskast WKK Envitec
1.7	BVBA Guilliams en woning
1.8	Koeling/indikkers
1.9	EV laadpalen
1.1	PV omvormers
1.12	Verlichting/stopcontacten
1.11	BEL2
1.3.1	Hygiënisatie
1.3.3	LUW1 voeding werfkast
1.3.2	Vermenging
2.1	WKK C
2.2	EC fast loader (laadpalen2)
2.3	Accu
2.4	Vergisting uitbreiding

Tabel 3: Overzicht elektrische loggings SensEnergies

De gegevens van Fluvius zijn beperkt tot het opgewekte vermogen van de drie WKK's, de PV-installatie, de accu en de totale injectie en afname van de site. Deze gegevens werden daarom gebruikt om het opgewekte vermogen en het totaalvermogen te bepalen.

Voor het visualiseren van het verbruikte vermogen per onderdeel van de installatie werd gebruikgemaakt van de data van de 24 elektrische loggings. Deze loggings omvatten naast de verbruikers ook metingen van de LS-netaansluiting, de drie WKK's, de PV-installatie en de accu. Aangezien de metingen van Fluvius voor deze opwekkers accurater zijn, werden de loggings van deze componenten niet verder meegenomen in de berekeningen.

2.2.1 Verwerking van ruwe loggingdata

De uitgelezen data per elektrische logging bestond uit 6 kolommen zoals te zien is in Fig. 3 hieronder.

Date	1.10.1 BEL3					
	1_volt_L1	1_PF_tot	1_current_tot	1_power_tot	1_imp_ener_tot	1_ex_act_ener_tot
1/01/2025 0:15	232,4	1	3,2	0	107559,3	0
1/01/2025 0:30	231	1	3,2	0	107559,3	0
1/01/2025 0:45	233,2	1	3,2	0	107559,4	0
1/01/2025 1:00	233,8	1	3,2	0	107559,5	0
1/01/2025 1:15	234,2	1	3,2	0	107559,5	0
1/01/2025 1:30	232,5	1	3,2	0	107559,6	0
1/01/2025 1:45	236,6	0,803	22,5	4289,1	107560,2	0
1/01/2025 2:00	236,9	0,799	22	4179,9	107561,3	0
1/01/2025 2:15	236,6	0,799	21,9	4136,5	107562,3	0
1/01/2025 2:30	235,9	0,805	21,8	4135,2	107563,3	0

Fig. 3: Voorbeeld uitgelezen data per logging

De eerste vier kolommen (*1_volt_L1*, *1_PF_tot*, *1_current_tot* en *1_power_tot*) bevatten momentopnames op het einde van elk kwartier en geven bijgevolg geen inzicht in het totale energieverbruik gedurende dat kwartier. Kolommen vier en vijf (*1_imp_ener_tot* en *1_ex_act_ener_tot*) geven daarentegen respectievelijk het cumulatieve totaal van de verbruikte en opgewekte energie weer. Dit betekent dat deze waarden continu oplopen in de tijd. Door van twee opeenvolgende tijdstippen het verschil te nemen tussen deze cumulatieve waarden, kan het verbruikte of opgewekte energieverbruik per kwartier worden bepaald.

De data van deze loggings bleek echter niet altijd correct te zijn en bevatte op verschillende plaatsen meetfouten of ontbrekende gegevens. De eerste stap bestond daarom uit het opschonen van deze data zodat deze bruikbaar werd voor verdere analyse. Dit proces bestond voornamelijk uit het identificeren van kwartieren waarvoor geen gegevens beschikbaar waren. Voor deze ontbrekende waarden werd telkens een benadering gemaakt door het gemiddelde te nemen van de voorgaande en de daaropvolgende meetwaarde.

Aangezien deze waarden de verbruikte energie per kwartier in kWh voorstellen, kan het gemiddeld vermogen gedurende dat kwartier worden bepaald door te vermenigvuldigen met 4, waardoor een gemiddeld vermogen in kW wordt bekomen.

$$kWh_{per\ kwartier} \times 4 = kW$$

De theoretische datavisualisatie en simulatie werden vervolgens gebaseerd op deze waarden.

2.2.2 Controle en visualisatie van verwerkte data

De volgende stap bestond uit het controleren of de verwerkte data een correct beeld geven van het verbruik binnen de site. Hiervoor werd de volgende formule gebruikt.

$$Berekende\ totaalvermogen = SOM(Opwekkers) - SOM(Verbruikers)$$

Voor de opwekkers werd gebruikgemaakt van de Fluvius-data, terwijl voor de verbruikers de data van SensEnergies werd gebruikt. Het berekende totaalvermogen van deze gegevens werd vervolgens vergeleken met het totaalvermogen zoals geregistreerd door Fluvius. In Fig. 4 worden de grafieken van deze twee datasets weergegeven.

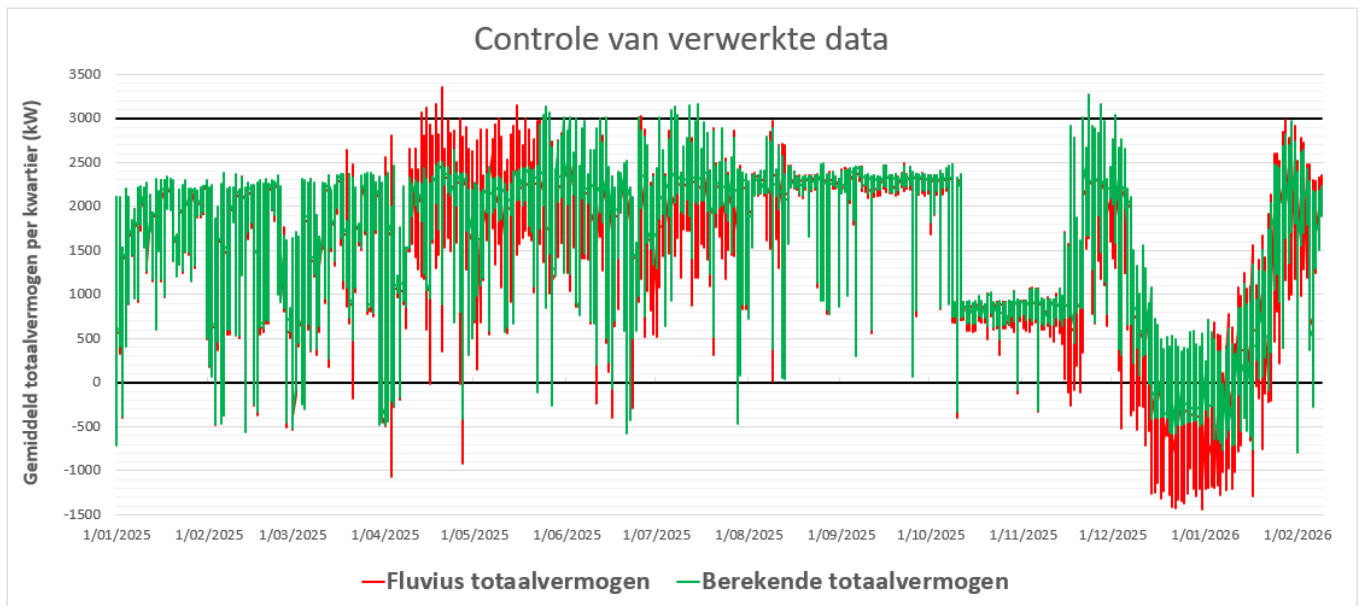


Fig. 4: Controlegrafiek verwerkte data

De Fluvius-data wordt beschouwd als de meest betrouwbare referentie en geeft een correct beeld van het totale afgenomen en geïnjecteerde vermogen van de site over deze periode. Er kan worden vastgesteld dat de grafieken in grote lijnen overeenkomen. De verschillen zijn voornamelijk te wijten aan de metingen van de accu. Enkel het geïnjecteerde vermogen van de accu op het net wordt gemeten, en niet het vermogen dat de accu opneemt tijdens het laden.

Dit betekent dat het zelf berekende vermogen een voldoende accuraat beeld van de realiteit biedt om als basis te dienen voor de theoretische simulatie. Er zijn voldoende 'probleemkwartieren' beschikbaar waarin het totaalvermogen zowel negatief is (netafname), als de contractuele limiet van 3000 kW overschrijdt.

2.2.3 Analyse 'probleemkwartieren'

Na deze controle werd vervolgens gekeken naar de zogenaamde probleemkwartieren.

In Fig. 5 zijn enkele voorbeelden van deze probleemkwartieren te zien.

Datum	SensEnergies - Verbruikers																			Fluvius - Opwekkers				Totaal
	1.10.1 B	1.10.2 P	1.10.3 U	1.10.4 U	1.10.5 C	1.10.6 C	1.2 Bas	1.6 Voet	1.7 BVB	1.8 Koel	1.9 EV	1.12 Ver	1.11 BE	1.3.1 Hy	1.3.3 LU	1.3.2 Ve	2.2 EV f	2.4 Verg	PV	WKK A & B	WKK C	ACCU		
1/01/2025 8:15	6	16,8	69,6	76	0	0	106,8	27,6	8,8	61,2	0	4	142,8	19,6	25,6	122,4	0	0	0	1169	874,88	0	1356,68	
1/01/2025 8:30	5,6	16,8	70	75,6	0	0	108	27,2	8,4	55,2	0	2,8	144,8	19,2	26	89,6	0,4	0	0	1170	875,52	0	1395,92	
1/01/2025 8:45	5,6	16,8	69,6	76	0	0	106	27,2	8,4	55,6	0	1,6	144	19,2	25,6	59,2	0	0	0	1169,5	874,88	0	1429,58	
1/01/2025 9:00	5,6	17,2	71,2	76,4	0	0	109,6	27,6	8,4	54,4	0	1,6	106,4	18,8	26	56,8	0	0	0,04	1170	874,24	0	1464,28	
1/01/2025 9:15	1,6	16,8	70,8	75,6	0	0	110	27,2	8,4	57,6	0	1,6	56,8	18	26	120	0	0	0,12	1170	874,88	0	1454,6	
1/01/2025 9:30	0	16,4	69,2	76	0	0	42,8	16,8	8	9,6	0	2	27,2	12,4	25,6	88	0	0	0,28	66,5	48,64	0	-278,58	
1/01/2025 9:45	0,4	16,8	70,4	76	0	0	42	12,4	8	6,8	0	1,6	26,4	12,8	25,6	58,4	0	0	0,4	0	0	0	-357,2	
1/01/2025 10:00	0,4	16,8	27,2	76	0	0	42,8	12,4	8,4	6,8	0	1,6	27,6	12	25,6	55,6	0	0	0,4	0	0	0	-312,8	
1/01/2025 10:15	0	16,8	70	76	0	0	42,4	12,4	8,8	13,2	0,36	1,6	26	12	25,2	118	0,4	0	0,48	0	0	0	-422,68	
1/01/2025 10:30	0	16,8	70,8	76	0	0	44,8	12	9,2	7,6	0	1,6	27,6	14,4	25,6	88	0	0	0,4	0	0	0	-394	
1/01/2025 10:45	1	25	105,8	114	0	0	67	18,4	12,6	10,4	0	2,6	40,2	21	38,4	100,2	0	0	0,4	0	0	0	-556,2	
1/01/2025 11:00	2	33,2	140,8	152	0	0	89,2	24,8	16	13,2	0	3,6	52,8	27,6	51,2	112,4	0	0	0,32	0	0	0	-718,48	
1/01/2025 11:15	0	16,8	70,8	76	4,28	0	90	26	8,8	29,2	0	1,6	58,4	16,8	25,6	118,8	9,2	0	0,48	448	0	0	-103,8	
1/01/2025 11:30	0,4	16,8	72,4	75,6	5,84	0	104,8	26	9,6	24,8	0	1,6	61,2	19,2	25,6	90	48	0	0,4	1131,5	0	0	550,06	
1/01/2025 11:45	0,4	16,8	73,6	75,6	2,24	0	102	26,4	8,8	25,2	0	1,6	61,6	22,4	25,6	60,4	51,2	0	0,56	1169,5	0	0	616,22	
1/01/2025 12:00	42	16,8	72,8	76	0	0	101,2	26	8,4	24,8	0	1,6	60	23,6	25,6	56,4	0	0	0,68	1169	0	0	634,48	
1/01/2025 12:15	58,8	16,4	72	37,6	0	0	76,8	26,4	8,8	31,2	0	1,6	64,8	26	25,6	119,2	0	0	0,6	1169,5	0	0	604,9	
1/01/2025 12:30	17,2	16,8	73,2	68	0	0	57,6	26,4	8,8	26	0	2	115,2	22,8	25,2	88,8	0	0	0,44	1169,5	0	0	621,94	
1/01/2025 12:45	0,4	16,8	72,8	76	0	0	54	26	9,2	25,2	0	1,6	114,8	23,2	25,6	62,8	0	0	0,48	1169,5	0	0	661,58	

Datum	SensEnergies - Verbruikers																			Fluvius - Opwekkers				Totaal
	1.10.1 B	1.10.2 P	1.10.3 U	1.10.4 U	1.10.5 C	1.10.6 C	1.2 Bas	1.6 Voet	1.7 BVB	1.8 Koel	1.9 EV	1.12 Ver	1.11 BE	1.3.1 Hy	1.3.3 LU	1.3.2 Ve	2.2 EV f	2.4 Verg	PV	WKK A & B	WKK C	ACCU		
6/07/2025 17:15	16,4	2	0	3,2	0	0	65,6	26,4	7,2	64,4	7,2	0,8	119,6	18,132	17,688	58,164	0	0	4,16	1198	1470,1	0	2265,456	
6/07/2025 17:30	16	2,8	0,4	2,8	0	0	66,4	26	7,6	67,6	6,36	0,4	54,8	18,132	17,692	58,16	13,6	0	4,24	1198,5	1470,1	0	2314,076	
6/07/2025 17:45	16	2,4	0	3,2	0	0	66,4	26	7,2	60	0,8	0,8	57,2	18,132	17,688	58,164	10,8	0	4,72	1198	1470,1	0	2328,016	
6/07/2025 18:00	16	2	0,4	2,8	0	0	66,8	26,4	6	60,8	0,4	0,4	54,8	18,128	17,688	58,164	0	0	5,28	1198	1470,7	0	2343,22	
6/07/2025 18:15	16	2,4	0	3,2	0	0	66,4	25,6	8	63,6	0	0,4	56,8	18,132	17,692	58,16	0	0	5,08	1198	1470,1	757,4	3094,216	
6/07/2025 18:30	16	2,4	0	3,2	0	0	66	26	7,2	65,2	0	0,8	56	18,132	17,688	58,164	61,6	0	3,28	1198	1470,7	631	2904,656	
6/07/2025 18:45	16	2,8	0	2,8	0	0	67,6	26,4	8,4	59,2	0	0,4	56,4	18,132	17,688	58,16	120,8	0	2,8	1198	1467,5	812,2	3025,7	
6/07/2025 19:00	16	2	0,4	3,2	0	0	42	26	10,8	59,6	0	0,8	30,8	18,132	17,692	58,164	0	0	2,4	1198	1468,2	505,6	2888,572	
6/07/2025 19:15	16	2,8	0	2,8	0	0	32	26	8	64	0	0,4	27,2	18,132	17,688	58,164	0	0	2,48	1198	1465,6	12,48	2405,376	
6/07/2025 19:30	16	2	0,4	2,8	0	0	29,2	26	8,4	64,4	0	0,4	26	18,132	17,692	58,16	0	0	1,44	1198	1460,5	0	2390,336	
6/07/2025 19:45	16	2,4	0,4	3,2	0	0	30	26	8	59,6	0	0,8	26,4	18,132	17,688	58,164	0,4	0	0,76	1198	1466,2	0	2397,816	
6/07/2025 20:00	16	2,4	0	3,2	0	0	31,6	26	9,6	60	0	0,4	25,6	18,132	17,688	58,164	82	0	0,72	1198,5	1471,4	0	2319,796	

Fig. 5: Voorbeelden probleemkwartieren

In deze figuur is duidelijk te zien welke omstandigheden verantwoordelijk zijn voor deze probleemkwartieren. Er wordt energie van het net geïmporteerd wanneer één of meerdere WKK's stilliggen, terwijl er een overmatige energie-injectie voorkomt wanneer de drie WKK's op maximaal vermogen draaien en de accu op dat moment energie injecteert op het net.

