

Advies en expertise in het kader van het beoordelen van de capaciteit van (laagspannings)netten

Onderdeel II: Ondersteuning voor het opstellen van
toekomstscenario's

Auteurs: Reinhilde D'hulst, Kris Kessels, Thijs Becker, Gwen Willeghems, en Koen Vanthournout

Datum: februari 2025

Inhoudstafel

Inhoudstafel	2
Lijst van figuren	3
Lijst van tabellen.....	4
Lijst van afkortingen.....	5
1. Inleiding	6
1.1. Context en doelstellingen.....	6
1.2. Aanpak.....	7
1.3. Structuur van dit rapport	8
2. Simulaties van de netten	9
2.1. Gesimuleerde scenario's.....	9
2.2. Geanalyseerde congestieparameters	10
2.3. Definitie van de regressiecurves	12
3. Range van de feederpiekbijdrage	16
3.1. Inleiding.....	16
3.2. Range o.b.v. VREG LS-CAP studie.....	16
3.2.1. Range voor EV	16
3.2.2. Range voor WP	17
3.2.3. Range voor PV	18
3.3. Range o.b.v. Fluvius digitale meter data	19
4. Bepaling van de omslagpunten door interpolatie.....	22
5. Conclusies.....	29
Referenties	30
Appendix	31

Lijst van figuren

Figuur 1.1: Plan van aanpak voor de studie	6
Figuur 1.2: Overzicht van de aanpak.....	7
Figuur 2.1: Overzicht van de basisscenario's.....	10
Figuur 2.4: Relatie tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname en ratio overstroom afname en gemiddelde synchrone piek bijdrage injectie en ratio overstroom injectie, en bijhorende regressievergelijkingen	13
Figuur 2.5: Relatie tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname en ratio onderspanning afname en gemiddelde synchrone piek bijdrage injectie en ratio overspanning injectie, en bijhorende regressievergelijkingen	13
Figuur 2.6: Relatie tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname en ratio transfo overstroom afname en gemiddelde synchrone piek bijdrage injectie en ratio transfo overstroom injectie, en bijhorende regressievergelijkingen	14
Figuur 4.1: Impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio overstroom afname en injectie voor de feeders.....	23
Figuur 4.2: Impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio onderspanning afname en ratio overspanning injectie voor de feeders.....	25
Figuur 4.3: Impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio overstroom afname en injectie voor de transfo's	27

Lijst van tabellen

Tabel 2.1: Overzicht van de gesimuleerde scenario's.....	9
Tabel 2.2: Overzicht van de gebruikte congestieparameters en hun betekenis	11
Tabel 2.3: Overzicht van de gebruikte regressievergelijkingen	15
Tabel 3.1: Overzicht van aantallen EVs per laadvermogen per scenario, en gemiddelde feederpiekbijdrage per scenario	17
Tabel 3.2: Overzicht van aantallen WPs per laadvermogen per scenario, en gemiddelde feederpiekbijdrage per scenario	18
Tabel 3.3: Overzicht van aantallen PV-installaties per vermogen per scenario, en gemiddelde feederpiekbijdrage per scenario	19
Tabel 3.4: Minimum, gemiddelde en maximum feederpiekbijdrage bij 20 connecties zonder en met EV, WP en PV (Bron: Fluvius DM data [3])	20
Tabel 3.5: Range feederpiekbijdrage op basis van beide methodes	21
Tabel 0.1: Resultaten van de berekening van de regressie voor ratio overstroom afname en injectie feeders	31
Tabel 0.2: Resultaten van de berekening van de regressie voor ratio onderspanning afname en overspanning injectie feeders	31
Tabel 0.3: Resultaten van de berekening van de regressie voor ratio overstroom afname en injectie transfo's	31

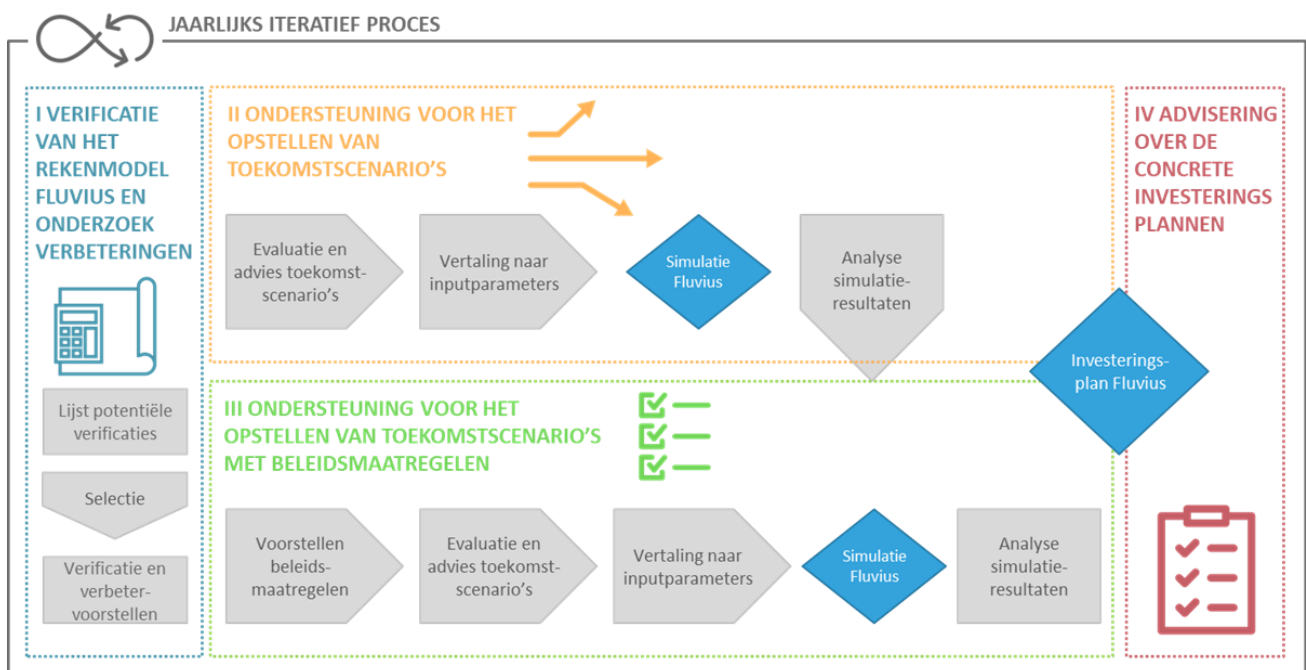
Lijst van afkortingen

Afkorting	Betekenis
DM	Digitale meter
DSO	Distributie Netbeheerder
EAN	European Article Numbering
EV	Elektrische wagen
LOWESS	Locally Weighted Scatterplot Smoothing
LS	Laagspanning
LS-CAP	Capaciteit van de laagspanningsnetten
NGIN	Next Generation Infrastructure
OLS	Ordinary least square
PV	Zonnepanelen
WP	Warmtepomp

1. Inleiding

1.1. Context en doelstellingen

Dit rapport beschrijft het tweede onderdeel van de studie om advies en expertise aan te bieden in het kader van het beoordelen van de capaciteit van (laagspannings)netten. Een samenvatting van het gehele plan van aanpak en hoe dit Onderdeel II in dit plan past, wordt weergegeven in Figuur 1.1.



Figuur 1.1: Plan van aanpak voor de studie

Het doel van de vorige versies van deze rapporten was om ondersteuning te bieden bij het opstellen van toekomstscenario's voor de tijdshorizonten 2030, 2040 en 2050 voor aantallen van elektrische voertuigen (EVs), warmtepompen (WPn), en zonnepanelen (PV). In de eerste 2 iteraties van deze studie [1], [2], lag de focus van dit onderdeel op het samenbrengen van alle groeivoorspellingen over deze toestellen, het opbouwen van groeiscenario's (vertrekken van deze publieke getallen en/of toekomst narratieven), waarna de impact van deze scenario's vervolgens bepaald werd door Fluvius met behulp van de rekenmiddelen die zij daarvoor tot hun beschikking hebben (NGIN tool).

Voor deze derde iteratie van deze studie, is beslist om deze aanpak wat te wijzigen, en om specifiek te focussen om de relatieve impact van afname versus injectie. Historisch was de assumptie immers dat de afname pieken op de LS assets steeds hoger zal liggen dan die door injectie. Dit gebaseerd op de observatie dat de nominale vermogens van warmtepompen en (vooral) elektrische voertuigen significant hoger zijn dan die van zonnepanelen, en gebaseerd op de assumptie dat deze nieuwe toestellen een hoge gelijktijdigheid zullen kennen. Recente evoluties en inzichten zetten echter druk op deze assumptie, en de waarschijnlijkheid dat de dimensionering van onze netten in de toekomst door de injectiepiek gedreven zal worden, is gestegen.

