

Impact DG en 'nieuwe belastingen' op het LS-net in bestaande woon- wijken

HERMES DG 3 fase 2

Final draft report


23 juli 2009

Vorbereid door Laborelec voor stuurgroep HERMES DG 3

Productenlijn : Electrical Power Systems and Concepts (EPSAC)

auteur: Michiel van Lumig, Marc Locht

Softwareondersteuning: Stijn Uytterhoeven

 + 31638824571

e-mail Michiel.vanlumig@laborelec.com

Samenvatting

In dit project zijn de meest karakteristieke wijken en woningen voor Nederland bepaald (fase A1). Resultaten van fase A1 kunnen gevonden worden in het document HERMES DG 3 fase A1 opgeleverd aan de HERMES DG stuurgroep in februari 2009. In het document dat voor u ligt worden deze wijken doorgerekend met de meest waarschijnlijke scenario's uit HERMES DG 2. De resultaten van HERMES DG 2 kunnen gevonden worden in het document HERMES DG fase 2 final report van 1 juli 2008 opgeleverd aan de HERMES DG stuurgroep.

De wijken die gesimuleerd zullen worden zijn:

Tabel 0-1 Karakteristieke wijken met het bijbehorende LS- net in Nederland welke gemodelleerd worden

Centrumstedelijk	Buiten centrum		Groen stedelijk	Dorps	Landelijk perifeer
	Vooroorlogs	Naoorlogs			
Schilderswijk	Statenkwartier	Nootdorp	Kijkduin	Epse	Exel
	Betondorp	Lombardijen	Westbroekpark		

De afstemming van deze wijken en afbakening van de modellen en simulaties is gebeurd in samenspraak met de stuurgroep HERMES DG. Besloten is om wijken waarvan verwacht wordt dat ze een zwak LS- net hadden in combinatie met een hoge woningdichtheid uitvoerig te bestuderen/simuleren. Het landelijke perifeer en dorpse woonmilieu worden als minder relevant beschouwd, problemen lijken hier in eerste instantie niet te ontstaan. Daarom wordt van deze twee woonmilieus maar van ieder één gemodelleerd en gesimuleerd.

Voor de scenario's is beslist om met een 'worst case' benadering te werken, bijvoorbeeld een 100% gelijktijdigheid voor warmtepompen op een koude winterdag of alle woningen met PV op het zuiden. Op deze manier zijn de zwakke plekken in een LS- net eenvoudig te identificeren. De volgende scenario's worden per wijk gesimuleerd (uitgesplitst naar situatie vóór en ná na-isolatie van de woningen):

Tabel 0-2 Kenmerken van de door te rekenen scenario's

Scenario's	Eigenschappen scenario
Business as usual	Gas + elektriciteits aansluiting, alleen normaal verbruik (referentiescenario)
Business as usual met airco	Gas + elektriciteits aansluiting, normaal verbruik + airconditioning
SOFC brandstofcel microwkk	Gas + elektriciteits aansluiting, alleen normaal verbruik + microwkk
SOFC brandstofcel microwkk + PV	Gas + elektriciteits aansluiting, alleen normaal verbruik + microwkk + PV
PV + elektrische warmtepomp	Elektriciteits aansluiting, normaal verbruik + elektrische warmtepomp + PV
Elektrische warmtepomp	Elektriciteits aansluiting, normaal verbruik + elektrische warmtepomp
SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp	Elektriciteits aansluiting, normaal verbruik + 50% elektrische warmtepomp + 50% microwkk

De LS- netten van de negen verkozen woonwijken zijn met behulp van informatie uit de databases van de netbeheerders gemodelleerd in Vision van PhaseToPhase. Er is beslist om LS- kabels NIET te koppelen in LS- kasten, dit om de worst case benadering te houden. Wel is rekening gehouden met de voeding van LS- kabels vanaf twee MS/LS stations. Bij de beoordeling van de belasting van afgaande kabels is rekening gehouden met de manier van voeding. Ook is besloten om bij een vermaasd net een maximale belasting van 50% voor de LS- kabels aan te houden. In de praktijk wordt deze grens vaak niet zo streng toegepast.

De resultaten van de simulaties kunnen terug gevonden worden in Tabel 0-3 in deze samenvatting.

Een landelijk perifeer woonmilieu, als voorbeeld is Exel nabij Lochem genomen, biedt veel kansen voor inpassing van DG's en airconditioning, beperkte ruimte voor elektrische warmtepompen en voldoende ruimte voor het laden van elektrische auto's. Door de lange kabels ontstaan relatief grote spanningsschommelingen bij wisselende belastingen (afname of teruglevering). Echter door de relatief zware kabels en de lage woningdichtheid ontstaan pas problemen bij hoge penetraties aan elektrische warmtepompen. Het inpassen van grootschalig PV (45 m² bij een boerderij) aan het eind van een lange LS- kabel, levert geen problemen op met de spanningshuishouding.

In de dorpse woonmilieus in Nederland lijkt de ruimte voor uitbreiding in het LS- net beperkt. De simulatie is uitgevoerd voor Epse, een dorp in de gemeente Lochem (Gelderland). Het inpassen van microwkk kan onbeperkt zonder problemen te creëren met de capaciteit van transformatoren en kabels of de spanningshuishouding. De eerste problemen ontstaan op transformatorniveau, zoals bij de inpassing van grote hoeveelheden airconditioning (50% van de huishoudens 2 kWe). De combinatie van microwkk plus PV kan maar zeer beperkt zonder aanpassingen aan het LS- net. Elektrische warmtepompen kunnen nauwelijks ingepast worden door de relatief hoge woningdichtheid in combinatie met de hoge verbruiken van de woningen (gemiddeld 4000 à 5000 kWh/j). Hoge investeringen zijn nodig om warmtepompen of grootschalig PV plus microwkk in te passen. Verder is het verstandig na te gaan of andere dorpse woonmilieus eenzelfde situatie van het LS- net als in Epse kennen.

In het stedelijk naoorlogse (compact) woonmilieu Lombardijen staan veel flatwoningen. Dit woonmilieu komt relatief veel voor in Nederland. Door het grote aantal flats kunnen de scenario's maar beperkt worden ingepast (geen elektrische warmtepomp en relatief weinig dakoppervlak voor PV). De inpassing van airconditioning, PV en elektrische warmtepompen vereist al bij een kleine penetratiegraad aanpassingen aan het LS-net. Microwkk kan wel onbeperkt worden ingepast, per flatwoning een microwkk is geen probleem voor het LS- net (er is geen simulatie uitgevoerd voor de situatie IN de flat). Betondorp behoort tot hetzelfde woonmilieu maar bevat meer vrijstaande- en rijtjeswoningen. Airconditioning en microwkk kan hier zonder meer worden ingepast. Elektrische warmtepompen vereisen netverzwaring waaraan hoge kosten zijn verbonden.

Nootdorp kent een stedelijk naoorlogs grondgebonden woonmilieu met een mix aan woningtypes. Door de lagere woningdichtheid ten opzichte van het woonmilieu stedelijk naoorlogs compact, ontstaan er pas pro-

blemen met de capaciteit van kabels en transformatoren wanneer microwkk gecombineerd wordt met PV of elektrische warmtepompen grootschalig worden ingepast. In het algemeen zullen stedelijke woonmilieus met een groot percentage vrijstaande- en rijtjeswoningen veel minder snel problemen ondervinden dan de stedelijke woonmilieus met veel flatwoningen. Uiteraard is er een verschil met de mogelijkheid tot het inpassen van de scenario's, echter airconditioning wordt in alle woonmilieus als toepasbaar gezien.

Centrumstedelijke wijken zijn er in Nederland niet zoveel (37). Wel worden ze vaak gerenoveerd, ze bepalen het 'gezicht' van een stad. De Schilderswijk in Den Haag is een mooi voorbeeld van een centrumstedelijke wijk met vooral portiekwoningen. Deze wijk met het bijbehorende LS- net biedt redelijk ruimte voor uitbreiding met airconditioning in vermaasd bedrijf. Kenmerk van een centrumstedelijke wijk is de zeer hoge woningdichtheid. Als het LS- net hier vroeger bij aanleg niet op berekend was is de inpassing van airco beperkt mogelijk. De inpassing van microwkk kan onbeperkt, inpassing van PV wel of niet in combinatie met microwkk kan al snel tot problemen leiden (bij meer dan 1,1 kWp per woning). Elektrische warmtepompen kunnen niet/nauwelijks ingepast worden en dit is ook niet waarschijnlijk vanwege de grote impact op de woning.

Binnen het stedelijk vooroorlogse woonmilieu is het Statenkwartier gesimuleerd. Het LS- net is vrij zwaar uitgelegd maar kent ook veel aansluitingen per afgaande kabel. Ook wordt het net vermaasd bedreven waardoor er voldoende capaciteit is voor inpassing van airconditioning, PV en microwkk. Elektrische warmtepompen leiden snel tot overbelaste transformatoren.

Ook zijn twee groen stedelijke wijken gesimuleerd, het Westbroekpark en Kijkduin. Beide LS- netten worden vermaasd bedreven en kennen relatief veel ruimte voor inpassing van de scenario's. Dit is mede mogelijk door de zware kabels icm lage woningdichtheid. Meestal is de transformatorcapaciteit de eerste bottleneck.

De inpassing van elektrische warmtepompen is problematisch, zowel qua capaciteit van kabels en transformatoren als op het gebied van de spanningshuishouding. Uitbreiding van het LS- net is in alle gesimuleerde wijken vereist. Het inpassen van microwkk kan in alle wijken onbeperkt, icm met PV ontstaan vaak problemen met de capaciteit EN de spanningshuishouding. Opgelet moet worden met LS- netten die vermaasd bedreven worden. Door deze netten volledig uit te nutten, kunnen er problemen ontstaan bij storing of onderhoud aan voedende stations. Dit is aangegeven in deze studie en de grens is gezet op 50% belasting van afgaande kabels. Zodoende kan altijd de gehele feeder vanaf één kant gevoed worden. Over het MS- net kunnen geen uitspraken gedaan worden, deze zijn slechts gedeeltelijk gemodelleerd.

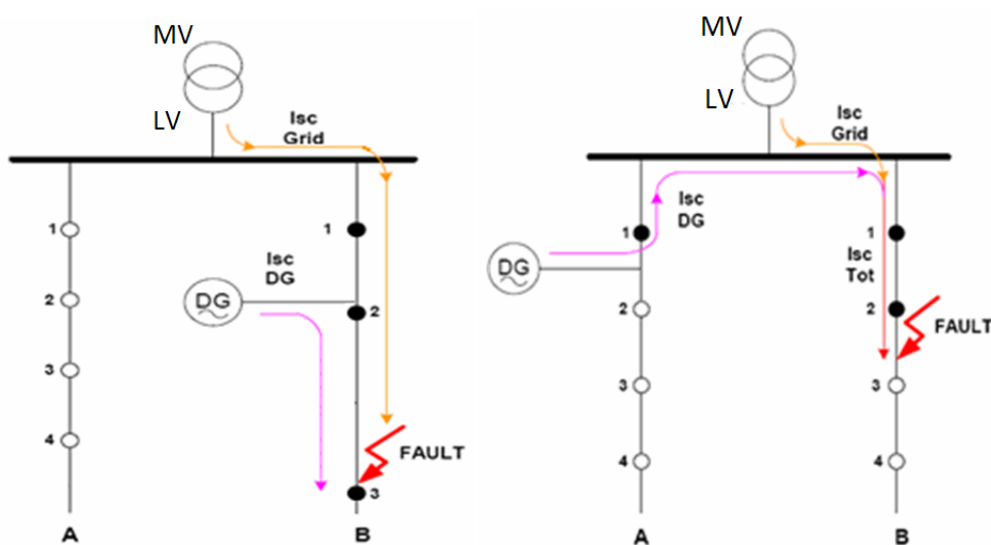
Tabel 0-3 Kenmerken woonmilieus, scenario's en de simulatieresultaten (E + G = elektriciteits + gasaansluiting, E- Wp = elektrische warmtepompen, EV = elektrisch voertuig)

	Woonmilieu	Centrum stedelijk	Buiten centrum				Groen stedelijk		Dorps	Landelijk perifeer
			Stedelijk vooroorlogs		Stedelijk naoorlogs		Westbroekpark	Kijkduin		
		Schilderswijk	Statenkwartier	Betondorp	Nootdorp	Lombardijen			Vermaasd	Vermaasd
Netstructuur	Vermaasd	Vermaasd	Radiaal	Radiaal	Radiaal	Vermaasd	Vermaasd	Radiaal	Radiaal	
Scenario	Inhoud scenario									
1	E+G, alleen HR, geen airco, E-WP, DG, PV, EV's	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
2	E+G, 50% airco à 2kW, geen DG, E-WP, PV, EV's	NOK	OK	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	
3 voor renovatie	E+G, alles HRe, geen airco, E-WP, PV, EV's	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
3 na renovatie	E+G, alles HRe, geen airco, E-WP, PV, EV's	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4 voor renovatie	E+G, alles HRe plus 15 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
4 voor renovatie	E+G, alles HRe plus 8 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	OK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
4 na renovatie	E+G, alles HRe plus 15 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
4 na renovatie	E+G, alles HRe plus 8 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	OK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
5 voor renovatie	E, 15 m ² PV plus E-WP, geen airco, EV's	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	
5 voor renovatie	E, 8 m ² PV plus E-WP, geen airco, EV's	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	
6	E, E-WP, geen airco, HRe, PV, EV's	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	
7 voor renovatie	E+G, 50% E-WP, 50% HRe, geen airco, PV, EV's	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	NOK	
7 na renovatie	E+G, 50% E-WP, 50% HRe, geen airco, PV, EV's	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	NOK	

Elektrische voertuigen kunnen 'ongestuurd', 'slim', 'langzaam' en 'snel' opgeladen worden. Onderzocht is hoeveel elektrische voertuigen in huidige netten 'ongestuurd' (3 kWe gedurende 5h) opgeladen kunnen worden. Dit is uitgedrukt in het percentage EV's per woonwijk. Uitgegaan is van een evenredige verdeling over de wijk. De resultaten variëren van een maximum van 10% tot mogelijkheid tot laden van alle EV's tegelijkertijd. Opvallend is het dorpse woonmilieu, de ruimte in deze radiaal netten lijkt zeer beperkt. Uitgezocht moet worden of dit een algemeen beeld geldend beeld is voor dorpse woonmilieus.

Door 'iets slimmer' te laden, zoals de lader aangesloten op een tijdklok, kan het aantal op te laden auto's in een nacht eenvoudig verdubbeld worden. Technisch is dit zeer eenvoudig, het is meer een zaak de eigenaren van EV's te overtuigen van de noodzaak van 'slim' laden of ze te belonen (incentives) wanneer ze meewerken aan een dergelijk vorm van sturing. In principe wordt hun privésfeer hiermee aangetast, wat als zeer onaangenaam ervaren kan worden. Dit vergt veel nader onderzoek om een uiteindelijk marktmodel te ontwikkelen waaraan iedereen wil en/of kan meewerken om zodoende een grootschalige inpassing van EV's mogelijk te maken.

Als onderdeel van dit onderzoek is bepaald of er problemen met beveiligingsfilosofie ontstaan wanneer veel DG wordt ingepast in een LS- net. De fenomenen 'blinding', 'false tripping' en 'islanding' zijn onderzocht. Figuur 0-1 geeft de voorbeeldsituaties voor deze twee fenomenen. In de huidige LS- netten in NL is het optreden van 'blinding' door de bijdrage van DG's aan de kortsluitstroom zeer onwaarschijnlijk. Ook het fenomeen 'false tripping' heeft een zeer geringe kans van optreden. Pas bij een opgesteld DG vermogen van meer dan 500 kVA per LS- feeder bestaat er bij het falen van de overstroombeveiligingen van de DG's een kans op false-tripping. De mogelijke oplossingen om dit fenomeen te voorkomen zijn directionele beveiligingen, het reduceren van het DG kortsluitvermogen en afstandsrelais.



Figuur 0-1 Links de situatie met het gevaar voor 'blinding', rechts de situatie met het gevaar voor 'false-tripping'

Eilandwerking, 'islanding', is in Nederland verboden vanwege veiligheidsredenen. Zodra een fout in het net gedetecteerd wordt moet de DG afschakelen. De kans dat de DG niet afschakelt is zeer klein, het spanningsniveau en de frequentie moeten in een zeer nauwe band, de 'Non Detection Zone (NDZ)' blijven. De kans om in deze NDZ terecht te komen is te verwaarlozen.

In Nederland, maar ook in andere landen, is regionale netbeheerder verantwoordelijk voor het beheer van de MS- en LS- netten. De aanpassingen die de netbeheerder aan het net moet maken voor de inpassing van nieuwe belastingen of opwekkers komen op rekening van de netbeheerder. Deze kosten kunnen in veel scenario's hoog oplopen. De inpassing van microwkk's vereist in geen van de wijken aanpassingen aan het LS- net. Bij inpassing van microwkk plus PV zijn veelal investeringen nodig op transformator niveau. Het grootschalig inpassen van elektrische warmtepompen vereist, vanaf een bepaalde hoeveelheid en afhankelijk van de wijk, altijd (grote) aanpassingen aan het LS- net. De kosten kunnen, afhankelijk van de tijdsdruk en het type woonmilieu met bijbehorende LS- net, oplopen tot boven de EUR 100.000 per wijk (achter één MS/LS station). De netbeheerder moet ervoor zorgen dat hij minimaal op de hoogte is van het aantal en type van warmtepompen aangesloten in een wijk, zodat bij toename van het aantal warmtepompen tijdig aanpassingen gedaan kunnen worden.

Verklarende woordenlijst

Dubbelwoning	Twee-onder-één-kap woning, woningen met één gedeelde muur en gedeeld dak
Eengezinswoning	Woningtype bedoeld voor één persoon en zijn/haar eventuele gezin
E- opslag	Opslag van elektriciteit voor latere benutting, bv. in accu's
EV	Electric vehicle, elektrisch voertuig
E- warmtepomp	Elektrische warmtepomp
E-WP	Elektrische warmtepomp
HR++ glas	Dubbelglas met tussen de twee ruiten Argon gas. Op één van de ruiten zit aan de binnenkant een speciale coating
HR-ketel	Hoogrendement ketel
HRe- ketel	Hoogrendement ketel met ingebouwde generator voor het leveren van elektriciteit aan het net
Maisonnette	Woning in groter gebouw met meerdere verdiepingen
Meergezinswoning	Woonruimte in gebouw welke omsloten wordt door meerdere verkeersruimten
Micro wkk	Micro warmte kracht centrale voor voornamelijk huishoudelijk gebruik
PV	Photovoltaic, opwekking van elektrische energie m.b.v. de zon
SOFC	Solide Oxide Fuel Cell, productie van elektriciteit m.b.v. het oxideren van een brandstof
Sub woonmilieu	De woonmilieus in de dertien indeling
WKK	Gelijktijdige opwekking en gebruik van warmte en elektriciteit (en CO ₂)
Woningdichtheid	Het gemiddeld aantal woningen per oppervlakte eenheid
Woonmilieu	'Het geheel van de woning, de woonomgeving en de beleving van deze omgeving door bewoners en beleidsmakers'

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Verklarende woordenlijst	8
1. Projectdefinitie	12
1.1 Probleemstelling	12
1.2 Doelstelling	12
1.3 Afbakening	13
1.4 Werkwijze	14
2. Profielen voor simulatie bestaande woonwijken	16
2.1 Inleiding	16
2.2 Woningtypes	16
2.2.1 Elektriciteitsvraag profielen	17
2.2.2 Elektriciteitsproductie profielen	20
2.3 Conclusie	24
3. Woonwijk modellen	25
3.1 Inleiding	25
3.2 Negen karakteristieke woonwijken	25
3.3 De wijken in Vision	33
3.4 Conclusie	40
4. De scenario's en aanpak van de simulaties	41
4.1 Inleiding	41
4.2 De scenario's	41
4.3 De simulaties	44
4.4 Conclusie	46

5.	<i>Simulatieresultaten</i>	47
5.1	Inleiding	47
5.2	Resultaten Exel	48
5.3	Resultaten Epse	49
5.4	Resultaten Lombardijen	51
5.5	Resultaten Betondorp	52
5.6	Resultaten Nootdorp	53
5.7	Resultaten Schilderswijk	55
5.8	Resultaten Statenkwartier	56
5.9	Resultaten Westbroekpark	58
5.10	Resultaten Kijkduin	59
5.11	Elektrische warmtepompen	60
5.12	Conclusie	62
6.	<i>Inpassing van elektrische auto's</i>	64
6.1	Inleiding	64
6.2	'Ongestuurd' laden van elektrische voertuigen	64
6.2.1	Inleiding	64
6.2.2	Simulaties 'ongestuurd' laden voor scenario 1 in de negen woonwijken	68
6.3	Conclusie	76
7.	<i>Ontkoppelingsbeveiligingen van PV installatie en μWKK in LS netten.</i>	78
7.1	Potentiële beveiligingsproblemen in de buurt van decentrale opwekkers	78
7.1.1	Inleiding blinding	78
7.1.2	Invloed van de voornaamste parameters	79
7.1.3	Simulatie (NEPLAN software) van blinding risico in kritische LS netten	79

7.1.4	Inleiding false-tripping _____	84
7.1.5	Invloed van de voornaamste parameters _____	85
7.1.6	Simulatie (NEPLAN software) van false-tripping risk in kritische LS netten _____	85
7.1.7	Voorzorgmaatregelen om false-tripping te vermijden _____	88
7.2	Eilandwerking van decentrale opwekkers _____	89
7.2.1	Inleiding eiland detectie _____	89
7.2.2	Simulaties _____	92
7.2.3	Resultaten voor een configuratie binnen de NDZ ($\Delta P \approx 0$ en $\Delta Q \approx 0$) _____	94
7.2.4	Resultaten voor een belangrijke actief vermogensonevenwicht ($\Delta P \neq 0$ en $\Delta Q \approx 0$) _____	97
7.2.5	Resultaten voor een belangrijke reactieve vermogensonevenwicht ($\Delta P \approx 0$ en $\Delta Q \neq 0$) _____	100
7.2.6	Aanpassingen die een stabiele eilandwerking in een LS- netwerk mogelijk maken _____	104
7.3	ALGEMENE CONCLUSIE _____	104
8.	<i>Economische analyse</i> _____	106
8.1	Inleiding _____	106
8.2	Kwantificering van de verschillende kosten _____	106
8.3	Conclusie _____	112
9.	<i>Conclusie en aanbevelingen</i> _____	114
	<i>Literatuurlijst</i> _____	118

1. Projectdefinitie

1.1 Probleemstelling

Het aantal (kleine) decentrale opwekkers neemt gestaag toe, vooral in nieuwbouwwijken of grote renovatieprojecten. De invloed van deze DG's toegepast in nieuwe netten is redelijk bekend. Dit wordt en is uitvoerig onderzocht voor nieuwe netten met voldoende capaciteit en lage impedantie. De invloed van de (grootschalige) inpassing van decentrale opwekkers in wijken met slecht geïsoleerde woningen en een oud LS-net is nog onduidelijk. Ook is nog onduidelijk welke opwekkers toepasbaar zijn in de verschillende typen wijken en woningen die in Nederland staan.

Niet alleen het aantal decentrale opwekkers in woningen neemt toe, ook de typen belastingen veranderen. Zo zijn de verwachtingen voor elektrische auto's hoog en worden steeds meer nieuwbouw woningen met monovalente elektrische warmtepompen uitgerust. Een voorbeeld is de Wijk 'De Teuge' bij Zutphen of de wijk 'Goede Aarde' in Boxtel. Daarnaast groeit het aantal airconditioners per huishouden gestaag. De invloed van deze relatief zware belastingen op het LS-net is relatief onbekend. Elektrische auto's komen nu net op de markt en extreme situaties voor elektrische warmtepompen zijn nog niet vaak voorkomen (langdurige onderbreking van de spanning of periode van strenge vorst).