Vervolgens werden deze kwartieren gegroepeerd en geanalyseerd om inzicht te verkrijgen in het potentieel van het EMS. Hiervoor werd gebruikgemaakt van frequentieverdelingen, waarmee wordt weergegeven hoe vaak bepaalde waarden voorkomen.

2.2.3.1 Probleemkwartieren onder 0 kW totaalvermogen

Eerst werden alle probleemkwartieren waarbij het totaalvermogen onder 0 kW lag geanalyseerd. In eerste instantie werd de frequentieverdeling van deze waarden zoals ze oorspronkelijk werden gemeten onderzocht, zoals weergegeven in Fig. 6.

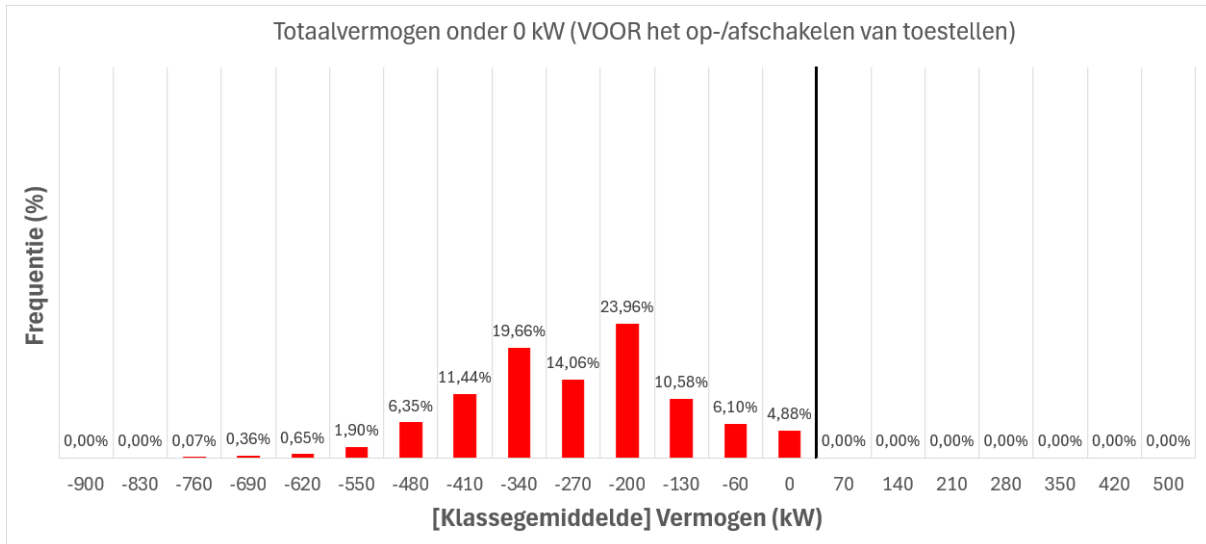


Fig. 6: Frequentieverdeling originele probleemkwartieren onder 0 kW

Op deze grafiek wordt weergegeven hoe vaak een bepaald energietekort is opgetreden tijdens deze probleemkwartieren.

Vervolgens werd geanalyseerd wat het resultaat zou zijn indien op deze momenten alle beschikbare toestellen binnen het op-/afschakelplan zouden worden ingezet (Fig. 7).

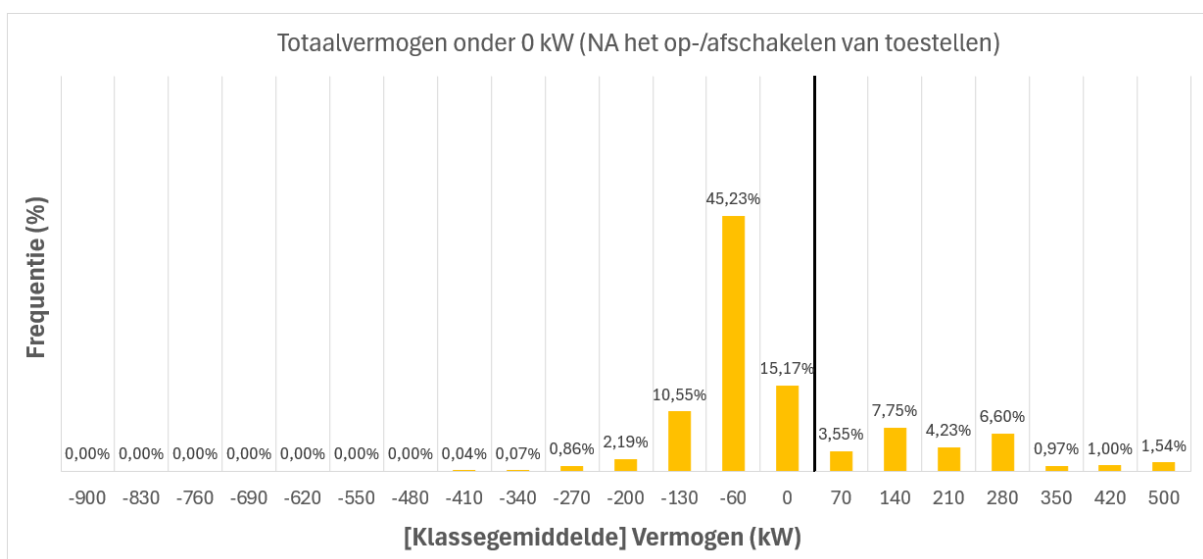


Fig. 7: Frequentieverdeling probleemkwartieren onder 0 kW na op-/afschakelen

Voor deze theoretische uitwerking hebben we alle loggings die toestellen bevatten die opgenomen zijn in het op-/afschakelplan gereduceerd naar 0 kW. Dit om een beeld te geven van wat er theoretisch mogelijk is met deze EMS-sturing.

In realiteit zullen de vermogen van deze loggings niet volledig gereduceerd kunnen worden naar 0 aangezien de meeste van deze loggings, naast de toestellen die wij schakelen met de EMS-sturing, nog enkele kleine verbruikers bevatten. We kunnen er echter wel van uitgaan dat het afschakelen van de grootgebruikers het verbruik binnen de logging met minstens 90% kan verminderen.

Er kan worden vastgesteld dat het uitschakelen van deze verbruikers wel degelijk een positieve impact heeft op het vermogenstekort, maar dit niet in alle gevallen volledig wegwerkt. In het merendeel van deze probleemkwartieren wordt zelfs geen gemiddeld vermogen van 0 kW bereikt.

Dit is logisch aangezien in deze situaties meestal alle drie de WKK's stilliggen ten gevolge van storingen of onderhoud. Tijdens deze kwartieren blijven echter nog steeds een aanzienlijk aantal verbruikers actief die noodzakelijk zijn voor de werking van de installatie. Hierdoor kan het importeren van een bepaalde hoeveelheid vermogen niet in alle gevallen volledig vermeden worden.

Wat wel bereikt kan worden, is het minimaliseren van het geïmporteerde vermogen, waaruit vervolgens de belangrijkste besparingen voortvloeien.

2.2.3.2 Probleemkwartieren boven 3000 kW totaalvermogen

Vervolgens werden de probleemkwartieren geanalyseerd waarin het totale vermogen boven de contractuele limiet van 3000 kW uitkwam. Dergelijke kwartieren komen aanzienlijk minder frequent voor dan de kwartieren waarin het vermogen onder 0 kW ligt. In totaal werd de limiet van 3000 kW slechts een twintigtal keer overschreden, tegenover meer dan 2000 kwartieren waarin het vermogen onder 0 kW lag.

Dit verschil wordt deels verklaard door het feit dat de biogasinstallatie gedurende een periode van ongeveer één maand heeft stilgelegen. Desondanks komen de kwartieren onder 0 kW ook tijdens normaal operationele periodes gemiddeld aanzienlijk vaker voor.

Uit de frequentieverdeling van de kwartieren waarin het totaalvermogen boven 3000 kW ligt, zoals weergegeven in Fig. 8, kan worden vastgesteld dat deze kwartieren eenvoudiger te vermijden zijn.

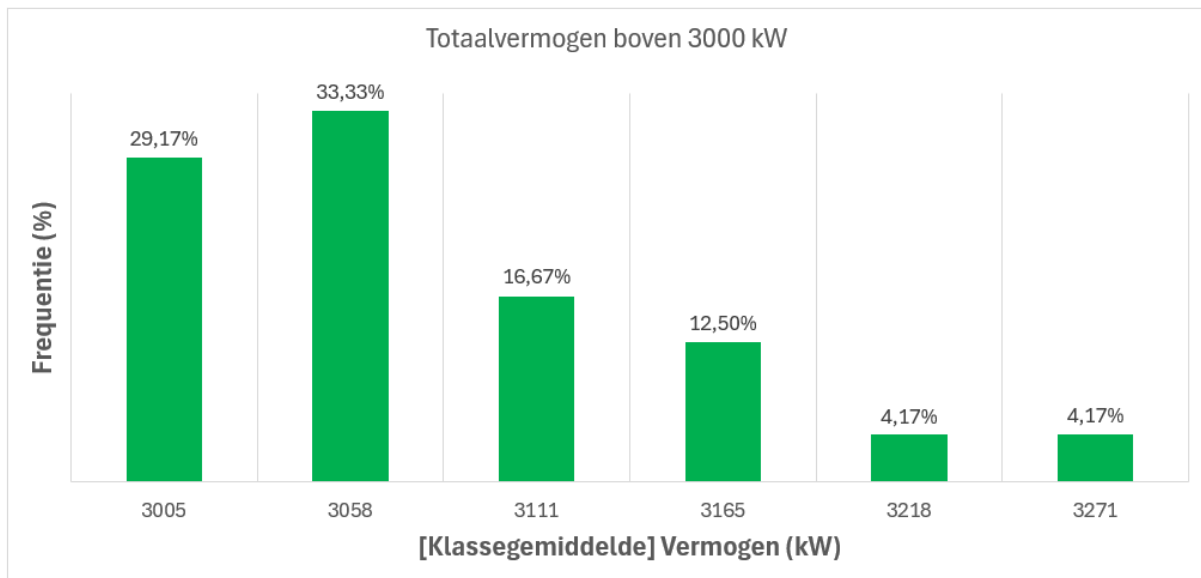


Fig. 8: Frequentieverdeling van probleemkwartieren boven 3000 kW

De maximaal bereikte energieovermaat blijft beperkt tot 271 kW. Deze overmaat kan telkens eenvoudig worden weggewerkt door enkele verbruikers bij te schakelen zodat dit vermogen intern wordt verbruikt.

2.3 Theoretische EMS-simulatie

Vervolgens werd in Excel een volledige simulatie van het EMS opgesteld. Deze simulatie geeft een ruw beeld van het verwachte eindresultaat van de werking van het EMS per kwartier.

Aangezien er geen data beschikbaar is per individueel toestel voor ieder kwartier bevat deze simulatie enkele vereenvoudigde aannames. We kunnen uit de beschikbare data niet opmaken welk toestel specifiek op welk moment aan-/uit stond. Daarom kunnen er per logging verschillen optreden in welke specifieke toestellen effectief op-/afgeschakeld zouden worden ten opzichte van de realiteit. Het eindresultaat dat per kwartier wordt bereikt in deze simulatie zou echter grotendeels moeten overeenkomen met het resultaat in de praktijk aangezien we ons baseren op de gemeten vermogens die beschikbaar waren per logging.

2.3.1 Toelichting werking EMS-simulatie in Excel

2.3.1.1 EMS-simulatie voor probleemkwartieren onder 0 kW totaalvermogen

Datum

6/02/2025 8:00

110.2BEL3

110.2Polarcent

110.3UF1

110.4UF2

110.5Dm

110.6DAF

unt

12Basis

16Voed1

17BVBA

18Kool1

19EVla

112Verl1

111BEL3

113Hygenisatie

13.3LUW1

voeding w

13.2Vemel

2.2EVfast

2.4Verg

PV

WKK A&B

WKK C

ACCU

Totaal

24.8

8

70

67.2

0

0

84.8

27.6

13.2

24.8

0

5.2

103.6

7.6

9.6

56

0

0

0

263.5

0

0

-238.30

Tijd tussen afschakelen (sec)

00:10:0

Afschakelsimulatie bij te hoog verbruik

Code

Verbruiker/opwekker

Beschikbaar vermogen

Max vermogens winst (kW)

Al/op schakeltijd (sec)

Tijd totaal

Verloop totaalvermogen

110.1

Dompelbeluchter 15

24.8

33

00:00.0

00:10.0

-238.30

110.1

Dompelbeluchter 14

0.0

33

00:00.0

00:20.0

-214.10

110.1

Dompelbeluchter 13

0.0

33

00:00.0

00:30.0

-214.10

110.1

Dompelbeluchter 12

0.0

33

00:00.0

00:40.0

-214.10

110.1

Dompelbeluchter 11

0.0

33

00:00.0

00:50.0

-214.10

110.1

Dompelbeluchter 10

0.0

33

00:00.0

01:00.0

-214.10

110.1

Dompelbeluchter 9

0.0

33

00:00.0

01:10.0

-214.10

111

Dompelbeluchter 8

0.0

33

00:00.0

01:20.0

-214.10

111

Dompelbeluchter 7

103.6

30

00:00.0

01:30.0

-184.10

111

Dompelbeluchter 6

73.6

30

00:00.0

01:40.0

-154.10

111

Dompelbeluchter 5

43.6

30

00:00.0

01:50.0

-124.10

111

Dompelbeluchter 4

13.6

30

00:00.0

02:00.0

-100.50

112

Dompelbeluchter 3

84.8

17

00:00.0

02:10.0

-93.50

112

Dompelbeluchter 2

67.8

17

00:00.0

02:20.0

-76.50

112

Dompelbeluchter 1

50.8

17

00:00.0

02:30.0

-59.50

112

Luchtblower V1Matten

33.8

17

00:00.0

02:40.0

-42.50

2.4.1

Mixer Verg C 4

0.0

15

00:00.0

02:50.0

-42.50

2.4.1

Mixer Verg C 3

0.0

15

00:00.0

03:00.0

-42.50

2.4.1

Mixer Verg C 2

0.0

15

00:00.0

03:10.0

-42.50

2.4.1

Mixer Verg C 1

0.0

15

00:00.0

03:20.0

-42.50

13.2

Mixer Verg B 4

56.0

15

00:00.0

03:30.0

-27.50

13.2

Mixer Verg B 3

41.0

15

00:00.0

03:40.0

-12.50

13.2

Mixer Verg B 2

26.0

15

00:00.0

03:50.0

2.50

13.2

Mixer Verg B 1

11.0

15

00:00.0

04:00.0

2.50

13.2

Mixer Verg A 4

0.0

15

00:00.0

04:10.0

2.50

13.2

Mixer Verg A 3

0.0

15

00:00.0

04:20.0

2.50

13.2

Mixer Verg A 2

0.0

15

00:00.0

04:30.0

2.50

13.2

Mixer Verg A 1

0.0

15

00:00.0

04:40.0

2.50

2.1

WKK C (3000, 3000)

0.0

100

00:12.5

05:02.5

2.50

2.1

WKK C (1000, 1000)

0.0

100

00:12.5

05:25.0

2.50

2.1

WKK C (1000, 1200)