(al dan niet in een overgangperiode, waarbij de uitrol van zonnepanelen voor ijlt op die van EVs en WPen) ([3]). Uit recente evoluties blijkt bijvoorbeeld namelijk dat het aantal EVs (voornamelijk salariswagens) evolueert volgens de lager gedefinieerde scenario's (zie [1], [2]). Ook is het succes van WPn gedaald nu de energieprijzen opnieuw genormaliseerd zijn. Voor PV blijkt echter dat deze blijvend succesvol zijn, met de evolutie naar een 1GW markt voor Vlaanderen in 2023.

Het doel van deze derde iteratie van dit rapport is daarom om inzichten te verwerven over de waarschijnlijkheid dat injectie leidend zou kunnen worden op afname, en meer specifiek, voor welke combinatie van afname - en injectiescenario's dit zou gebeuren. Ook wil dit rapport inzichten verwerven over welke componenten van het laagspannings (LS)-net het meest gevoelig zijn voor deze omslagpunten. Meer specifiek betekent dit dat er gekeken wordt naar mogelijke stroom- en spanningsproblemen, zowel bij feeders als transfo's.

1.2. Aanpak

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, delen we ons onderzoek op in verschillende stappen, deze worden uitgelegd aan de hand van Figuur 1.2. In een eerste stap zullen we de basisscenario's, die we in [2] bepaald hebben, opnieuw rekenen in de Fluvius tool, NGIN, die recent verbeterd werd met o.a. extra resultaatvariabelen specifiek rond injectie, en op basis van de meest recente netdata. Op basis van de resultaten definiëren we voor de meest relevante¹ congestieparameters regressiecurves met het oog op Stap 3. In parallel berekenen we in Stap 2 de feederpiekbijdrage en de range ervan (i.e., minimum, gemiddelde en maximum) voor de toestellen EV, WP en PV, en dit op basis van twee verschillende methoden. De resultaten van Stap 1 en 2 worden vervolgens samengebracht in een Stap 3, waar de impact van de feederpiekbijdrage van de toestellen op de congestieparameters (bepaald in Stap 1) bepaald wordt o.b.v. de eerder gedefinieerde regressiecurves. Tenslotte kunnen we in een vierde en laatste stap de omslagpunten bepalen wanneer injectie leidend wordt op afname en wat de daaruit volgende conclusies zijn voor de impact op het net.



Figuur 1.2: Overzicht van de aanpak

¹ Hiermee worden de meest relevante congestieparameters voor deze specifieke onderzoeksvraag bedoeld, zijnde parameters die meer informatie geven over of een maatstaf zijn voor mogelijke stroom- en spanningsproblemen op feeders en transfo's.

1.3. Structuur van dit rapport

Dit rapport is als volgt opgebouwd: het huidige hoofdstuk dient als inleiding waarin de context, doelstellingen en algemene aanpak uitgelegd worden. Hoofdstuk 2 focust op netberekeningen, en legt de set-up van de nieuwe simulaties en berekeningen uit die als input zullen dienen voor Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 3 wordt, overeenkomstig met Stap 2 van de aanpak, de range van de verschillende toestellen bepaald op basis van twee methodes. Deze range dient als een belangrijke tweede input, samen met de resultaten van Hoofdstuk 2, voor het bepalen van de omslagpunten in Hoofdstuk 4. In dat hoofdstuk worden Stap 3 en Stap 4 van de aanpak besproken. Hoofdstuk 5, tenslotte, vat de conclusies van dit rapport samen.

2. Simulaties van de netten

In dit hoofdstuk wordt het werk beschreven dat ondernomen is met behulp van netrekentools van Fluvius (NGIN simulatie tool) [4].

Het doel van dit hoofdstuk is om regressiecurves op te stellen, die het verband tussen gemiddelde feederpiekbijdrage en verschillende congestieparameters in kaart brengen. De feederpiekbijdrage is hoeveel een aansluiting, dan wel een bepaald toestel, verbruiken of injecteren op het moment waarop de feeder zijn hoogste afname, dan wel injectiejaarpiek ondergaat. De feederpiekbijdrage is een primaire parameter die gebruikt wordt om te bepalen hoeveel capaciteit in een lokaal net voorzien moet worden. De relatie tussen (synchrone) piekbijdrage en het (asynchrone) piekverbruik (of -injectie) van een connectie of toestel is: [synchrone gemiddelde piekbijdrage = asynchrone gemiddelde individuele piek * gelijktijdigheid].

Deze regressiecurves worden vervolgens in Hoofdstuk 4 gebruikt om de impact van feederpiek van individuele toestellen op het laagspanningsnet te bepalen. Daarom geven we in dit hoofdstuk eerst een kort overzicht van de scenario's die gesimuleerd zullen worden en die als input zullen dienen voor de regressiecurves. Verder worden de congestieparameters die berekend zullen worden voor elk van de scenario's kort toegelicht. Als laatste stap in dit hoofdstuk worden dan de regressiecurves berekend op basis van de gesimuleerde scenario's.

2.1. Gesimuleerde scenario's

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de gesimuleerde scenario's die gebruikt zullen worden voor het bepalen van de regressiecurves a.d.h.v. een aantal congestieparameters (zie Tabel 2.2).

Tabel 2.1: Overzicht van de gesimuleerde scenario's

Verhaallijn	Jaar
Actuele situatie	2020, 2024
Basis scenario Energie Efficiënt	2030, 2040, 2050
Basis scenario Evolutie	2030, 2040, 2050
Basis scenario Technologie	2030, 2040, 2050

Deze scenario's zijn de basisscenario's die voor deze studie bepaald werden in 2023 [2]. Figuur 2.1 geeft een beknopt overzicht van deze scenario's, voor meer details verwijzen we naar [2].



Figuur 2.1: Overzicht van de basisscenario's

Het Energie Efficiënt scenario heeft eerder een lage impact op het LS net omdat er volop wordt ingezet op het coöperatieve aspect, zoals autodelen, warmtenetten en energiedelen. Het Technologie scenario heeft een eerder hoge impact op het LS net omdat er volop wordt ingezet op individuele technische oplossingen. Het Evolutie scenario ligt tussen in de meer 'extreme' paden en hier wordt eerder een medium impact op het LS net verwacht.

In de huidige analyse is de interpretatie van de scenario's irrelevant. De scenario's hebben hier namelijk enkel als doel om als datapunten gebruikt te worden in de regressiecurves.

2.2. Geanalyseerde congestieparameters

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de specifieke congestieparameters die berekend zullen worden o.b.v. de resultaten van de NGIN scenario-simulaties.

Meer bepaald kijken we naar afname en injectie, zowel op niveau van feeder als transfo, en dit voor stroom- en spanningsproblemen. De gemiddelde synchrone piekbijdrage per aansluiting voor afname en injectie wordt berekend en vervolgens in Sectie 2.3 geplot op de X-as, terwijl de andere zes congestieparameters in dezelfde sectie geplot worden op de Y-as. Het spreekt voor zich dat de congestieparameters die gerelateerd zijn aan afname, i.e., ratio overstroom afname, ratio onderspanning afname en ratio transfo overstroom afname, enkel geplot worden in functie van de gemiddelde synchrone piekbijdrage afname, terwijl de congestieparameters die gerelateerd zijn aan injectie, i.e., ratio overstroom injectie, ratio overspanning injectie en ratio transfo overstroom injectie, enkel geplot worden in functie van de gemiddelde synchrone piekbijdrage injectie.

De waarden van de congestieparameters worden in NGIN berekend op niveau van de statische sector. Omdat we echter een gemiddeld beeld voor Vlaanderen willen bekomen, wordt voor elk van deze parameters een Vlaams gemiddelde berekend.

Tabel 2.2: Overzicht van de gebruikte congestieparameters en hun betekenis

Benaming	Congestieparameters	Berekening
Gemiddelde synchrone piek bijdrage afname (kW)	<i>average_sync_peak_load</i>	$\frac{\text{Som } P_{\max} \text{ afname in Vlaanderen}}{(\text{aantal EANs} - \text{aantal EANs niet toegekend in Vlaanderen})}$
Gemiddelde synchrone piek bijdrage injectie (kW)	<i>average_sync_peak_inject</i>	$\frac{\text{Som } P_{\max} \text{ injectie in Vlaanderen}}{(\text{aantal EANs} - \text{aantal EANs niet toegekend in Vlaanderen})}$
Ratio overstroom afname	<i>ratio_cons_overloaded</i> Belasting afname feeder > 100% [% omgezet naar ratio]	$\frac{\text{Som (\# km circuit belasting afname} > 100\%) \text{ in Vlaanderen}}{(\text{totaal \# km circuit vertrekkende in Vlaanderen})}$
Ratio overstroom injectie	<i>ratio_kmcir_load_inj</i> Belasting injectie feeder > 100% [% omgezet naar ratio]	$\frac{\text{Som (\# km circuit belasting injectie} > 100\%) \text{ in Vlaanderen}}{(\text{totaal \# km circuit vertrekkende in Vlaanderen})}$
Ratio onderspanning afname	<i>ratio_voltldrop_cons</i> Spanningsval feeder > 7.5% [% omgezet naar ratio]	$\frac{\text{Som (\# km circuit spanningsval} > 7,5\%) \text{ in Vlaanderen}}{(\text{totaal \# km circuit vertrekkende in Vlaanderen})}$
Ratio overspanning injectie	<i>ratio_kmcir_voltriseinj</i> Spanningsstijging feeder > 7.5% [% omgezet naar ratio]	$\frac{\text{Som (\# km circuit spanningsstijging} > 7,5\%) \text{ in Vlaanderen}}{(\text{totaal \# km circuit vertrekkende in Vlaanderen})}$
Ratio transfo overstroom afname	<i>ratio_tfo_overload_cons</i> Transfo load afname > 125% [% omgezet naar ratio]	$\frac{\text{Som (\# transfo's met load consumption} > 125\%) \text{ in Vlaanderen}}{(\text{totaal \#transfo's in Vlaanderen})}$
Ratio transfo overstroom injectie	<i>ratio_tfo_overload_inj</i> Transfo load injectie > 125% [% omgezet naar ratio]	$\frac{\text{Som (\# transfo's met load injection} > 125\%) \text{ in Vlaanderen}}{(\text{totaal \#transfo's in Vlaanderen})}$

2.3. Definitie van de regressiecurves

Om de omslagpunten te kunnen identificeren (Hoofdstuk 4) moeten we de impact van de feederpiekbijdrage van de verschillende toestellen (EV, WP en PV) op de verschillende congestieparameters, gedefinieerd in Tabel 2.2, bepalen.