Decentrale opwekkers hebben ook invloed op de beveiligingsfilosofie van een elektrisch netwerk. Problemen die kunnen optreden zijn 'blinding' of 'false tripping'. Ook bestaat de mogelijkheid dat bij wegvallen van het net de DG's in eiland kunnen gaan werken. Deze vraagstukken worden in dit document beantwoord.

Dit totale onderzoek, HERMES DG 3, bestaat uit een aantal deelvragen.

In deze studie worden de meest relevante scenario's van het onderzoek HERMES DG 2 gebruikt om huidige laagspanningsnetten door te rekenen. De bepaling van de meest voorkomende LS-netten in Nederlandse woonwijken gebeurt in deelvraag (A1). Knelpunten worden gesimuleerd voor de in A1 bepaalde wijken voor en na renovatie (A2). Voor nieuwe belastingen als elektrische warmtepompen en elektrische auto's wordt bekeken wat de ruimte is voor inpassing van deze zware belastingen. Ook wordt bekeken of in extreme situaties, zoals extreme koude, voldaan kan worden aan het gevraagde comfort niveau in de woning maar tegelijkertijd het LS-net niet te overbelasten. (B1, B2). Ook wordt de beveiligingsfilosofie bij aanwezigheid van decentrale opwekkers bekeken (B3). Als laatste worden de mogelijke oplossingen voor de knelpunten gevonden in deel A2 geëvalueerd naar economische impact voor de netbeheerder (C).

1.2 Doelstelling

Het doel van het totale project is om energietechnische, mogelijkheden en gebruiksaspecten van verschillende energiesystemen met decentrale opwekkers en nieuwe belastingen als elektrische auto's en elektri-

sche warmtepompen in kaart te brengen. Daarbij wordt zoveel mogelijk met kwantitatieve grootheden gewerkt en worden oplossingen bedacht.

In fase A1 van dit project zijn de meest voorkomende wijken en woningen die interessant zijn voor de rest van dit onderzoek in kaart gebracht. Hierbij is vooral gelet op woningdichtheid en type woning (bouwjaar, isolatie etc.). De resultaten staan in het document 'Literatuurstudie naar meest voorkomende wijken en woningen'.

In fase A2, welke behandeld wordt in dit document, worden de in A1 bepaalde relevante scenario's doorgerekend met het simulatieprogramma Vision voor de in A1 bepaalde relevante wijken. Hierbij wordt gelet op knelpunten in het elektrisch netwerk, capaciteit van de kabels en transformatoren en de spanningshuishouding.

In fase B1 en B2 wordt in detail bekeken wat de problemen zijn met elektrische warmtepompen en of/hoe deze opgelost kunnen worden. Hierbij staat het voorkomen van mogelijke knelpunten tijdens calamiteiten of extreme koude centraal. Ook wordt onderzocht welke problemen elektrische auto's veroorzaken en wat de ruimte is in de LS- netten in NL.

In fase B3 wordt de beveiligingsproblematiek rondom decentrale opwekkers besproken. Deze fase zal bestaan uit een inventarisatie van de beveiligingen die gebruikt worden bij PV installaties of microwkk's. Daarnaast worden 'well-known' problemen van beveiligingen in de buurt van decentrale opwekkers bekeken, zoals 'blinding' en 'false-tripping'.

In de laatste fase C wordt de economische impact voor de netbeheerders m.b.t. de mogelijke oplossingen voor de knelpunten in fase A2 verder onderzocht.

1.3 Afbakening

In deze studie worden zowel statische als dynamische simulaties uitgevoerd. In fase A2, B1 en B2 worden statische loadflows uitgevoerd op basis van belasting- en productieprofielen, dit gebeurt in Vision. In fase B3 worden dynamische simulaties uitgevoerd om het gedrag van productie eenheden tijdens foutsituaties te simuleren in combinatie met beveiligingsinstellingen, dit gebeurt in Matlab Simulink en Neplan.

Bij het modelleren van een woonwijk wordt het LS- net achter één MS/LS station bekeken. Bij vermazing worden wel de MS/LS stations gemodelleerd die van invloed zijn op het te simuleren LS- net. Ook wordt verondersteld dat er geen LS- kabels zijn gekoppeld in LS- kasten.

1.4 Werkwijze

Het hoofddoel van een energiesysteem is het zo goed mogelijk vervullen van de energiefuncties; de functies die energie heeft om de behoeften van de gebruiker te voorzien. Zo zijn het gebruik van warm tapwater, de handhaving van een bepaald comfortniveau en de taken die vervuld worden door elektrische apparatuur energiefuncties. Ondanks aanpassingen aan het energiesysteem mogen geen concessies gedaan worden aan de invulling van de energiefuncties.

Deze fase van het onderzoek bestaat uit het simuleren van de elektrische energiestromen en spanningshuishouding in de bestaande LS-netten in de in fase A1 bepaalde woonwijken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van zoveel mogelijk gemeten profielen voor zowel elektriciteitsgebruik (normale belasting, elektrische warmtepompen) als elektriciteitsopwekking (PV en SOFC brandstofcellen). Ook wordt de huidige beveiligingsfilosofie in LS-netten nader beschouwd,

De volgende stappen worden behandeld in deze fase van het onderzoek:

Stap 1: Samenstellen profielen voor de verschillende woonwijken

In deze stap worden voor de meest voorkomende woningen, als behandeld in fase A1, profielen samengesteld. In totaal worden negen wijken doorgerekend met daarin vijf verschillende typen woningen. Er worden profielen gebruikt voor de woningen vóór en ná na-isolatie. Het elektriciteitsgebruik wordt onafhankelijk van de isolatiegraad beschouwd.

Stap 2: Modelleren van de LS-netten

In samenspraak met de stuurgroep worden negen wijken bepaald waarmee de simulaties uitgevoerd zullen worden. De wijken zijn representatief voor heel Nederland, inclusief extreme situaties. Bij de netbeheerders worden de LS-schema's van deze woonwijken opgevraagd.

Stap 3: Simuleren LS-netten van de woonwijken

In deze stap worden loadflows uitgevoerd voor een geheel gemiddeld jaar per woonwijk. In kaart worden gebracht de belastingen van MS- en LS-kabels en de MS/LS transformator(en). Omdat ook de ruimte voor elektrische auto's in het LS-net bepaald moet worden, wordt de belasting van de LS-kabels om de 50 meter gesimuleerd. Ook wordt de spanningshuishouding van de LS-netten gesimuleerd, zowel in MS als LS aan het begin, midden en einde van iedere feeder.

Stap 4: In kaart brengen mogelijke knelpunten en oplossingen in de LS-netten

Met behulp van de loadflow resultaten worden de mogelijke knelpunten in de gesimuleerde LS-netten in kaart gebracht. Conventionele oplossingen worden voorgesteld (verzwaren MS/LS transformator, verzwaren LS-kabels, verhogen/verlagen trapstand MS/LS transformator). Er wordt nader ingegaan op de situatie met elektrische warmtepompen.

Stap 5: Bepalen noodzaak en mogelijke sturing laden elektrische auto's

In deze stap wordt onderzocht hoe de inpassing van elektrische auto's optimaal kan gebeuren voor typische woonwijken in Nederland. Uitgangspunt is het zo optimaal mogelijk benutten van het LS-net.

Stap 7: Beschouwen beveiligingsfilosofie in LS- netten bij inpassing veel decentrale opwekkers

In deze stap wordt de huidige beveiligingsfilosofie in LS- netten beschouwd wanneer er grootschalige inpassing van decentrale opwekkers plaatsvindt.

Stap 7: Bepalen kosten om knelpunten in LS-net te voorkomen

Van de oplossingen bepaald in stap 4 wordt de economische aspecten verder onderzocht.

2. Profielen voor simulatie bestaande woonwijken

2.1 Inleiding

Dit onderzoek spitst zich toe op de impact van decentrale opwekkers en nieuwe belastingen op het elektriciteitsnet, met name op de LS-netten in 'oude' wijken of landelijke gebieden. Deze wijken zijn verder onderzocht in fase A1. Voor de woningen in deze wijken worden in dit hoofdstuk de profielen bepaald, d.w.z. van het elektriciteitsgebruik en mogelijke teruglevering door PV en/of SOFC brandstofcel microwkk's.

In de hierna volgende paragrafen worden deze profielen verder beschreven en grafisch weergegeven.

2.2 Woningtypes

In fase A1 is een inventarisatie gemaakt van de meest voorkomende typen woningen in Nederland, zijnde:

- Vrijstaande woning (woningtype A)
- Dubbelwoning (2-onder-1-kap-woning) (woningtype B)
- Rijwoning (woningtype C)
- Maisonnette
- Galerijwoning (woningtype D)
- Portiekflat (woningtype E)
- Overige flats



Figuur 2-1 V.l.n.r. Kleine vrijstaande woning, 2-onder-1-kap woning, rijwoning, galerijwoning en een portiekflat

Per woningtype is het gebruiksprofiel bepaald (aan de hand van standaardprofielen gecombineerd met typisch jaarverbruik van een dergelijke woning). Ook is aan de hand van de warmtevraag bepaald hoe het schakelgedrag van een SOFC microwkk eruit zou zien in een dergelijke woning. Ook al is de SOFC microwkk nog niet marktrijp, de invloed van deze microwkk op het net is het meest interessant vanwege het grote aantal draaiuren. Daarom is voor deze SOFC microwkk gekozen ipv de microwkk op basis van Stirling motor.

Uiteindelijk zijn voor vijf woningtypes de profielen bepaald. In Vision wordt met behulp van een macro bepaald welke woningen gesimuleerd worden in de woonwijken. In de rest van het document zullen de vijf woningtypes A,B,C,D en E genoemd worden (zie de woningtype opsomming hierboven).

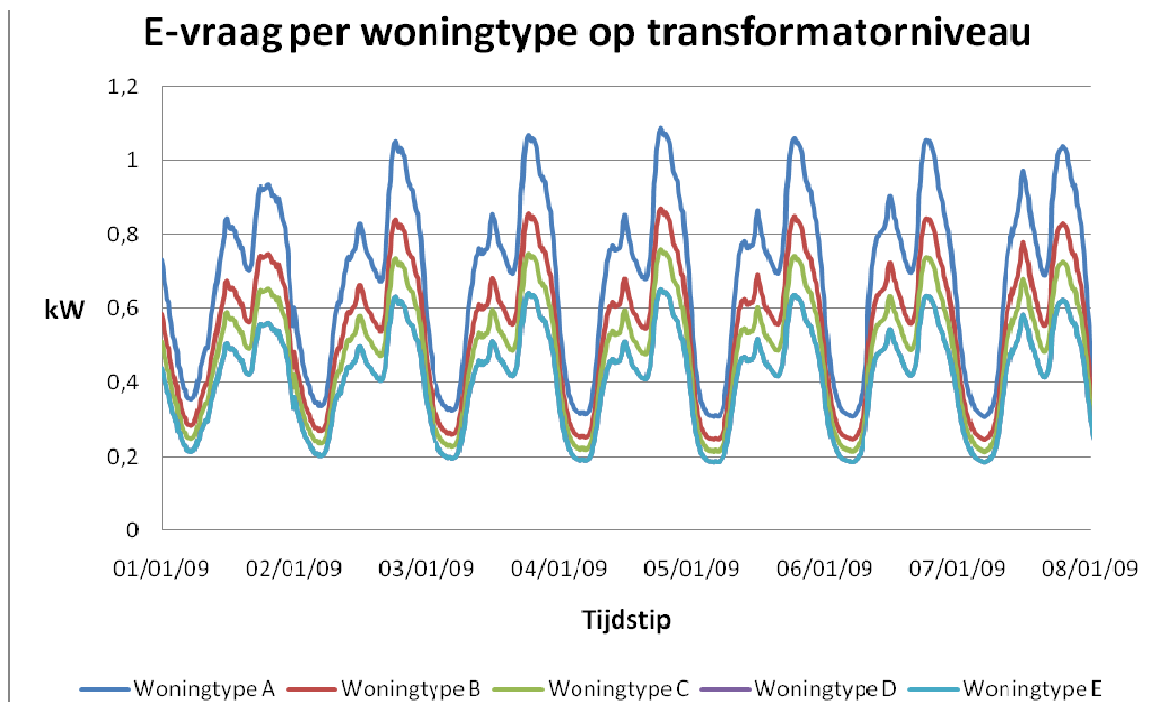
2.2.1 Elektriciteitsvraag profielen

Voor de vijf typen woningen zijn elektriciteitsvraag profielen gecreëerd op basis van fracties per 10 minuten gecombineerd met het gemiddelde jaarverbruik van dat type woning. Er wordt gerekend met de volgende jaarverbruiken (zie Tabel 2-1):

Tabel 2-1 Typisch jaarlijks elektriciteitsgebruik per type woning

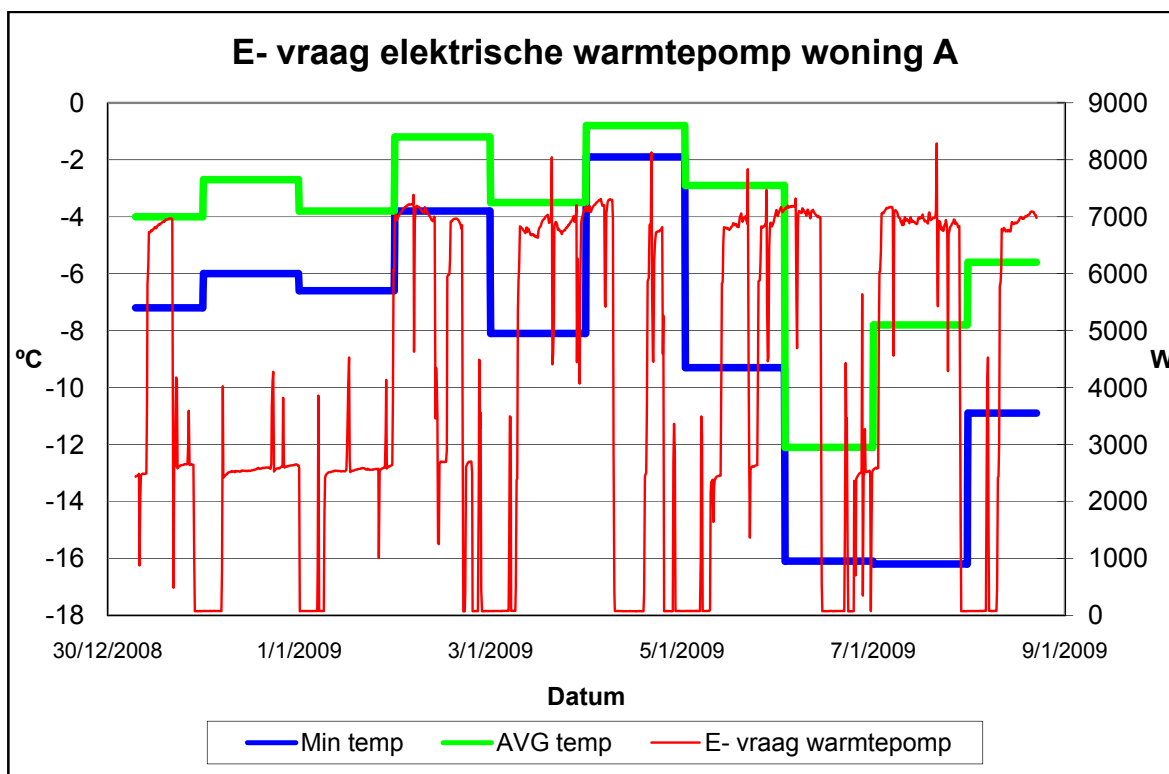
Type woning	Gemiddeld typisch jaarverbruik in kWh
Vrijstaande woning (A)	5000
2-onder-1-kap woning (B)	4000
Rijtjeswoning (C)	3500
Galerijwoning (D)	3000
Portiekflat (E)	3000

Het bijbehorende profiel per type woning wordt in Figuur 2-2 weergegeven. Dit is het profiel gezien op transformatorniveau, de gelijktijdigheid zit dus al verrekend in dit profiel. In dit profiel is geen vraag van een elektrische warmtepomp verwerkt. Ook elektrische koken zit er niet in verwerkt. Het verbruik van de elektrische warmtepomp wordt apart bekeken en is afhankelijk van de gewenste binnentemperatuur, tapwatergebruik en de buitentemperatuur(regeling).



Figuur 2-2 Profiel van de elektriciteitsvraag per woningtype voor een week

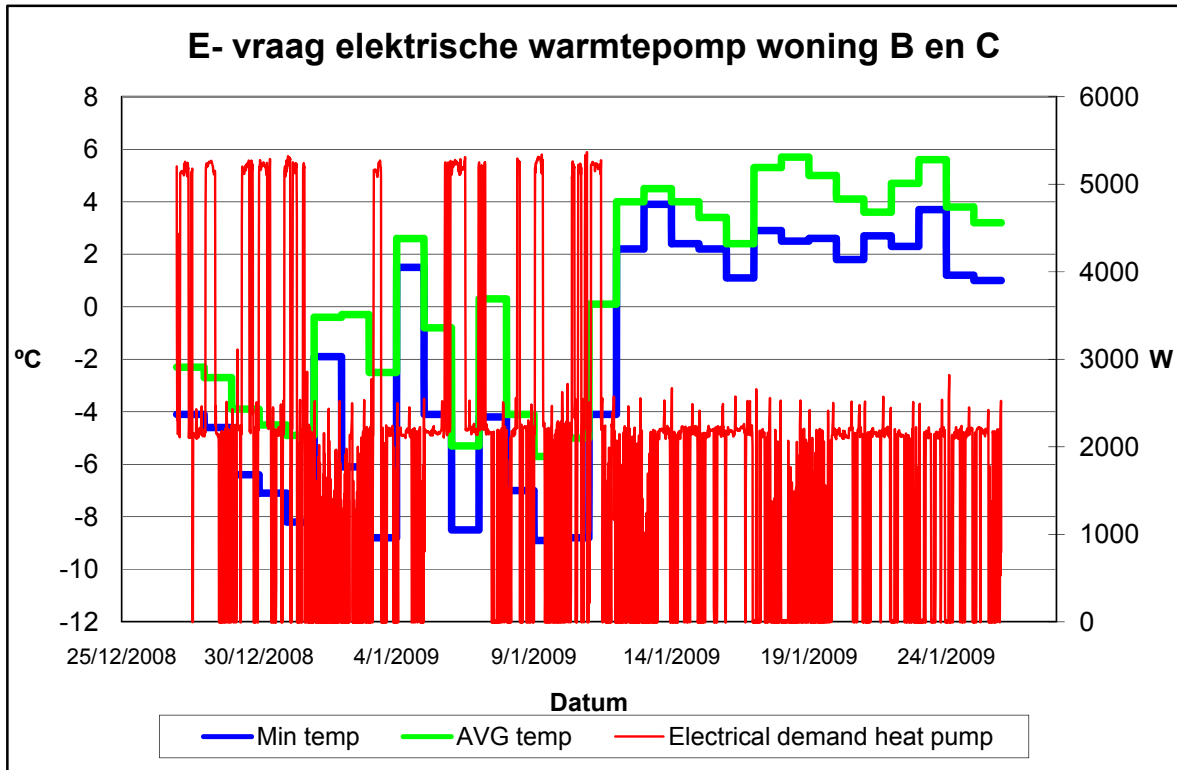
De elektriciteitsvraag bestaat op dit moment nog voornamelijk uit de vraag door huishoudelijke apparatuur. In de scenario's die doorgerekend worden komen daar drie belangrijke 'vragers' bij, de airco, de elektrische warmtepomp en de elektrische auto. Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van gemeten profielen aan elektrische warmtepompen, zowel in een grote vrijstaande als grote hoekwoning. Dit profiel is gemeten van 1-12-2008 tot heden. De EPC van beide woningen is 0,8 (bouwjaar 2006). Aan de hand van daggemiddelde temperaturen van de Bilt, verkregen van het KNMI, is een jaarprofiel gecreëerd. Deze profielen worden gebruikt voor de huizentypen A,B en C. De galerijwoning en portiekflat zullen geen individuele warmtepomp hebben. Het, op basis van metingen gecreëerde profiel, ziet er als volgt uit (zie Figuur 2-3 en Figuur 2-4):



Figuur 2-3 Gemeten elektriciteitsvraag elektrische warmtepomp woning A (grote vrijstaande woning, EPC 0,8)

De elektriciteitsvraag van een elektrische warmtepomp voor een gemiddelde winterweek is minimaal 2,5 kWe per woning met een gelijktijdigheid van 100%. In sommige gevallen, wanneer de buitentemperatuur onder de -5 graden Celsius zakt is de vraag zelfs langdurig 7 kWe per woning (exclusief het normale E- gebruik). Om de LS-netten van de te simuleren wijken te testen onder extreme omstandigheden wordt boven-

staand profiel gebruikt voor huistype A met een gelijktijdigheid van 100%.



Figuur 2-4 Gemeten elektriciteitsvraag elektrische warmtepomp woning B en C (grote hoekwoning, EPC 0,8)

Voor huistype B en C geldt hetzelfde, gedurende een gemiddelde winterweek is het verbruik bijna continu >2,2 kWe per huishouden voor alleen de elektrische warmtepomp. Bij dergelijk lange periodes van vraag, zie Figuur 2-4, mag men rekenen met een gelijktijdigheid van 100%.

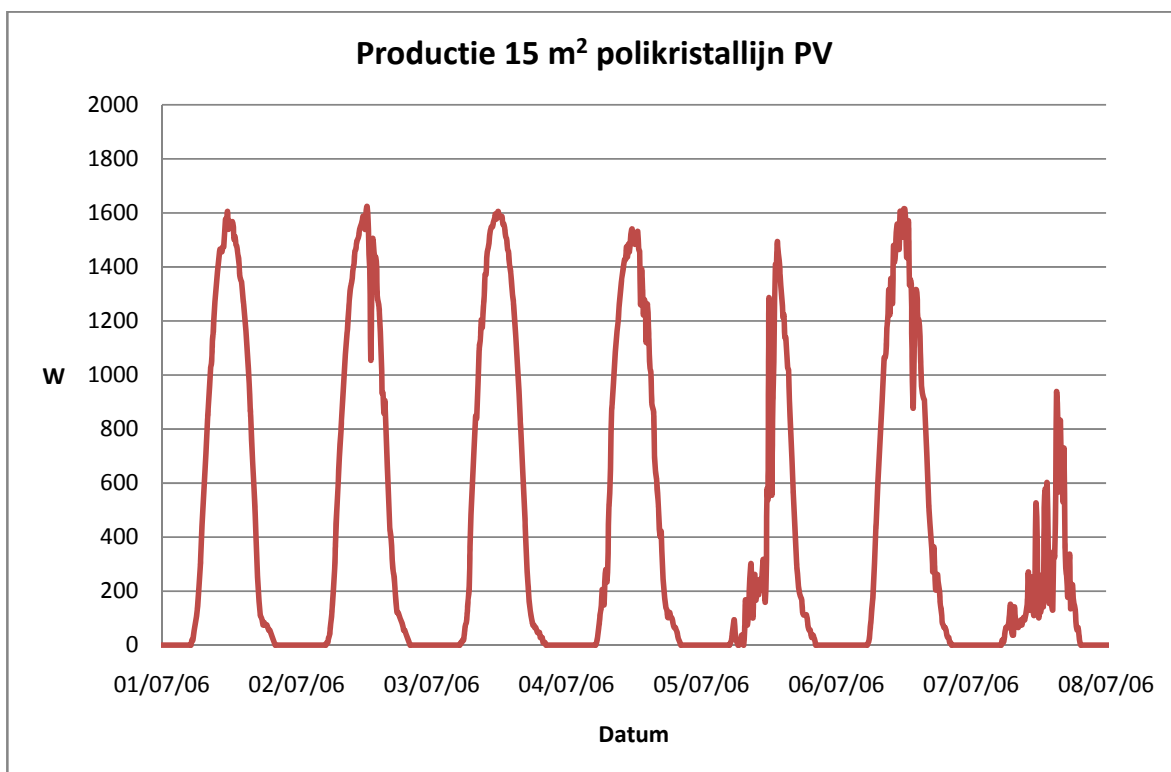
De gemeten elektriciteitsvraag profielen van Figuur 2-3 en Figuur 2-4 zijn gebruikt voor het creëren van een algemeen jaarprofiel voor woningen A, B en C. Omdat de metingen niet compleet zijn voor een heel jaar wordt gewerkt met interpolatie. Met een macro, die als input de gemeten profielen en de buitentemperatuur in de Bilt heeft, wordt een jaarprofiel op 10- minuten basis gecreëerd. De macro bepaalt aan de hand van de ingelezen buitentemperatuur welke elektriciteitsvraag er theoretisch nodig zou zijn. De elektriciteitsvraag wordt afgelezen uit de twee gemeten profielen. Hierdoor ontstaat een benaderd theoretisch profiel. Hoe meer metingen er beschikbaar zijn, hoe nauwkeuriger dit zou kunnen gebeuren. Echter het vraagprofiel is ook volledig afhankelijk van de bewoners waardoor een hogere nauwkeurigheid van de profielen niets zal zeggen over de daadwerkelijke elektriciteitsvraag van ieder huishouden apart. Het gecreëerde profiel is wel worst case omdat alle pieken voor alle woningen samenvallen. Dit is correct voor winterse situaties waarin veel draaiuren nodig zijn (woning op temperatuur houden bij > -10°C), in de zomer weerspiegelt dit een te hoge vraag.