0.0

100

00:12.5

05:47.5

2.50

2.1

WKK C (1200, 1300)

0.0

100

00:12.5

06:10.0

2.50

2.1

WKK C (1300, 1400)

0.0

100

00:12.5

06:32.5

2.50

2.1

WKK C (1400, 1500)

0.0

101

00:12.5

06:55.0

2.50

110.3

UF1

70.0

75

02:00.0

09:05.0

2.50

110.4

UF2

67.2

75

02:00.0

11:15.0

2.50

110.5

BO

0.0

20

06:40.0

16:05.0

2.50

110.6

DAF

0.0

22

01:00.0

18:15.0

2.50

2.1

WKK C (0, 300)

300.0

300

02:45.0

22:10.0

2.50

1.4/1.5

WKK A&B

263.5

0

00:00.0

22:20.0

2.50

Seconden

Opschakelsimulatie bij te veel injectie

Code

Verbruiker/opwekker

Max vermogens winst (kW)

Al/op schakeltijd (sec)

Tijd totaal

Verloop totaalvermogen

13.2

Mixer Verg A 1

15

00:00.0

00:10.0

0.00

13.2

Mixer Verg A 2

15

00:00.0

00:20.0

0.00

13.2

Mixer Verg A 3

15

00:00.0

00:30.0

0.00

13.2

Mixer Verg A 4

15

00:00.0

00:40.0

0.00

13.2

Mixer Verg B 1

15

00:00.0

00:50.0

0.00

13.2

Mixer Verg B 2

15

00:00.0

01:00.0

0.00

13.2

Mixer Verg B 3

15

00:00.0

01:10.0

0.00

13.2

Mixer Verg B 4

15

00:00.0

01:20.0

0.00

2.4.1

Mixer Verg C 1

15

00:00.0

01:30.0

0.00

2.4.1

Mixer Verg C 2

15

00:00.0

01:40.0

0.00

2.4.1

Mixer Verg C 3

15

00:00.0

01:50.0

0.00

2.4.1

Mixer Verg C 4

15

00:00.0

02:00.0

0.00

111

Dompelbeluchter 1

17

00:00.0

02:10.0

0.00

111

Dompelbeluchter 2

17

00:00.0

02:20.0

0.00

111

Dompelbeluchter 3

17

00:00.0

02:30.0

0.00

111

Dompelbeluchter 4

17

00:00.0

02:40.0

0.00

111

Dompelbeluchter 5

30

00:00.0

02:50.0

0.00

111

Dompelbeluchter 6

30

00:00.0

03:00.0

0.00

111

Dompelbeluchter 7

30

00:00.0

03:10.0

0.00

111

Dompelbeluchter 8

33

00:00.0

03:20.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 9

33

00:00.0

03:30.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 10

33

00:00.0

03:40.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 11

33

00:00.0

04:00.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 12

33

00:00.0

04:10.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 13

33

00:00.0

04:20.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 14

33

00:00.0

04:30.0

0.00

110.1

Dompelbeluchter 15

33

00:00.0

04:40.0

0.00

2.1

WKK C (3000, 3000)

101

00:12.5

05:02.5

0.00

2.1

WKK C (1000, 1000)

100

00:12.5

05:25.0

0.00

2.1

WKK C (1000, 1200)

100

00:12.5

05:47.5

0.00

2.1

WKK C (1200, 1300)

100

00:12.5

06:10.0

0.00

2.1

WKK C (1300, 1400)

100

00:12.5

06:32.5

0.00

2.1

WKK C (1400, 1500)

100

00:12.5

06:55.0

0.00

14

WKK B

100

00:12.5

07:05.0

0.00

15

WKK A

900

02:40.0

07:15.0

0.00

2.1

WKK C (300, 0)

300

02:40.0

10:05.0

0.00

Seconden

Fig. 9: EMS-simulatie Excel (Afschakelsimulatie)

In Fig. 9 is de EMS-simulatie in Excel weergegeven. Wanneer op de knoppen 'Waardes onder 0' of 'Waardes boven 3000' wordt geklikt, wordt een rij uit de tabel met alle gegroepeerde probleemkwartieren onder 0 kW of boven 3000 kW gekopieerd naar de tabel bovenaan in deze simulatie.

In het voorbeeld in Fig. 9 werd op de knop 'Waardes onder 0' geklikt. Hierdoor wordt het kwartier van 06/02/2025 om 06:00, samen met de vermogens per logging en het totale vermogen op dat moment, weergegeven in de bovenste tabel. In de linkse tabel wordt vervolgens de afschakelsimulatie weergegeven.

De kolommen 'Code' en 'Verbruiker/opwekker' zijn opgebouwd volgens de prioriteitenlijsten zoals eerder vermeld in hoofdstuk 2.1.3 en geven de volgorde weer waarin toestellen worden op-/afgeschakeld, samen met de bijhorende logging.

De kolom 'Max vermogenswinst (kW)' geeft per toestel het maximale afschakelbare vermogen weer, terwijl de kolom 'Af/opschakeltijd (sec)' de tijd aangeeft die nodig is om het toestel af- of op te schakelen.

In de kolom 'Beschikbaar vermogen' wordt per toestel bepaald hoeveel vermogen effectief kan worden afgeschakeld, rekening houdend met het beschikbare vermogen binnen de betreffende logging. Indien het maximale vermogen van het toestel groter is dan het beschikbare vermogen, wordt dit beperkt tot wat effectief aanwezig is. Indien er voldoende vermogen beschikbaar is binnen de logging, wordt het volledige vermogen van het toestel in rekening gebracht.

Het cumulatieve effect van deze afschakelingen wordt weergegeven in de kolom 'Verloop totaalvermogen', waarbij het beschikbare vermogen per toestel stapsgewijs wordt afgetrokken van het initiële tekort tot het totale vermogen opnieuw boven 0 kW uitkomt. Dit wordt ook grafisch weergegeven in de grafiek ernaast.

2.3.1.2 EMS-simulatie voor probleemkwartieren boven 3000 kW totaalvermogen

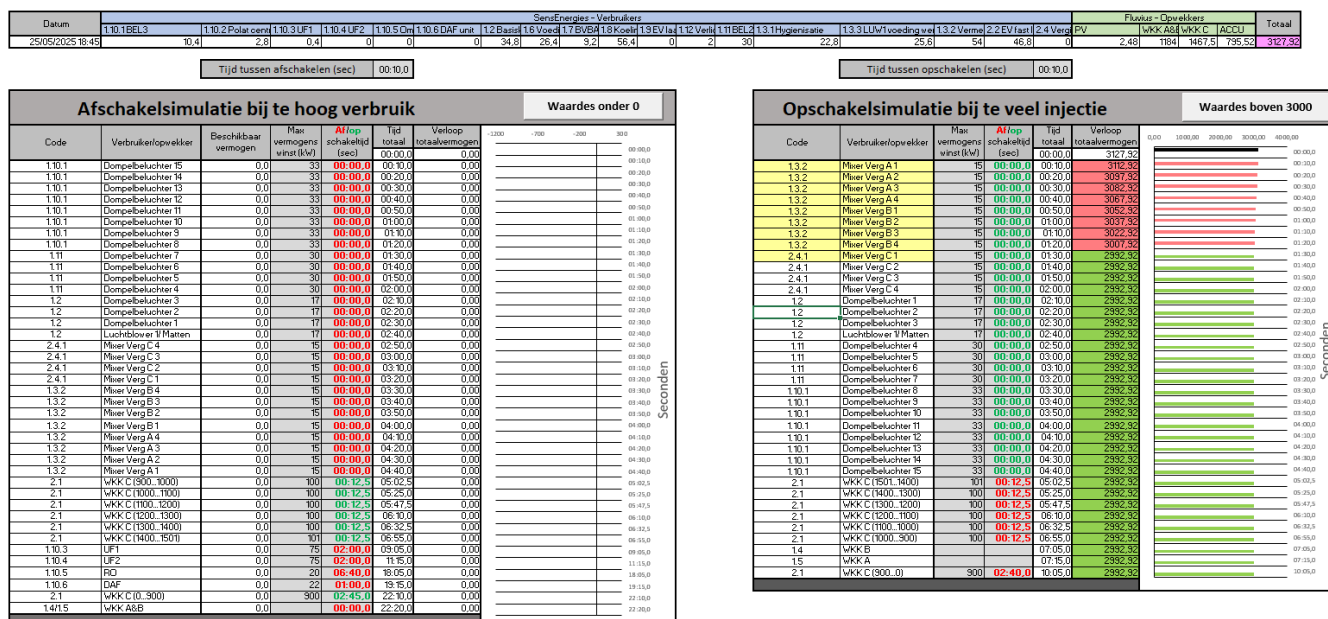


Fig. 10: EMS-simulatie Excel (Opschakelsimulatie)

In Fig. 10 wordt dezelfde simulatie weergegeven, maar hier werd er op de knop 'Waardes boven 3000' geklikt. De achterliggende berekening in dit geval is eenvoudiger dan in het vorige voorbeeld. Er wordt hier aangenomen dat de op te schakelen verbruikers op dat moment allemaal nog niet actief zijn. In de realiteit zullen echter sommige van deze verbruikers wel reeds actief zijn. Zoals eerder vermeld kan dit op basis van de momenteel beschikbare gegevens niet langer accuraat bepaald worden.

Dit vormt echter geen significant probleem, aangezien er in de praktijk steeds voldoende verbruikers beschikbaar zullen zijn om het relatief beperkte vermogensoverschot weg te werken. Dit wordt verder toegelicht in het volgende hoofdstuk 2.3.2.

2.3.2 Totaal overzicht van EMS-simulatie in Excel

Deze simulatie is geschikt om individuele kwartieren te analyseren, maar biedt nog geen algemeen beeld van alle probleemkwartieren. Om dit te verkrijgen, dienen de onderliggende berekeningen van de simulatie voor elk kwartier te worden samengebracht in één tabel, zodat een grafisch overzicht van het totaalbeeld kan worden bekomen.

De voornaamste gegevens die hieruit afgeleid moeten worden zijn de tijd tot het halen van het gewenste vermogen (het totale vermogen boven 0 kW brengen of onder de limiet van 3000 kW houden) en het aantal keer dat elk toestel gedurende de periode van 14 maanden volgens deze simulatie werd op- of afgeschakeld.

2.3.2.1 Tijd tot halen van gewenste vermogen

In Fig. 11 wordt de tijd weergegeven die nodig is om het gewenste vermogen te bereiken in situaties met een tekort aan opwekking. Deze situaties doen zich voornamelijk voor wanneer één of meerdere WKK's stilliggen, terwijl er wel nog verbruik is binnen de site. Zoals eerder vermeld in hoofdstuk 2.2.3 zijn een groot deel van deze gevallen niet volledig oplosbaar en kan het geïmporteerde vermogen enkel tot een minimum worden beperkt.

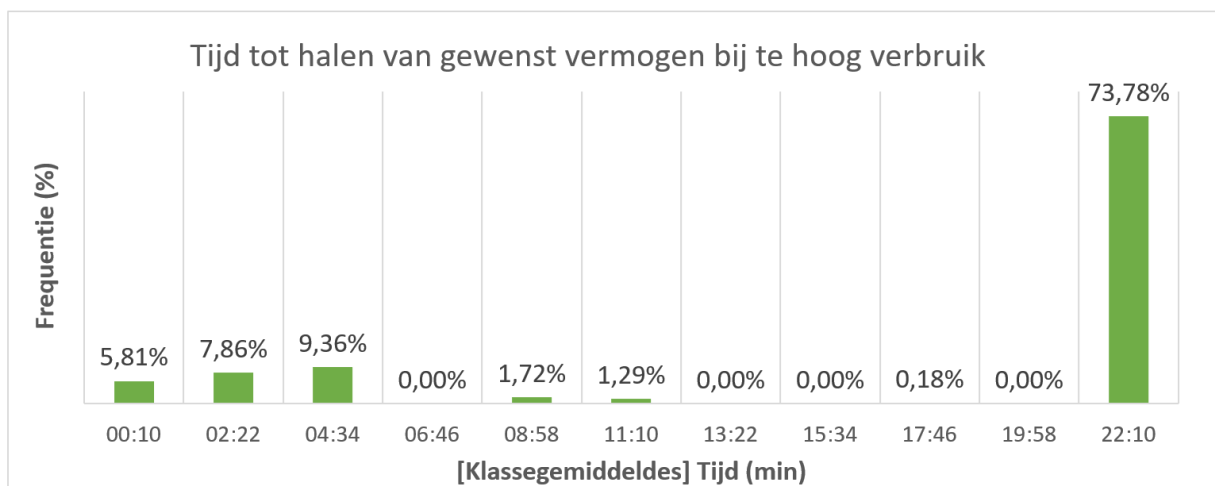


Fig. 11: Frequentieverdeling tijd tot halen van gewenst vermogen bij te hoog verbruik

Op deze grafiek is deze beperking opnieuw duidelijk zichtbaar. In het merendeel van de kwartieren kunnen niet alle toestellen binnen het kwartier worden afgeschakeld wanneer deze sequentieel worden doorlopen. Aangezien het gemiddelde totale vermogen per kwartier moet worden beheerd, betekent dit dat het EMS in veel gevallen niet snel genoeg kan reageren.

Dit is voornamelijk te wijten aan het feit dat de ultrafiltratie- en omgekeerde osmose-installaties een aanzienlijke tijd nodig hebben om af te schakelen. In realiteit zullen deze echter op het einde van de prioriteitenlijst staan en dienen deze dus enkel als eventuele extra winst waar mogelijk en nodig.

In Fig. 12 zien we vervolgens de tijd tot het halen van het gewenste vermogen bij te veel injectie.

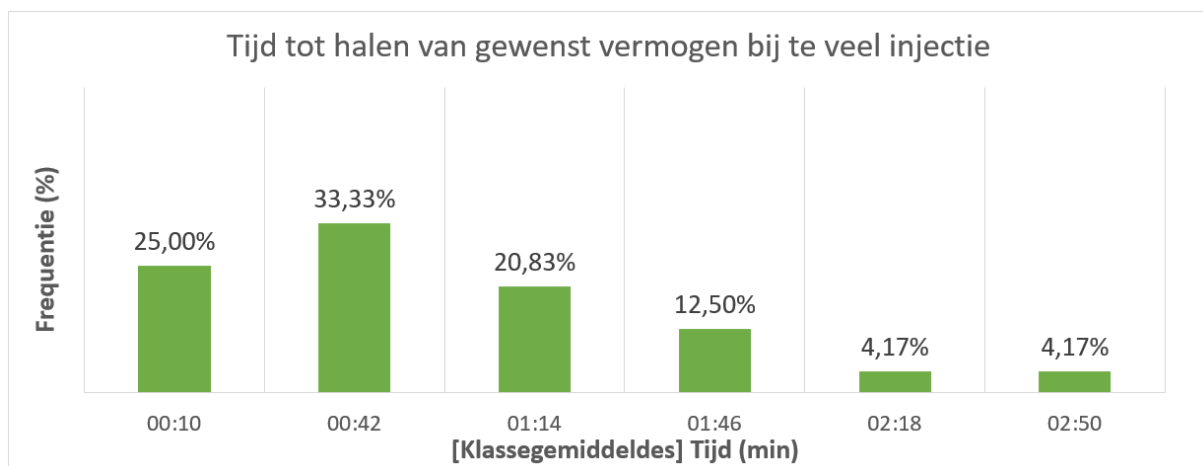


Fig. 12: Frequentieverdeling tijd tot halen van gewenst vermogen bij te veel injectie

Zoals ook eerder vermeld in hoofdstuk 2.2.3 Analyse 'probleemkwartieren' zijn deze kwartieren eenvoudiger op te lossen. Volgens deze theoretische simulatie is in al deze kwartieren binnen de 3 minuten het gewenste totaalvermogen van onder 3000 kWh bereikt.