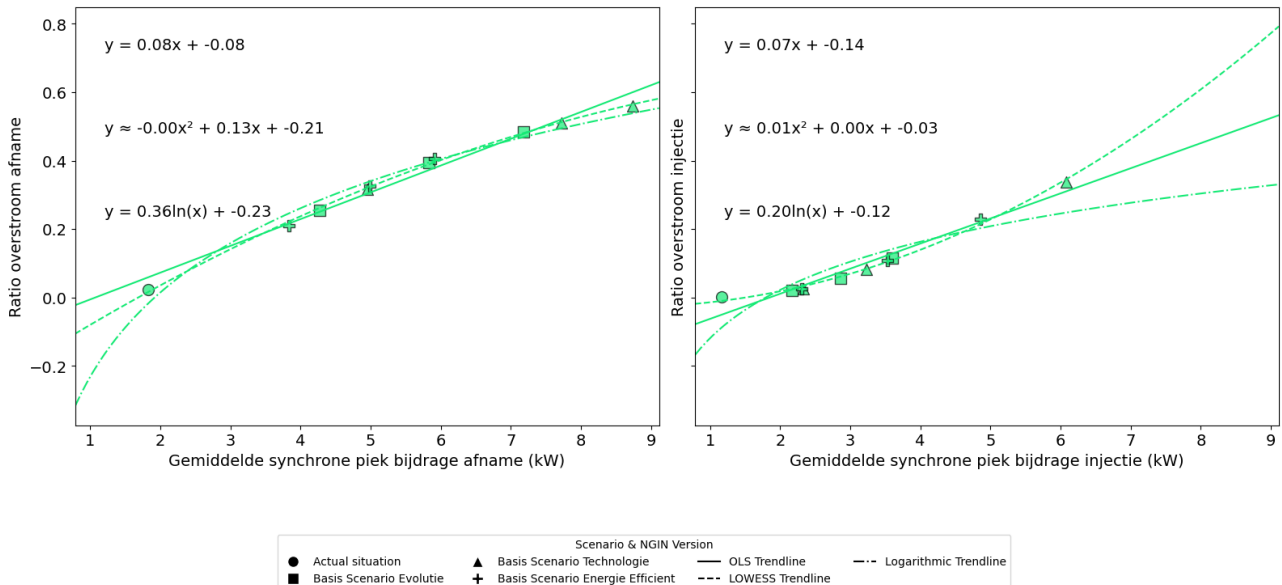
Dit doen we door, voor de gemiddelde synchrone piekbijdrage van afname en injectie, de overeenkomstige waarde van de geselecteerde congestieparameters te berekenen, en dit voor elk basisscenario en jaartal, en deze waarden uit te zetten in een grafiek. Vervolgens wordt er een regressiecurve geplot door deze punten en een regressiefunctie berekend. Deze regressiefunctie wordt dan later gebruikt om te kunnen bepalen wat de impact is van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV op de geselecteerde congestieparameters.

De berekeningswijze om van waarden op statische sector-niveau naar waarden op Vlaams niveau te gaan werd reeds eerder uitgelegd (zie Sectie 2.2).

Figuur 2.2, Figuur 2.3, en Figuur 2.4 geven de resultaten weer van het plotten van deze parameters. Voor elke combinatie van parameters worden 3 types regressie uitgevoerd, zijnde:

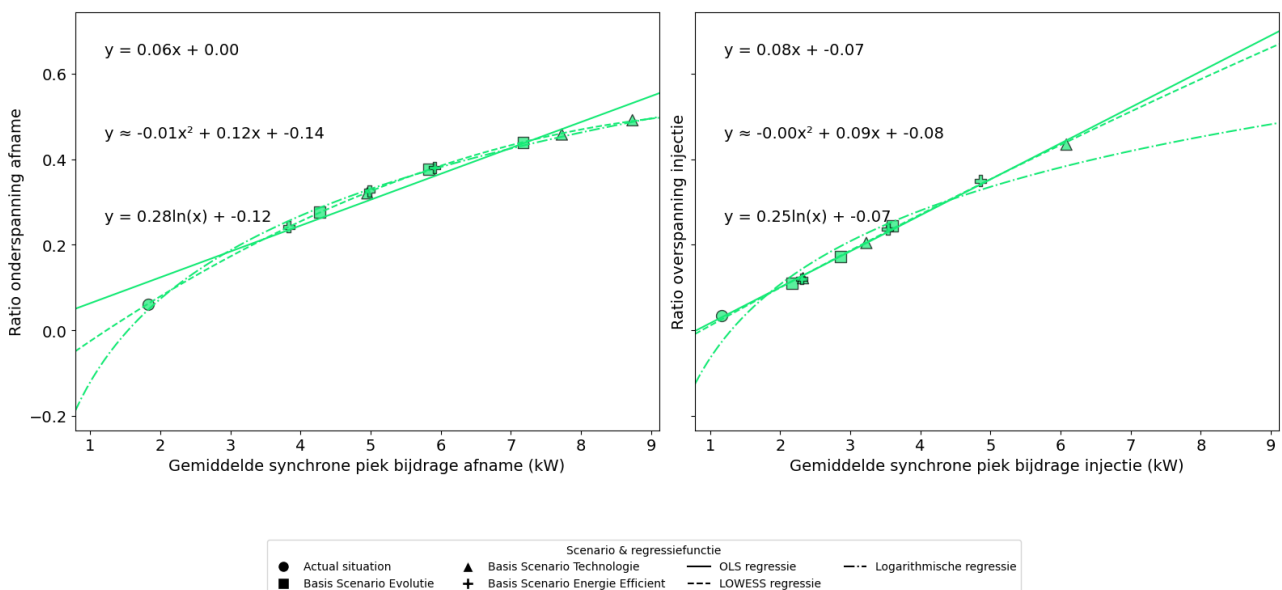
- Ordinary Least Squares (OLS) regressie: een veelgebruikte techniek voor het schatten van coëfficiënten van een lineaire regressievergelijking die de relatie beschrijft tussen één of meer onafhankelijke kwantitatieve variabelen en een afhankelijke variabele, vaak geëvalueerd met behulp van r-kwadraat; in de vorm $y = a + bx$
- Locally Weighted Scatterplot Smoothing (LOWESS): een niet-parametrische strategie voor het fitten van een vloeiende curve aan datapunten, zonder aan te nemen dat de data bij een bepaalde distributievorm zoals bijvoorbeeld een lineaire functie moet passen. In de onderstaande grafieken wordt de LOWESS-fit benaderd als een kwadratische functie in de vorm van $y = a + bx + cx^2$
- Logaritmische regressie: een functie die in eerste instantie snel toeneemt of afneemt, maar daarna gestaag vertraagt naarmate de tijd verstrijkt; in de vorm $y = a + b * \ln(x)$

Figuur 2.2 geeft, zowel voor afname (links) als injectie (rechts), de geplote data punten voor de verschillende scenario's en regressiecurves voor het verband tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname (injectie) en ratio feeder overstroom afname (injectie).