2.2.2 Elektriciteitsproductie profielen

In dit onderzoek worden twee DG's bekeken, PV en SOFC brandstofcellen. Voor de PV installaties wordt onderscheidt gemaakt in installaties van 8 en 15 m². De SOFC brandstofcel levert nominaal 1 kWe.

Voor de productie door PV wordt gebruik gemaakt van een meting uit Spijkenisse (2,7 kWp) uit 2006 (<http://www.pv-solar24.info/>)

Het gebruikte profiel voor 15 m² (overeenkomend met 2,1 kWp multikristallijn PV) ziet er volgt uit (zie Figuur 2-5):



Figuur 2-5 Vermogen geproduceerd door 15 m² polikristallijn PV op het zuiden onder een hoek van 35°

In Figuur 2-5 is duidelijk het verschil te zien tussen zeer zonnige dagen (01/07/06 t/m 06/07/06) en een dag met meer bewolking (07/07/06). Er wordt geen rekening gehouden met de exacte ligging van de woning. Er wordt uitgegaan van maximale productie, dus 15 (of 8) m² polikristallijn PV op het zuiden onder een hoek van 35°. Daardoor wordt de worst case situatie voor het LS- net beschouwd.

Een andere vorm van elektriciteitsproductie die in de wijk plaatsvindt, is in de vorm van teruglevering door HRe ketels (microwkk). Er wordt uitgegaan van 1 kWe nominaal geproduceerd door een HRe met SOFC brandstofcel. Er is voor een microwkk op basis van een SOFC brandstofcel gekozen omdat deze de grootste

impact op het LS-net heeft door het grote aantal draaiuren van een HRe op basis van deze technologie. De warmte/kracht verhouding is namelijk zeer laag, 3,6 MJ/h aan warmte en 1 kWh aan elektrische energie per uur bij nominaal bedrijf gedurende een uur.

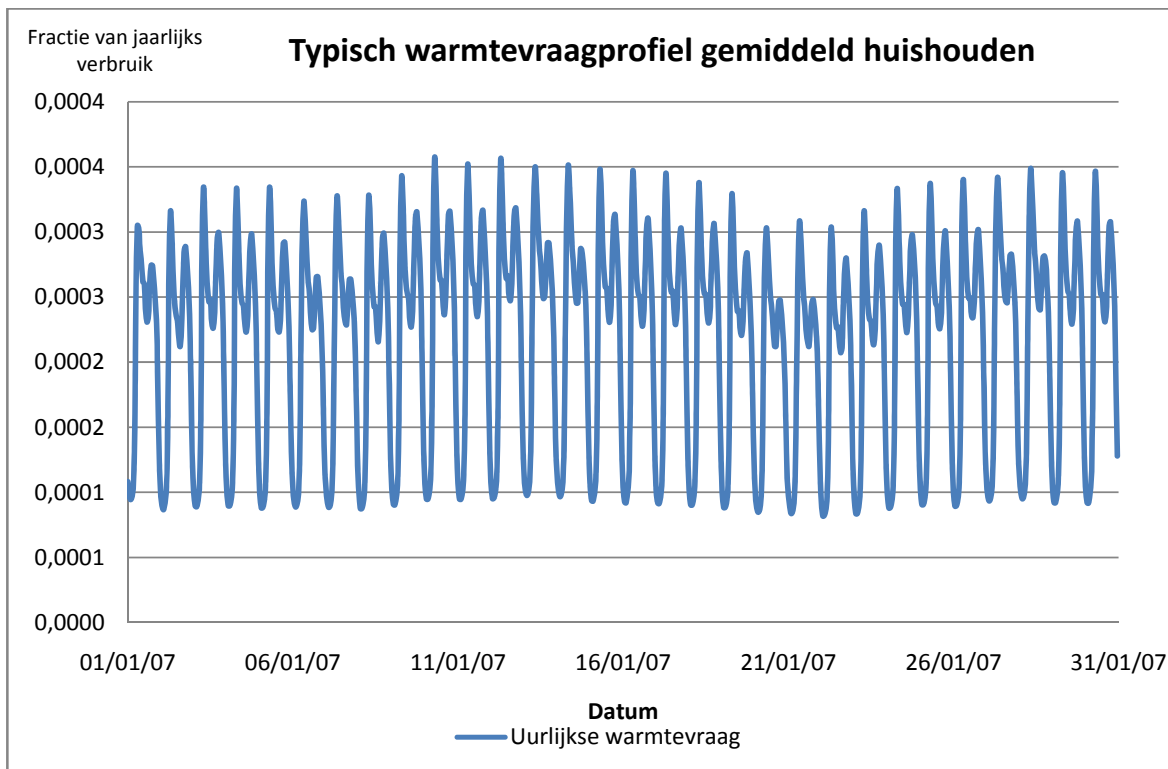
Het productieprofiel van een microwkk op basis van een SOFC brandstofcel is gesimuleerd in Matlab. Allereerst is een model ontwikkeld voor een microwkk op basis van een Stirling motor. Het productieprofiel van dit model is gevalideerd mbv een lopende meting aan een microwkk met Stirling motor in een huishouden nabij Rotterdam. Na de optimalisatie van dit model is deze aangepast ten behoeve van een model met een SOFC brandstofcel.

De input parameters voor het model met SOFC brandstofcel zijn:

- De warmtevraag in MJ/h voor 365 dagen (zie Figuur 2-6)
- De temperatuur van het retour water (gekozen is voor 65 graden)
- De gewenste temperatuur van het vertrekkende water (gekozen is voor 90 graden)
- De minimale temperatuur waarbij een gasbrander moet bijspringen (bv. bij productie tapwater)
- De maximale energie/h die de microwkk kan leveren voor de productie van warm water (3,6 MJ/h)
- De inhoud van het CV systeem (er is voor een vat van 200 liter gekozen)
- De soortelijke warmte van de CV vloeistof (in dit geval water)
- De minimale tijd dat de microwkk aan moet staan (10 minuten is gekozen in verband met simulaties volgens EN50160)
- De efficiency van het CV systeem (gewerkt wordt met 95%)

Met deze inputs is het model in staat om een profiel te genereren van het 'switchen' van de microwkk. Dit profiel is het meest afhankelijk van het warmtevraagprofiel, de warmte/kracht verhouding van de microwkk en de inhoud van het CV systeem/boiler.

Het typisch warmtevraagprofiel van een woning anno 2009 ziet er als volgt uit (zie Figuur 2-6)



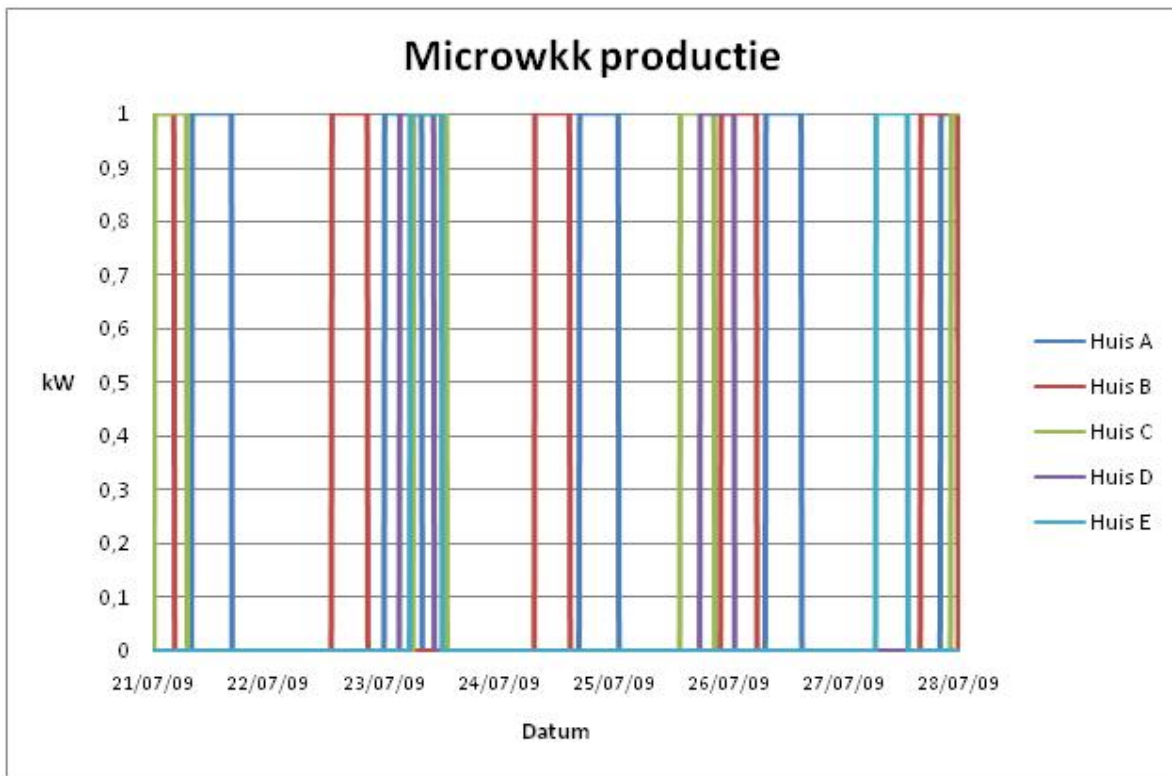
Figuur 2-6 Typisch warmtevraagprofiel van een gemiddeld huishouden in NL

In Tabel 2-2 staat de typische vraag naar warmte voor een gemiddeld huishouden wonende in een bepaald type woning. De waarden vóór renovatie zijn geldig voor woningen gebouwd vóór 1966. Voor deze tijd werd nog geen enkele vorm van isolatie toegepast.

Tabel 2-2 Jaarlijkse warmtevraag van de verschillende typen woningen (incl. warm tapwatervraag)

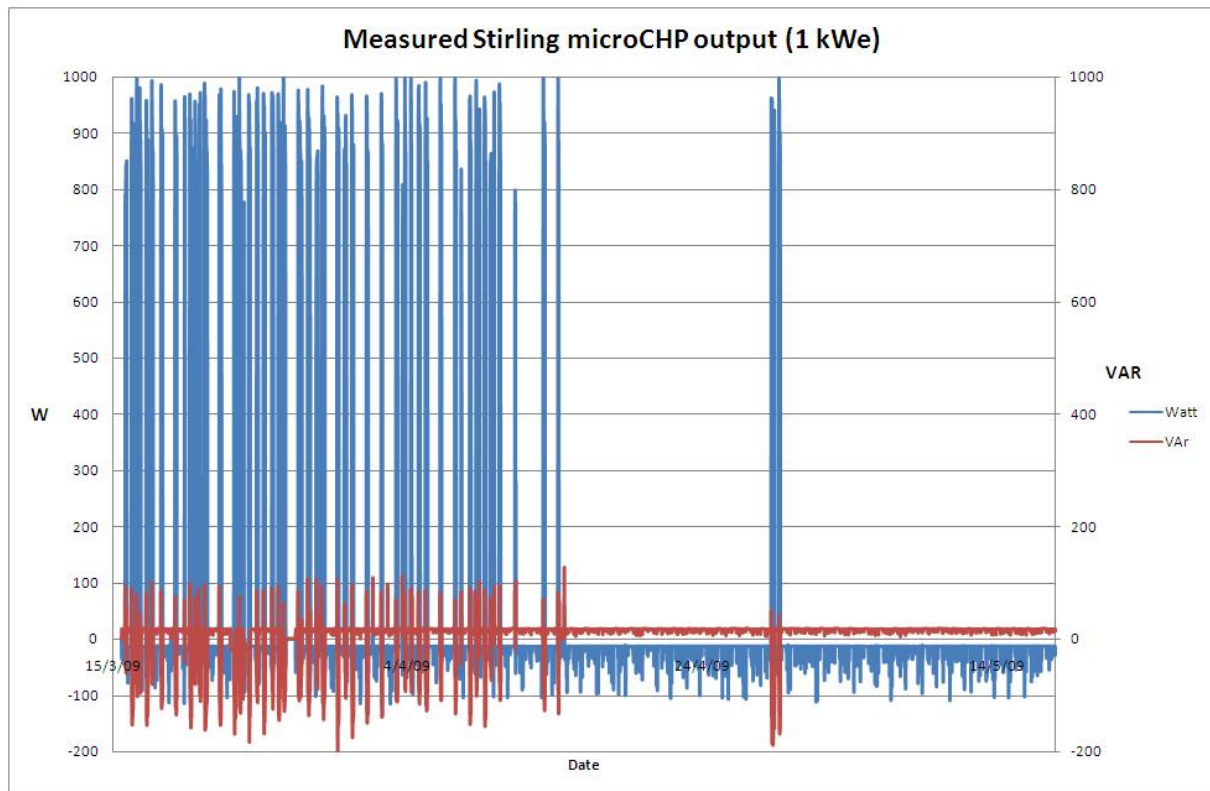
Type woning	Gemiddeld typisch jaarverbruik in GJ	
	Vóór renovatie van de woning	Ná renovatie van de woning
Vrijstaande woning (A)	85	43
2-onder-1-kap woning (B)	88	39
Rijteswoning (C)	57	27
Galerijwoning (D)	29	24
Portiekflat (E)	29	15

Met behulp van het model zijn de volgende profielen voor de huizen A,B, C, D en E ontwikkeld.



Figuur 2-7 Productie door microwkk op basis van SOFC brandstofcel

In Figuur 2-7 is duidelijk te zien dat het aantal draaiuren van een microwkk gering is gedurende zomer (datums in de grafiek zijn fictief). Een microwkk op basis van een Stirling motor maakt nog minder draaiuren (zie Figuur 2-8). Deze gesimuleerde benadering voldoet aan de lopende metingen aan microwkk eenheden in het veld. Simulaties met deze profielen in de worst case situaties zal in de zomer een te zware belasting van het LS- net weerspiegelen. In de winter is een gelijktijdigheid van 100% goed mogelijk, in de zomer zal afgezien van warm tapwater productie een microwkk geen energie aan het net leveren en zal de gelijktijdigheid van de productie zeer laag zijn.



Figuur 2-8 Meting aan een Stirling microwkk in Rotterdam

2.3 Conclusie

Het uitvoeren van simulaties van het MS- en LS net van typische woonwijken in Nederland vraagt om zo nauwkeurig mogelijke profielen van elektriciteits- en warmtevraag van de verschillende typen woningen in Nederland. Omdat de uitrol van slimme meters tijdens deze studie nog niet voltooid is wordt met modellen gewerkt die een zo goed mogelijk beeld schetsen van het verbruik van diverse soorten woningen in NL. De profielen zijn zoveel mogelijk gebaseerd op metingen uit het veld of in ieder geval gevalideerd aan praktijkmetingen. Zo is de elektriciteitsvraag van een warmtepomp gecreëerd uit twee praktijkmetingen. Voor het microwkk profiel is een model ontwikkeld in Matlab. En de opbrengst van een PV paneel wordt gesimuleerd met een lopende meting in Spijkenisse van 2,7 kWp op basis van multikristallijn PV.

Uiteindelijk is het doel om met deze profielen loadflows uit te voeren in Vision voor verschillende scenario's in negen karakteristieke woonwijken in Nederland met hun bijbehorende MS- en LS- net. Dit wordt in het volgende hoofdstuk verder toegelicht.

3. Woonwijk modellen

3.1 Inleiding

In deze studie wordt de impact bestudeerd van toekomstscenario's van energieopwekking op de midden- en laagspanningsnetten in typische Nederlandse woonwijken. In de vorige fase van dit onderzoek, fase A1, is onderzocht welke karakteristieke wijken in Nederland voorkomen met hun eigenschappen. Een selectie van deze wijken, negen in totaal gekozen op basis van criteria, wordt gemodelleerd in Vision. Met behulp van deze modellen en de boven beschreven profielen is het mogelijk de belasting van de MS/LS transformator, de LS- kabels en de spanningshuishouding van de wijken te simuleren. De simulatie wordt uitgevoerd met een uitgebreide macro op basis van 10- minuten waarden gedurende een jaar (52560 waarden). Uiteindelijk is met deze modellen ook te bepalen welke ruimte er nog is om toepassing van elektrische auto's te faciliteren.

3.2 Negen karakteristieke woonwijken

In Tabel 3-1 staat de korte definitie van de karakteristieke wijken (vijfindeling) in Nederland als gehanteerd door het VROM. Verdere informatie kan gevonden worden in het document fase A1 van dit onderzoek.

Tabel 3-1 Vijfindeling in woonmilieus gehanteerd door het VROM

Centrum stedelijk	(Historische) binnensteden, city/nieuwe stedelijke centra, centra van nieuwe steden Essentie: centrale ligging, relatief hoge woningdichtheid, weinig groen, functiemenging, gemengde bouwperiodes, bouwstijlen en historische bebouwing
Buiten centrum	Rond het centrum gelegen compact en monofunctioneel woonmilieu. Vooroorlogse etage, vooroorlogse grondgebonden, vooroorlogse herenhuizen, vooroorlogse tuindorpen, naoorlogse etage, naoorlogse grondgebonden Essentie: de stadswijk, wonen in hoge dichtheid, relatief veel groen, planmatig ontworpen als uitbreiding van de stad
Groen stedelijk	Monofunctioneel woonmilieu dat ruim en groen van opzet is in grotere gemeenten. De uitbreiding aan de stad, groeikernen en actuele uitleg vallen hieronder. Essentie: huis met een tuin, wonen in lage dichtheid met veel groen, planmatig ontworpen woonwijken rondom oude (dorps)kernen
Centrum dorps	Historische kernen, nieuwe kernen Essentie: multifunctionele centra in kleinere kernen, dorps wonen in een landelijk gebied, lage woningdichtheid, veel groen, vrij veel naoorlogse bebouwing
Landelijk wonen	Lage bebouwingsdichtheid in een overwegend groengebied met weinig voorzieningen. Villa wijken, wonen in het landschap, landgoederen. Essentie: Wonen in buurtschappen en verspreid in landelijk gebied, zeer lage woningdichtheid, veel groen en ruimte, vrijwel uitsluitend vrijstaande woningen en boerderijen

Binnen de vijfdeling kan fijner gedifferentieerd worden, daardoor ontstaat een indeling in dertien woonmilieus (zie Tabel 3-2). In deze tabel kunnen de belangrijkste kenmerken van de woonmilieus teruggevonden worden.

Tabel 3-2 Kenmerken van de dertien indeling binnen woonmilieus (bron: ABF Research)

Kenmerken van de 13 woonmilieutypen									
Woonmilieutypen	Kenmerken	Aantal van het woonmilieu in NL	Vooroorlogse won.	Eengezins won.	Vrijstaande won.	Dichtheid woongebied (per ha)	Dichtheid totaal	Winkels per 1000 huishoudens	Gezinnen
Centrum-stedelijk-plus		34	63,3%	16,7%	1,8%	77,8	59,3	49,2	16,0%
Centrum-stedelijk		37	31,9%	53,2%	4,1%	42	27,2	96,6	18,1%
Stedelijk vooroorlogs		115	65,0%	38,2%	2,1%	65,8	36,6	18,7	25,6%
Stedelijk NO compact		238	17,1%	37,8%	2,1%	46,6	20,4	10,8	29,6%
Stedelijk NO grondgebonden		166	15,7%	76,1%	5,9%	32,7	11,6	9,6	38,8%
Groen-stedelijk		196	16,7%	64,0%	11,1%	23,0	5,5	8,6	34,4%
Centrum-kleinstedelijk		78	20,8%	68,3%	9,7%	28,1	11,1	68,8	28,1%
Kleinstedelijk		202	12,0%	70,9%	6,2%	32,6	8,6	8,4	39,5%
Groen-kleinstedelijk		204	12,3%	80,8%	15,1%	21,1	4,6	8,6	39,7%
Centrum-dorps		358	15,4%	88,3%	18,2%	23,2	2,9	20,6	40,8%
Dorps		488	18,0%	94,6%	34,4%	20,6	1,1	16,3	42,8%
Landelijk bereikbaar		1473	27,1%	91,7%	50,8%	19,9	0,4	9,4	43,8%
Landelijk perifeer		427	33,3%	93,5%	54,4%	19,5	0,3	12,4	42,0%

De verklaring van de kenmerken in de tabel is:

- Aantal van het woonmilieu in NL: per woonmilieu is aangegeven hoeveel er van voorkomen in NL
- Vooroorlogse woningen: Gemiddeld percentage aan woningen gebouwd voor 1940 van het totaal aantal woningen in dat woonmilieu
- Eengezin won.: Gemiddeld percentage eengezinswoningen van het totale aantal woningen in dat woonmilieu
- Vrijstaande won.: Gemiddeld percentage vrijstaande woningen van het totale aantal woningen in dat woonmilieu
- Dichtheid woongebied (per ha): Gemiddeld aantal woningen per ha in de kern van dat woonmilieu
- Dichtheid totaal: Gemiddeld aantal woningen per ha binnen dat woonmilieu
- Winkels per 1000 huish.: Gemiddeld aantal winkels per 1000 huishoudens in dat woonmilieu
- Gezinnen: Gemiddeld percentage gezinnen (bestaande uit twee generaties) in dat woonmilieu

In samenspraak met de stuurgroep is besloten om per vijfdeling de meeste extreme woonwijk(en) te nemen, dat wil zeggen waarvan verwacht wordt dat de scenario's de meeste impact op het LS-net zullen hebben. De keuze is gevallen op de volgende woonmilieus (Tabel 3-3):

Tabel 3-3 De negen te modelleren woonmilieus

Centrumstedelijk	Buiten centrum		Groen stedelijk	Dorps	Landelijk perifer
	Vooroorlogs	Naoorlogs			
Schilderswijk	Statenkwartier	Nootdorp	Kijkduin	Epse	Exel
	Betondorp	Lombardijen	Westbroekpark		

Schilderswijk

De schilderswijk is een centrumstedelijke wijk in Den Haag met ongeveer 33.000 bewoners. Informatie over de eigenschappen van een centrumstedelijke wijk kan gevonden worden in het document fase A1 van dit project.