2.3.2.2 Aantal op-/afschakelingen per toestel

In Fig. 13 wordt weergegeven hoe vaak elk toestel is op- of afgeschakeld tijdens de probleemkwartieren met te hoog verbruik. Zoals eerder vermeld is er geen data beschikbaar over welke toestellen op welk moment actief zijn. Hierdoor zal de verdeling van op- en afgeschakelde toestellen per logging in de praktijk afwijken van de hier weergegeven resultaten.

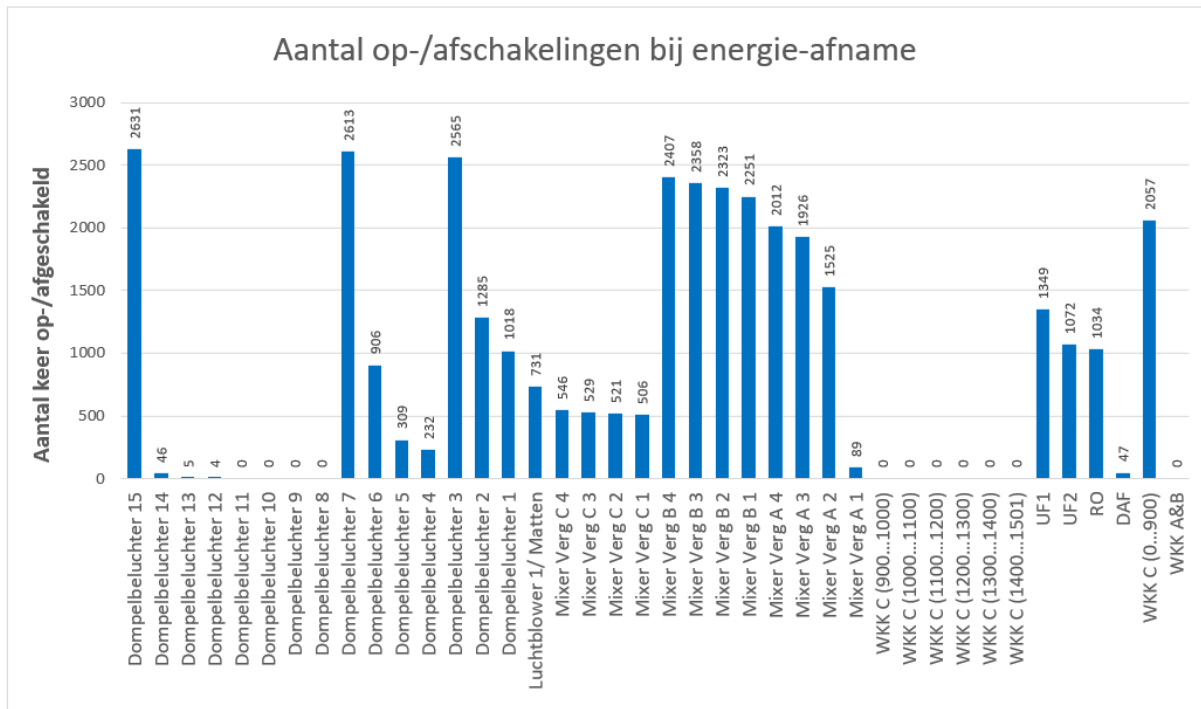


Fig. 13: Aantal op-/afschakelingen per toestel bij energie-afname

In Fig. 14 wordt weergegeven hoe vaak elk toestel is op- of afgeschakeld tijdens de probleemkwartieren met te veel injectie. Ook hier werd in deze theoretische simulatie aangenomen dat alle toestellen uitgeschakeld zijn, waardoor de op- en afschakeling eenvoudig volgens de prioriteitsvolgorde wordt doorlopen.

In de praktijk zullen echter bepaalde verbruikers reeds actief zijn, waardoor deze niet bijkomend kunnen worden opgeschakeld.

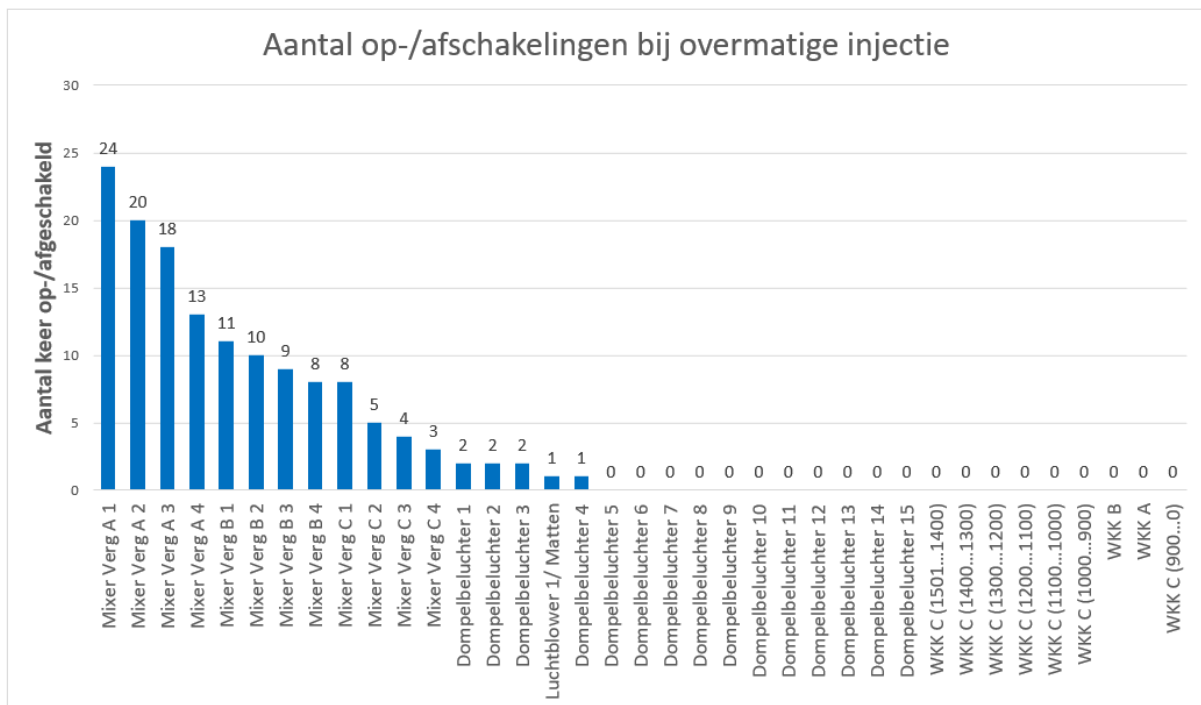


Fig. 14: Aantal op-/afschakelingen per toestel bij te veel injectie

Zoals te zien is op de grafiek, zijn er in deze situaties telkens voldoende andere verbruikers beschikbaar om de energieovermaat weg te werken. Dit betekent dat, ondanks het feit dat in de praktijk bepaalde verbruikers niet bijkomend kunnen worden opgeschakeld, er steeds voldoende alternatieve toestellen beschikbaar zijn.

In extreme gevallen kan ook WKK C dynamisch worden geregeld tussen 1501 kW en 900 kW om de overtollige energie te beperken. Tijdens deze kwartieren kan het totale vermogen in theorie dus steeds worden begrensd tot maximaal 3000 kW.

2.3.3 Eerste conclusies

Deze theoretische EMS-simulatie vormt een inschatting van de verwachte werking van de sturing en biedt bijgevolg geen definitief beeld van het gedrag in de praktijk. Om dit te verifiëren, dient deze eerste versie te worden geïmplementeerd en getest.

De simulatie geeft echter wel een indicatie van het mogelijke eindresultaat. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de eerdere verwachtingen worden bevestigd: enerzijds kan het importeren van energie niet volledig worden vermeden, maar wel worden beperkt, en anderzijds lijkt het mogelijk om te vermijden dat het totale vermogen boven de limiet van 3000 kW uitkomt.

Een belangrijk aspect waarmee in deze simulatie nog geen rekening wordt gehouden, is het tijdstip waarop pieken of dalen in het totale vermogen zich voordoen binnen het kwartier. Aangezien het gemiddelde totale vermogen per kwartier wordt beheerd, is het noodzakelijk dat de sturing ook binnen dit kwartier kan reageren om dergelijke pieken en dalen af te vlakken.

Wanneer bijvoorbeeld de drie WKK's gedurende tien minuten op maximaal vermogen draaien en de accu pas tijdens de laatste vijf minuten maximaal begint te injecteren, resteert er slechts een beperkte tijdspanne om bij te sturen zodat het kwartiergemiddelde binnen de limieten blijft. In de huidige versie van dit EMS is geen 'urgentiefactor' meegerekend waardoor deze mogelijk in bepaalde scenario's te traag zal reageren.

Dit vormt een mogelijke verbetering voor de toekomst. In deze eerste versie van de sturing werd hier nog geen rekening mee gehouden, aangezien dit de complexiteit van het EMS aanzienlijk zou verhogen. Gezien de beperkte duur van de stageperiode van drie maanden, was het niet haalbaar om dit verder uit te werken. Indien nodig kan deze uitbreiding in een latere fase worden onderzocht en geïmplementeerd.

3 Ontwikkeling van de EMS-applicatie

In de tweede fase van deze stageopdracht is de bijbehorende EMS-applicatie ontwikkeld. Deze applicatie dient voor de visualisatie van gegevens en bevat enkele sturingsmogelijkheden. We hebben hiervoor een desktop applicatie ontwikkeld in C# WinForms op .NET 8 in Visual Studio.

Het schrijven van de code voor deze applicatie is gebeurd met ondersteuning van Al en in samenwerking met de vaste externe programmeur van Guilliams Green Power. Deze programmeur van het bedrijf RS-data werkt al enkele jaren aan de ontwikkeling van de biogasinstallatie.

De applicatie is reeds grotendeels ontwikkeld, maar is nog niet volledig operationeel voor een effectieve implementatie aangezien de beschikbare tijd binnen deze stageperiode hiervoor onvoldoende was. Er werd echter afgesproken om dit project komende zomervakantie verder af te werken als jobstudent, zodat het EMS tegen september 2026 volledig geïmplementeerd en operationeel kan zijn.

Daarom zijn veel onderliggende onderdelen van de applicatie nog niet definitief uitgewerkt en zullen deze verder moeten worden aangepast naarmate de ontwikkeling van de achterliggende PLC-aansturing vordert. Tijdens deze stage werd echter, in samenwerking met de externe programmeur van RS-data, maximaal vooruitgedacht naar het beoogde eindresultaat. De huidige opbouw is daardoor theoretisch zo uitgewerkt dat een verdere afwerking zo efficiënt mogelijk kan verlopen. Het blijft echter onvermijdelijk dat er nog structurele aanpassingen zullen moeten gebeuren, voornamelijk tijdens de test- en implementatiefase.

Naast het ontwikkelen van de Visual Studio applicatie zijn er verder ook nog enkele kleine testprogramma's geschreven in TwinCat 3 om het gedrag van de uiteindelijke Beckhoff CX5230 PLC te simuleren. Het doel hiervan is om te testen of alle datacommunicatie correct verloopt van de PLC tot aan de Visual Studio applicatie.

Alvorens de PLC data wordt gevisualiseerd in de Visual Studio applicatie wordt deze eerst opgeslagen in de SQL database. Deze database is de centrale opslag van alle uitgelezen gegevens en is voorzien om grote hoeveelheid data op te slaan. Vervolgens wordt deze data door de Visual Studio applicatie uitgelezen waarna deze met behulp van ScottPlot de data weergeeft.

Naast deze standaard dataflow wordt er ook nog een directe verbinding gemaakt tussen de Visual Studio applicatie en de PLC aan de hand van Beckhoff ADS communicatie. We gaan hiermee gegevens die het gedrag van de sturing bepalen doorgeven aan de PLC rechtstreeks vanuit de applicatie.

Ten slotte wordt via de PLC door middel van JSON de actuele Elia-onbalansprijzen per minuut uitgelezen en ook weergegeven op de applicatie. Verdere uitleg over de SQL-database, Beckhoff ADS communicatie en het uitlezen van de Elia-onbalansprijzen volgt later in dit hoofdstuk.

In de eerste plaats heeft deze applicatie het doel om een grafisch overzicht te bieden over de historische data in verband met de EMS aansturing zodat er gerichte aanpassingen kunnen gedaan worden in het geval dat bepaalde zaken niet het gewenste resultaat leveren of als er toestellen bijkomen of verwijderd worden binnen de installatie.

3.1 Achterliggende werking Visual Studio applicatie

3.1.1 Config.ini file

Om een eenvoudige implementatie in een nieuwe installatie mogelijk te maken, is de applicatie voorzien van een config.ini-bestand. Dit bestand fungeert als centrale configuratiebron en bevat alle instellingen die noodzakelijk zijn voor de correcte werking van het programma, maar die niet vast in de broncode worden opgenomen.

Het configuratiebestand bevat onder andere de parameters voor de verbinding met de SQL Server, zoals de servernaam, de databank en de namen van de gebruikte tabellen. Hierdoor kan de applicatie flexibel gekoppeld worden aan verschillende databases zonder aanpassingen in de code.

Daarnaast bevat het bestand ook de noodzakelijke instellingen voor de communicatie met de Beckhoff PLC via ADS. Dit omvat onder andere het AMS Net ID, het poortnummer en de symbolen die gebruikt worden voor het lezen en schrijven van data binnen de PLC.

Door deze essentiële instellingen te centraliseren in één configuratiebestand wordt de applicatie eenvoudiger te implementeren en aan te passen aan verschillende installaties.

3.1.2 Visualisatie en communicatie met behulp van NuGet packages

Voor de grafische visualisatie van de gegevens, de communicatie met de SQL-database en de Beckhoff ADS communicatie zijn in Visual Studio enkele NuGet packages geïnstalleerd. Een NuGet package is een Zip-bestand dat reeds ontwikkelde en gecompileerde code bevat. Deze packages kunnen gedownload en gebruikt worden binnen projecten ondersteund door Microsoft (2). De drie geïnstalleerde NuGet packages in dit project zijn ScottPlot.WinForms, Microsoft.Data.SqlClient en Beckhoff.TwinCAT.Ads.

3.1.2.1 Opbouw van grafieken met ScottPlot

Voor de grafische weergave van de data in de applicatie is er gebruik gemaakt van het NuGet package ScottPlot.WinForms. Dit NuGet package bevat alle functionaliteiten om deze data eenvoudig weer te kunnen geven in onze applicatie en een inputverwerkingssysteem waarmee standaard interacties zoals zoomen en pannen mogelijk zijn (3).

3.1.2.2 Communicatie met SQL server

Voor het tot stand brengen van de communicatie tussen de applicatie en de SQL Server wordt gebruik gemaakt van het NuGet package Microsoft.Data.SqlClient. Dit package bevat de nodige klassen en functionaliteiten voor een correcte data uitwisseling, waaronder het lezen en schrijven van data, het opzetten van netwerkcommunicatie via TCP/IP, het gebruik van database-specifieke protocollen en het afhandelen van beveiliging en authenticatie (4).

Na het installeren van dit package in het project dient enkel nog een correcte verbinding geconfigureerd te worden in de code. Dit gebeurt aan de hand van een zogenaamde *connection string*, waarin onder andere de servernaam, de gewenste databank en de beveiligingsinstellingen worden vastgelegd.

Op basis van deze connection string maakt de applicatie, aan de hand van het Microsoft.Data.SqlClient package, een netwerkverbinding met de SQL Server. Vervolgens kunnen SQL-queries uitgevoerd worden en kan data op een gecontroleerde manier gelezen en geschreven worden.