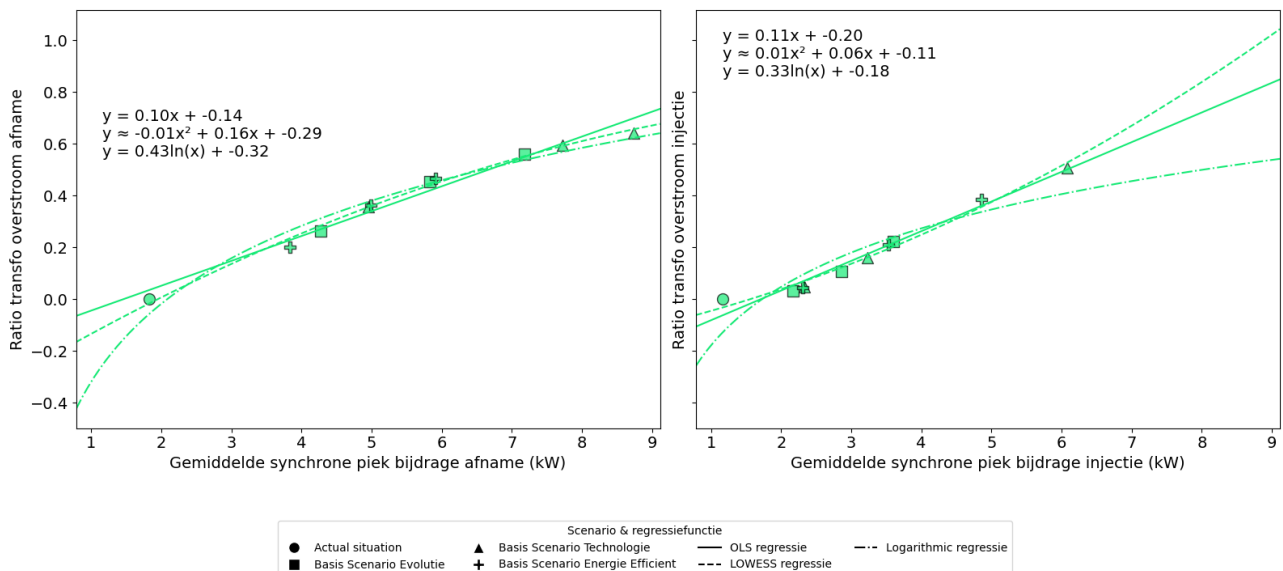
Figuur 2.2: Relatie tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname en ratio overstroom afname en gemiddelde synchrone piekbijdrage injectie en ratio overstroom injectie, en bijhorende regressievergelijkingen

Vervolgens geeft Figuur 2.2, zowel voor afname (links) als injectie (rechts), de geplote data punten voor de verschillende scenario's en regressiecurves voor het verband tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname (injectie) en ratio feeder onderspanning afname (overspanning injectie).



Figuur 2.3: Relatie tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname en ratio onderspanning afname en gemiddelde synchrone piekbijdrage injectie en ratio overspanning injectie, en bijhorende regressievergelijkingen

Tenslotte geeft Figuur 2.4, opnieuw zowel voor afname (links) als injectie (rechts), de geplote data punten voor de verschillende scenario's en regressiecurves voor het verband tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname (injectie) en ratio transfo overstroom afname (injectie).



Figuur 2.4: Relatie tussen gemiddelde synchrone piekbijdrage afname en ratio transfo overstroom afname en gemiddelde synchrone piek bijdrage injectie en ratio transfo overstroom injectie, en bijhorende regressievergelijkingen

Op basis van de verschillende fits die we zien in de figuren hierboven, werd er beslist om voor afname verder te gaan met de logaritmische regressie, terwijl we voor injectie een lineaire fit verkiezen². Tabel 2.3 geeft een overzicht van de geselecteerde regressievergelijkingen. Deze vergelijkingen zullen gebruikt worden in Hoofdstuk 4 als basis voor de interpolaties.

² In de scenario's die gebruikt zijn om de datapunten te genereren, zijn situaties aanwezig met hogere afnames, die resulteren in synchrone piekbijdrages tot 9kW. Eenmaal boven de 7kW zien we een afvlakkend effect, waarbij een verdere stijging van de synchrone piek resulteert in een relatief lagere stijging van de assets met congesties. Een logaritmische regressie capteert dit effect het beste. Langs injectiekant hebben de scenario's die hoge piekbijdrages niet gecapteerd, en lopen de datapunten tot iets boven de 6kW feederpiekbijdrage. Het afvlakkend effect is hierdoor niet aanwezig in de curves, waardoor een lineaire fit voor injectie accurater is.

Tabel 2.3: Overzicht van de gebruikte regressievergelijkingen

	Afname	Injectie
Feeder stroom	Ratio overstroom afname $y = 0.36 \ln(x) - 0.23$	Ratio overstroom injectie $y = 0.07x - 0.14$
Feeder spanning	Ratio onderspanning afname $y = 0.28 \ln(x) - 0.12$	Ratio overspanning injectie $y = 0.08x - 0.07$
Transfo stroom	Ratio transfo overstroom afname $y = 0.43 \ln(x) - 0.32$	Ratio transfo overstroom injectie $y = 0.11x - 0.20$

3. Range van de feederpiekbijdrage

3.1. Inleiding

Na het bepalen van de regressievergelijkingen wordt in dit hoofdstuk het bereik van de feederpiekbijdrages van de verschillende toestellen (EV, WP en PV) vastgelegd.

Vanwege de onzekerheden over de toekomstige geïnstalleerde vermogens, en het gebruikersgedrag, is het niet mogelijk om voor elk toestel één specifieke, correcte piek te bepalen. We werken daarom met een range, i.e., een minimum, gemiddelde en maximumwaarde. We baseren ons op twee afzonderlijke bronnen, namelijk de LS-CAP studie [2] en digitale meter (DM) studie [3]. De LS-CAP studie [2], werd gebruikt voor de NGIN simulaties in 2023 en geeft voor elk gesimuleerd scenario en jaartal het aantal toestellen per type alsook de feederpiekbijdrage. De DM studie [3] bepaalt op basis van DM data de feederpiekbijdrage van de toestellen.

3.2. Range o.b.v. VREG LS-CAP studie

De eerste manier om de feederpiek range te bepalen is op basis van de data van de VREG LS-CAP studie [2]. In de volgende secties wordt uitgelegd hoe de ranges voor elk van de toestellen bepaald werden. Belangrijk om op te merken is dat het hier gaat om cijfers die gebaseerd zijn op toekomstscenario's, die op hun beurt gebaseerd zijn op andere literatuurstudies. Vanwege de onderliggende assumpties bestaat er een risico op onder- of overschatting.

3.2.1. Range voor EV

Om de range van de feederpiekbijdrage van EVs te berekenen, maken we gebruik van de berekende data uit de LS-CAP studie [2]. Dit zijn meer bepaald: aantallen EVs per scenario, verschillende laadvermogens en verdeling van deze laadvermogens, en de gelijktijdigheidsfactor. Een overzicht van deze getallen wordt weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Overzicht van aantallen EVs per laadvermogen per scenario, en gemiddelde feederpiekbijdrage per scenario

Aantallen EVs/ vermogen	Energie efficiënt			Technologie			Evolutie		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Mono laden - traag 2.3kW, gelijktijdigheid 0.65	539,888	848,376	961,731	-	-	-	223,393	377,481	446,493
Mono laden - traag 3.7 kW, gelijktijdigheid 0.4	377,922	593,863	673,212	658,184	1,204,710	1,503,292	297,857	503,309	595,323
Mono laden - snel 7.4 kW, gelijktijdigheid 0.6	80,983	127,256	144,260	-	-	-	148,929	251,654	297,662
3F - Full 11 kW, gelijktijdigheid 0.4	80,983	127,256	144,260	493,638	903,533	1,127,469	521,250	880,790	1,041,816
3F - Full 22 kW, gelijktijdigheid 0.2	-	-	-	329,092	602,355	751,646	148,929	251,654	297,662
	Minimum			Gemiddeld			Maximum		
Feederpiek bijdrage	1.54 kW			2.79 kW			2.94 kW		

Door, voor elk scenario, de aantallen EVs te vermenigvuldigen met het respectievelijke laadvermogen en gelijktijdigheid, en dan te delen door totale aantal EVs per scenario, komen we uit op een gemiddeld laadvermogen, wat dan overeenkomt met de gemiddelde feederpiekbijdrage. Deze drie waarden (zie onderste rij in Tabel 3.1) vormen dan de minimum, gemiddelde en maximum waarde voor EVs voor de LS-CAP studie.

3.2.2. Range voor WP

Om de range van de feederpiekbijdrage van WPn te berekenen o.b.v. de LS-CAP studie, voeren we een gelijkaardige berekening uit. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de relevante getallen in deze berekening.

Tabel 3.2: Overzicht van aantallen WPs per laadvermogen per scenario, en gemiddelde feederpiekbijdrage per scenario

Aantallen WPn/ vermogen	Energie efficiënt			Technologie			Evolutie		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Nieuwbouw – 2.5 kW	539,888	848,376	961,731	-	-	-	223,393	377,481	446,493
EPC label A – 3.5 kW	377,922	593,863	673,212	658,184	1,204,710	1,503,292	297,857	503,309	595,323
EPC label B – 7 kW	80,983	127,256	144,260	-	-	-	148,929	251,654	297,662
EPC label C – 7 kW	80,983	127,256	144,260	493,638	903,533	1,127,469	521,250	880,790	1,041,816
Gemiddeld vermogen [kW]	4.81	3.71	3.26	4.99	4.68	3.93	5.19	4.49	4.16
Gelijktijdigheid [%]	40%			60%			75%		
	Minimum			Gemiddeld			Maximum		
Feederpiek bijdrage	1.31 kW			2.54 kW			3.89 kW		

Voor de WPn berekenen we voor elk scenario en jaar, op basis van de aantallen per type WP (nieuwbouw, label A, B of C) [2] en vermogen per type WP [5] een gemiddeld vermogen. Dat gemiddelde vermogen vermenigvuldigen we telkens met 3 verschillende gelijktijdigheden (i.e., 40, 60 en 75% [2]). Dat geeft uiteindelijk een verzameling van 27 mogelijke feederpiekbijdragen, waaruit we de minimum en maximumwaarde filteren, en het gemiddelde berekenen. Die waarden zijn gegeven in de laatste rij van de tabel.