Het dateert van 1862, maar vanaf 1973 is de oude bebouwing vervangen door nieuwbouw. Meer informatie kan gevonden worden op de volgende internetpagina's:

- <http://www.schilderswijk.nl/>
- [http://nl.wikipedia.org/wiki/Schilderswijk_\(Den_Haag\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Schilderswijk_(Den_Haag))



Figuur 3-1 Het rode dorp, Schilderswijk Den Haag

Statenkwartier (Den Haag)

Het Statenkwartier in Den Haag is een stedelijk vooroorlogse wijk (meer informatie zie rapport fase A1). De wijk kwam tot stand tussen 1890 en 1915. Er wonen ongeveer 13.500 mensen. Meer informatie zie:

- <http://www.statenkwartier.net/>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Geuzen-_en_Statenkwartier



Figuur 3-2 Het Statenkwartier, Den Haag

Betondorp

Betondorp in Amsterdam is een stedelijk vooroorlogse wijk (meer informatie zie rapport fase A1). Het is gelegen in het Amsterdamse stadsdeel Oost/Watergraafsmeer. De buurt werd opgezet in een tijd waarin er een tekort was aan bakstenen en bouwvakkers, daarom werd er gekozen om de woningen van beton te vervaardigen. De wijk heeft een (gedeeltelijk) opknapbeurt ondergaan die bestond uit het schilderen van de woningen. Meer informatie over betondorp kan gevonden worden op:

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Betondorp>
- <http://www.lowensteyn.com/betondorp/index.html>



Figuur 3-3 Betondorp, Amsterdam

Nootdorp

Nootdorp is een stedelijk naoorlogse wijk in de gemeente Pijnacker-Nootdorp bij Den Haag. Meer informatie over de eigenschappen van een stedelijk naoorlogse wijk kan gevonden worden in het document fase A1.

Het aantal inwoners bedraagt ongeveer 11000. De wijk is pas echt gegroeid na de 2^e Wereldoorlog. Meer informatie is beschikbaar op de volgende pagina's:

- <http://www.noitdorpsche-historien.nl/>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Nootdorp>



Figuur 3-4 Nootdorp, nabij Den Haag

Lombardijen

Lombardijen is een naoorlogse wijk in Rotterdam, gebouwd in het begin van de jaren 60. Er wonen ruim 14000 mensen. Er is vooral laagbouw te vinden in de vorm van rijtjeshuizen en veel flatwoningen. Meer informatie kan gevonden worden op:

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Lombardijen>
- <http://www.woneninlombardijen.nl/do.php?fct=pages&op=showPage&pageld=242>



Figuur 3-5 Lombardijen, Rotterdam

Kijkduin

Kijkduin is een groenstedelijke wijk in Den Haag. In de jaren zestig en zeventig is de groei van Kijkduin pas tot stand gekomen, na de versterking van de kust met puinduinen. De huidige bebouwing bestaat vooral uit villa's en bungalows buiten het centrum en appartementen en strandtentjes/horeca in het centrum en langs het strand. In dit onderzoek wordt gekeken naar het groen stedelijke woonmilieu gelegen buiten het centrum van Kijkduin. Meer informatie kan gevonden worden op:

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kijkduin>
- <http://kijkduin.uit-nederland.nl/>



Figuur 3-6 Kijkduin, Den Haag. De gesimuleerde wijk ligt in de rode cirkel, buiten het centrum

Westbroekpark

Westbroekpark is een groenstedelijke wijk in Den Haag. Behalve het park zelf staan er grote statige woningen. Meer informatie is te vinden op:

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Westbroekpark>
- <http://www.wittebrugpark.nl/bijlagen/ikapteynstreef/wbpgeschiedenis.htm>



Figuur 3-7 Westbroekpark, Den Haag

Epse

Epse is een dorp in de gemeente Lochem met ongeveer 1900 inwoners. Meer informatie kan gevonden worden op:

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Epse>
- <http://epse.plein.nl/specials/index.php?spec=overepse.html&titel=Over%20Epse>



Figuur 3-8 Epse nabij Lochem

Exel

Exel is dorp in de gemeente Lochem en heeft 150 inwoners. Door de zeer landelijke ligging behoort Exel tot een landelijk perifeer woonmilieu. Meer informatie kan gevonden worden op:

- [http://nl.wikipedia.org/wiki/Exel_\(dorp\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Exel_(dorp))



Figuur 3-9 Exel, nabij Lochem

De verschillen tussen alle bovenstaande wijken is dat ze vooral verschillen in woningdichtheid en type woningen. Dit is van belang om een algemeen beeld te kunnen schetsen van de meest voorkomende wijken in NL. Van deze wijken is het MS- en LS net opgevraagd en gemodelleerd in Vision. De resultaten hiervan staan in de volgende paragraaf.

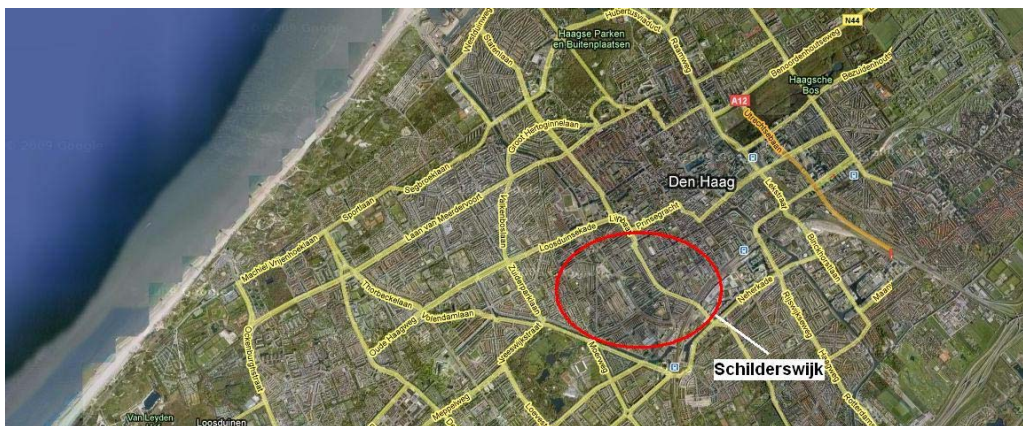
3.3 De wijken in Vision

Omdat van de netten in de geselecteerde wijken geen digitale versie beschikbaar is, wordt deze geconstrueerd mbv informatie uit het GIS- systeem van de netbeheerders. Een model van een wijk bevat de MS/LS transformator(en), de aangesloten MS- kabels, alle LS- kabels achter één MS/LS transformator en aan het eind van iedere afgaande kabel de huisaansluitkabel. Ook elk huis is separaat gemodelleerd met een belasting EN een productiemogelijkheid. Er is rekening gehouden met type kabels, kabeldoorsneden en kabel-lengtes. Hieronder volgt een korte beschrijving van het elektriciteitsdistributienet in de wijken. Het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.

Schilderswijk

Het laagspanningsnet in de Schilderswijk is een vermaasd net met radiale aftakkingen. In deze aftakkingen wordt verjonging toegepast. In het net zijn vooral 4*50 mm² Cu kabels toegepast met lengtes tot 350 meter. Het gedeelte van de Schilderswijk waarop gefocust wordt is het LS- net achter MS/LS station 2304. In dit station staat één transformator van 200 kVA en één transformator van 400 kVA. Er wordt gesimuleerd met

een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage. De simulatieparameters worden beschreven in hoofdstuk 4.



Figuur 3-10 Overzicht locatie Schilderswijk in Den Haag

Statenkwartier

Het laagspanningsnet in het Statenkwartier is een vermaasd net met radiale aftakkingen. Er wordt bijna geen verjonging toegepast. In het net zijn vooral 4*95 mm² Cu kabels toegepast met lengtes tot 350 meter. Het gedeelte van het Statenkwartier waarop gefocust wordt is het LS- net achter MS/LS station A400. In dit station staat twee transformatoren van 250 kVA. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-11 Overzicht locatie Statenkwartier in Den Haag

Betondorp

Het laagspanningsnet in stadsdeel Betondorp is een radiaal net. Echter het kan ook vermaasd bedreven worden omdat veel afgaande kabels via een LS- kast gekoppeld kunnen worden. Het is niet bekend welke connectie per kast gelegd wordt. In de simulaties wordt uitgegaan van radiaal bedrijf. Er wordt bijna geen verjonging toegepast, wat zou duiden op mogelijkheid tot vermaasd bedrijf. In het net zijn vooral $4 \times 95 \text{ mm}^2$ Al kabels toegepast met lengtes tot 300 meter. Het gedeelte van Betondorp waarop gefocust wordt is het LS-net achter MS/LS station T280. In dit station staat één transformator van 315 kVA. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.

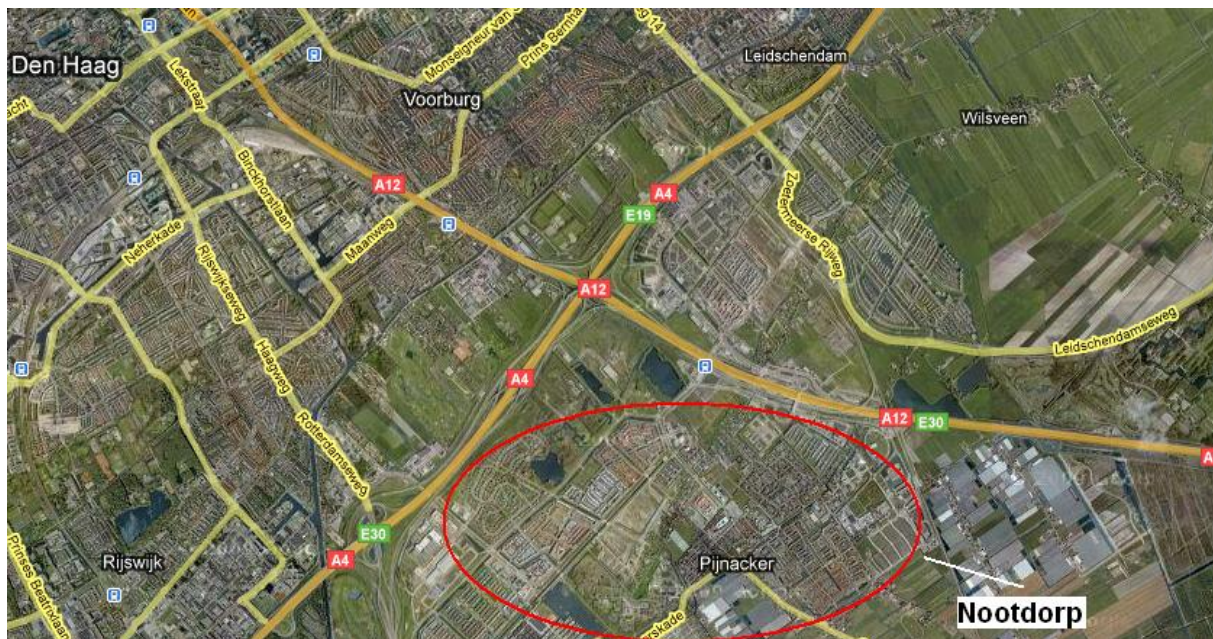


Figuur 3-12 Overzicht locatie Betondorp nabij Amsterdam

Nootdorp

Het laagspanningsnet in Nootdorp is een radiaal net. Echter het kan ook vermaasd bedreven worden omdat veel afgaande kabels via een LS- kast gekoppeld kunnen worden. Het is niet bekend welke connectie per kast gelegd wordt. In de simulaties wordt uitgegaan van radiaal bedrijf. Er wordt verjonging toegepast, wat zou duiden op een geringe mogelijkheid tot vermaasd bedrijf. In het net zijn vooral $4 \times 95 \text{ mm}^2$ Al kabels toegepast met lengtes tot 300 meter. Op dit netdeel zitten veel kleinere flats aangesloten met negen appartementen per gebouw. Het gedeelte van Nootdorp waarop gefocust wordt is het LS-net achter MS/LS station MS-61-5159. In dit station staat één transformator van 400 kVA. Er wordt gesimuleerd met een secundaire

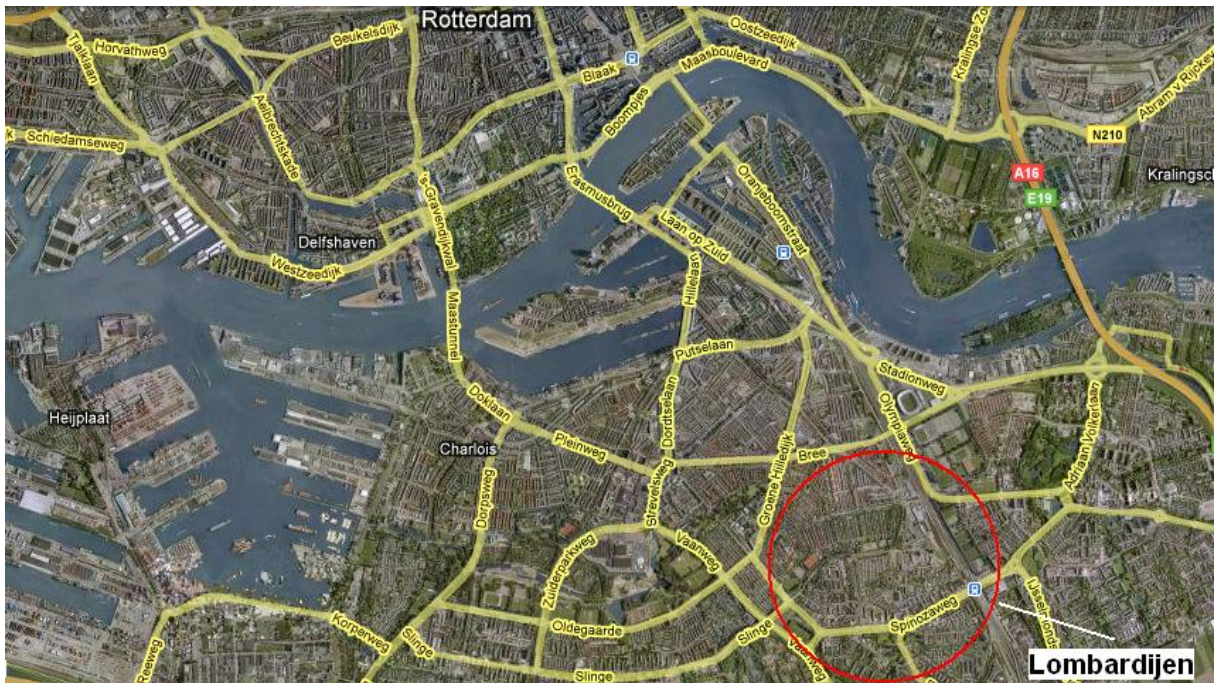
lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-13 Overzicht locatie Pijnacker-Nootdorp nabij Den Haag

Lombardijen

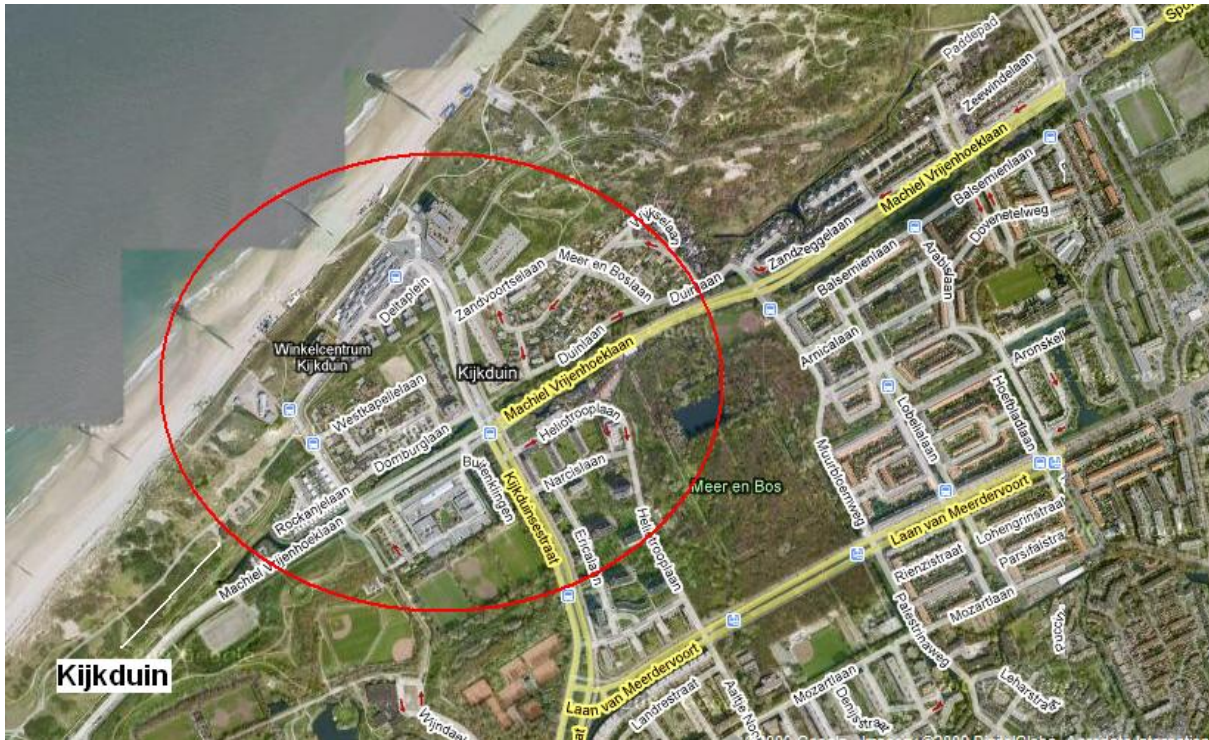
Het laagspanningsnet in het gedeelte van Lombardijen wat gesimuleerd zal worden is een radiaal net. Echter het kan ook vermaasd bedreven worden omdat veel afgaande kabels via een LS- kast gekoppeld kunnen worden. Het is niet bekend welke connectie per kast gelegd wordt. In de simulaties wordt uitgegaan van radiaal bedrijf. Er wordt weinig verjonging toegepast, wat zou duiden op een mogelijkheid tot vermaasd bedrijf. In het net zijn vooral $4 \times 95 \text{ mm}^2$ Cu kabels toegepast met lengtes tot 200 meter. Op dit netdeel zitten veel flats aangesloten met negen appartementen per flat. Het gedeelte van Lombardijen waarop gefocust wordt is het LS- net achter MS/LS station H1461. In dit station staat één transformator van 400 kVA. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-14 Overzicht locatie Lombardijen in Rotterdam

Kijkduin

Het laagspanningsnet in het gedeelte van Kijkduin wat gesimuleerd zal worden is een vermaasd net met radiale aftakkingen. Er wordt geen verjonging toegepast. In het net zijn vooral $4 \times 95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ en $4 \times 50 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ kabels toegepast met lengtes tot 500 meter. Op dit netdeel zitten vooral grote vrijstaande woningen aangesloten. Het gedeelte van Kijkduin waarop gefocust wordt is het LS-net achter MS/LS station L110. In dit station staat één transformator van 200 kVA. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-15 Overzicht locatie Kijkduin

Westbroekpark

Het laagspanningsnet in het Westbroekpark is een vermaasd net. Er wordt weinig verjonging toegepast, wat zou duiden op een mogelijkheid tot vermaasd bedrijf. In het net zijn vooral $4 \times 70 \text{ mm}^2$ Cu kabels toegepast met lengtes tot 450 meter. Het gedeelte van het Westbroekpark waarop gefocust wordt is het LS- net achter MS/LS station A702. In dit station staan twee transformatoren van 250 kVA. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-16 Overzicht locatie Westbroekpark nabij Scheveningen

Epse

Het laagspanningsnet in Epse is een radiaal net. Er wordt veel verjonging toegepast. In het net worden diverse kabels gebruikt, $4 \times 150 \text{ Al mm}^2$ en $4 \times 95 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ als vertrekende kabel vanaf het MS/LS station (250 kVA), waarna verjongd wordt. Er worden kabels toegepast met lengtes tot 350 meter. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-17 Overzicht locatie Epse nabij Lochem

Exel

Het laagspanningsnet in Exel is een radiaal net. Er wordt veel verjonging toegepast. In het net worden diverse kabels gebruikt, 4*150 Al mm² en 4*95 mm² Al als vertrekkende kabel vanaf het MS/LS station (250 kVA), waarna verjongd wordt. Er worden kabels toegepast met lengtes tot 1000 meter. Er wordt gesimuleerd met een secundaire lijnspanning die nominaal 420V bedraagt. Een afbeelding van het model in Vision kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 3-18 Overzicht locatie Exel nabij Lochem

De negen bovenstaande modellen worden gebruikt om een algemeen beeld te schetsen van de meest voorkomende netsituaties in NL. De scenario's, die in het volgende hoofdstuk worden beschreven, worden op deze modellen toegepast.

3.4 Conclusie

Op basis van representeerbaarheid voor Nederland is een keuze gemaakt welke negen woonwijken gemodelleerd worden in Vision. De keuze voor deze woonwijken is gemaakt in samenspraak met de netbeheerders. Belangrijkste criterium is dat er een algemene uitspraak gedaan kan worden over de meeste voorkomende netsituaties in Nederland. Met name de toepassing van elektrische warmtepompen, airco's, PV-installaties, microwkk's en elektrische auto's in deze netten zal nader onderzocht worden in de volgende hoofdstukken.

4. De scenario's en aanpak van de simulaties

4.1 Inleiding

In de huidige LS- netten wordt, uitzonderingen en nieuwbouwprojecten daargelaten, nog relatief weinig gebruik gemaakt van elektrische warmtepompen, PV- installaties, microwkk's of elektrische auto's. Net als de forse toename van airconditioners de laatste jaren kan dit ook gebeuren voor deze nieuwe belastingen of opwekkers. Of de LS- netten in huidige (oude) woonwijken dit kunnen faciliteren is onduidelijk. Ook is het onduidelijk welke technieken zullen doorbreken, dit is afhankelijk van teveel spelers op de markt. Zo kan een subsidiëringmaatregel van de overheid er plotseling toe leiden dat er massaal PV wordt geïnstalleerd. Of dat elektrische warmtepompen worden aangekocht. Om toch de impact te onderzoeken van nieuwe technieken toegepast in LS- netten zijn scenariostudies zeer nuttig. In dit hoofdstuk worden de scenario's beschreven welke met simulaties toegepast worden op de gemodelleerde LS- netten als beschreven in het vorige hoofdstuk.

Ook wordt beschreven hoe de simulaties zijn opgebouwd en welke parameters geanalyseerd worden.

4.2 De scenario's

De scenario's die gesimuleerd zullen worden laten de impact zien van technieken die alleen of in combinatie met andere techniek(en) een invloed hebben op het LS- net. De scenario's zijn zo samengesteld dat ze zowel realistisch als extreem zijn voor het net. Het proces voor het bepalen van de scenario's is beschreven in het rapport HERMES DG De Multicriteria analyse (MCA) en HERMES DG 3 fase A1. Niet alle scenario's zijn toepasbaar op alle wijken (als beschreven in fase A1).

Met een huishouden wordt bedoeld alle personen die wonen in één huis/appartement/galerijwoning/etc. Hieronder worden de te simuleren scenario's verder uitgelegd.

Scenario 1: 'Business as usual'

Tabel 4-1 Scenario 'Business as usual'

'Business as usual'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag

Het 1^e concept, 'Business as usual', is gekozen als referentiescenario. Het concept bestaat uit energiesystemen zoals in 2008, dus huishoudens met HR-ketels en koken op gas. Om een goed vergelijk te kunnen maken met de andere scenario's is het basis energiegebruik van het referentiescenario gelijk genomen aan de andere scenario's.