3.1.2.3 ADS communicatie met Beckhoff PLC

Om de volledige motorenlijst met de prioriteiten uit te wisselen tussen het programma en de PLC wordt het NuGet package Beckhoff.TwinCAT.Ads gebruikt. Dit package bevat de nodige klassen om een verbinding op te zetten met een TwinCAT PLC en variabelen te lezen en te schrijven. ADS werkt als een client-server systeem. De PLC fungeert als server en stelt zijn variabelen beschikbaar, de Visual Studio applicatie is de client en maakt verbinding met de PLC via een uniek adres, het AMS Net ID, samen met een poortnummer (5).

Omdat de motorenlijst een grotere dataset is, wordt deze niet als individuele variabelen doorgestuurd naar de PLC. In plaats daarvan wordt in de code een struct gedefinieerd die exact overeenkomt met de structuur in de PLC. Deze struct wordt door middel van de functie *WriteAny* in één keer naar de PLC geschreven. Dit is efficiënter en voorkomt synchronisatieproblemen tussen individuele writes.

3.2 SQL database

De SQL database is de centrale opslag van data en de tussenstep tussen de PLC die de data uitleest en de Visual Studio applicatie die deze data weergeeft.

Voor iedere datastroom en voor de toestellenlijst en gebruikerslijst zijn verschillende tabellen opgebouwd waarin deze data wordt opgeslagen, zoals te zien in Fig. 15. De opbouw voor iedere tabel is verschillend zodat deze voldoen aan de eisen van de data die er in staat.

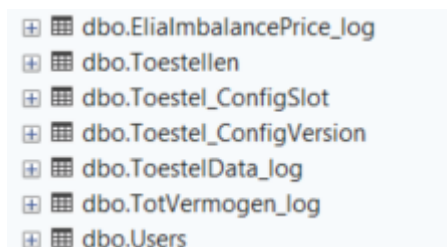


Fig. 15: SQL tabellen

3.2.1 Toestellen- en gebruikerstabellen

3.2.1.1 Toestellentabel (*dbo.Toestellen*)

Deze tabel (Fig. 16) is een exacte kopie van de tabel die terug te vinden is in de Visual Studio applicatie zoals verder in hoofdstuk 3.4.3 getoond wordt. Deze tabel wordt enerzijds in de SQL database opgeslagen en anderzijds in het geheugen van de PLC aangezien dit de toestellen zijn die de PLC zal aansturen. Aanpassingen aan deze tabel in de Visual Studio applicatie kunnen enkel opgeslagen, en met gevolg doorgestuurd, worden als er correcte verbinding is met zowel de database als de PLC zodat hier geen ongelijkheden tussen zitten.

Binnen de applicatie wordt deze tabel gebruikt om berekeningen te maken van welke toestellen op welke momenten geschakeld worden en hoeveel vermogen er in totaal geschakeld wordt op ieder moment.

De PLC zal zijn aansturing baseren op deze tabel aangezien hier de ingestelde op-/afschakelprioriteitenlijsten terug te vinden zijn, alsook enkele andere belangrijke gegevens zoals de maximale tijd dat een toestel mag stilstaan en hoe lang het duurt voor een toestel om aan- of uit te schakelen.

	Id	Active	Active_up	Active_down	Motor_Naam	Motor_Nr	Vermogen	Time_up	Time_down	Soort	Active_max_time	Max_time	Priority_up	Priority_down
1	41	1	1	1	Dompelbeluchter 14	B3-AE-07	33	0	0	0	0	120	27	2
2	42	1	1	1	Dompelbeluchter 15	B3-AE-08	33	0	0	0	0	120	28	1
3	3	1	1	1	Dompelbeluchter 13	B3-AE-06	33	0	0	0	0	120	26	3
4	4	1	1	1	Dompelbeluchter 12	B3-AE-05	33	0	0	0	0	120	25	4
5	5	1	1	1	Dompelbeluchter 11	B3-AE-04	33	0	0	0	0	120	24	5
6	6	1	1	1	Dompelbeluchter 10	B3-AE-03	33	0	0	0	0	120	23	6
7	7	1	1	1	Dompelbeluchter 9	B3-AE-02	33	0	0	0	0	120	22	7
8	8	1	1	1	Dompelbeluchter 8	B3-AE-01	33	0	0	0	0	120	21	8
9	9	1	1	1	Dompelbeluchter 7	B2-AE-04 214M5	30	0	0	0	0	120	20	9
10	10	1	1	1	Dompelbeluchter 6	B2-AE-03 214M4	30	0	0	0	0	120	19	10
11	11	1	1	1	Dompelbeluchter 5	B2-AE-02 214M3	30	0	0	0	0	120	18	11
12	12	1	1	1	Dompelbeluchter 4	B2-AE-01 214M2	30	0	0	0	0	120	17	12
13	13	1	1	1	Dompelbeluchter 3	AF-AE-03 14M4	17	0	0	0	0	120	15	13
14	14	1	1	1	Dompelbeluchter 2	B1-AE-03 14M5	17	0	0	0	0	120	14	14
15	15	1	1	1	Dompelbeluchter 1	AF-AE-01 14M2	17	0	0	0	0	120	13	15
16	16	1	1	1	Luchtblower 1/ Matten	B-AE-01 60M1	17	0	0	0	0	120	16	16
17	17	1	1	1	Mixer Verg C 4	C_R2105	15	0	0	0	0	120	12	17
18	18	1	1	1	Mixer Verg C 3	C_R2104	15	0	0	0	0	120	11	18
19	19	1	1	1	Mixer Verg C 2	C_R2103	15	0	0	0	0	120	10	19
20	20	1	1	1	Mixer Verg C 1	C_R2102	15	0	0	0	0	120	9	20
21	21	1	1	1	Mixer Verg B 4	B_R2105	15	0	0	0	0	120	8	21
22	22	1	1	1	Mixer Verg B 3	B_R2104	15	0	0	0	0	120	7	22
23	23	1	1	1	Mixer Verg B 2	B_R2103	15	0	0	0	0	120	6	23
24	24	1	1	1	Mixer Verg B 1	B_R2102	15	0	0	0	0	120	5	24
25	25	1	1	1	Mixer Verg A 4	A_R2105	15	0	0	0	0	120	4	25
26	26	1	1	1	Mixer Verg A 3	A_R2104	15	0	0	0	0	120	3	26
27	27	1	1	1	Mixer Verg A 2	A_R2103	15	0	0	0	0	120	2	27
28	28	1	1	1	Mixer Verg A 1	A_R2102	15	0	0	0	0	120	1	28
29	29	1	1	0	WKK A		635	0	0	1	0	60	31	0
30	30	1	1	0	WKK B		635	0	0	1	0	60	30	0
31	31	1	1	1	WKK C (900...1501 k...		601	75	75	1	0	60	29	29
32	32	1	0	1	UF1		75	60	120	0	0	0	0	30
33	33	1	0	1	UF2		75	60	120	0	0	0	0	31
34	34	1	0	1	RO		20	400	240	0	0	0	0	32
35	35	1	0	1	DAF		22	30	60	0	0	0	0	33
36	36	1	1	1	WKK C (0...900 kW)		900	240	170	1	0	60	32	34
37	43	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 16: Toestellentabel in SQL database

3.2.1.2 Gebruikerstabel (dbo.Users)

De gebruikerstabel bevat alle gebruikers die binnen de applicatie zijn aangemaakt zoals te zien in Fig. 17.

	Id	Username	PasswordHash	IsActive	Role	DefaultLanguage
1	11	Admin	wnGayHLxUayK...	1	Admin	Dutch
2	12	Antoon	+Y3HL1Dyss4kET...	1	Admin	Dutch
3	13	Operator	eh0z62YODs378L...	1	Operator	English
4	14	Gast	eHrMmFMixnc56...	1	Guest	Dutch

Fig. 17: Gebruikerstabel in SQL database

Deze tabel bevat de naam, het password in hashcode, de rol die binnen de applicatie bepaalde rechten bevat en de standaardtaal die ingesteld wordt door de gebruiker.

3.2.2 De eenvoudige loggingtabellen

De totaalvermogen tabel en Elia-onbalansprijs tabel zijn vrij eenvoudig opgebouwd en zijn simpelweg loggingtabellen die de uitgelezen/gemeten waarde en de bijbehorende datum/tijd weergeven.

3.2.2.1 Totaalvermogen tabel (dbo.TotVermogen_log)

De totaalvermogen tabel bevat naast het gemeten totaalvermogen nog twee extra kolommen die per meting de ingestelde ondergrens en bovengrens opslaan. Deze grenzen zijn instelbaar in de Visual Studio applicatie en worden momenteel nog niet doorgestuurd naar de PLC, maar dit zal in de toekomst nog ingevoerd moeten worden aangezien dit de grenzen zijn waarop de PLC sturing zal reageren.

	Id	Date_and_time	Vermogen	Ondergrens	Bovengrens
1	39219	2026-05-05 09:46:55.000	1693,395	0	3000
2	39220	2026-05-05 09:51:55.000	1884,401	0	3000
3	39221	2026-05-05 09:56:55.000	2633,802	0	3000
4	39227	2026-05-05 10:26:56.000	1341,177	0	3000
5	39231	2026-05-05 10:46:56.000	3311,057	0	3000
6	39233	2026-05-05 10:56:56.000	2154,802	0	3000
7	39234	2026-05-05 11:01:56.000	1191,582	0	3000
8	39236	2026-05-05 11:11:57.000	649,1403	0	2500
9	39240	2026-05-05 11:31:57.000	-144,923	0	2500
10	39244	2026-05-05 11:51:58.000	1350,669	0	2500
11	39246	2026-05-05 12:01:58.000	1791,937	0	2500
12	39249	2026-05-05 12:16:58.000	2619,021	0	2500
13	39251	2026-05-05 12:26:58.000	784,5411	0	2500
14	39253	2026-05-05 12:36:59.000	1687,311	0	2500
15	39255	2026-05-05 12:46:59.000	2127,859	0	2500
16	39259	2026-05-05 13:06:59.000	2569,691	0	2500
17	39265	2026-05-05 13:37:00.000	2545,689	0	3000
18	39266	2026-05-05 13:42:00.000	1270,953	0	3000
19	39268	2026-05-05 13:52:00.000	1327,804	0	3000
20	39269	2026-05-05 13:57:00.000	2187,456	0	3000

Fig. 18: Totaalvermogen tabel in SQL database

3.2.2.2 Elia-onbalansprijs tabel (dbo.EliaImbalancePrice_log)

De Elia-onbalansprijs tabel bevat de actuele uitgelezen energieprij van Elia per minuut. Naast de prijs en de datum/tijd bevat deze tabel nog een extra kolom genaamd 'QualityStatus'. Deze QualityStatus wordt door Elia meegegeven in de gegevens van deze prijs om aan te geven of de data correct is.

	Id	DateTimeUtc	ImbalancePrice	QualityStatus
1	1291	2026-04-22 13:31:00	-128,472	DataIssue
2	1290	2026-04-22 13:30:00	-28,705	DataIssue
3	1292	2026-04-22 13:32:00	-120,331	DataIssue
4	1293	2026-04-22 13:33:00	-110,808	DataIssue
5	1294	2026-04-22 13:35:00	-68,233	DataIssue
6	6041	2026-04-22 13:45:00	-111,808	DataIssue
7	6042	2026-04-22 13:46:00	-140,268	NotValidated
8	6043	2026-04-22 13:47:00	-136,718	NotValidated
9	6044	2026-04-22 13:48:00	-131,803	NotValidated
10	6046	2026-04-22 13:50:00	-117,906	NotValidated
11	6047	2026-04-22 13:51:00	-114,863	NotValidated

Fig. 19: Elia-onbalansprijs tabel in SQL database

3.2.3 De geschakelde toestellentabel (dbo.ToestelData_log)

De opbouw van de tabel die de geschakelde toestellen weergeeft bevat redelijk wat complexiteit om correct op te slaan welke toestellen in welke situatie zijn op-/afgeschakeld en wat het totaal geschakelde vermogen vervolgens is.

3.2.3.1 Reden van de complexiteit

Deze applicatie is voorzien om een totaal van 150 toestellen in het EMS op te nemen. Dit zorgt ervoor dat deze tabel dus 150+ kolommen bevat en snel een zeer grote hoeveelheid geheugen kan nodig hebben. Daarom is er beslist om het aanduiden van op-/afschakelingen per toestel op te slaan met bits (0 en 1), dit om het benodigde geheugen maximaal te beperken zodat ook datacommunicatie vlot kan verlopen.

In eerste instantie lijkt dit eenvoudig op te lossen aangezien we simpelweg per toestel onze bit-waarde van 0 naar 1 kunnen laten veranderen van zodra deze aangestuurd wordt door het EMS. Een voorbeeld hiervan is te zien in Fig. 20.

Prioriteitenlijst bij te weinig opwekking		Prioriteitenlijst bij te veel injectie	
Toestel1	1	Toestel8	1
Toestel2	2	Toestel9	2
Toestel3	3	Toestel10	3
Toestel4	4	Toestel1	4
Toestel5	5	Toestel2	5
Toestel6	6	Toestel3	6
Toestel7	7	Toestel4	7
Toestel8	8	Toestel5	8
Toestel9	9	Toestel6	9
Toestel10	10	Toestel7	10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1/01/2026 12:00	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0
1/01/2026 12:15	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
1/01/2026 12:30	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1/01/2026 12:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/01/2026 13:00	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
1/01/2026 13:15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 20: Voorbeeld 1 toestellenlijst

Op deze figuur is te zien waarom simpelweg het gebruiken van de binaire waarde 1 en 0 op deze manier niet werkt. We zien wel dat bijvoorbeeld om 12:00 in kolom 1 een toestel met prioriteitsnummer 1 is geschakeld, maar we weten daarmee niet of dit nu Toestel1 of Toestel8 is, aangezien deze beide op prioriteit 1 staan in hun prioriteitenlijsten.

Een manier waarop we dit wel kunnen oplossen is door een tweede tabel te voorzien waarin de volgordes worden opgeslagen per prioriteitenlijst. Wanneer een toestel dan niet geschakeld is door het EMS krijgt dit voor dat moment geen binaire waarde (NULL), als het wel geschakeld wordt door het EMS zal de binaire waarde 1 verwijzen naar de ene prioriteitenlijst en de binaire waarde 0 verwijzen naar de andere prioriteitenlijst die opgeslagen is in deze tweede tabel. Een verduidelijkend voorbeeld hiervan is te zien in Fig. 21.

Prioriteitenlijst bij te weinig opwekking		Prioriteitenlijst bij te veel injectie	
Toestel1	1	Toestel8	1
Toestel2	2	Toestel9	2
Toestel3	3	Toestel10	3
Toestel4	4	Toestel1	4
Toestel5	5	Toestel2	5
Toestel6	6	Toestel3	6
Toestel7	7	Toestel4	7
Toestel8	8	Toestel5	8
Toestel9	9	Toestel6	9
Toestel10	10	Toestel7	10

Prioriteiten volgorde	Toestel8	Toestel9	Toestel10	Toestel1	Toestel2	Toestel3	Toestel4	Toestel5	Toestel6	Toestel7
	Toestel1	Toestel2	Toestel3	Toestel4	Toestel5	Toestel6	Toestel7	Toestel8	Toestel9	Toestel10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1/01/2026 12:00	1	NULL	NULL	1	1	NULL	1	1	1	NULL
1/01/2026 12:15	1	1	NULL	1	1	NULL	1	1	1	NULL
1/01/2026 12:30	1	1	1	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
1/01/2026 12:45	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
1/01/2026 13:00	0	0	NULL	NULL	0	0	NULL	NULL	NULL	NULL
1/01/2026 13:15	0	0	0	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Fig. 21: Voorbeeld 2 toestellenlijst

De waarde 1 in de eerste kolom verwijst daarmee naar Toestel1, terwijl de waarde 0 in dezelfde kolom verwijst naar Toestel8. Hiermee kunnen we de data compact houden, maar ook duidelijk bepalen welke toestellen geschakeld zijn op welke momenten.