3.2.3. Range voor PV

Ook voor PV berekenen we de range op een gelijkaardige manier. Hier geeft Tabel 3.3 een overzicht van de relevante getallen.

Tabel 3.3: Overzicht van aantallen PV-installaties per vermogen per scenario, en gemiddelde feederpiekbijdrage per scenario

Aantallen PV/ vermogen	Energie efficiënt			Technologie			Evolutie		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
4 kWp	1,321,329	2,871,191	4,387,018	-	-	-	1,153,656	2,032,828	2,951,354
7 kWp	-	-	-	1,321,329	2,871,191	4,387,018	-	-	-
Gelijktijdigheid [%]	85%								
	Minimum			Gemiddeld			Maximum		
Feederpiek bijdrage	3.40 kW			4.25 kW			5.95 kW		

Het aantal installaties wordt per scenario en jaar vermenigvuldigd met de gelijktijdigheid en overeenkomstige PV-capaciteit. Dit geeft een feederpiekbijdrage van 3.40 kW (minimum) voor het Energie Efficiënt en 5.95 (maximum) kW voor het Evolutie scenario. De gemiddelde feederpiekbijdrage is dan de gemiddelde waarde van deze twee waarden, namelijk 4.25 kW.

3.3. Range o.b.v. Fluvius digitale meter data

De tweede manier om de range van feederpiekbijdrages voor de verschillende toestellen te bepalen is op basis van de inzichten die verkregen zijn uit de DM data analyse van Fluvius [3] die gebruikt maakt van reële DM data. In totaal werden 42,089 DM profielen uit 2022 geanalyseerd, waarvan 862 met WP, 1924 met EV en 76% met PV. In tegenstelling tot de VREG LS-CAP studie, zijn de cijfers in deze studie gebaseerd op actuele data van bestaande gebruikers. Hier moet wel opgemerkt worden dat er een zekere data bias kan bestaan. Het gaat namelijk om de data van Fluvius klanten die proactief hogere-resolutie DM data aangevraagd hebben, waardoor de gebruikte data vertekend is door netgebruikers die geïnteresseerd zijn in hun energieverbruik en aan de voorhoede van de energietransitie staan. Een andere bemerking is dat er tijdens de periode waarover deze data loopt geen grote winterpiek heeft plaatsgevonden, waardoor qua afname niet de grootst mogelijke impact op de netten (of 'worst case scenario') gecapteerd werd.

De range voor de feederpiekbijdrage wordt voor elk toestel op dezelfde manier berekend. De DM studie [3] geeft informatie over feederpiek en gelijktijdigheidsfactor per aantal connecties op een feeder en dit voor EV en HP afzonderlijk. Voor PV was er geen verbruikersgroep met alleen of zonder PV in de data. Daarom baseren we ons op de 'meest zuivere groep', namelijk de groep van de WP eigenaars, omdat 94% van deze groep ook PV heeft (tegenover lagere percentages PV voor groepen die enkel EV, of geen EV en geen WP hebben).

Voor de berekening van de range baseren we ons op de data van feeders met 20 connecties. Hoewel de mediaan van het aantal connecties per feeder wat hoger ligt, wordt 20 connecties genomen om een wat conservatievere meer veilige inschatting te bekomen. Immers, bij feeders met een laag aantal connecties ligt de gelijktijdigheidsfactor hoger, en zijn ook de feederpiekbijdrages van individuele connecties hoger. Reden hiervan is de sterkere uitmiddeling van het verbruik met meer gebruikers.

Er wordt een onderscheid gemaakt enerzijds tussen afname en injectie, en anderzijds tussen de gemeten piek zonder toestel (voor afname is dit zonder EV en zonder WP, voor injectie is dit zonder PV) en de gemeten piek met toestel (zijnde EV, WP en PV).

Tabel 3.4 geeft een overzicht van de data uit de DM studie [3], die minimum, gemiddelde en maximum feederpiek weergeeft voor een feeder met 20 connecties. Er wordt een onderscheid gemaakt enerzijds tussen afname en injectie, en anderzijds tussen de gemeten piek zonder toestel (voor afname is dit zonder EV en zonder WP, voor injectie is dit zonder PV) en de gemeten piek met toestel (zijnde EV, WP en PV).

Tabel 3.4: Minimum, gemiddelde en maximum feederpiekbijdrage bij 20 connecties zonder en met EV, WP en PV (Bron: Fluvius DM data [3])

Piekbijdrage bij afname	Minimum [kW]	Gemiddelde [kW]	Maximum [kW]
Geen EV, geen WP	1.08	1.73	3.25
EV	2.34	3.48	5.35
WP	1.92	2.97	4.7
Piekbijdrage bij injectie	Minimum [kW]	Gemiddelde [kW]	Maximum [kW]
PV	2.19	3.89	5.56

Vervolgens wordt de range van de feederpiekbijdrage per individueel toestel berekend:

- $\text{minimum bijdrage} = \text{minimum piek met toestel} - \text{gemiddelde piek zonder toestel}$
- $\text{gemiddelde bijdrage} = \text{gemiddelde piek met toestel} - \text{gemiddelde piek zonder toestel}$
- $\text{maximum bijdrage} = \text{maximum piek met toestel} - \text{gemiddelde piek zonder toestel}$

Voor EVs komt deze berekening dan bijvoorbeeld neer op:

- $\text{minimum bijdrage EV} = 2.34 - 1.73$
- $\text{gemiddelde bijdrage EV} = 3.48 - 1.73$
- $\text{maximum bijdrage EV} = 5.35 - 1.73$

Het resultaat van deze berekening wordt weergegeven in Tabel 3.5, met ernaast de waarden die berekend zijn o.b.v. de VREG LS-CAP studie.

Tabel 3.5: Range feederpiekbijdrage op basis van beide methodes

Toestel	Feederpiekbijdrage DM studie			Feederpiekbijdrage LS-CAP studie		
	Minimum [kW]	Gemiddelde [kW]	Maximum [kW]	Minimum [kW]	Gemiddelde [kW]	Maximum [kW]
EV (afname)	0.61	1.75	3.62	1.54	2.79	2.94
WP (afname)	0.19	1.24	2.97	1.31	2.54	3.89
PV (injectie)	2.19	3.89	5.56	3.40	4.25	5.95

Uit de tabel is duidelijk dat de resultaten van de DM studie [3] structureel lager liggen dan de berekeningen op basis van de VREG LS-CAP studie [2]. Ook merken we dat de waarden voor PV structureel hoger liggen dan deze voor EVs en WPn.