Scenario 2: 'Business as usual met airco'

Tabel 4-2 Scenario 'Business as usual met airco'

'Business as usual met airco'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag Airco
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag Airco

Het concept 1a, 'Business as usual met airco', is gekozen om de invloed van aircosystemen op het net te bekijken. Het concept bestaat uit energiesystemen zoals in 2008, dus huishoudens met HR-ketels en koken op gas. Om een goed vergelijk te kunnen maken met de andere scenario's is het basis energiegebruik van het referentiescenario gelijk genomen aan de andere scenario's. Er wordt verondersteld dat 50% van de huishoudens een aircosysteem van 2 kWe hebben. De gelijktijdigheid van de airconditioners wordt 100% verondersteld.

Scenario 3: 'SOFC brandstofcel microwkk'

Tabel 4-3 Scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

'SOFC brandstofcel microwkk'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag Eén SOFC μwkk's (1 kWe) per huishouden
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag Eén SOFC μwkk's (1 kWe) per huishouden

In dit concept heeft ieder huishouden de beschikking over een microwkk met SOFC brandstofcel. De microwkk is voorzien van een warmwater buffer van 200 liter. Mocht de microwkk niet genoeg warmte kunnen leveren neemt een ingebouwde gasbrander de extra vraag op zich. Ook wordt er gekookt op gas.

Scenario 4: 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

Tabel 4-4 Scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

'SOFC brandstofcel microwkk + PV'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag Eén SOFC μwkk (1 kWe) per huishouden 2,1 én 1,1 kWp PV
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag 55 én 30 kWp PV per flat Eén SOFC μwkk (1 kWe) per huishouden

In dit concept hebben alle huishoudens de beschikking over een microwkk met SOFC brandstofcel (1 kWe) en 2,1 kWp aan PV. De microwkk's zijn voorzien van een warmwater buffer van 200 liter. Mocht de microwkk

niet genoeg warmte kunnen leveren neemt een ingebouwde gasbrander de extra vraag op zich. Ook wordt er gekookt op gas. Dit scenario zal ook worden doorgerekend met 1,1 kWp aan PV op het dak.

De appartementen krijgen hun warmte van eigen microwkk's op basis van een SOFC brandstofcel. Ook ligt 55 kWp aan PV op het dak in geval van 27 appartementen per gebouw. Bij de flats met negen appartementen ligt 19 kWp op het dak. Hetzelfde scenario wordt doorgerekend voor 30 kWp en 10 kWp op het dak van een flat.

Scenario 5: 'PV + elektrische warmtepomp'

Tabel 4-5 Scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

'PV + elektrische warmtepomp'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag 2,1 én 1,1 kWp PV Monovalente elektrische warmtepomp per huishouden
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag Gasgestookte ketel per flat

In dit concept heeft ieder huishouden de beschikking over 2,1 kWp aan PV met een rendement van 16%. Ook hebben de huishoudens een monovalente elektrische warmtepomp. Voor de grote woningen heeft deze elektrische warmtepomp een vermogen van 2,4 kWe + 3*2 kWe. Voor de kleinere woningen 2,1 kWe + 3*2 kWe. Let op: er wordt gerekend met een gelijktijdigheid van 100% voor de warmtepompen. Gedurende dagen met vriestemperaturen is dit worst case, in de zomer kan dit niet voorkomen en is de simulatie dus overdreven worst case. Deze worst case situatie kan in de zomer wel optreden als de legionella- regeling niet goed is afgeregeld, dat wel zeggen als alle woningen met een warmtepomp gelijktijdig het tapwater verwarmen naar 60°C. In de praktijk is het verstandig om de tijdstippen voor de legionella- regeling per huis te laten variëren om overbelasting van het net te voorkomen. Er wordt elektrisch gekookt (simulatie uitgevoerd met 0,1 kW per huis van 17h tot 19h met een gelijktijdigheid van 100%). Dit is ook waar de netbeheerders mee rekenen.

De utiliteiten krijgen hun warmte van eigen gasgestookte ketels.

Scenario 6: Elektrische warmtepompen

Tabel 4-6 Scenario 'Warmtepompen'

'Elektrische warmtepompen'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag Monovalente elektrische warmtepomp per huishouden
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag Gasgestookte ketel per flat

In dit scenario loopt er geen gasleiding naar de woningen in de wijk, maar moeten de woningen alle energie betrekken uit het elektriciteitsnet. In dit concept heeft ieder huis (vrijstaand, 2-onder-1-kap, of rijwoning) de beschikking over een monovalente elektrische warmtepomp met warmwater buffer van 200 liter. Ook wordt er elektrisch gekookt.

De utiliteiten krijgen hun warmte van eigen gasgestookte ketels.

Scenario 7: 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

Tabel 4-7 Scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'	Profielen
Huizen	Basis Elektriciteitsvraag Monovalente elektrische warmtepomp voor 50% van de huishoudens SOFC brandstofcel microwkk voor 50% van de huishoudens
Galerijwoning/flatwoning	Basis Elektriciteitsvraag SOFC brandstofcel microwkk per woning

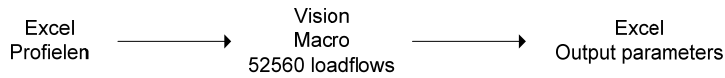
In dit concept heeft 50% van de huishoudens (wonend in een vrijstaande, 2-onder-1-kap, of rijwoning) de beschikking over een monovalente elektrische warmtepomp met warmwater buffer van 200 liter. De andere 50% heeft een SOFC brandstofcel microwkk. Van de galerijwoningen of flatwoningen heeft iedereen een microwkk. De woningen met elektrische warmtepomp koken elektrisch, de woningen met SOFC brandstofcel koken op gas.

Bovenstaande scenario's dekken alle extreme situaties die toepasbaar zijn op de woonmilieus, namelijk:

- Veel PV inclusief microwkk (mooie winterdag)
- Elektrische warmtepompen
- Microwkk
- Microwkk + elektrische warmtepompen
- Aircosystemen

4.3 De simulaties

De simulaties worden uitgevoerd in Vision Network Analysis van PhaseToPhase. Er wordt gewerkt met een 3-fase model, het is niet mogelijk om in deze module te rekenen per fase. De input wordt verzorgd door profielen op 10- minuten basis in Microsoft Excel welke mbv een macro worden ingelezen. De output bestaat ook uit Excel files waarna de data geanalyseerd en gevisualiseerd wordt met Matlab. In totaal worden per scenario en per LS- net 52560 loadflows berekend.



De modellen van de woonwijken worden doorgerekend op belasting van de MS/LS transformator(en), MS- en LS- kabels en de spanningshuishouding. De modellen bevatten ieder huishouden apart. Afhankelijk of de woning een vrijstaand huis of appartement betreft, wordt een ander profiel aan deze woning gekoppeld mbv de macro en de input vanuit Excel. De afstand tussen de huizen, wat neer komt op de lengte van de LS- kabel tussen de huizen wordt gerespecteerd, evenals de kabeldoorsnede. Op het eind van iedere afgaande kabel wordt een huisaansluitkabel gemodelleerd. Deze wordt gemiddeld op twaalf meter genomen met een doorsnede van 6 mm². Bij grote vrijstaande woningen kan de lengte groter zijn (>15m) en de doorsnede van de huisaansluitkabel 10 mm².

Simulatieparameters

De volgende parameters worden berekend en naar Excel geëxporteerd:

- Primaire spanning (V) van het MS/LS station
- Secundaire spanning (V) van het MS/LS station
- Belasting (%) van de voedende MS- kabel
- Belasting (%) van en vermogen (P, Q) over de MS/LS transformator(en)
- Belasting (%) van en vermogen (P,Q) van de afgaande kabels bij de aansluiting in het MS/LS station
- Belasting (%) van de afgaande kabels (iedere 50 meter)
- Spanning (V) in het midden en op het eind van iedere afgaande kabel

Met behulp van deze parameters worden de mogelijke bottlenecks in de LS- netten gezocht voor de verschillende scenario's. Met bottlenecks worden de problemen met overbelasting of overschreden maximale spanningen bedoeld. Ook wordt mbv de loadflows geanalyseerd wat de ruimte is in de LS- netten voor toepassing van elektrische auto's (zie hoofdstuk Inpassing van elektrische auto's)

4.4 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de zes scenario's die doorgerekend zullen worden samengevat. Behalve voor de centrum stedelijke woonmilieus zijn alle scenario's realistisch toepasbaar op alle zes verkozen woonmilieus. De scenario's zullen voortaan aangeduid worden als hieronder.

- Scenario 1: 'Business as usual'
- Scenario 2: 'Business as usual met airco'
- Scenario 3: 'SOFC brandstofcel microwkk'
- Scenario 4: 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'
- Scenario 5: 'PV + elektrische warmtepomp'
- Scenario 6: 'Elektrische warmtepompen'
- Scenario 7: 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

De scenario's 2 t/m 7 zullen als referentie het 'Business as usual' scenario hebben, dat wil zeggen dat de basis behoefte aan elektriciteit en warmte in alle scenario's gelijk is. Per scenario is er wel de mogelijkheid dat er verschil tussen de situatie vóór en ná renovatie. Dit is wordt duidelijk aangegeven bij de simulatieresultaten.

Met behulp van de scenario's worden de meest extreme situaties voor het LS- net gesimuleerd. De gelijktijdigheid van de gelijke belastingen in de scenario's is namelijk 100%. Dit is absoluut worst case en soms, vooral in de zomer, overdreven. Hiermee moet rekening gehouden worden bij de interpretatie van de simulatieresultaten.

5. Simulatieresultaten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de simulaties per wijk en per scenario beschreven. Met behulp van de simulatieresultaten wordt een beeld geschetst van de huidige mogelijkheden voor bijvoorbeeld PV, warmtepompen of microwkk's in de gemodelleerde wijken. De mogelijkheid voor het opladen van elektrische auto's wordt in hoofdstuk 6 besproken.

Ieder scenario is uitgerekend voor een situatie waarin de woning vrijwel ongeïsoleerd is (bouwjaar vóór 1966) en een situatie ná na-isolatie. De na-isolatie bestaat vooral uit aanbrengen gevelisolatie, dubbelglas en een efficiëntere CV installatie. De renovatiemogelijkheden staan beschreven in het document HERMES DG 3 Fase A1. Voortaan zal dit aangeduid worden als de situatie vóór renovatie en de situatie ná renovatie. Het scenario Business as usual geeft voor de twee situaties dezelfde belasting van het net omdat isolatie het elektriciteitsgebruik grotendeels ongewijzigd laat. De scenario's met warmtepompen (5,6 en 7) zijn alleen doorgerekend voor één situatie, er wordt geen onderscheidt gemaakt tussen vóór en ná renovatie. Let op: de resultaten van de scenario's 5,6 en 7 zijn onafhankelijk van de warmtevraag berekend, er is gebruik gemaakt van gemeten warmtepompprofielen.

Alle resultaten (maxima zonder de duur van het optreden van het maximum) worden in tabelvorm gepresenteerd in de bijlage. De tijdsduur van de (over)belastingen kan terug gevonden worden in de originele Excel simulatiedata. Ook zijn figuren van de spanningshuishouding beschikbaar in de bijlage, evenals het model van het LS- net in Vision van de verschillende wijken. In dit hoofdstuk worden de conclusies die uit de simulatieresultaten volgen behandeld, samen met het business as usual scenario en een opvallend resultaat

5.2 Resultaten Exel

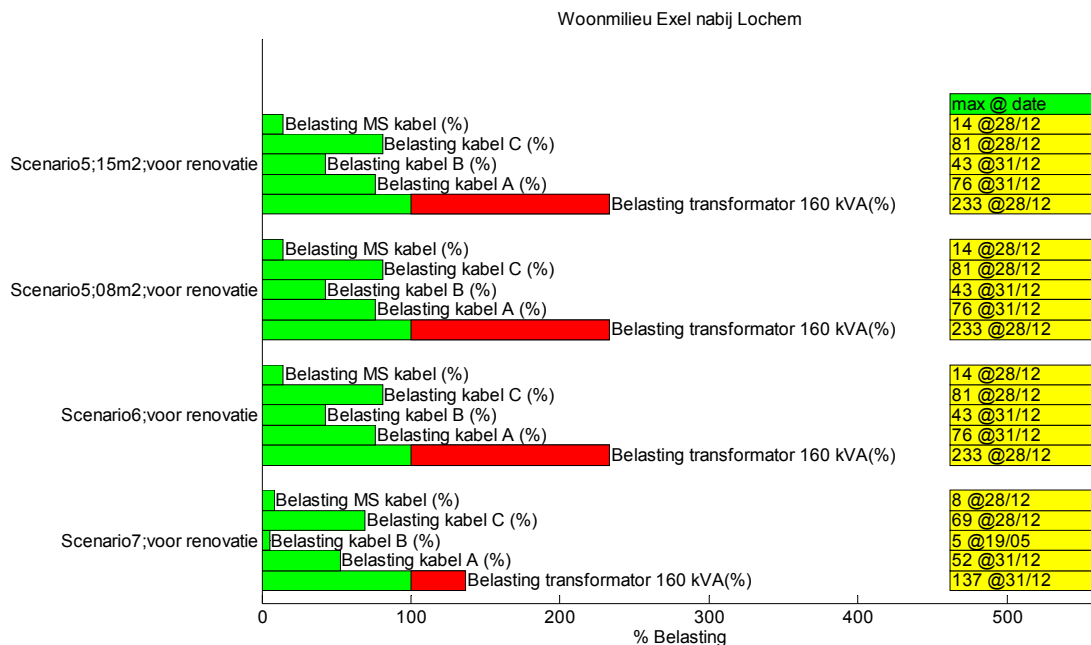
Business as usual

Tabel 5-1 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
160 kVA transformator	34%	26%	23%	31%
Kabel A	11%	8%	7%	10%
Kabel B	6%	4%	4%	5%
Kabel C	12%	9%	8%	11%

Volgens Tabel 5-1 zijn de belastingen van de MS/LS transformator laag evenals van de kabels. Zeer waarschijnlijk zijn deze te laag ingeschat, er zullen grotere belastingen zijn aangesloten in de kern van dit landelijk gebied (denk aan enkele winkels). Hier moet rekening mee gehouden worden bij het interpreteren van de resultaten.

De toepassing van grootschalig PV (15 m² multikristallijn met een efficiency van 14% per huis) levert geen problemen op in het landelijk perifeer woonmilieu Exel. Ook de 100% integratie van microwkk's kan direct gebeuren. De verklaring ligt in het gebruik van de drie relatief zware afgaande kabels en het relatief laag aantal huizen per kabel. Bij toepassing van warmtepompen (voor Exel 100% van de huizen) moet de transformatorcapaciteit worden uitgebreid naar 400 kVA, terwijl de gebruikte kabels genoeg capaciteit hebben (zie Figuur 5-1). Bij verjonging moet worden opgelet dat niet met een te kleine doorsnede gewerkt wordt. Uitgangspunt voor scenario's met warmtepompen is 20 huizen met per huis 10 kWe aan vraag met 100% gelijktijdigheid. Hiervoor is een 150 mm² Al kabel vereist.



Figuur 5-1 Belasting transformator en kabels in Exel in de scenario's met onder meer elektrische warmtepompen

5.3 Resultaten Epse

Business as usual

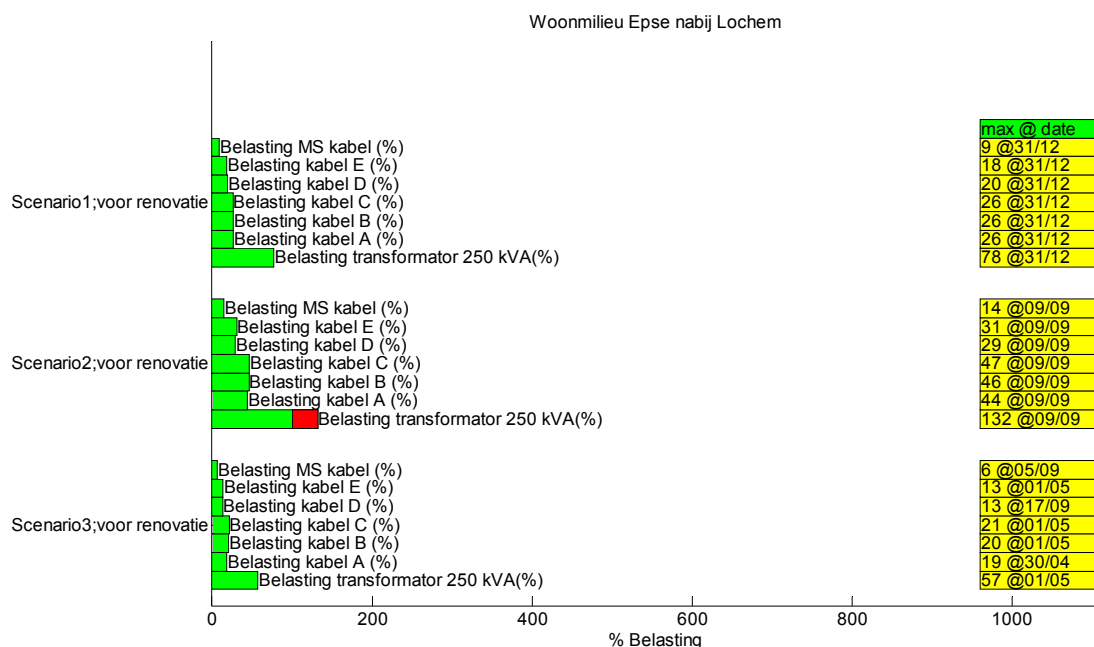
Tabel 5-2 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	78%	59%	52%	69%
Kabel A	26%	20%	18%	23%
Kabel B	26%	20%	18%	23%
Kabel C	26%	20%	18%	23%
Kabel D	20%	15%	13%	18%
Kabel E	18%	14%	12%	16%

In Epse, een dorps woonmilieu waarvan er in Nederland vele te vinden zijn (zie Tabel 3-2), treden meerdere problemen op bij toepassing van verschillende scenario's op het laagspanningsnet. In het 'Business as usu-

al' scenario treden er geen problemen op in het LS- net van Epse. De MS/LS transformator is realistisch belast. Met een meting zou dit kunnen worden geverifieerd.

Echter de transformatorcapaciteit is te klein bij een penetratiegraad van 50% aan airconditioningsystemen (Figuur 5-2), levert een gelijktijdige teruglevering van microwkk en PV capaciteitsproblemen op op transformatorniveau en is de grootschalige toepassing van warmtepompen in het huidige LS- net uit den boze. Inpassing van microwkk alleen levert geen problemen op. Om inpassing van grootschalig PV en/of warmtepompen mogelijk te maken moet zowel de transformatorcapaciteit als de kabels verzwaaard worden. In het hoofdstuk met de economische analyse wordt hier verder op in gegaan.



Figuur 5-2 Belasting transformator en kabels Epse, overbelasting transformator in scenario 2 met airco

5.4 Resultaten Lombardijen

Business as usual

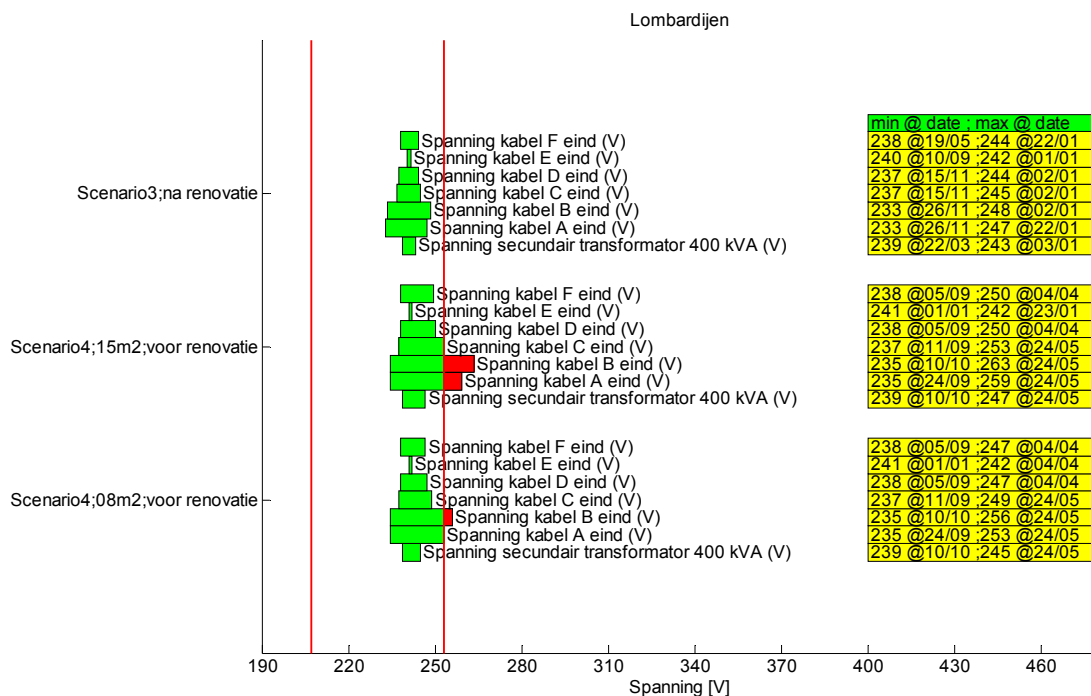
Tabel 5-3 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	67%	51%	45%	60%
Kabel A	63%	48%	42%	57%
Kabel B	53%	40%	36%	47%
Kabel C	21%	16%	14%	19%
Kabel D	37%	28%	25%	33%
Kabel E	11%	8%	8%	10%
Kabel F	9%	7%	6%	8%

Lombardijen is een stedelijk naoorlogse wijk. In het scenario Business as Usual zijn er geen problemen. Deze ontstaan bij gebruik van veel airconditioners. Kabels en transformatoren kunnen overbelast raken bij te grote penetratie/vermogen (gerekend is met penetratiegraad 50% en 2 kWe extra per woning).

Ook de toepassing van veel PV, zeker icm, microwkk levert capaciteits- en spanningsproblemen op (zie Figuur 5-3). Toepassing van alleen microwkk levert geen problemen op. Bij de toepassing van elektrische warmtepompen moet goed worden opgelet, een kleine penetratiegraad in vrijstaande- en rijtjeshuizen zal geen probleem opleveren omdat deze woningen relatief weinig voorkomen. Mochten ze gebruikt worden (mogelijk collectief) in flats, dan zullen problemen ontstaan. Dit is echter niet gesimuleerd omdat het een onwaarschijnlijk scenario is (vloerverwarming in alle flats nodig etc.).

Voor Lombardijen en andere vergelijkbare naoorlogse wijken is het inpassen van nieuwe belastingen en/of opwekkers mogelijk, echter beperkt (behalve voor microwkk, deze kan 100% ingezet worden). Men zal snel tegen de limieten van kabels en transformatoren aanlopen.