Daarnaast is er ook het bijkomende probleem dat wanneer de prioriteitenlijsten in de toekomst aangepast zullen worden, de volgorde van de historische data daarmee niet mee mag veranderen.

Om deze data vervolgens toch correct op te slaan zijn er dus in totaal drie tabellen nodig die ieder een functie spelen in de eindweergave van de gegevens.

Deze tabellen zijn te zien in Fig. 22.



Fig. 22: Toestellentabellen in SQL database

3.2.3.2 Hoofdtabel (dbo.ToestelData_log)

In de tabel dbo.ToestelData_log (zie Fig. 23) worden de effectieve schakelingen per moment opgeslagen. We zien hierin dus de kolommen S001...S150 voor de 150 mogelijke toestellen die in het programma toegevoegd kunnen worden. In deze kolommen zien we de waardes 1 of 0 om aan te duiden welk toestel volgens welke prioriteitenlijst is geschakeld.

M	DateTime	Opd/Vermogen	MatrixConfigVersie	S001	S002	S003	S004	S005	S006	S007	S008	S009	S010	S011	S012	S013	S014	S015	S016	S017	S018	S019	S020	S021	S022	S023	S024	S025	S026	S027	S028	S029
85_20021	2025-07-28 13:45:00.0000000	0	6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
85_20022	2025-07-28 14:00:00.0000000	0	6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
85_20023	2025-07-28 14:15:00.0000000	0	6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
85_20024	2025-07-28 14:30:00.0000000	0	6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
85_20025	2025-07-28 14:45:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20026	2025-07-28 15:00:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20027	2025-07-28 15:15:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20028	2025-07-28 15:30:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20029	2025-07-28 15:45:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20030	2025-07-28 16:00:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20031	2025-07-28 16:15:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20032	2025-07-28 16:30:00.0000000	-1115	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20033	2025-07-28 16:45:00.0000000	-1085	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20034	2025-07-28 17:00:00.0000000	-1085	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20035	2025-07-28 17:15:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20036	2025-07-28 17:30:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20037	2025-07-28 17:45:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20038	2025-07-28 18:00:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20039	2025-07-28 18:15:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20040	2025-07-28 18:30:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20041	2025-07-28 18:45:00.0000000	-1085	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20042	2025-07-28 19:00:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20043	2025-07-28 19:15:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20044	2025-07-28 19:30:00.0000000	-1040	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20045	2025-07-28 19:45:00.0000000	-1010	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85_20046	2025-07-28 20:00:00.0000000	-1085	6	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fig. 23: ToestelData tabel in SQL database

Het totaal geschakelde vermogen wordt weergegeven in de kolom 'OpAfVermogen'. Deze waarde wordt na het inladen van de geschakelde toestellen in de Visual Studio applicatie binnen de applicatie berekend en vervolgens teruggestuurd naar deze tabel. Zolang de applicatie dus niet gedraaid heeft zal binnen deze SQL tabel dit vermogen nog op 0 blijven staan. Van zodra het programma de data één keer heeft geladen worden deze vermogens berekend en vervolgens ook weergegeven.

3.2.3.3 Active version tabel (dbo.Toestel_ConfigVersion)

De tabel dbo.Toestel_ConfigVersion is te zien in Fig. 24. Deze tabel heeft als functie het correct bewaren van de historische data na veranderingen binnen de prioriteitenlijsten.

	Id	CreatedAt	CreatedBy	IsActive
1	1	2026-04-23 13:16:15.153	NULL	0
2	2	2026-04-23 13:16:25.020	NULL	0
3	3	2026-04-23 14:35:28.437	NULL	0
4	4	2026-04-23 14:37:07.987	NULL	0
5	5	2026-04-23 16:06:45.530	NULL	0
6	6	2026-04-23 16:06:50.880	NULL	0
7	7	2026-04-24 11:35:10.090	NULL	1

Fig. 24: Active version tabel in SQL database

Bij iedere aanpassing van de prioriteiten in de Visual Studio applicatie krijgt de nieuwe ingeladen data een nieuwe Version ID. De opbouw van oudere prioriteitenlijsten blijft dus opgeslagen in de oudere Version ID's waardoor aanpassingen aan de prioriteiten de historische data niet zullen beïnvloeden. Deze Version ID wordt ook meegegeven in de hoofdtabel dbo.ToestelData_log, in de kolom MatrixConfigVersionId.

In Fig. 25 en Fig. 26 zien we wat er gebeurt als we aanpassingen maken aan de prioriteiten.

3.2.3.4 ConfigSlot tabel (dbo.Toestel_ConfigSlot)

In de ConfigSlot tabel worden de nieuwe prioriteiten na aanpassing opgeslagen in volgorde voor de beide prioriteitenlijsten.

	MatrixConfigVersionId	SlotIndex	PriorityUpMotorId	PriorityDownMotorId
1	1	1	28	42
2	1	2	27	41
3	1	3	26	3
4	1	4	25	4
5	1	5	24	5
6	1	6	23	6
7	1	7	22	7
8	1	8	21	8
9	1	9	20	9
10	1	10	19	10
11	1	11	18	11
12	1	12	17	12
13	1	13	15	13
14	1	14	14	14
15	1	15	13	15
16	1	16	16	16
17	1	17	12	17
18	1	18	11	18
19	1	19	10	19
20	1	20	9	20
21	1	21	8	21
22	1	22	7	22
23	1	23	6	23
24	1	24	5	24
25	1	25	4	25
26	1	26	3	26
27	1	27	41	27
28	1	28	42	28
29	1	29	31	29

Fig. 25: ConfigSlot tabel (Version ID = 1) in SQL database

	MatrixConfigVersionId	SlotIndex	PriorityUpMotorId	PriorityDownMotorId
151	2	1	28	42
152	2	2	27	41
153	2	3	26	3
154	2	4	25	4
155	2	5	24	5
156	2	6	23	6
157	2	7	22	7
158	2	8	21	8
159	2	9	20	9
160	2	10	19	10
161	2	11	18	11
162	2	12	17	12
163	2	13	15	13
164	2	14	14	14
165	2	15	13	15
166	2	16	16	16
167	2	17	12	17
168	2	18	11	18
169	2	19	10	19
170	2	20	9	20
171	2	21	8	21
172	2	22	7	22
173	2	23	6	23
174	2	24	5	24
175	2	25	4	25
176	2	26	3	26
177	2	27	41	27
178	2	28	42	28
179	2	29	31	29

Fig. 26: ConfigSlot tabel (Version ID = 2) in SQL database

Bij aanpassingen aan de prioriteiten wordt voor iedere slot (S001...S150) vastgelegd welk Toestel ID hiertoe behoort. Dit Toestel ID wordt mee opgeslagen in de toestellentabel te zien op Fig. 16. Op die manier kan intern gekeken worden naar welk toestel in welke situatie tot bijvoorbeeld S001 behoort. Door middel van de kolom MatrixConfigVersionId blijven de prioriteiten in het verleden ook onaangetast en geeft dit geen historisch verkeerde weergave.

3.2.4 Archiefdatabase

In de meeste gevallen is het voldoende om tot maximaal een jaar terug te kunnen kijken in de data. Daarom hebben we onze live database beperkt tot maximum 12 maanden. Voor de gevallen waarin er toch teruggekeken zou moeten worden naar oudere data is er een archiefdatabase opgebouwd die identiek is aan de live database.

Maandelijks wordt alle data in de live database ouder dan één jaar automatisch doorgeschoven naar de archief database. Dit wordt gedaan zodat de live database, waarmee alle live communicatie en data uitwisseling gebeurt, beperkt blijft en niet te groot en log wordt na meerdere jaren.

In hoofdstuk 3.4 is te zien hoe we deze data dan nog kunnen bekijken. We kunnen binnen de applicatie wisselen naar 'Archief modus' waardoor deze data zichtbaar is, maar verder alles in read-only staat. Er kunnen dus geen aanpassingen meer gedaan worden aan data ouder dan een jaar, maar ze zijn wel nog steeds beschikbaar.

Het maandelijks verplaatsen van de data gebeurt doormiddel van een SQL Server Agent. Dit is een service binnen SQL die bepaalde taken kan automatiseren. We geven deze agent een procedure of script dat deze op een ingestelde tijd uitvoert.

3.3 PLC programma's in TwinCat 3

Ten slotte zijn er enkele TwinCat programma's geschreven om enerzijds de werking van de applicatie te testen en anderzijds al enkele delen uit te werken.

3.3.1 Uitlezen van actuele Elia-onbalansprijs

Het uitlezen van de actuele Elia-onbalansprijs gebeurt via de publieke Elia Open Data API. Deze API is een koppeling waarmee twee softwareprogramma's (in dit geval het PLC programma en de Elia server) eenvoudig kunnen communiceren. De PLC stuurt een gestandaardiseerd verzoek naar de API waarna de server automatisch de gevraagde gegevens kan terugsturen (6).

De teruggestuurde gegevens staan in JSON formaat. Dit is een tekstformaat waarmee gegevens gestructureerd uitgewisseld kunnen worden tussen programma's. Deze JSON komt binnen als één grote tekststring en kan daarom niet zomaar verwerkt worden binnen de PLC (7). Om dit op te lossen is er een JSON parser gebruikt. Deze parser analyseert de structuur van de volledige string en kan hier de gewenste data uithalen zodat deze bruikbaar is.

Het PLC programma gaat periodiek om de 60 seconden een request uitvoeren via een HTTPS-request naar de URL die de gewenste dataset van Elia bevat. Deze request haalt dan de JSON op en leest vervolgens de benodigde data uit.

Vervolgens wordt binnen ons PLC programma via de TF6420 Database Server library verbinding gemaakt met de SQL server waarnaar de data wordt weggeschreven. Deze library is vergelijkbaar met de NuGet packages binnen Visual Studio en bevat de benodigde functieblokken om deze verbinding eenvoudig op te zetten (8).

3.3.2 Testprogramma's voor toestel data en totaalvermogen

Om de volledige dataflow van PLC, naar de SQL database, naar de Visual Studio applicatie te testen zijn er nog enkele kleine functieblokken gemaakt die data genereren en simuleren. Dit laat ons toe om te testen of binnen de applicatie alles naar behoren werkt als de data door de PLC wordt verzonden. Deze simulaties zijn gemaakt van enerzijds de op-/afgeschakelde toestellen en anderzijds het totaalvermogen.

3.3.3 Buffer voor het vermijden van dataverlies

Het resultaat is dat er drie verschillende datastromen binnenkomen op de PLC: de Elia-onbalansprijs, het totaalvermogen en de op-/afgeschakelde toestellen.

De PLC kan deze drie datastromen simultaan en afzonderlijk verwerken, maar de SQL database kan dit niet. Als er twee vormen van data op de PLC ingelezen worden en deze op exact hetzelfde moment worden doorgestuurd naar de SQL database, gaat één van deze twee gegevens verloren gaan.

Om dit te vermijden is er binnen de PLC een buffer opgebouwd. Deze buffer is een array van 100 rijen die kolommen heeft voor alle vormen van de binnenkomende data. De uitgelezen data wordt dus eerst naar de buffer verplaatst waar het binnenkomt op plaats 100. Als de plaats onder de data vrij is, in dit geval dus plaats 99, gaat deze buffer de data doorschuiven naar plaats 99. Dit doet de buffer zo verder totdat de data op de laatst beschikbare plaats terechtkomt. Dit zorgt ervoor dat de data één voor één geordend wordt binnen de buffer.

Vervolgens gaat deze buffer telkens enkel de data in de laatste rij binnen deze buffer doorsturen naar de SQL server in plaats van dat iedere functieblok dit individueel doet zonder rekening te houden met de andere. Dit proces zorgt er dus voor dat alle data één voor één behandeld wordt zodat er geen dataverlies mogelijk is.

Om te verzekeren dat de data naar de juiste SQL tabel gestuurd wordt, is er naast de kolommen voor de data zelf nog één extra kolom toegevoegd aan deze buffer structuur, namelijk de kolom 'Soort'. De functieblok die de Elia-onbalansprijs uitleest, stuurt de data door naar de buffer en voegt aan deze data in de kolom 'Soort' een '1' toe. Deze waarde 1 laat de buffer weten dat deze data naar de SQL tabel `dbo.ElialmbalancePrice_log` moet verstuurd worden. Data met 'Soort' 2 verwijst naar het totaalvermogen en data met 'Soort' 3 verwijst naar de toesteldata. Een grafische weergave van deze bufferwerking is te zien in Fig. 27.

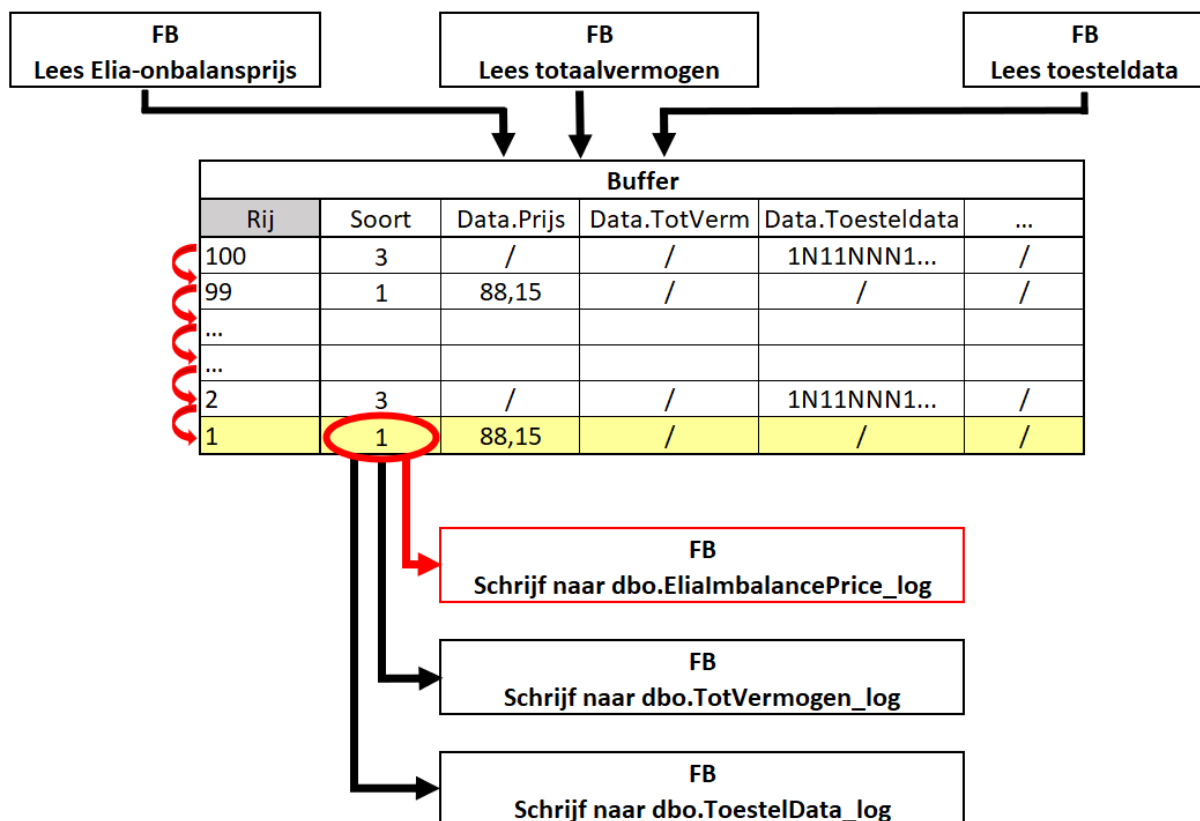


Fig. 27: Grafische voorstelling buffer

Een extra voordeel aan deze buffer is dat er een tijdelijke opslag is voor wanneer de communicatie tussen de PLC en de SQL database wegvalt. Zolang er geen communicatie is kunnen deze 100 rijen opgevuld worden. Zodra de communicatie hersteld is, kan de PLC de data één voor één verwerken en doorsturen.