4. Bepaling van de omslagpunten door interpolatie

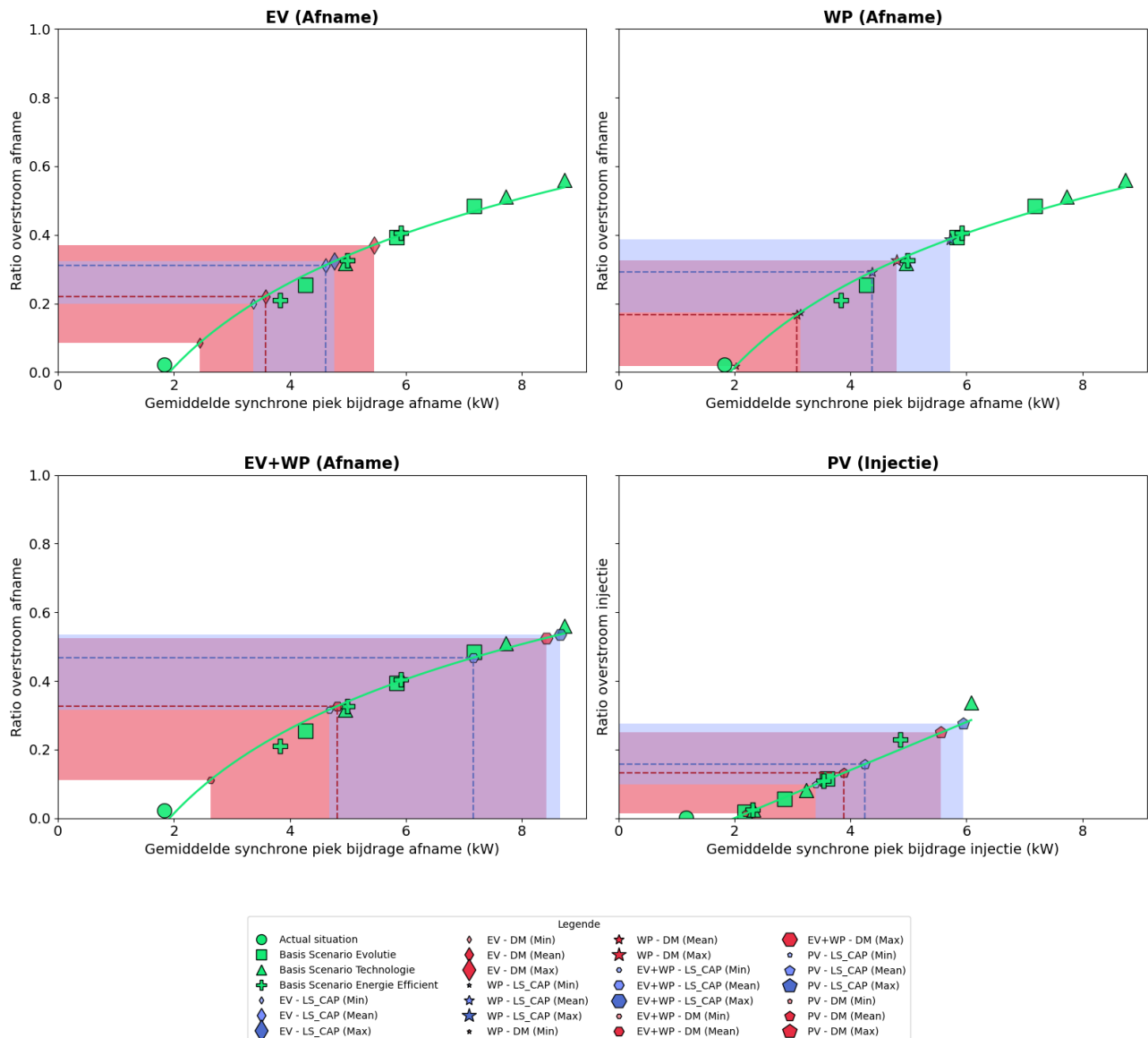
In dit hoofdstuk worden de inzichten en resultaten van Hoofdstukken 2 en 3 samengebracht.

Om de impact van de feederpiekbijdrage van de toestellen op de verschillende congestieparameters te berekenen, gebruiken we de regressievergelijkingen die we berekend hebben in Sectie 2.3. Voor afname gebruiken we telkens de logaritmische regressie en voor injectie de OLS-regressie, omdat deze de beste fit geven. De gebruikte functies worden weergegeven in Tabel 2.3 in Sectie 2.3. Om de synchrone afnamepiek bijdrages te berekenen, vermeerderen we de punten uit Tabel 3.5 met de gemiddelde synchrone afnamepiek zonder toestellen berekend o.b.v. NGIN data, i.e., 1.8 kW. Maw, de synchrone afnamepiek bijdrage wordt dan basisbelasting vermeerderd met de synchrone afnamepiek van EV en/of WP. Voor zonnepanelen veronderstellen we steeds nieuwe geplaatste panelen. Maw, de synchrone injectiepiek bijdrage voor PV panelen is de waarde zoals weergegeven in Tabel 3.5. De minimum, gemiddelde en maximum feederpiekbijdrage van de verschillende toestellen wordt telkens als 'x' ingegeven in de regressievergelijking. De resultaten van de regressie kunnen in tabelvorm teruggevonden in Appendix, in Tabel 0.1, Tabel 0.2, en Tabel 0.3.

Figuur 4.1, Figuur 4.2, en Figuur 4.3 geven visueel de resultaten van de regressie weer. Er wordt gekeken naar de feederpiekbijdrage van EV, WP, en EV en WP samen voor afname, en naar PV voor injectie. We nemen in dit geval aan dat de impact van WP en EV samen de som is van beide. Dit is echter een overschatting aangezien de pieken van EV en WP zijn niet 100% synchroon vallen. We beschikken op dit moment echter niet over voldoende en voldoende gedissaggregeerde informatie over netgebruikers met zowel een EV als WP, en werken daarom met deze worst case inschatting.

De groene datapunten geven de waarden van de verschillende congestieparameters weer i.f.v. de gemiddelde synchrone piekbijdrage voor de verschillende doorgerekende LS-CAP scenario's. Deze datapunten werden gebruikt voor het opstellen van de regressiecurves. De rode en blauwe datapunten stellen de waarden voor van de congestieparameters i.f.v. de feederpiekbijdrage voor de verschillende toestellen, berekend via de regressievergelijkingen uit Tabel 2.3. De blauwe punten stellen de waarden van de congestieparameters voor berekend o.b.v. de feederpiekbijdrages uit de LS-CAP studie, en de rode punten stellen de waarden van de congestieparameters voor berekend o.b.v. de feederpiekbijdrages uit de DM studie. De vorm van de datapunten geeft aan over welk toestel het gaat terwijl de grootte van de punten aangeeft of het de minimum gemiddelde of maximum berekende feederpiekbijdrage betreft. De rode en blauwe stippellijnen geven de gemiddelde waarde voor, respectievelijk, de DM en LS-CAP studie. Tenslotte geven de rode en blauwe vlakken de range aan tussen minimum en maximum waarden voor beide studies.

Figuur 4.1 geeft de impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen weer op de ratio overstroom afname en injectie voor de feeders.



Figuur 4.1: Impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio overstrom afname en injectie voor de feeders

We bespreken apart de impact op de congestieparameters voor de verschillende toestellen. De gemiddelde impact van EV (links bovenaan de figuur) komt overeen met de impact van Energie Efficiënt 2030 (DM data) en Technologie 2030/Energie Efficiënt 2040 (LS-CAP data). De hoogste waarde is afkomstig van de DM data en komt qua impact overeen met scenario Evolutie 2040/Energie Efficiënt 2050. Voor WPn (rechts bovenaan de figuur) hebben de gemiddelde waarden ongeveer zelfde impact als Energie Efficiënt 2030 en Evolutie 2030. De hoogste waarde vinden we hier voor de LS-CAP studie en komt qua impact overeen met scenario Energie Efficiënt 2050 en Evolutie 2040. Voor de combinatie EV + WP (links onderaan de figuur) komen de gemiddelde waarden overeen met de impact van het scenario Energie Efficiënt 2040 (voor de DM data) en Evolutie 2050 (voor de LS-CAP data). De hoogste waarde is zeer gelijkaardig voor beide studies en komt qua impact overeen

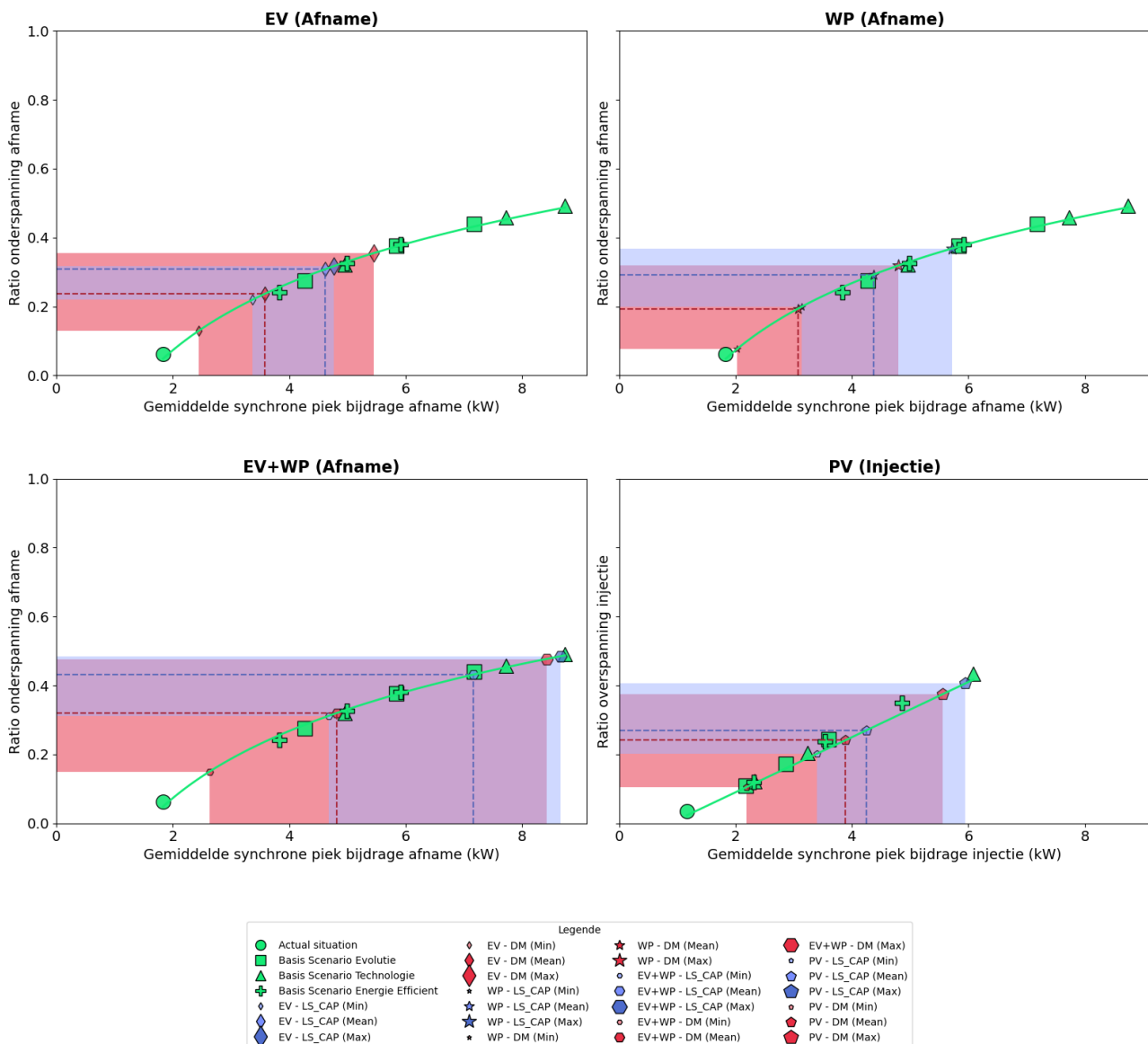
met Technologie 2050 scenario. Tenslotte, voor PV (rechts onderaan de figuur) blijkt dat gemiddelde waarden een gelijkaardige impact hebben als Energie Efficiënt 2040 en Evolutie 2050, en dat de hoogste waarden (zowel voor LS-CAP als DM studie) ongeveer de zelfde impact hebben als het Technologie 2050 scenario.