Figuur 5-3 Spanningshuishouding LS- net Lombardijen, overspanning bij scenario 4 PV plus microwkk (Let op: een secundaire lijn spanning van 420V is verondersteld)

5.5 Resultaten Betondorp

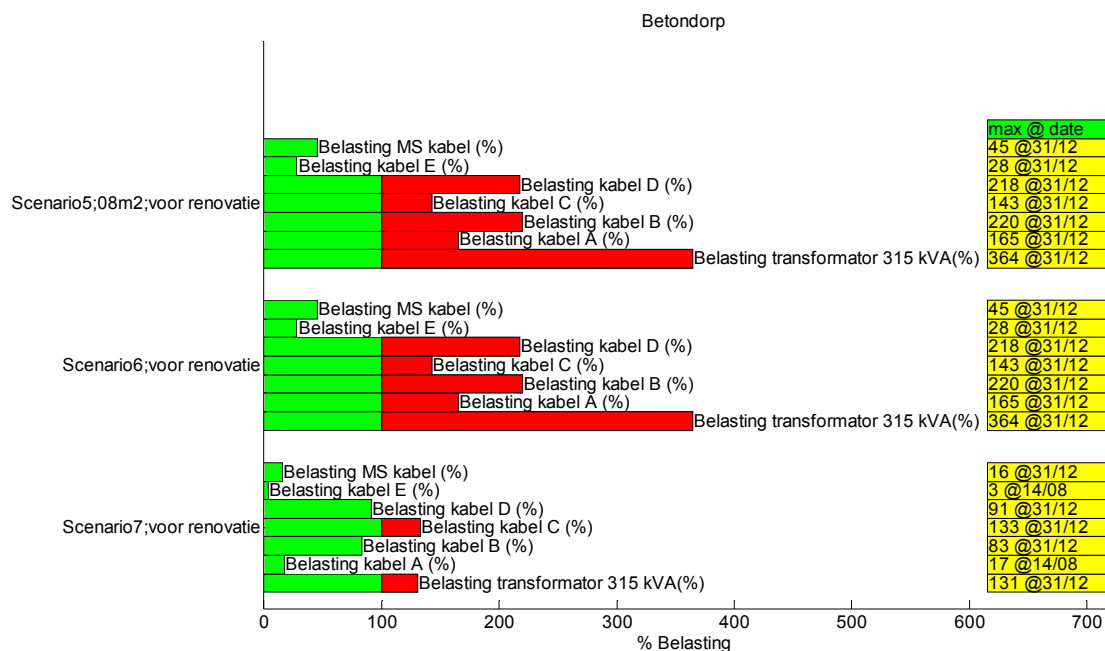
Business as usual

Tabel 5-4 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
315 kVA transformator	40%	30%	27%	36%
Kabel A	6%	5%	4%	5%
Kabel B	14%	10%	9%	12%
Kabel C	20%	15%	14%	18%
Kabel D	26%	20%	18%	24%
Kabel E	4%	3%	3%	3%

Betondorp is een stedelijk vooroorlogse wijk met veel vrijstaande- en rijtjeswoningen. In het 'Business as usual' scenario is de belasting van dit LS- net vrij beperkt. Waarschijnlijk is de inschatting van de belasting wat te laag door het missen van exacte verbruiksgegevens van de mogelijk aangesloten winkels.

De inpassing van airconditioning geeft geen problemen. Inpassing van microwkk plus PV moet met voorzichtigheid gebeuren. Warmtepompen vereisen netaanpassingen om de capaciteit in worst case situaties te garanderen (zie Figuur 5-4).



Figuur 5-4 Belasting transformator en kabels in Betondorp bij toepassing van elektrische warmtepompen

5.6 Resultaten Nootdorp

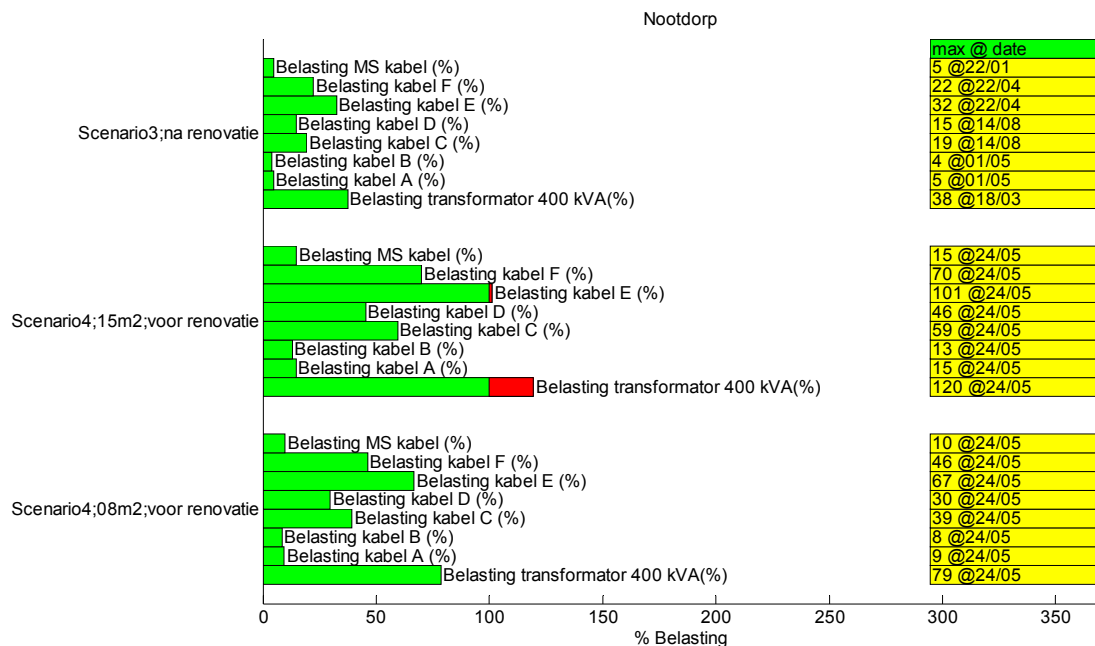
Business as usual

Tabel 5-5 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	40%	30%	27%	36%
Kabel A	6%	5%	4%	5%
Kabel B	5%	4%	4%	5%
Kabel C	18%	14%	12%	16%
Kabel D	3%	10%	9%	12%
Kabel E	34%	26%	23%	31%
Kabel F	24%	18%	16%	22%

Nootdorp, een stedelijk naoorlogse grondgebonden wijk, bestaat uit een mix van woningen. In het 'Business as usual scenario' blijkt er genoeg ruimte te zijn voor uitbreiding.

Inpassing van airco geeft op het eerste gezicht weinig problemen. Kleine problemen ontstaan bij toepassing van PV plus microwkk (zie Figuur 5-5), grote problemen kunnen ontstaan bij inpassing elektrische warmtepompen. Met enkele netaanpassingen kunnen de scenario's toepasbaar gemaakt worden, zoals het uitbreiden van de transformatorcapaciteit naar 630 kVA en het leggen van enkele nieuwe kabels naar de woningen met een elektrische warmtepomp.



Figuur 5-5 Belasting transformator en kabels Nootdorp, lichte overbelasting van de transformator bij scenario 4 15m² PV plus microwkk

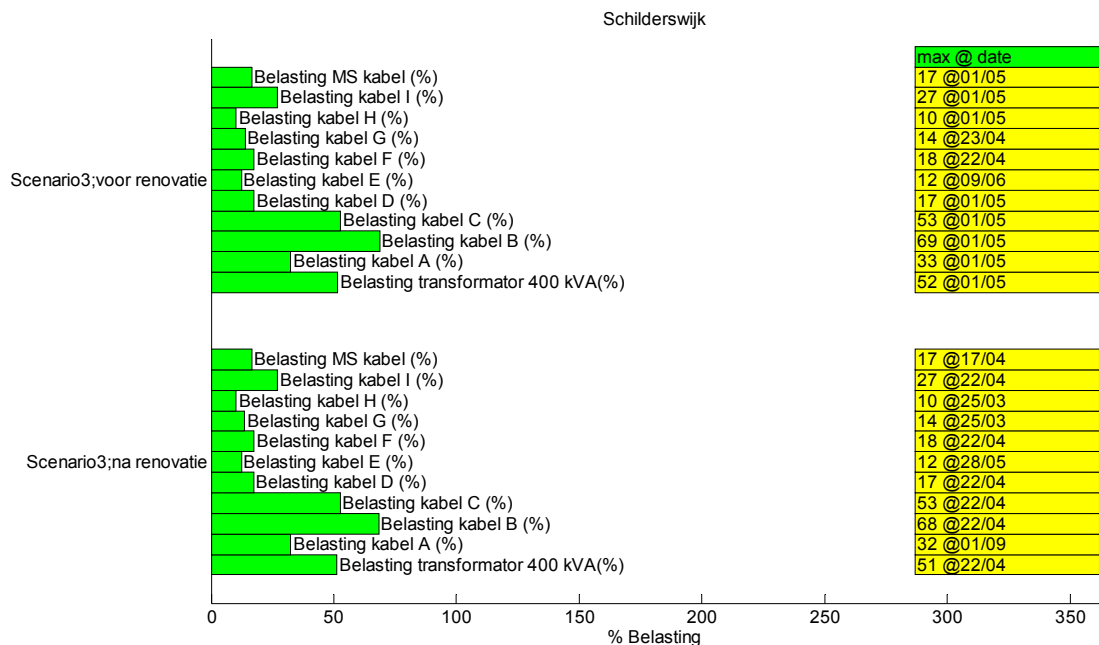
5.7 Resultaten Schilderswijk

Business as usual

Tabel 5-6 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	50%	38%	34%	45%
Kabel A	31%	24%	21%	28%
Kabel B	68%	52%	46%	61%
Kabel C	51%	39%	34%	46%
Kabel D	17%	13%	11%	15%
Kabel E	12%	9%	8%	10%
Kabel F	17%	13%	11%	15%
Kabel G	14%	11%	10%	13%
Kabel H	10%	7%	7%	9%
Kabel I	26%	20%	18%	23%

De Schilderswijk is een centrumstedelijke wijk met vooral portiekwoningen. Volgens Tabel 5-6 wordt de transformator op jaarbasis voor maximaal 50% belast (duur van de belasting onbepaald). Inpassing van airconditioners kan tot overbelasting van transformatoren en kabels leiden. Groot aandachtspunt is het vermaasd bedrijven van een dergelijk net. In feite moeten hierdoor kabels minder dan 50% belast worden in normale bedrijfssituaties. Bij inpassing van alleen microwkk treden er geen problemen op, zie Figuur 5-6. Na toevoegen van PV worden kabels al snel overbelast. Toepassen van elektrische warmtepompen is onrealistisch en zou al snel tot problemen leiden.



Figuur 5-6 Belasting transformator en kabels Schilderswijk, geen problemen met microwkk

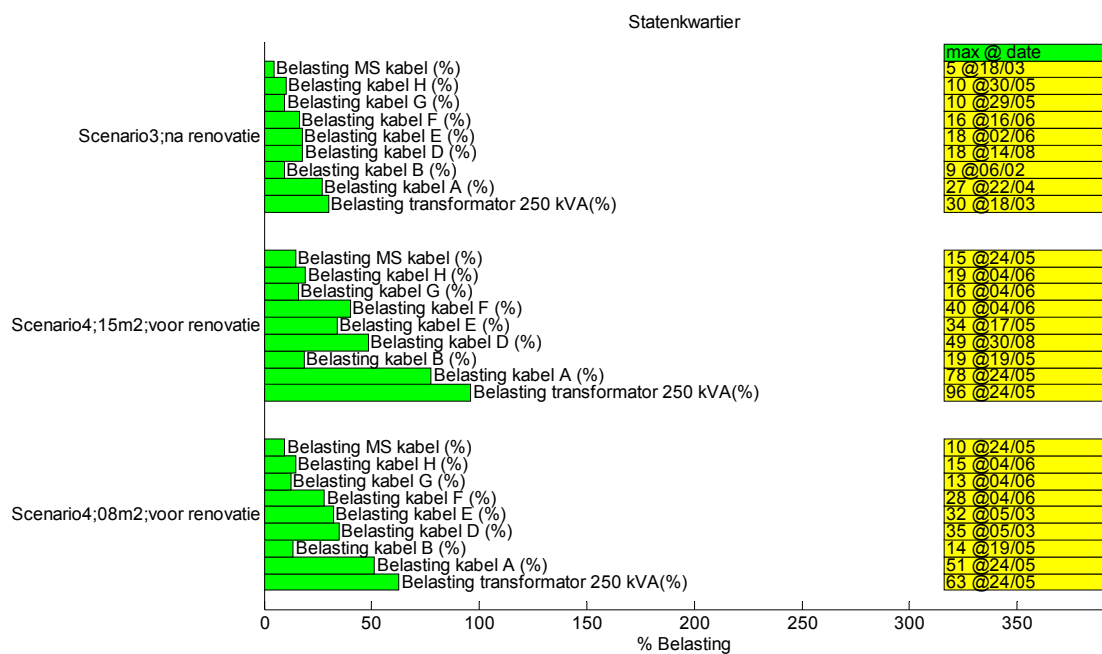
5.8 Resultaten Statenkwartier

Business as usual

Tabel 5-7 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	31%	24%	21%	28%
Kabel A	25%	19%	17%	22%
Kabel B	7%	5%	4%	6%
Kabel C	12%	9%	8%	11%
Kabel D	14%	11%	10%	13%
Kabel E	9%	7%	6%	8%
Kabel F	14%	10%	9%	12%

Het Statenkwartier is een typische stedelijk vooroorlogse wijk met gemengde bebouwing. Gerekend is met 50% gestapelde bouw (huizentype D en E) en 50 % rijtjeshuizen (type C). Het LS- net is zwaar uitgelegd (veel 95 mm² Cu) maar gemiddeld zitten ook 40 tot 50 woningen aangesloten op een feeder die vermaasd bedreven wordt. De inpassing van airco en microwkk geeft op het eerste gezicht weinig problemen. Ook de combinatie van PV met microwkk geeft niet direct problemen, alle netcomponenten blijven onder de 100% belasting (zie Figuur 5-7). Echter dit is in vermaasd bedrijf. Wanneer men over zou gaan op radiaal bedrijf, hetzij door onderhoud, hetzij door een storing komt de leveringszekerheid in het gedrang. Men moet dus erg voorzichtig zijn bij inpassing van (te) grote hoeveelheden PV en/of microwkk's. Inpassing van warmtepompen is ook beperkt mogelijk, de eerste problemen zullen ontstaan vanwege de beperkte transformatorcapaciteit.



Figuur 5-7 Belastingen 250 kVA transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier, geen directe problemen door grootschalig PV plus microwkk in vermaasd bedrijf

5.9 Resultaten Westbroekpark

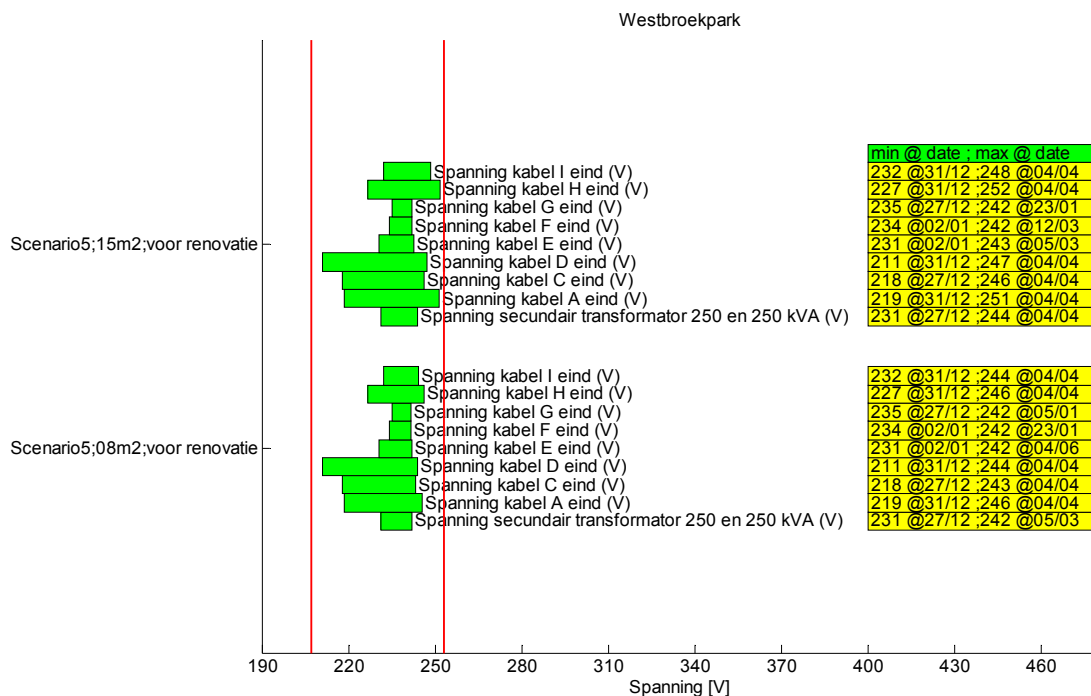
Business as usual

Tabel 5-8 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	34%	26%	23%	30%
Kabel A	30%	23%	20%	27%
Kabel B	12%	9%	8%	11%
Kabel C	3%	3%	2%	3%
Kabel D	9%	7%	6%	8%
Kabel E	8%	6%	5%	7%
Kabel F	9%	7%	6%	8%
Kabel G	10%	8%	7%	9%
Kabel H	11%	9%	8%	10%
Kabel I	16%	12%	11%	14%

Het Westbroekpark is een groen-stedelijke wijk, met veel (grote) vrijstaande woningen en een lage woningdichtheid (woningen/ha). Het LS-net is zwaar uitgelegd en wordt vermaasd bedreven. Samen maakt dit dat veel scenario's mogelijk zijn. In de huidige situatie, scenario 'Business as usual' is er voldoende ruimte voor uitbreiding. Zeer waarschijnlijk heeft een groot deel van de woningen al een airconditioning systeem waardoor scenario 2 een betere weerspiegeling van de huidige belasting van het LS-net geeft.

Gedurende storingen of onderhoud worden de mogelijkheden voor inpassing van DG of elektrische warmtepompen drastisch verminderd, men gaat dan terug naar gedeeltelijk radiaal bedrijf. Eerste zorg in dat geval is de transformatorcapaciteit, deze zal naar 630 kVA moeten voor de bedrijfszekerheid te garanderen in geval van scenario's met monovalente elektrische warmtepompen. Met de spanning zijn geen problemen (Figuur 5-8) in het geval van toepassing van elektrische warmtepompen (Let op: secundaire spanning is 420V verondersteld).



Figuur 5-8 Spanningshuishouding LS-net Westbroekpark bij toepassing warmtepompen plus PV

5.10 Resultaten Kijkduin

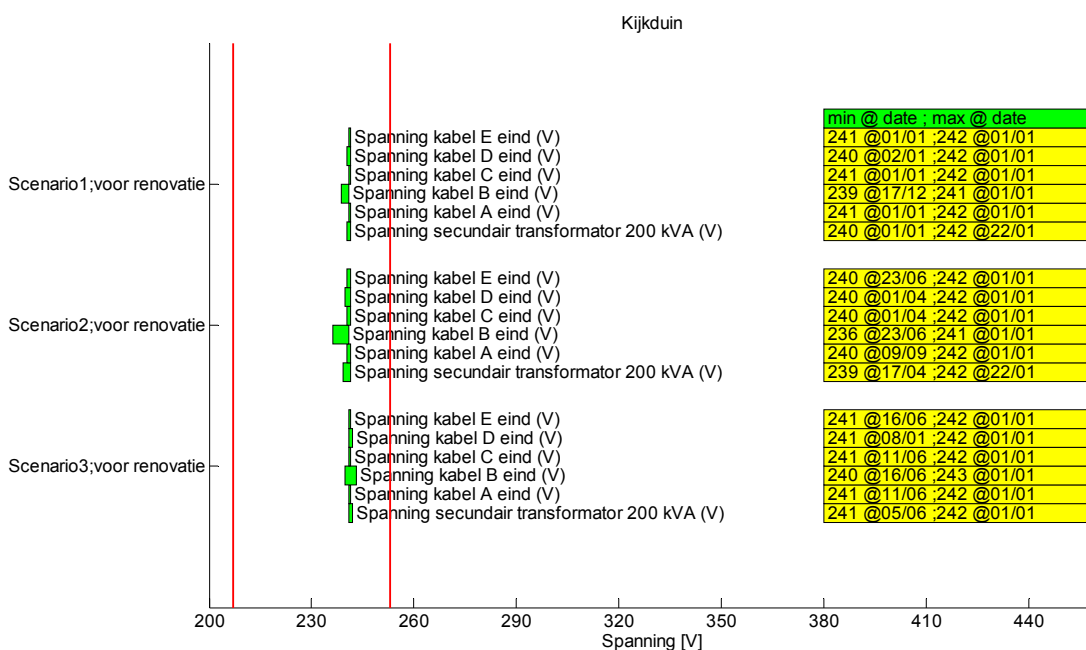
Business as usual

Tabel 5-9 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	19%	15%	13%	17%
Kabel A	2%	1%	1%	2%
Kabel B	10%	8%	7%	9%
Kabel C	10%	8%	7%	9%
Kabel D	2%	1%	1%	1%
Kabel E	3%	3%	2%	3%

In Kijkduin zijn er weinig problemen te verwachten bij inpassing van decentrale opwekkers. In hoofdzaak komt dit door het zware net, het kleine aantal woningen per kabel en het vermaasd bedrijven van dit net. Waarschijnlijk is de inschatting van het normale verbruik aan de lage kant, dit kan alleen met een meting worden aangetoond (of door het opvragen van de jaarverbruiken). Daardoor lijkt ook de spanning erg weinig

te variëren op jaarbasis (zie Figuur 5-9). In de praktijk zullen de schommelingen groter zijn, er is geen rekening gehouden met de belastingen van de andere gedeeltes van het LS-net aangesloten op hetzelfde vermaasde net. Echter er is meer dan voldoende ruimte aanwezig om deze extra belasting, DG's of een beperkt aantal elektrische warmtepompen in te passen.



Figuur 5-9 Spanningshuishouding LS-net Kijkduin, sterk net met weinig belasting zorgt voor weinig spanningschommelingen

5.11 Elektrische warmtepompen

Elektrische warmtepompen samen met lage temperatuur verwarming kunnen voor veel comfort zorgen en, bij juist inregeling en gebruik, zorgen voor besparing op de energiefactuur. Kanttekening hierbij is dat wel vooraf grotere investeringskosten gemaakt moeten worden ten opzichte van een systeem met HR-ketel en radiatoren. Vuistregel voor een besparing op de energierekening is dat gemiddeld over een jaar de elektrische warmtepomp een COP moet halen van 3,5. Inzet van de elektrische bijverwarming in de warmtepomp moet daarom tot het minimum beperkt worden. In de regeling van elektrische warmtepomp kan bepaald worden in welke situatie deze bijverwarming mag inkomen. Dit kan zijn ter ondersteuning van de compressor, de productie van warm tapwater of het verwarmen van het water in de boiler naar 60°C eens in de 2 weken ten behoeve van legionella bestrijding.

Bij het aanleggen van een elektriciteitsnet wordt per aansluiting met een bepaalde capaciteit gerekend bij 100% gelijktijdigheid, een onderzekerheidsmarge, nog voldoende ruimte voor te groeien qua aansluitingen

en een groei van het verbruik per aansluiting. Zodoende zijn er zelden problemen met de capaciteit in LS-netten, deze capaciteit is ruim bemeten. Ruwweg kan gesteld worden dat men 'vroeger', voor de tijd van de airconditioning systemen, elektrische warmtepompen en elektrische voertuigen, een correcte bedrijfsvoering kon garanderen als rekening gehouden werd met een capaciteit van 1,2 tot 1,5 kVA per aansluiting van een woning. Bij de inpassing van microwkk of enkele m² PV per woning ontstaan dan ook geen problemen.