Als de communicatie echter meerdere uren niet correct werkt zal er uiteraard wel dataverlies zijn aangezien de buffer dan zal vollopen. Maar om korte uitvallen te omzeilen is deze buffer wel zeer geschikt.

3.4 Opbouw en gebruik van de applicatie

3.4.1 MainForm met algemene data en visualisatie

Op Fig. 28 is het MainForm te zien waarop de gebruiker uitkomt na het inloggen op de applicatie. Op dit scherm staat de algemene data grafisch weergegeven met de bijbehorende user interface die de navigatie knoppen en knoppen naar verdere windows bevat. Dit is het hoofdscherm van de applicatie en geeft een snel overzicht van alle data. Met behulp van de user interface knoppen bovenaan kunnen we het getoonde bereik gaan instellen, moment analyses doen, naar de toestellenlijst gaan, gebruikers beheren, de taal instellen en uitloggen.



Fig. 28: Mainform EMS-applicatie

Het scherm bevat voornamelijk twee grafieken. De bovenste grafiek toont het totaal vermogen van de site, de onderste grafiek toont het op-/afgeschakelde vermogen door de aansturing. De getoonde data bestaat momenteel nog uit statische databases van de 14 maanden uitgelezen data waarop de theoretische uitwerking van het EMS is gebaseerd. De ondergrens en bovengrens zijn weergegeven door twee rode horizontale rode lijnen en zijn instelbaar in de user interface boven de grafieken.

In de praktijk zou de grafiek van het op-/afgeschakelde vermogen er gelijkaardig moeten uitzien. De grafiek van het totaalvermogen zou echter in de realiteit minder rode punten moeten bevatten aangezien dit exact de pieken en dalen zijn die het EMS maximaal zou moeten wegwerken.

Rechts bevat het scherm drie tabellen die deze geplote punten op lijsten. De bovenste tabel 'Totaal vermogen' is een opsomming van alle punten die in de bovenste grafiek zijn weergegeven, de twee onderste tabellen 'Kwartieren onder ondergrens' en 'Kwartieren boven bovengrens' bevatten alle rode geplote punten uit de bovenste grafiek.

3.4.2 Moment analyse

Via de knop 'Moment analyse' op het hoofdscherm kunnen we dan specifieke kwartieren gaan analyseren uit de data. We komen hiervoor op het volgende scherm weergegeven op Fig. 29.



Fig. 29: Moment analyse EMS-applicatie

Dit scherm bevat opnieuw twee grafieken, de bovenste grafiek representeert de twee grafieken van het hoofdscherm over elkaar en de onderste grafiek toont de uitgelezen Elia-onbalansprijzen per minuut. Op deze grafieken is een verticale rode lijn te zien. Als we deze lijn verplaatsen door erop te klikken en te verslepen, worden de waarden van dat specifieke moment weergegeven in de tabellen rechts. De bovenste tabel bevat de waarde van het totaalvermogen, het op-/afgeschakelde vermogen en de energieprij op dat moment, en de onderste tabel geeft weer welke toestellen op dat moment op-/afgeschakeld zijn geweest door het EMS. De rode lijn verplaatst gesynchroniseerd op beide grafieken zodat deze altijd hetzelfde moment weergeeft.

Als we inzoomen op de grafieken kunnen we een beter beeld krijgen van wat we hier kunnen zien. Een voorbeeld hiervan is te zien op Fig. 30.



Fig. 30: Moment analyse EMS-applicatie (ingezoomd)

In realiteit zou dus, zoals eerder vermeld, de grafiek van het totaalvermogen niet meer zo ver onder de ondergrens of boven de bovengrens moeten uitkomen waardoor het beter zichtbaar is wat de impact is van het op-/afgeschakelde vermogen. Dit voorbeeld geeft wel al een beeld van de werking.

3.4.3 Maandgegevens

Als we op de knop 'Maandgegevens' op het hoofdscherm klikken, zien we een overzicht per maand van enerzijds het totaal geschakelde vermogen en anderzijds hoe vaak ieder toestel is geschakeld door het EMS. (Fig. 31)

Maand gegevens					
Mei 2026		Vorige	Volgende		
Totaal op-/afgeschakeld vermogen bij te weinig opwekking			Totaal op-/afgeschakeld vermogen bij te veel injectie		
Totaal vermogen		Waarde	Totaal vermogen		Waarde
		136,46 MW			49,73 MW
Totale energie		34,11 MWh	Totale energie		12,43 MWh
Aantal schakelingen per toestel bij te weinig opwekking			Aantal schakelingen per toestel bij te veel injectie		
Prioriteit af	Toestel	Aantal schakelingen	Prioriteit op	Toestel	Aantal schakelingen
1	Dampbeluchter 15	89	1	Mixer Verg A 1	89
2	Dampbeluchter 14	0	2	Mixer Verg A 2	0
3	Dampbeluchter 13	89	3	Mixer Verg A 3	89
4	Dampbeluchter 12	89	4	Mixer Verg A 4	0
5	Dampbeluchter 11	0	5	Mixer Verg B 1	89
6	Dampbeluchter 10	90	6	Mixer Verg B 2	89
7	Dampbeluchter 9	90	7	Mixer Verg B 3	89
8	Dampbeluchter 8	0	8	Mixer Verg B 4	89
9	Dampbeluchter 7	90	9	Mixer Verg C 1	0
10	Dampbeluchter 6	0	10	Mixer Verg C 2	0
11	Dampbeluchter 5	90	11	Mixer Verg C 3	0
12	Dampbeluchter 4	0	12	Mixer Verg C 4	89
13	Dampbeluchter 3	88	13	Dampbeluchter 1	88
14	Dampbeluchter 2	88	14	Dampbeluchter 2	0
15	Dampbeluchter 1	88	15	Dampbeluchter 3	0
16	Luchtblower 1/ Matten	0	16	Luchtblower 1/ Matten	88
17	Mixer Verg C 4	88	17	Dampbeluchter 4	0
18	Mixer Verg C 3	0	18	Dampbeluchter 5	88
19	Mixer Verg C 2	88	19	Dampbeluchter 6	0
20	Mixer Verg C 1	88	20	Dampbeluchter 7	88
21	Mixer Verg B 4	0	21	Dampbeluchter 8	0
22	Mixer Verg B 3	0	22	Dampbeluchter 9	0
23	Mixer Verg B 2	0	23	Dampbeluchter 10	0
24	Mixer Verg B 1	0	24	Dampbeluchter 11	0
25	Mixer Verg A 4	0	25	Dampbeluchter 12	0
26	Mixer Verg A 3	0	26	Dampbeluchter 13	0
27	Mixer Verg A 2	0	27	Dampbeluchter 14	0
28	Mixer Verg A 1	0	28	Dampbeluchter 15	0
29	WKK C (900...1501 kW)	0	29	WKK C (900...1501 kW)	0
30	UFI	0	30	WKK B	0
31	UFI	0	31	WKK A	0

Fig. 31: Maandgegevens EMS-applicatie

Aan de hand van dit overzicht kan de gebruiker eenvoudig inschatten hoe vaak het EMS de toestellen binnen de installatie schakelt. Zo kan men vaststellen of bepaalde toestellen te veel of te weinig worden geschakeld en kan men aan de hand hiervan de prioriteiten aanpassen als dit nodig blijkt.

3.4.4 Motorenlijst

Via de knop 'Toestellen lijst' op het hoofdscherm gaan we naar het scherm waar we een overzicht krijgen te zien van alle toestellen en benodigde gegevens zoals te zien in Fig. 32.

Volledige toestellen lijst												
Actief	Actief up	Actief down	Toestel naam	Toestel nr.	Vermogen [kW]	Tijd up	Tijd down	Type	Max tijd actief	Max tijd	Prioriteit up	Prioriteit down
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 15	B3-AE-08	33	0	0	Passief	120	28	1	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 14	B3-AE-07	33	0	0	Passief	120	27	2	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 13	B3-AE-06	33	0	0	Passief	120	26	3	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 12	B3-AE-05	33	0	0	Passief	120	25	4	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 11	B3-AE-04	33	0	0	Passief	120	24	5	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 10	B3-AE-03	33	0	0	Passief	120	23	6	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 9	B3-AE-02	33	0	0	Passief	120	22	7	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 8	B3-AE-01	33	0	0	Passief	120	21	8	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 7	B2-AE-04 214M5	30	0	0	Passief	120	20	9	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 6	B2-AE-03 214M4	30	0	0	Passief	120	19	10	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 5	B2-AE-02 214M3	30	0	0	Passief	120	18	11	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 4	B2-AE-01 214M2	30	0	0	Passief	120	17	12	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 3	AF-AE-03 14M4	17	0	0	Passief	120	15	13	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 2	B1-AE-03 14M5	17	0	0	Passief	120	14	14	
☒	☒	☒	Dompelbeluchter 1	AF-AE-01 14M2	17	0	0	Passief	120	13	15	
☒	☒	☒	Luchtblower 1/ Matten	B-AE-01 60M1	17	0	0	Passief	120	16	16	
☒	☒	☒	Mixer Verg C 4	C_R2105	15	0	0	Passief	120	12	17	
☒	☒	☒	Mixer Verg C 3	C_R2104	15	0	0	Passief	120	11	18	
☒	☒	☒	Mixer Verg C 2	C_R2103	15	0	0	Passief	120	10	19	
☒	☒	☒	Mixer Verg C 1	C_R2102	15	0	0	Passief	120	9	20	
☒	☒	☒	Mixer Verg B 4	B_R2105	15	0	0	Passief	120	8	21	
☒	☒	☒	Mixer Verg B 3	B_R2104	15	0	0	Passief	120	7	22	
☒	☒	☒	Mixer Verg B 2	B_R2103	15	0	0	Passief	120	6	23	
☒	☒	☒	Mixer Verg B 1	B_R2102	15	0	0	Passief	120	5	24	
☒	☒	☒	Mixer Verg A 4	A_R2105	15	0	0	Passief	120	4	25	
☒	☒	☒	Mixer Verg A 3	A_R2104	15	0	0	Passief	120	3	26	
☒	☒	☒	Mixer Verg A 2	A_R2103	15	0	0	Passief	120	2	27	
☒	☒	☒	Mixer Verg A 1	A_R2102	15	0	0	Passief	120	1	28	
☒	☒	☒	WKK C (900...1501 kW)		601	75	75	Actief	60	29	29	
☐	☐	☒	UF1		75	60	120	Passief	0	0	30	
☐	☐	☒	UF2		75	60	120	Passief	0	0	31	
☐	☐	☒	RO		20	400	240	Passief	0	0	32	

Fig. 32: Toestellenlijst EMS-applicatie

We kunnen in deze tabel aanduiden of deze toestellen tot de prioriteitenlijst bij te weinig opwekking of tot de prioriteitenlijst bij te veel injectie behoren en welke prioriteit deze krijgen binnen deze lijsten. Daarnaast zijn er nog een aantal kolommen voorzien om het vermogen per toestel, de maximale tijd dat het toestel aan of uit mag staan, of het een actief of passief toestel is (verbruiker of opwekker) en het toestelnummer in te geven.

Deze motorenlijst wordt na het opslaan bij aanpassingen automatisch geüpdatet in de SQL database en via de Beckhoff ADS communicatie in het geheugen van de PLC. Er is een beveiliging voorzien zodat deze wijzigingen enkel doorgevoerd kunnen worden als er zowel connectie is met de SQL database, als met de PLC zodat deze nooit verschillende versies kunnen ontvangen. De aansturing van het EMS wordt dus op basis van de toestellen die hier ingegeven worden opgebouwd.

3.4.5 Gebruikers

Ten slotte is het programma nog voorzien van gebruikers met specifieke rechten. Deze rechten zijn voorzien zodat niet zomaar iedereen de aansturing kan aanpassen of gebruikers kan toevoegen/verwijderen of paswoorden veranderen. Voor deze gebruikers kan ook telkens een standaard gebruikerstaal worden ingesteld van Nederlands of Engels zodat deze niet telkens manueel aangepast moet worden bij het inloggen.

Er zijn drie soorten gebruikersrechten voorzien:

- 1) Admin: heeft alle rechten.
- 2) Operator: beschikt over bijna alle rechten, behalve het verwijderen van de data en het verwijderen of toevoegen van gebruikers.
- 3) Gast: kan enkel navigeren doorheen het programma. Kan geen aanpassingen maken aan de motorenlijsten of zijn eigen naam of wachtwoord veranderen.

Een admin heeft dus beheer over alle gebruikers binnen het programma zoals te zien in Fig. 33. Het wachtwoord, de naam, de gebruikerstaal en de rol van van iedere gebruiker kan worden aangepast.

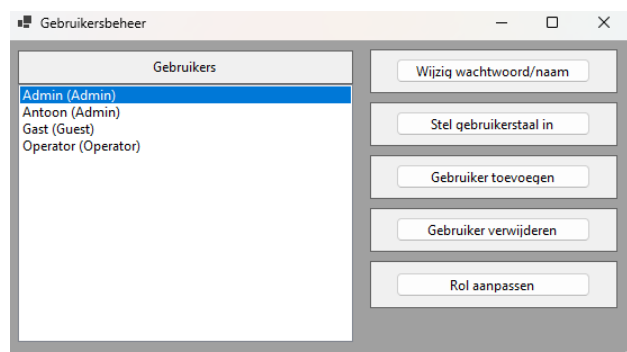


Fig. 33: Gebruikersbeheer Admin

Een operator heeft beperkte rechten binnen het gebruikersbeheer zoals te zien in Fig. 34. Deze kan enkel zijn eigen naam, wachtwoord of gebruikerstaal aanpassen.

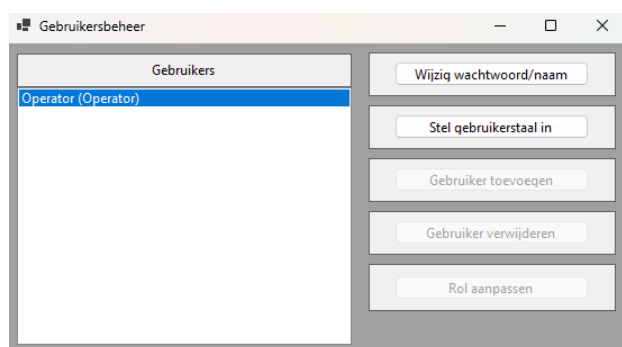


Fig. 34: Gebruikersbeheer Operator

Voor een gast is de knop 'Gebruikers beheren' op het hoofdscherm niet beschikbaar zoals te zien in Fig. 35.

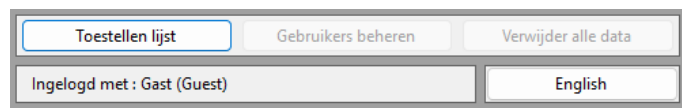


Fig. 35: Gebruikersbeheer Gast

Deze kan dus geen enkele aanpassingen maken. Ook bij de toestellenlijst zijn de knoppen onder 'Edit tabel' uitgeschakeld voor een gast.

3.5 Optimalisatie en gebruiksvriendelijkheid

Naast de correcte werking van het programma is er ook gewerkt aan optimalisatie en gebruiksvriendelijkheid van het programma. Dit omvat een aantal zaken.