Ook zien we in de figuur dat de impact gebaseerd op reële DM data lager is dan wat we kunnen afleiden uit de assumpties die eerder in de LS-CAP studie gehanteerd werden³. Wel zien we dat het effect van dit verschil veel kleiner is voor PV dan voor de andere toestellen.

Als conclusie hier kan gesteld worden dat uit de DM analyse blijkt dat de impact van elektrisch laden en warmtepompen op stroomcongestie in de feeders lager ligt dan oorspronkelijk verondersteld. De feeder stroomcongestie impact van zonnepanelen zoals gemeten in de DM data, ligt slechts licht lager dan de assumpties die eerder gehanteerd werden. De consequentie hiervan is dat de impact van elektrisch laden of verwarmen via een warmtepomp elk afzonderlijk van dezelfde grootteorde is als die van zonnepanelen. Als we kijken naar de gecombineerde impact van elektrisch laden en verwarmen via een warmtepomp, dan blijft de impact wel hoger dan die van zonnepanelen: een ratio van 0.33 (EV+WP) versus 0.131 (PV) (zie ook Figuur 4.1). Hierbij moeten we wel nuanceren dat, wegens de onbeschikbaarheid van data van connecties met zowel EV als WP, we de impact van deze toestellen opgeteld hebben, en dit met zekerheid een overschatting is. Bovendien blijft er zelfs met deze overschatting overlap tussen de onzekerheidsbanden van EV+WP versus PV. Er is dus een brede range van tip-over punten waarbij injectie, dan wel afname leidend wordt. Hoewel op dit ogenblik de kans hoger blijft dat afname leidend blijft op injectie, is een omslag waarbij injectie de capaciteit van de netten bepaald een reëel scenario. Het blijft belangrijk om de evoluties rond dimensionering van WP, EV en PV op te volgen. Specifiek is data over de impact van de WP+EV combo belangrijk om de onzekerheden verder te reduceren.

Figuur 4.2 geeft de impact weer van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio onderspanning afname en ratio overspanning injectie voor de feeders.

³ Dit kon ook al afgeleid worden uit het overzicht van de minimum, maximum en gemiddelde feederpiekbijdragen in Tabel 3.5.



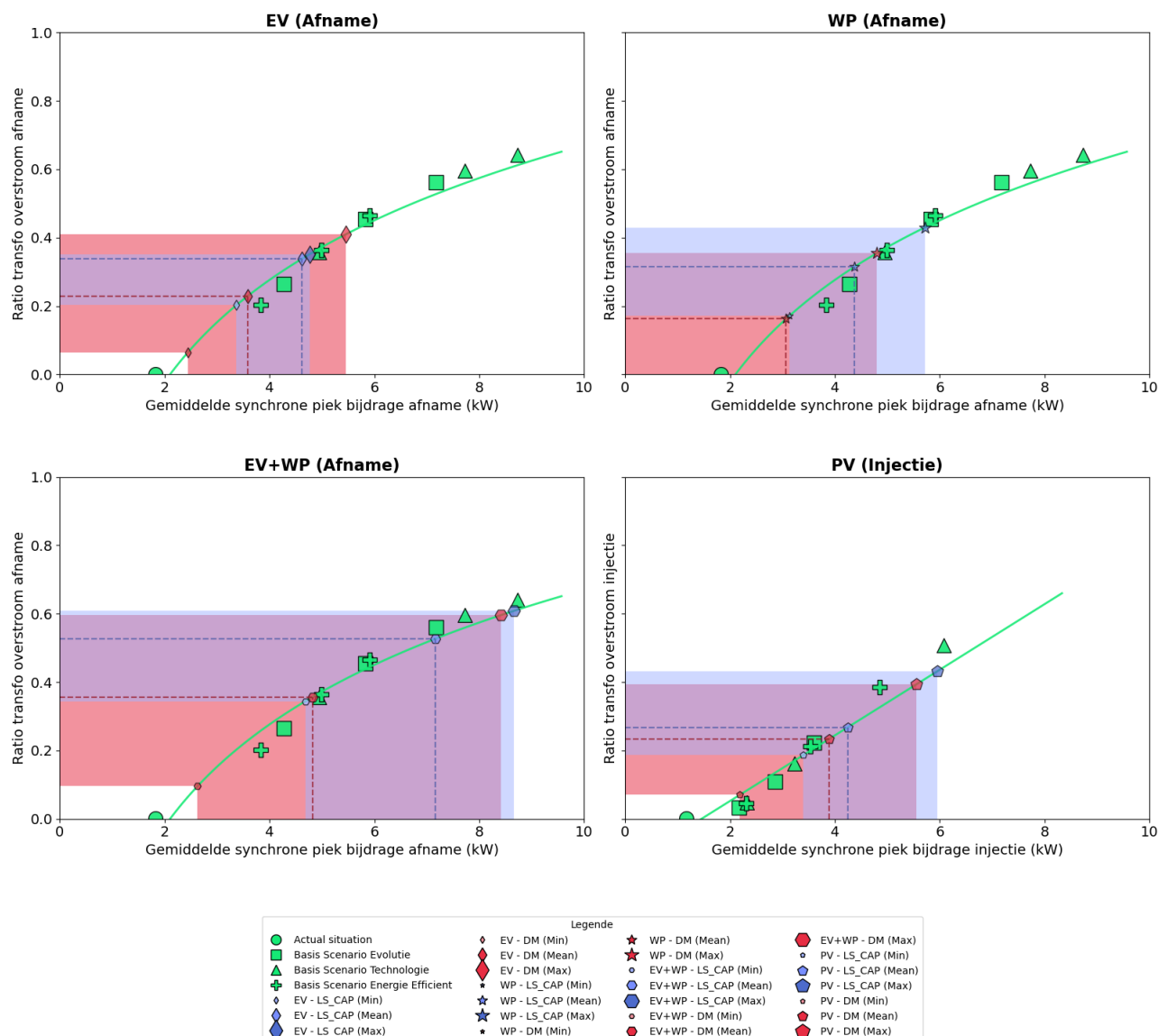
Figuur 4.2: Impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio onderspanning afname en ratio overspanning injectie voor de feeders

De gemiddelde impact van EV (links bovenaan de figuur) komt overeen met de impact van scenario's Energie Efficiënt 2030, Evolutie 2030 en Technologie 2030. De hoogste waarde is afkomstig van de DM data en ligt qua impact tussen de scenario's Energie Efficiënt 2040 en 2050. Voor WPn (rechts bovenaan de figuur) hebben de gemiddelde waarden ongeveer zelfde impact als Energie Efficiënt 2030 en Evolutie 2030. De hoogste waarde vinden we hier opnieuw voor de LS-CAP studie en komt qua impact overeen met scenario Energie Efficiënt 2050 en Evolutie 2040. Voor de combinatie EV + WP (links onderaan de figuur) komen de gemiddelde waarden overeen met de impact van het scenario Energie Efficiënt 2040 en 2050, Technologie 2030 en 2040 en Evolutie 2040 en 2050. De hoogste waarde is zeer gelijkaardig voor beide studies en komt qua impact overeen met Technologie 2050 scenario. Tenslotte, voor PV (rechts onderaan de figuur) blijkt dat gemiddelde waarden een gelijkaardige impact hebben als Energie Efficiënt 2040 en Evolutie 2050, en dat de

hoogste waarden (zowel voor LS-CAP als DM studie) ongeveer de zelfde impact hebben als het Technologie 2050 scenario.