Veel nieuwbouwprojecten, waarvan de huizen moeten voldoen aan strenge EPC waarden, maken gebruik van warmtepompen om energiezuinige woningen te kunnen opleveren. Deze kunnen bivalent (gas+elektrisch) of monovalent (alleen gas of alleen elektrisch) uitgevoerd worden. De meest toegepaste warmtepompen op dit moment zijn monovalente elektrische warmtepompen met een verticale bodemwarmtewisselaar. Vaak zijn ze van het type brijn/water. Brijn is de vloeistof die door de gesloten bodemwarmtewisselaar gestuurd wordt waarna door een compressor warmte wordt onttrokken en afgegeven aan het water. Dit lage temperatuur water stroomt door het lage temperatuur afgiftesysteem. Koeling, actief of passief, is ook mogelijk met dit systeem. Deze configuratie gebruikt, afgezien van enkele pompen, ongeveer 1,8 kWe voor de compressor en tot 6 kWe voor de elektrische bijverwarming. Dit verbruik komt bovenop het normale gebruik van de woning.

Natuurlijk zal, in een situatie waarbij geen warm CV- water vereist is, de gelijktijdigheid van dit systeem op wijkniveau zeer laag zijn. Warm tapwater gebruik heeft op wijkniveau namelijk een lage gelijktijdigheid (niet iedereen douchet of wast tegelijk af). Om grote gelijktijdigheid vooraf te voorkomen moeten de legionella regeling van de verschillende individuele warmtepompen op elkaar afgestemd worden.

Echter in winterse situaties of na een periode zonder netspanning (minimaal enkele uren nodig voor afkoeling van de woning) zullen alle warmtepompen tegelijk willen functioneren. Om zo snel mogelijk de woning weer op temperatuur te brengen zullen de elektrische bijverwarmingen bijspringen. Het is goed mogelijk dat hierbij een gelijktijdigheid van 100% bereikt wordt, waardoor het verbruik per woning kan oplopen naar 10 kWe. Als de netbeheerder niet van tevoren rekening gehouden heeft met deze situatie, zullen beveiligingen in het LS- net aanspreken.

Dat het reëel is om te rekenen met deze gelijktijdigheid blijkt uit twee metingen aan elektrische warmtepompen afgelopen winter waarin het koud tot zeer koud is geweest (zie Figuur 2-3 en Figuur 2-4). Nieuw onderzoek zal nog meer informatie hieromtrent leveren. Wel kan gesteld worden dat sturing tijdens koude winters lastig is, de metingen tonen aan dat een continu verbruik (>24 uur) van 8 kWe of 6 kWe nodig is om de temperatuur in de woning op 20^oC te houden. Sturing zou in dit geval tot aantasting van het comfort leiden. Wel kan het nuttig zijn om in noodgevallen zware belastingen, zoals de bijverwarming in elektrische warmtepompen, af te schakelen als daardoor een calamiteit voorkomen kan worden. De mogelijkheden hiertoe worden hier niet verder onderzocht.

5.12 Conclusie

De resultaten van de simulaties van de scenario's in de negen wijken laten een verdeeld beeld zijn. Eenduidige conclusies zijn lastig te trekken, daarom zal in tabelvorm worden aangegeven of een scenario mogelijk is een woonmilieu. Tabel 5-10 bevat de samenvatting van de simulatieresultaten. Bij 'OK' is er geen probleem het scenario als beschreven toe te passen in de desbetreffende wijk. Bij 'NOK' treedt er een probleem op bij toepassing van het scenario, uiteenlopend van een overbelaste kabel(s) / transformator(en) of spanning(en) die niet voldoet aan de normen. In het hoofdstuk met de economische analyse wordt bekeken welke kosten de netbeheerder moet maken om de knelpunten te verhelpen om zodoende het scenario mogelijk te maken.

Hieronder volgen een aantal opvallende knelpunten/zaken:

- Het dorpse woonmilieu, welke veel voorkomt, kan de minste scenario's aan. Alleen het grootschalig inpassen van microwkk's is geen probleem. Dit is logisch omdat rekening gehouden wordt met 1,2 kVA per woning, terwijl de microwkk maar 1 kWe teruglevert;
- Inpassing microwkk eenheden van 1 kWe elektrisch is nooit een probleem, ook niet qua spanningshuishouding;
- De inpassing van PV plus microwkk zorgt in woonmilieus met een grote woningdichtheid voor problemen met capaciteit van de kabels/transformatoren en de spanningshuishouding;
- De inpassing van elektrische warmtepompen is in alle woonmilieus een grote uitdaging. Het maakt daarbij niet uit of er grootschalig PV wordt toegepast, op een koude donkere winterdag zal de warmtepomp tot 10 kWe per huishouden vragen;
- Let op: in Tabel 5-10 betekent een 'NOK' dat nul netcomponenten boven de 100% belast worden. In een vermaasd net kan vereist zijn dat een element niet meer dan 50% belast wordt. Of dit het geval is kan worden terug gevonden in de resultaten tabellen, hierin staat de maximale belasting die optreedt (onafhankelijk van de tijd en de duur) per seizoen;
- Let op: in scenario's met veel hoogbouw (woningtypes D en E) lijkt het mogelijk elektrische warmtepompen te introduceren volgens Tabel 5-10. Dit is echter een foutieve conclusie, de scenario's bevatten voor hoogbouw GEEN elektrische warmtepompen en ook de inpassing van PV is beperkt. Bekijk daarom eerst goed de scenario's en de wijken, dan kan samen met Tabel 5-10 de juiste conclusie worden getrokken;
- Let op: er is gerekend met worst case situaties als 100% penetratie PV, elektrische warmtepompen voor woningtypes A,B en C. Een 'NOK' in Tabel 5-10 wil niet zeggen dat kleinere hoeveelheden DG of elektrische warmtepompen niet mogelijk zijn;
- Het MS- net is slechts gedeeltelijk gesimuleerd, hierover kunnen dus geen conclusies getrokken worden. De simulaties houden namelijk geen rekening met de andere LS- netten die op de open MS- ring aangesloten zitten.

Tabel 5-10 Samenvattende tabel simulatieresultaten (E+G = elektriciteits + gasaansluiting, E- WP = elektrische warmtepomp, EV = elektrisch voertuig)

	Woonmilieu	Centrum stedelijk	Buiten centrum				Groen stedelijk		Dorps	Landelijk perifeer
		Schilders-wijk	Stedelijk vooroorlogs		Stedelijk naoorlogs		Westbroek-park	Kijkduin	Epse	Exel
			Statenkwartier	Betondorp	Nootdorp	Lombardijen				
Netstructuur	Vermaasd	Vermaasd	Radiaal	Radiaal	Radiaal	Vermaasd	Vermaasd	Radiaal	Radiaal	
Scenario	Inhoud scenario									
1	E+G, alleen HR, geen airco, E-WP, DG, PV, EV's	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
2	E+G, 50% airco à 2kWe geen DG, E-WP, PV, EV's	NOK	OK	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	
3 voor renovatie	E+G, alles HRe, geen airco, E-WP, PV, EV's	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
3 na renovatie	E+G, alles HRe, geen airco, E-WP, PV, EV's	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
4 voor renovatie	E+G, alles HRe plus 15 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
4 voor renovatie	E+G, alles HRe plus 8 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	OK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
4 na renovatie	E+G, alles HRe plus 15 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
4 na renovatie	E+G, alles HRe plus 8 m ² PV, geen airco, E-WP, EV's	NOK	OK	OK	NOK	NOK	OK	OK	NOK	
5 voor renovatie	E, 15 m ² PV plus E-WP, geen airco, EV's	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	
5 voor renovatie	E, 8 m ² PV plus E-WP, geen airco, EV's	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	
6	E, E-WP, geen airco, HRe, PV, EV's	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	
7 voor renovatie	E+G, 50% E-WP, 50% HRe, geen airco, PV, EV's	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	NOK	
7 na renovatie	E+G, 50% E-WP, 50% HRe, geen airco, PV, EV's	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	NOK	

6. Inpassing van elektrische auto's

6.1 Inleiding

Het aantal elektrische voertuigen in Nederland is nog beperkt, het betreft vooral bedrijfsauto's, heftrucks of golfkarretjes. Echter door stimulering van de overheid, de ontwikkeling van de accu en stijging van de energieprijzen zal het aantal elektrische voertuigen in Nederland de komende jaren toenemen. De netbeheerders zien elektrische auto's niet als een bedreiging voor hun netten, maar zoeken wel naar effectieve oplossingen om hun taak als netbeheerder te kunnen uitvoeren als een doorbraak van EV's plaatsvindt. De belasting van hun netten zal namelijk toenemen, met hoeveel en wanneer is nog onduidelijk. Zelfs of een daadwerkelijke doorbraak gaat plaatsvinden is nog onduidelijk. Dit hangt van vele factoren af, zoals de prijsontwikkeling van het elektrisch voertuig, de actieradius en de beschikbaarheid van oplaadpunten. Met name is er nog ontwikkeling nodig op het gebied van de accu, deze is nog niet optimaal genoeg om een EV als vervanging van de huidige auto met verbrandingsmotor te zien.

De netbeheerders hebben als taak hun netwerken zodanig uit te leggen en te onderhouden zodat ze aan de behoeften van de aangeslotenen kunnen voldoen. Om niet voor verrassingen te komen te staan is het daarom van belang dat ze zich tijdig wapenen tegen toekomstige ontwikkelingen welke invloed hebben op hun bedrijfsvoering. Scenariostudies zijn hier een onderdeel van.

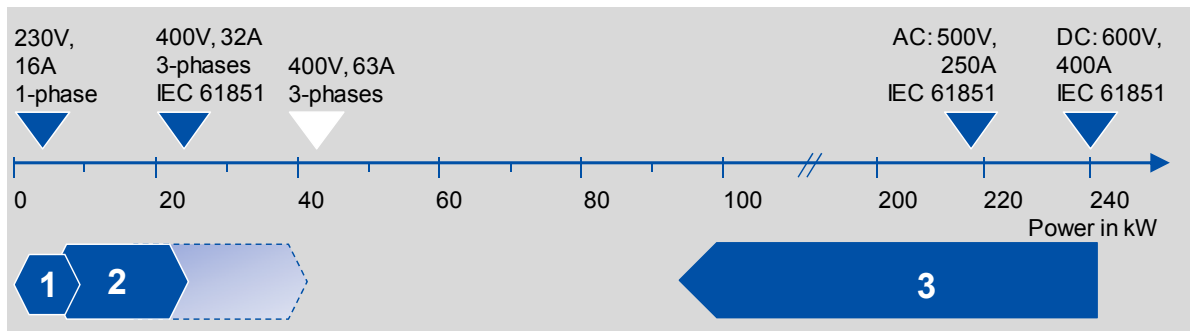
In dit hoofdstuk wordt onderzocht welke ruimte er is voor het opladen van elektrische auto's (EV's) in de negen gemodelleerde wijken. Als referentiescenario wordt het 'Business as usual' scenario genomen. Bij het interpreteren van de resultaten moet hier rekening mee gehouden worden, de resultaten zijn optimaal rekening houdend met de uitgangspunten van de simulaties.

6.2 'Ongestuurd' laden van elektrische voertuigen

6.2.1 Inleiding

Het laden van elektrische voertuigen kan op verschillende manieren gebeuren, 'ongestuurd', 'slim', 'langzaam', 'normaal', 'snel' of een combinatie van deze manieren. Elke manier van opladen heeft zijn voor- en nadelen voor verschillende partijen. 'Ongestuurd' laden is gemakkelijk, zodra het elektrisch voertuig aan het net wordt gekoppeld begint het opladen tegen de maximaal toegelaten stroom. Bij 'langzaam' opladen is dit éénfasig met 16A, 3,7 kW. Bij 'normaal' laden is dit met 3x16A, 3x32A of 3x63A, ongeveer 11 kW, 22kW of 43 kW. Van 'snel' laden wordt gesproken bij vermogens rond de 200 kW (zie Figuur 6-1).

DEFINITION FAST CHARGING



	1. Default (home) charging	2. Normal charging	3. Fast charging	<ul style="list-style-type: none"> Fast charging defined by charging duration (~10 min) In terms of power, fast charging should be ~200 kW
Maximum power	up to 3.7 kW	up to 22/43 kW	up to 240 kW (DC) up to ~220 kW (AC)	
Charging duration*	10 kWh	ca. 3 h	15-30 min	<5 min
	20 kWh	ca. 5.5 h	30-60 min	ca. 5 min
	40 kWh	ca. 11 h	60-120 min	ca. 10 min

* simplified, basic calculation for duration: Capacity / Power

Figuur 6-1 Definitie van 'langzaam', 'normaal' en 'snel' laden (bron: Minutes of the standardization workshops Berlin, 10-11 March 2009)

'Snel' laden kan niet toegepast worden in een woonwijk zonder aanpassing van het distributienet, deze manier van laden is meer toepasbaar bij parkeerplaatsen, tankstations of bedrijven (Figuur 6-2).



Figuur 6-2 Fast charging station van Tokyo Electric Power Company (Bron: <http://www.iea.org>)

Het voordeel van 'ongestuurd' laden is dat er geen regeling nodig is, dat wil zeggen dat er vanuit wordt gegaan dat er genoeg capaciteit is om het eenieder mogelijk te maken zijn of haar auto in te pluggen wanneer dat hij of zij uitkomt. Hierdoor ontstaat de reële mogelijkheid dat vanaf 18h s'avonds, wanneer de mensen thuis komen van werk, veel auto's ingeplugd worden en het laden start. Hierdoor ontstaat een grote gelijktijdigheid en kan er netcongestie ontstaan. Dat wil zeggen dat kabels en transformatoren overbelast kunnen raken. Dit terwijl de meeste auto's maar 4h laadtijd nodig hebben per dag, dus na middernacht zijn alle auto's opgeladen en wordt het LS- net nauwelijks meer gebruikt voor het opladen van elektrische voertuigen.

Dit kan uiteraard slimmer. Iets 'slimmer' laden voor de consument kan met een tijdsklok. Hierdoor kan de eigenaar besluiten zijn auto in de daluren op te laden, wat hem kosten scheelt. Echter het huidige verschil tussen dag- en nachttarief is klein, de vraag is of de consument hiervoor het 'risico' wil nemen de auto pas te laden bij ingaan van het daltarief. In een noodsituatie zou hij dan niet van huis kunnen tussen thuiskomst en begin van het daltarief.

Slimmer laden voor de netbeheerder betekent het voorkomen van piekbelastingen in het net. Dit kan met een relatief eenvoudige lader met timer. Als voorbeeld: bij een gemiddelde actieradius van 80 km voor een elektrisch voertuig per dag, is ongeveer 10 kWh per voertuig nodig per dag. Dat betekent bij 'ongestuurd' laden 3h laden aan 16 A 230V (zie Figuur 6-1). Bij 'ongestuurd' laden zou vanaf het inpluggen de auto opgeladen worden totdat de accu vol is. Voor 10 kWh zou dit van 18h tot 21h zijn, maar dit zou net zo goed van 2h tot 5h kunnen zijn. Dit schuiven in de tijd van de oplaadcyclus is al wat slimmer en kan piekbelastingen in het net door gelijktijdig opladen van EV's kunnen voorkomen. Het is dan ook mogelijk meer auto's op te la-

den dan wanneer iedereen tegelijk zijn auto op zou laden (als resultaat wel dezelfde piekbelasting van het net).

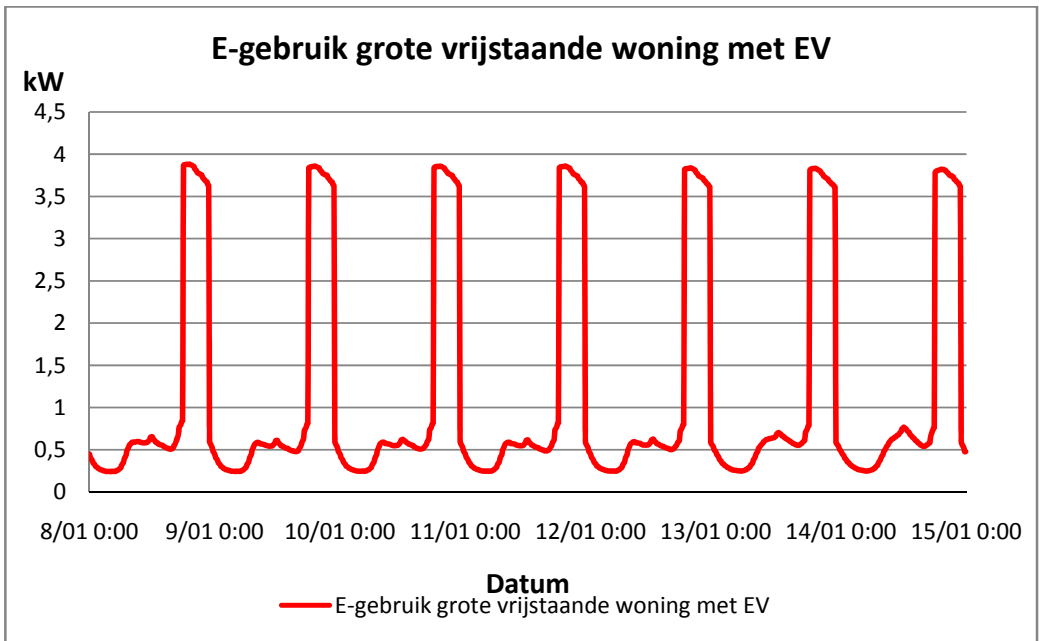
Nog 'slimmer' is het om de laadstroom afhankelijk te maken van de belasting van het net. Dat betekent dat een systeem op belangrijke plekken, meestal bij de transformator, meet hoe zwaar de kabel belast is. Afhankelijk van de kabelbelasting wordt de laadstroom per auto bepaald. Dit is dus een dynamisch systeem en vereist meet- en regelsystemen. Voordeel is wel dat op deze manier het hele LS- net optimaal benut zou kunnen worden.

Er zitten echter ook nadelen aan een 'slimme' manier van opladen. Zo zijn de kosten hoger door de noodzaakelijkheid van een meet- en regelsysteem en het comfort voor de eigenaar van de auto kan aangetast worden. Stel iemand komt om 18h met een bijna lege accu thuis en moet over 2h weer weg. Ook is het LS- net redelijk belast waardoor iedereen maar een kleine laadstroom krijgt. Hierdoor wordt de auto in die 2h die de persoon heeft veel te weinig opgeladen waardoor hij niet weg kan. Om dit te voorkomen moet iedereen de mogelijkheid hebben om het systeem te overrulen, mogelijk tegen hogere kosten. Je zou daardoor namelijk andere gebruikers mee kunnen benadelen. Dit zijn zaken die in dit onderzoek niet verder onderzocht worden.

De volgende paragrafen focussen op 'ongestuurd' laden van elektrische voertuigen in de negen woonwijken. Bepaald wordt voor het scenario 1 'Business as usual' wat de impact is voor het LS- net voor de volgende situaties:

- 'Ongestuurd' laden bij een penetratiegraad van 10%, 20%, 50% en 100%.
- 3 kW (16 A 230V) met gelijktijdigheid van 100% van 18h tot 23h, genoeg voor 75 km actieradius
- Gedurende één winterweek (2^e week januari) met hoogste 'normale' elektriciteitsgebruik
- Referentie is het 'Business as usual' scenario, zonder elektrisch koken, zonder elektrische warmtepompen, zonder inpassing van airconditioning

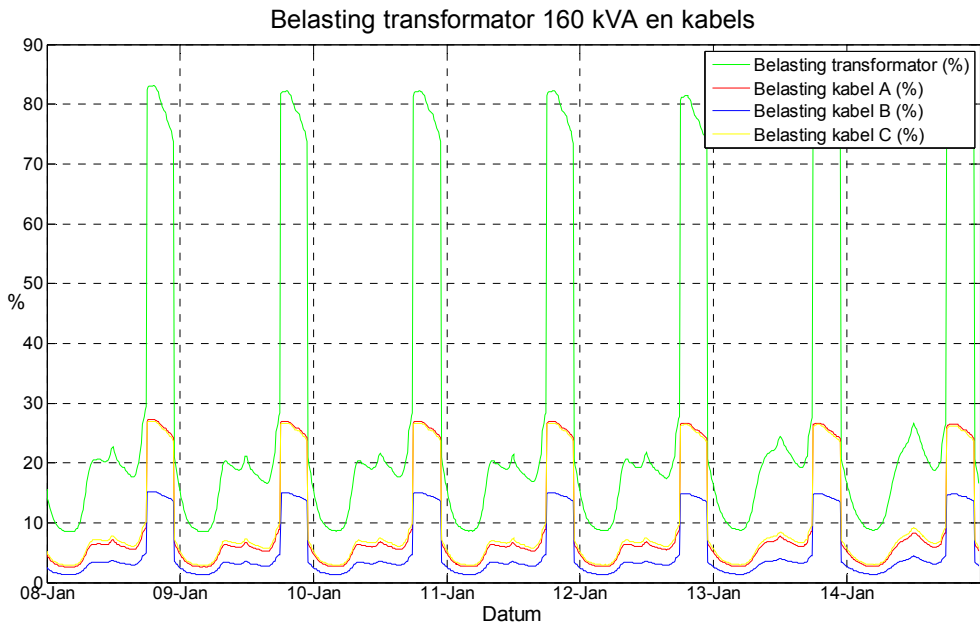
Het elektriciteitsprofiel voor één huishouden (grote vrijstaande woning) gedurende een winterweek met 'ongestuurd' laden van een EV van 18h tot 23h ziet er dan als volgt uit (waarbij het normale verbruik gebaseerd is op een 100% gelijktijdigheid op transformatorniveau, koken en verwarmen op gas):



Figuur 6-3 Elektriciteitsgebruik grote vrijstaande woning (type A) in een winterweek

6.2.2 Simulaties 'ongestuurd' laden voor scenario 1 in de negen woonwijken

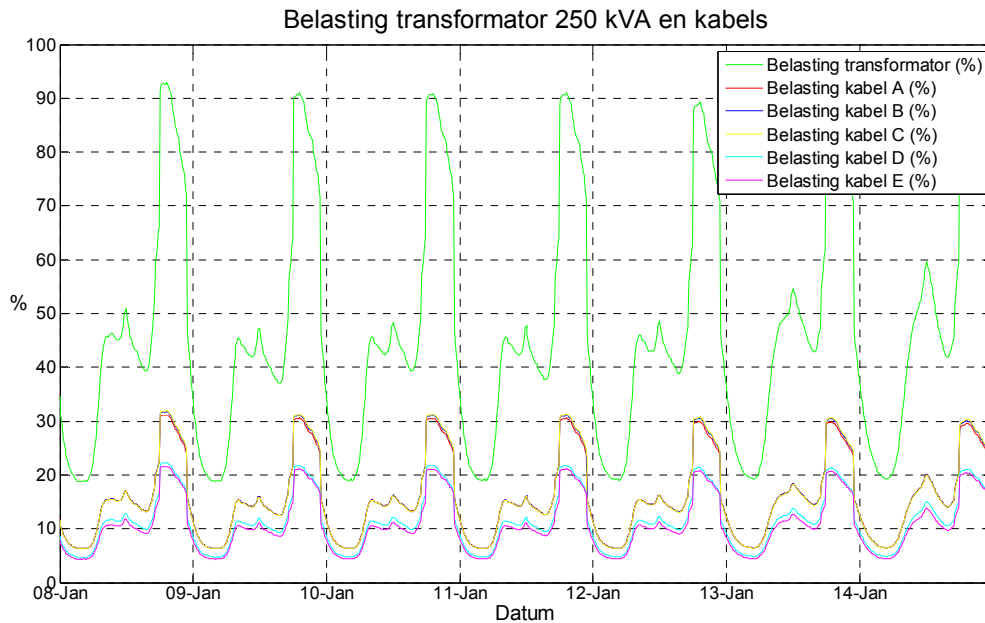
Exel



Figuur 6-4 Belasting transformator en kabels in Exel in het scenario Business as usual met 50% penetratie EV's

In Exel is het mogelijk dat 50% van de huishoudens een EV aanschaft en deze tegelijkertijd opladen met 3 kWe. Als de transformator vervangen wordt door een met de dubbele capaciteit is het mogelijk dat alle huishoudens hun EV tegelijk opladen met 3 kWe. De kabels hebben voldoende capaciteit. Ook qua spanningshuishouding zijn er geen problemen.