3.5.1 Optimalisatie van het programma

De voornaamste oorzaak die voor haperingen en vasthangen van het programma zorgde was het plotten van de datapunten op de grafieken, specifiek het plotten van de data van een volledig jaar. Een jaar bevat ongeveer 35.000 kwartieren en deze dienen allemaal gevisualiseerd te worden. Deze hoeveelheid aan geplote punten bleek dus te zwaar te zijn voor de applicatie.

Om haperingen te vermijden zijn daarom, enkel wanneer we het jaarbereik selecteren, de gevisualiseerde gegevens gedownsampled. Datapunten worden per drie samengevoegd waardoor het totaal geplote punten verminderd wordt naar iets minder dan 12.000 in totaal. Zoals te zien in Fig. 36 en Fig. 37 geeft de tooltip die zichtbaar wordt als men de muis over de grafiek houdt wel nog steeds de correcte waardes aan tussen de effectief geplote punten.

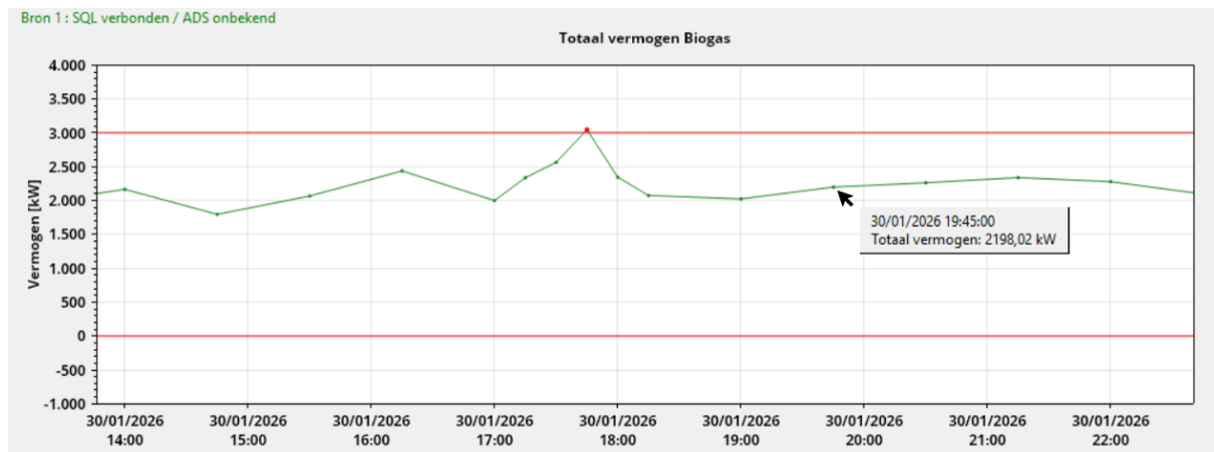


Fig. 37: Voorbeeld 1 tooltip

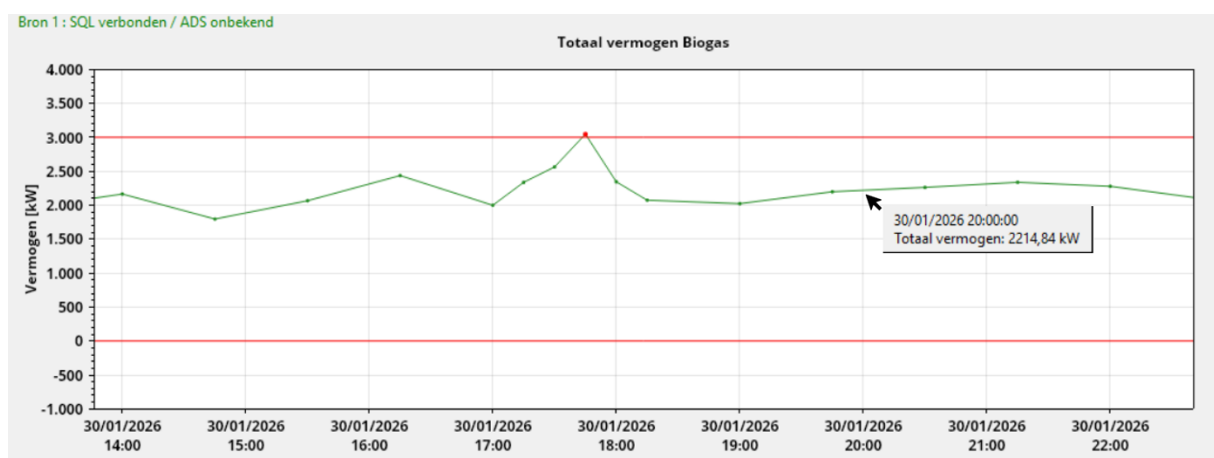


Fig. 36: Voorbeeld 2 tooltip

Daarnaast worden ook alle punten die boven of onder de grenzen vallen wel nog steeds allemaal geplot. Deze worden niet gedownsamled om zo een nog steeds correct beeld te geven van de realiteit.

Verder worden ook de punten op de grafiek van de Elia-onbalansprijs binnen de momentanalyse gedownsamled. Deze data wordt om de minuut uitgelezen en weergegeven en kan dus zelfs bij het plotten van maar één maand al oplopen tot 45.000 punten. Ook hier geeft de tooltip wel nog steeds alle punten aan.

3.5.2 Gebruiksvriendelijkheid

Naast de optimalisatie is er ook gewerkt aan de gebruiksvriendelijkheid van de applicatie om het gebruik voor leken of personeel dat de applicatie zelden gebruikt duidelijker en eenvoudiger te maken.

Zo is er een laadscherm voorzien dat opent na het inloggen op de applicatie. Voordien werd het hoofdscherm meteen geopend en hing dit vervolgens vast tot alle data ingeladen was. Dit laadscherm blijft dus zichtbaar zolang de applicatie de data aan het laden is zodat de gebruiker niet onnodig blijft klikken of de applicatie sluit voordat deze geladen is.

Verder is er op het hoofdscherm een knop voorzien waarmee de gebruiker de taal van de applicatie kan veranderen tussen Nederlands en Engels. Gebruikers kunnen via de knop 'Gebruikers beheren' op het hoofdscherm ook de standaardtaal van hun gebruikersprofiel aanpassen zodat deze standaard op bijvoorbeeld Engels ingesteld staat.

De lay-out van de applicatie is ook zodanig opgebouwd dat deze zich automatisch aanpast aan de grootte van het scherm waarop het geopend is. Hierdoor wordt het volledige scherm opgevuld door de applicatie en zijn er geen openingen tussen grafieken, tabellen, etc.

Daarnaast zijn er doorheen de applicatie meerdere pop-up meldingen voorzien die zichtbaar worden indien nodig. Deze pop-up meldingen geven meer uitleg over de actie die de gebruiker probeert uit te voeren of wanneer er iets misloopt met de applicatie.

Ten slotte is er nog een extra beveiliging toegevoegd in het geval dat de gebruiker alle gebruikersprofielen zou verwijderen waardoor men niet meer zou kunnen inloggen. In dat geval zal er bij het starten van de applicatie eerst een 'Gebruikers setup' scherm openen waarin de gebruiker een Admin gebruikersprofiel kan aanmaken. Hiermee kan vervolgens worden ingelogd op de applicatie en kunnen er eventueel verdere gebruikers aangemaakt worden.

3.6 Verdere stappen na de stageopdracht

Het ontwikkelen en testen van deze applicatie is tot nu toe gebeurd aan de hand van statische datasets die uitgelezen en opgeslagen zijn door Fluvius en SensEnergies. Tijdens de zomervakantie volgend op deze stageopdracht zal ik verder werken aan het effectief implementeren van de applicatie binnen Guilliams Green Power.

Dit zal onder andere inhouden dat er van de huidige Visual Studio applicatie een launcher gemaakt zal worden zodat de applicatie eenvoudig geïnstalleerd kan worden op verschillende pc's. Verder zal er nauwkeurig opgevolgd moeten worden wat de EMS sturing effectief uitvoert en of deze data correct doorgevoerd en weergegeven wordt op de applicatie.

4 Besluit

De opdracht van deze stage bestond origineel uit het theoretisch verwerken en visualiseren van de data in Excel. In het geval dat er tijd restte tijdens de stageperiode kon er ook gestart worden aan het ontwikkelen van een eerste versie van de bijbehorende EMS-applicatie.

De theoretische uitwerking van de data is uiteindelijk op ongeveer zes weken afgewerkt. Daarom bleef er nog de helft van de stageperiode over om de eerste versie van de EMS-applicatie te ontwikkelen. De achterliggende PLC-sturing was op het einde van de stageperiode echter nog niet voldoende ontwikkeld om de applicatie een eerste keer te testen. De volledige implementatie zal ik, tijdens de zomervakantie volgend op deze stage, verder mogen uitwerken als jobstudent bij Guilliams Green Power in samenwerking met de externe programmeur van RS-data.

4.1 Resultaten van de theoretische uitwerking van de data

4.1.1 Opstellen van de prioriteitenlijsten

Initieel zijn er twee prioriteitenlijsten opgesteld die de basis zullen vormen van de EMS-sturing. Deze prioriteitenlijsten geven de volgorde aan waarin bepaalde elektromotoren binnen de installatie zullen op-/afschakelen.

De eerste prioriteitenlijst is opgebouwd voor het geval dat er energieafname van het net is ten gevolge van een tekort aan opwekking van energie binnen de installatie. De tweede prioriteitenlijst is opgebouwd voor de situaties waarin er overmatige energieopwekking is waardoor de contractuele limiet van 3000 kW overschreden wordt.

4.1.2 Theoretische uitwerking van de data en EMS-simulatie in Excel

Op basis van de uitgelezen data van de 24 elektrische loggings en de digitale meters van Fluvius is er vervolgens een EMS-simulatie gemaakt in Excel. Deze simulatie geeft een beeld van het mogelijke resultaat van deze EMS-sturing.

Hieruit is enerzijds gebleken dat het volledig vermijden van energieafname ten gevolge van te weinig energieopwekking niet mogelijk is. Wat echter wel bleek is dat deze energieafname voor een groot stuk beperkt kan worden door bepaalde elektromotoren tijdelijk stil te leggen en zodanig het benodigde vermogen en vervolgens de importkosten te minimaliseren.

Anderzijds is er vastgesteld dat het overschrijden van de contractuele injectielimiet van 3000 kW wel te vermijden is. Het overmatige vermogen is meestal vrij beperkt en kan relatief eenvoudig weggewerkt worden door binnen de installatie enkele elektromotoren op te schakelen en op die manier de overtollige energie intern op te gebruiken.

4.2 Ontwikkeling van de EMS-applicatie

Het ontwikkelen van de EMS-applicatie is gebeurd met behulp van ChatGPT en in samenwerking met de externe programmeur van RS-data. Tot op heden is het testen van de EMS-applicatie enkel gebeurd aan de hand van statische datasets en enkele kleine PLC testprogramma's. Deze statische datasets werden gebruikt om te testen of het programma grote hoeveelheden data correct kon verwerken en weergeven. De PLC testprogramma's zijn gebruikt om de volledige dataflow van de PLC, naar de SQL database en vervolgens naar de applicatie te testen.

4.2.1 Visual Studio applicatie

Op basis beschikbare datasets is in Visual Studio een applicatie ontwikkeld die alle huidige gewenste functionaliteiten bevat. De applicatie bevat de volgende onderdelen:

- 1) Een hoofdscherm waarop de data wordt weergegeven.
- 2) Een momentanalyse waarin data op specifieke momenten bekeken kan worden.
- 3) Een overzicht van het totaal op-/afgeschakelde vermogen en hoe vaak ieder toestel is op-/afgeschakeld door de EMS-sturing per maand.
- 4) De volledige toestellenlijst waarin de prioriteiten, vermogen per toestel, maximale tijd van stilstand, etc. aangepast kunnen worden.
- 5) De mogelijkheid om verschillende gebruikers, met verschillende rechten binnen de applicatie, aan te maken.
- 6) Een archief modus om data ouder dan 1 jaar in read-only te raadplegen.
- 7) De optie om de taal van de applicatie te veranderen tussen Nederlands en Engels.

4.2.2 SQL database

De data wordt vanuit de PLC, die verantwoordelijk is voor de EMS-sturing, eerst doorgestuurd naar de live SQL database, en vervolgens uitgelezen door de applicatie. Alle data ouder dan 1 jaar wordt maandelijks automatisch van de live database overgeschreven naar de archiefdatabase. Dit om de grootte van de live database te beperken aangezien er met deze database gecommuniceerd wordt en er berekeningen op moeten worden uitgevoerd.

4.2.3 TwinCat 3

Naast enkele kleine testprogramma's om de dataflow te testen zijn er in TwinCat 3 nog twee eerste versies van programma's geschreven die gebruikt zullen worden in de finale ontwikkeling van de EMS-sturing.

- 1) Het uitlezen van de live Elia-onbalansprijs. Deze data wordt door de PLC zelf uitgelezen zodat de sturing snel kan reageren op grote prijsveranderingen. Vervolgens wordt deze data doorgestuurd naar de SQL database en weergegeven op de applicatie.
- 2) Een buffer functie die een correcte data-verhandeling naar de SQL database verzekert. Alle data die uitgelezen wordt door de PLC zal eerst in de buffer terechtkomen waardoor deze vervolgens één voor één doorgestuurd kunnen worden naar de SQL database. Dit vermijdt de kans dat er op exact hetzelfde moment twee vormen van data binnenkomen en doorgestuurd moeten worden, wat zou leiden tot dataverlies. Ook is deze buffer een beschermingslaag tegen communicatieverlies aangezien de data hier tijdelijk opgeslagen kan worden.

4.3 Slotconclusie

Het doel van deze stageopdracht is zeker behaald. Ook het ontwikkelen van de EMS-applicatie staat al in een verdere fase dan initieel verwacht. Komende zomervakantie zal ik verder werken aan dit project met als doel de EMS-applicatie volledig te integreren in de biogasinstallatie van Guilliams Green Power.

De volledige werking van deze EMS-sturing zal Guilliams Green Power een aanzienlijk verbeterde controle geven over het energiebeheer van hun installatie. Het gevolg zal een beperking van energieafname zijn, het vermijden van boetes door het overschrijden van het contractuele limiet van 3000 kW en meer flexibiliteit om in te spelen op actuele energieprijzen.

Ik ben zeer tevreden van het project dat ik gekregen heb bij Guilliams Green Power. Het was zeer leerrijk om mee te werken aan de ontwikkeling van dit EMS en vanop de eerste rij te leren wat het allemaal inhoudt om zulke projecten uit te werken. Van de theoretische analyse, tot de ontwikkeling en uitwerking van de applicatie, en in de toekomst integratie binnen de installatie.

5 Bibliografie

1. De biogasinstallatie van Green Power — Guiliams Group [Internet]. Available from: <https://www.guiliamsgroup.be/green-power>
2. Wat is NuGet en wat doet het? | Microsoft Learn [Internet]. Available from: <https://learn.microsoft.com/nl-be/nuget/what-is-nuget>
3. ScottPlot - Interactive Plotting Library for .NET [Internet]. Available from: <https://scottplot.net/>
4. NuGet Gallery | Microsoft.Data.SqlClient 7.0.0 [Internet]. Available from: https://www.nuget.org/packages/Microsoft.Data.SqlClient/7.0.0?_src=template
5. NuGet Gallery | Beckhoff.TwinCAT.Ads 7.0.172 [Internet]. Available from: https://www.nuget.org/packages/Beckhoff.TwinCAT.Ads/7.0.172?_src=template
6. What Is an API (Application Programming Interface)? | IBM [Internet]. Available from: <https://www.ibm.com/think/topics/api>
7. JSON [Internet]. Available from: <https://www.json.org/json-en.html>
8. TF6420 | TwinCAT 3 Database Server | Beckhoff Worldwide [Internet]. Available from: <https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/tfxxx-twincat-3-functions/tf6xxx-connectivity/tf6420.html>