Voor spanningscongestie in de LS feeders zien we dus dezelfde basistrends als voor feeder stroomcongestie. De DM data indiceert een structureel lagere impact voor EVs en Wp'en in vergelijking met eerdere assumpties. De impact van PV stijgt, maar slechts beperkt. Voor spanning wegen deze trends echter zwaarder door dan voor stroomcongestie, waarbij de gemiddelde impact van EVs en WP'en gecombineerd (0.32) een stuk dichterbij ligt bij die van PV (0.24) (zie ook Figuur 4.2). En dit bij hanteren van de worst case inschatting waarbij de impact van EVs en WP'en opgeteld wordt. De onzekerheidsbanden tussen afname en injectie zijn dan ook quasi volledig overlappend. Dit versterkt de conclusie dat de impact van injectie en afname ongeveer gelijk zijn, en dat beide verder opgevolgd moeten worden; zowel in toekomstprojecties, als in de analyses van de Vlaamse productie- en verbruikspatronen.

Figuur 4.3, tenslotte, geeft de impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen weer op de ratio overstroom afname en injectie voor de transfo's.



Figuur 4.3: Impact van de feederpiekbijdrage van EV, WP en PV toestellen op de ratio overstroom afname en injectie voor de transfo's

De gemiddelde impact van EV (links bovenaan de figuur) op de ratio van overstroom bij afname bij transfo's komt overeen met de impact van scenario's Energie Efficient 2030 en 2040, Evolutie 2030 en Technologie 2030. De hoogste waarde is afkomstig van de DM data en ligt qua impact tussen de scenario's Energie Efficient 2040 en 2050. Voor WPn (rechts bovenaan de figuur) hebben de gemiddelde waarden ongeveer zelfde impact als Energie Efficient 2030 en Evolutie 2030. De hoogste waarde vinden we hier opnieuw voor de LS-CAP studie en komt qua impact overeen met scenario Energie Efficient 2050 en Evolutie 2040. Voor de combinatie EV + WP (links onderaan de figuur) komen de gemiddelde waarden overeen met de impact van het scenario Energie Efficient 2040 en 2050, Technologie 2030 en Evolutie 2050. De hoogste waarde is zeer gelijkaardig voor beide studies en komt qua impact overeen met Technologie 2050 scenario. Tenslotte, voor PV (rechts onderaan de figuur) blijkt dat gemiddelde waarden een gelijkaardige impact hebben als Energie Efficient 2040

en Evolutie 2050, en dat de hoogste waarden (zowel voor LS-CAP als DM studie) ongeveer dezelfde impact hebben als het Technologie 2050 scenario.

Voor transformator stroomcongestie zijn de trends en conclusies gelijklopend aan de inzichten voor feeder spanningscongestie. De opgetelde impact van EV+WP komt op een ratio van 0.35, wat ligt hoger is dan de impact van PV, die op 0.23 uitkomt, maar met grotendeels overlappende onzekerheidsbanden, en met een zeker overschatting van de gecombineerde EV+WP impact. Dit bevestigt en versterkt de eerdere conclusies.

5. Conclusies

Als conclusie op de analyse kunnen we stellen dat, naar mate er meer data beschikbaar komt, de impact van EVs en WPn historisch overschat leek te worden. Ook de impact van de inschatting van PV daalt, maar veel minder dan het geval is voor EVs en WPn.

Op basis van de meest recente DM data en als alle woningen zowel met EV, WP en PV installaties uitgerust worden, dan kunnen we verder stellen dat de netimpact van zowel injectie als afname van dezelfde grootteorde zijn. Op basis van de huidige beschikbare data is de afname impact op feeder stroomcongesties gemiddeld gezien licht hoger dan die van injectie. Hetzelfde is geldig voor feeder spanningscongestie en transfo stroomcongestie, maar daar is het verschil tussen afname en injectie nog kleiner. Sowieso overlappen de onzekerheidsbanden voor injectie en afname, en voor alle congestietypes in hoge mate.

Deze conclusies zijn echter gebaseerd op de huidige beschikbare data en er is vandaag geen duidelijk beeld over hoe het vermogen van PV zal evolueren tegenover het vermogen van EV en WP naar de toekomst toe, evenals over de uitrooiingsnelheid van PV ten opzichte van deze van EV en WP. We stellen wel vast dat PV vandaag in Vlaanderen sneller uitgerold wordt dan de EVs of WPn. Er zijn dus sterke indicaties dat, op korte termijn, injectie leidend zal zijn op afname, terwijl op lange termijn afname dit terug zal bijbenen en misschien zal inhalen, maar waarbij injectie en afname uiteindelijk qua impact dicht tegen elkaar zullen liggen. Het is dus belangrijk om deze evoluties op te volgen, en om zowel injectie als afname mee te nemen in de toekomstscenario's voor het LS net.

Ten slotte stellen we vast dat zelfs na bijsturing van de impact van EV en WP, en het nieuwe beeld van gelijklopende capaciteitsnaden voor injectie en afname, het wel duidelijk blijft dat zonder investeringen en in alle scenario's meerdere tientallen procenten van de LS assets in congestieproblemen geraken. Ook na deze analyse kan herbevestigd worden dat investeringen in het LS net nodig zullen zijn.

Referenties

- [1] VREG, "Studie over de capaciteit van het laagspanningsdistributienet in Vlaanderen - RAPP-2023-02," 2023. [Online]. Available: <https://www.vreg.be/nl/document/rapp-2023-02>
- [2] VREG, "Studie over de capaciteit van het laagspanningsdistributienet in Vlaanderen - RAPP-2024-05," 2024. [Online]. Available: <https://www.vlaamsenutsregulator.be/sites/default/files/document/2024-rapp-05.pdf>
- [3] Thijs Becker, Raf Smet, Bruno Macharis, Koen Vanthournout, "Effect of electric vehicles, heat pumps, and solar panels on low-voltage feeders: Evidence from smart meter profiles", Sustainable Energy, Grids and Networks, Vol. 42, 2025.
- [4] Fluvius, "NGIN boost asset management bij Fluvius," 2020. <https://www.vlario.be/ngin-boost/> (accessed Feb. 07, 2025).
- [5] Fluvius, "Addendum Investeringsplan 2024-2033," 2024.

Appendix

Tabel 0.1: Resultaten van de berekening van de regressie voor ratio overstroom afname en injectie feeders

Toestel	afname/injectie	Analyse	x_min	x_gemiddelde	x_max	y_min	y_gemiddelde	y_max
EV	afname	LS_CAP	3.37	4.62	4.77	0.2	0.31	0.32
EV	afname	DM	2.44	3.58	5.45	0.08	0.22	0.37
WP	afname	LS_CAP	3.14	4.37	5.72	0.17	0.29	0.39
WP	afname	DM	2.02	3.07	4.8	0.02	0.17	0.33
EV+WP	afname	LS_CAP	4.68	7.16	8.66	0.32	0.47	0.54
EV+WP	afname	DM	2.63	4.82	8.42	0.11	0.33	0.53
PV	injectie	LS_CAP	3.40	4.25	5.95	0.10	0.16	0.28
PV	injectie	DM	2.19	3.89	5.56	0.01	0.13	0.25

Tabel 0.2: Resultaten van de berekening van de regressie voor ratio onderspanning afname en overspanning injectie feeders

Toestel	afname/injectie	Analyse	x_min	x_gemiddelde	x_max	y_min	y_gemiddelde	y_max
EV	afname	LS_CAP	3.37	4.62	4.77	0.22	0.31	0.32
EV	afname	DM	2.44	3.58	5.45	0.13	0.24	0.35
WP	afname	LS_CAP	3.14	4.37	5.72	0.2	0.29	0.37
WP	afname	DM	2.02	3.07	4.8	0.08	0.19	0.32
EV+WP	afname	LS_CAP	4.68	7.16	8.66	0.31	0.43	0.48
EV+WP	afname	DM	2.63	4.82	8.42	0.15	0.32	0.48
PV	injectie	LS_CAP	3.40	4.25	5.95	0.20	0.27	0.41
PV	injectie	DM	2.19	3.89	5.56	0.11	0.24	0.37

Tabel 0.3: Resultaten van de berekening van de regressie voor ratio overstroom afname en injectie transfo's

Toestel	afname/injectie	Analyse	x_min	x_gemiddelde	x_max	y_min	y_gemiddelde	y_max
EV	afname	LS_CAP	3.37	4.62	4.77	0.20	0.34	0.35
EV	afname	DM	2.44	3.58	5.45	0.06	0.23	0.41
WP	afname	LS_CAP	3.14	4.37	5.72	0.17	0.31	0.43
WP	afname	DM	2.02	3.07	4.80	-0.02	0.16	0.35
EV+WP	afname	LS_CAP	4.68	7.16	8.66	0.34	0.53	0.61
EV+WP	afname	DM	2.63	4.82	8.42	0.10	0.36	0.60
PV	injectie	LS_CAP	3.40	4.25	5.95	0.19	0.27	0.43
PV	injectie	DM	2.19	3.89	5.56	0.07	0.23	0.39