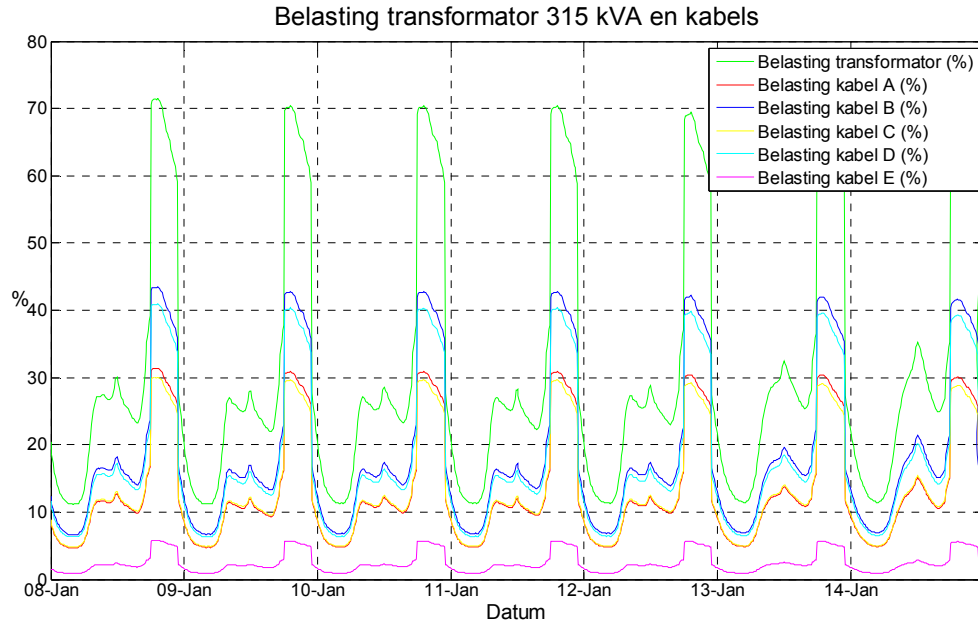
Epse



Figuur 6-5 Belasting transformator en kabels in Epse in het scenario Business as usual met 10% penetratie EV's

In Epse kunnen maar 12% van de huishoudens een EV tegelijk opladen zonder netcomponenten over te belasten. Als meer dan 12% van de huishoudens een EV hebben en tegelijk opladen wordt de MS/LS transformator overbelast. De kabels hebben wel meer ruimte, vervanging van de transformator door een met een grotere capaciteit verruimt de mogelijkheden voor inpassing elektrische voertuigen.

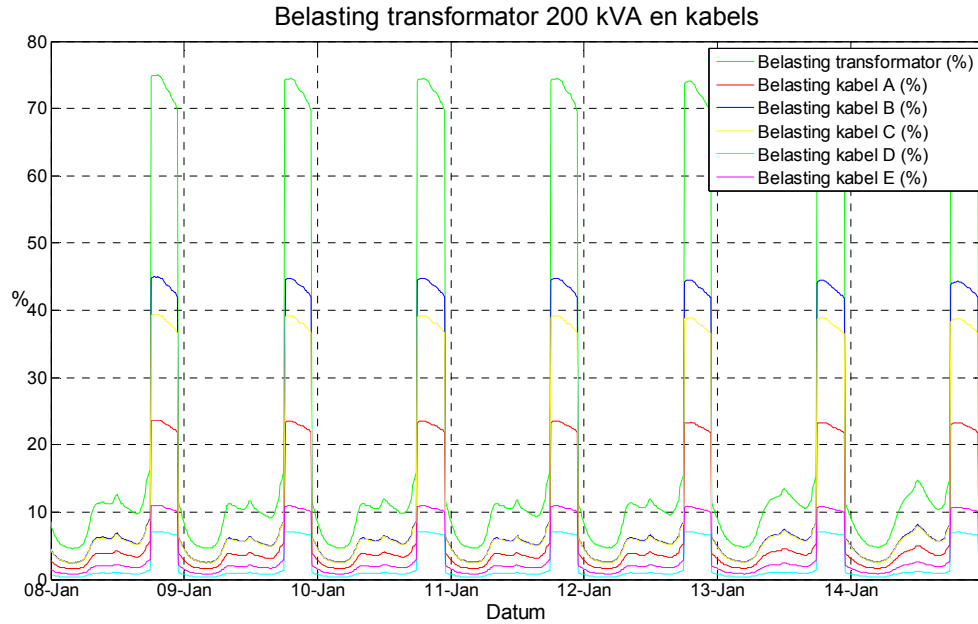
Betondorp



Figuur 6-6 Belasting transformator en kabels in Betondorp in het scenario Business as usual met 20% penetratie EV's

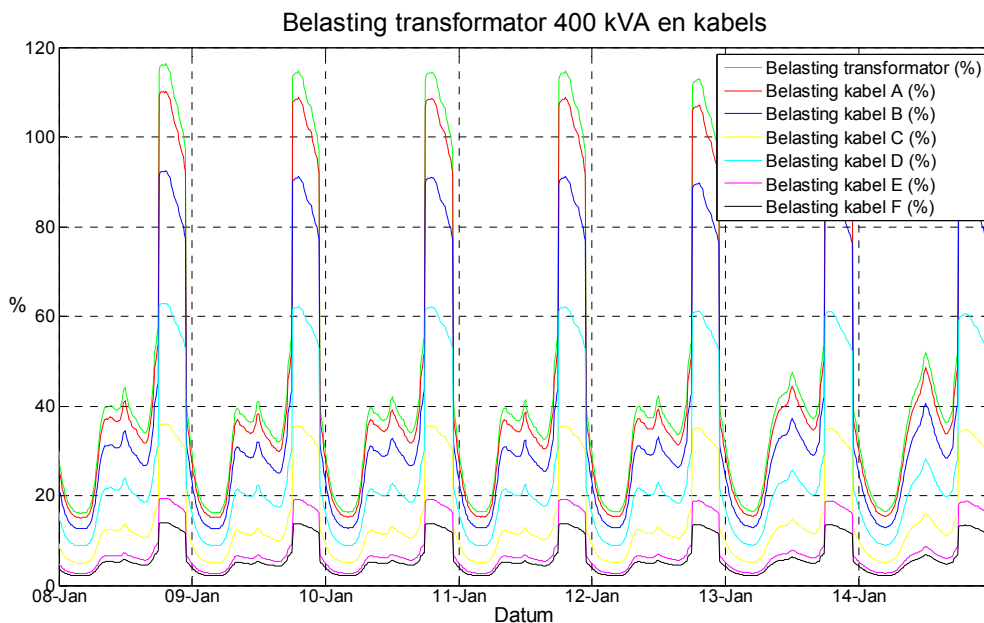
In Betondorp kunnen 20% tot 30% van de huishoudens een EV bezitten en deze tegelijk opladen. Mogelijk zelfs meer als LS- kabels in LS- kasten gekoppeld worden. Voor de worst case situatie is gekozen om te simuleren met open verbindingen. De kabels bieden in radiaal bedrijf nog meer ruimte voor het laden van EV's.

Kijkduin



Figuur 6-7 Belasting transformator en kabels in Kijkduin in het scenario Business as usual met 100% penetratie EV's

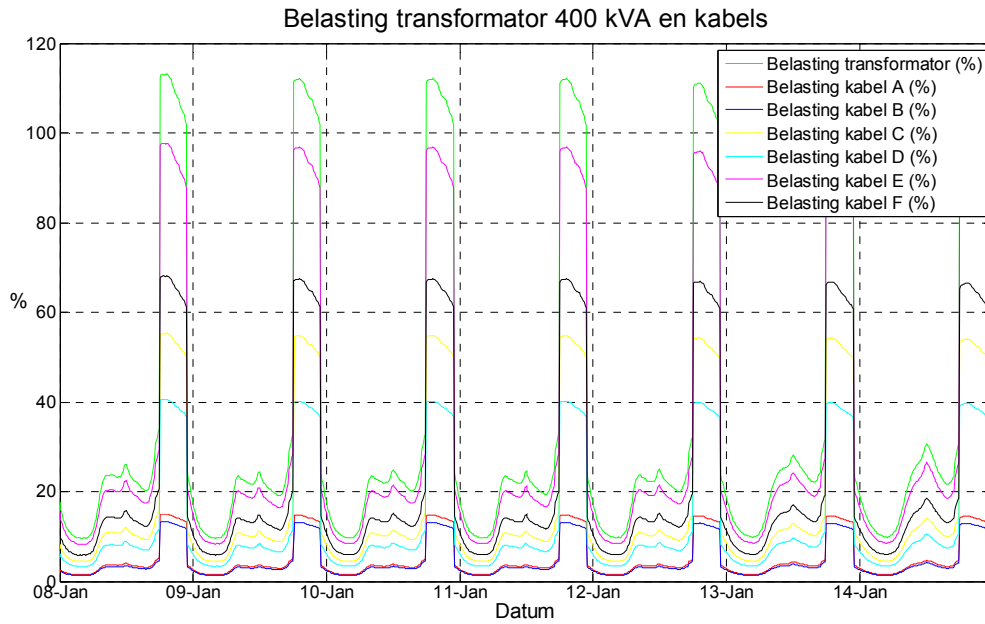
In Kijkduin mag ieder huishouden een EV bezitten en deze mogen allemaal tegelijk met 3 kWe opgeladen worden. Wel wordt dit net vermaasd bedreven waardoor netcomponenten in vermaasd bedrijf (eigenlijk) niet meer dan 50% belast mogen worden. Dit betekent volgens Figuur 6-7 dat de kabels ook in radiaal bedrijf voldoende capaciteit kunnen leveren, de transformator zou verzwaard moeten worden.

Lombardijen

Figuur 6-8 Belasting transformator en kabels in Lombardijen in het scenario Business as usual met 20% penetratie EV's

In Lombardijen mogen tussen de 10% en 20% van de huishoudens een EV bezitten zonder kabels en transformatoren over te belasten als ze tegelijk opgeladen worden. Omdat zowel kabels als de transformator overbelast worden bij grotere penetraties van EV's zijn grote investeringen of 'slimmere' oplossingen nodig om dit te voorkomen. Uitgaande dat bij 15% de grens ligt, kan door 'simpel' gebruik te maken van een tijd-klok op de lader een grotere penetratie bereikt worden. Dit is zeer afhankelijk van het type bewoners, forensen kunnen alleen opladen van 18h tot 7h, dit betekent dat laden mogelijk zou zijn in twee 'shifts', oftewel 30% van de huishoudens kan een EV bezitten en opladen volgens een vast rooster. Of mensen een dergelijk rooster willen accepteren is geen onderwerp van dit onderzoek, hier wordt enkel aangegeven wat de mogelijkheden zijn.

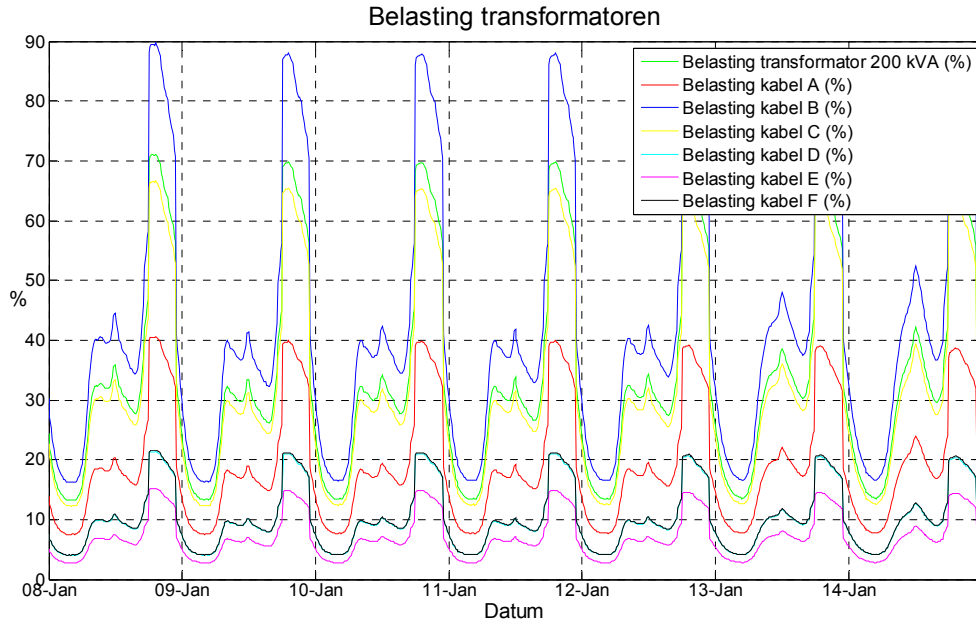
Nootdorp



Figuur 6-9 Belasting transformator en kabels in Nootdorp in het scenario Business as usual met 50% penetratie EV's

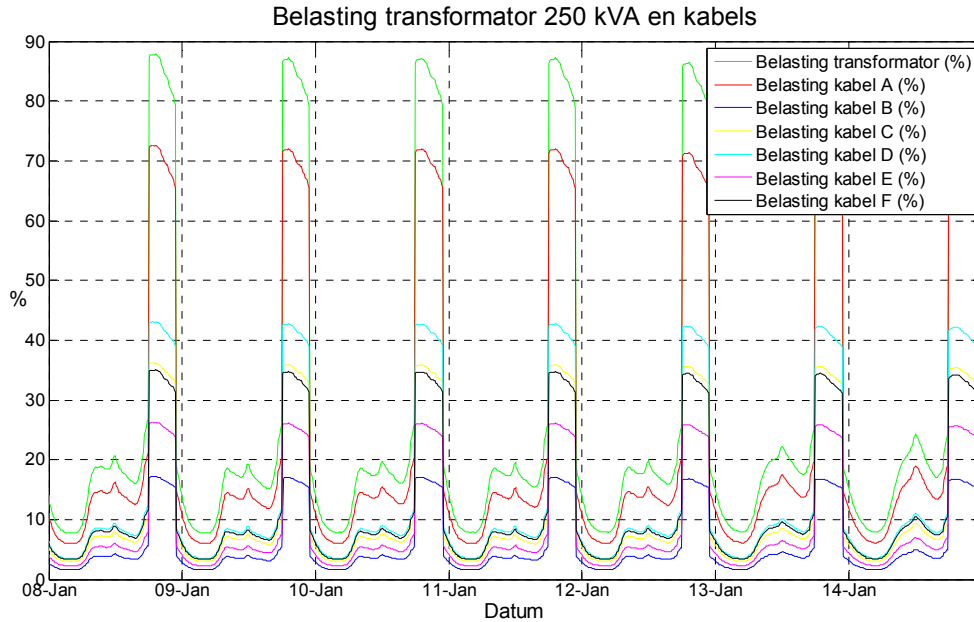
In Nootdorp kunnen bijna 50% van de huishoudens een EV bezitten en deze tegelijk opladen met 3 kWe. Omdat LS- kabels in LS- kasten niet gekoppeld zijn (tijdens de simulatie) zou dit percentage anders kunnen uitvallen.

Schilderswijk



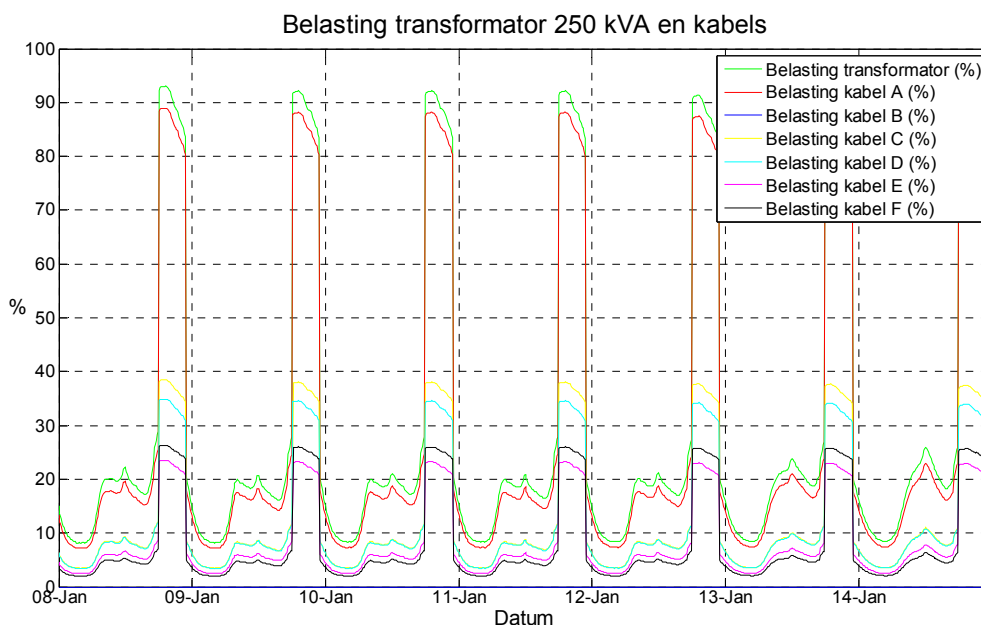
Figuur 6-10 Belasting transformator en kabels de Schilderswijk in het scenario Business as usual met 10% penetratie EV's

In de Schilderswijk mogen 10% van de huishoudens een EV hebben en deze tegelijkertijd opladen zonder de kabels of transformatoren over te belasten. Omdat de Schilderswijk vermaasd bedreven wordt moet de transformatorcapaciteit uitgebreid worden om de leveringszekerheid te kunnen garanderen.

Statenkwartier

Figuur 6-11 Belasting transformator en kabels in het Statenkwartier in het scenario Business as usual met 10% penetratie EV's

In het Statenkwartier kunnen 10% van de huishoudens een EV bezitten en tegelijk opladen. Het LS- net in het Statenkwartier wordt echter vermaasd bedreven, waardoor voor de bedrijfszekerheid al bij een kleinere penetratie het LS- net verzaamd moet worden. Uiteraard zijn er ook andere oplossingen, zoals smart loading. In Figuur 6-11 staat weergegeven wat de impact is van het laden van elektrische auto's als 10% van de huishoudens een EV heeft. De maximale belasting van het net en de kabels wordt bepaald door dit laden van EV's. De penetratiegraad kan 'eenvoudig' verhoogd worden door het laden van de EV's intelligent te verdelen over de dag/nacht. Dit 'eenvoudig' verdelen is technisch goed mogelijk, echter hiervoor is de medewerking van de eigenaar voor nodig. Mogelijk kan met 'incentives' iets bereikt worden, hier wordt in dit onderzoek geen verdere aandacht aan besteedt.

Westbroekpark

Figuur 6-12 Belasting transformator en kabels in het Westbroekpark in het scenario Business as usual met 50% penetratie EV's

In het LS- net van het Westbroekpark is veel ruimte voor de inpassing van EV's. Zonder in een normale bedrijfstoestand overbelasting te veroorzaken, kunnen 50% van de huishoudens tegelijkertijd een EV opladen met 3 kWe. Let op: dit LS- net wordt vermaasd bedreven waardoor in de praktijk een lagere belasting van kabels en transformatoren toegelaten is.

6.3 Conclusie

Het grootschalig (tegelijkertijd) opladen van elektrische voertuigen is voor de Nederlandse distributienetbeheerder reden om de impact hiervan op hun netten te onderzoeken. Bij een kleine penetratie, kleiner dan 10%, en laden met een beperkt vermogen zullen niet direct problemen te verwachten zijn (uitzonderingen daargelaten). Ook maakt het een groot verschil of in een dunbevolkt gebied of in het centrum van een stad deze EV's worden ingepast. Omdat EV's in eerste instantie vooral bedoeld zullen zijn voor het forensen- en stadsverkeer, zullen de stedelijke gebieden waarschijnlijk als eerst de grootste penetratie van EV's te verduren krijgen. Uitgangspunt hiervoor is dat de actieradius in beginsel nog beperkt zal zijn, wat een vertragende werking heeft op de invoering in de dorpen of op het platteland. Echter bij voldoende actieradius, zonder te moeten opladen op het werk/onderweg, zal de elektrische auto ook voldoen aan de wensen van de mensen die veel kilometers (moeten)maken. Dit alles heeft zijn impact op de bedrijfsvoering van de netbeheerders.

Bij 'ongestuurd' opladen van EV's met 3 kWe is het in alle onderzochte wijken mogelijk tot een penetratiegraad van 10% te gaan. In dat geval mogen alle EV's tegelijk met 3 kWe opgeladen worden. In groenstedelijke en landelijke gebieden is het mogelijk om tot een penetratiegraad van 50% te gaan. Kanttekening hierbij is dat nagegaan moet worden of het net vermaasd bedreven wordt waardoor de schijnbare ruimte ingeperkt wordt. Een snelle controle voor de inpassing van EV's zou een meting van de transformator en afgaande kabels gedurende een winterweek kunnen zijn in de karakteristieke woonwijken. Uitgaande van radiaal bedrijf en een inschatting van de verjonging kan men bepalen hoeveel EV's er op een bepaalde afgaande kabel aangesloten zouden mogen worden (als vaststaat met hoeveel vermogen de EV's geladen worden).

Net als in het hoofdstuk van de simulatieresultaten valt weer op dat het dorpse woonmilieu weinig capaciteit meer biedt voor uitbreiding. Nagegaan moet worden of inderdaad de dorpse woonmilieus een relatief zwaar belast LS-net hebben.

Een methode om meer EV's te kunnen opladen, tegelijkertijd met minder vermogen of verschoven in de tijd maar meer op een dag of sneller, kan door 'smart loading' toe te passen. Het toepassen van het laden in 'shifts' kan de penetratiegraad minimaal verdubbelen. Kanttekening hierbij is dat hierdoor de eigenaars verplicht worden om in een normale situatie te wachten met opladen, bv. door toepassing van een timer. De vraag is of een EV eigenaar dit wil. Dit wordt in dit document niet verder onderzocht.

Een andere mogelijkheid is het gebruiken van de 'slimme meter' om de netbelasting te meten en aan de hand daarvan laadstromen te sturen. Ook zou het hanteren van elektriciteitsarieven tijdens pieken en dalen van de belasting van het net een mogelijkheid kunnen zijn de EV's eigenaars te laten kiezen wanneer ze hun EV willen opladen. Kanttekening hierbij is dat de netbeheerder en de leverancier onafhankelijk zijn en eigen belangen hebben. Het opzetten van een markmodel is daarom niet eenvoudig, de netbeheerder wil sturing vanwege ontzien/optimaal benutten van zijn net, de leverancier ziet vooral een nieuwe markt met bijhorende inkomsten. Deze hoeven niet persé samen te gaan.

7. Ontkoppelingsbeveiligingen van PV installatie en μ WKK in LS netten.

Er zijn veel eisen voor de aansluiting van fotovoltaïsche (PV) systemen en μ WKK aan het laagspanningsnet (aarding, isolatie,...). De betrokken normen zijn in de NEN 1010 opgenomen.

Om de invloed van de klein vermogen (< 16 A per fase) decentrale generatoren op de beveiligingen te bestuderen, is het nodig om met de regeling van de ontkoppelingsbeveiligingen rekening te houden. Deze eisen aan de regeling zijn weergegeven in Tabel 7-1, overgenomen uit de Europese norm EN 50438.

Tabel 7-1 Regelingen van de ontkoppelingsbeveiligingen voor de microgeneratoren verbonden met het laagspanningsnetwerk (Bron: Final draft EN 50438)

Parameter	Time s	Setting
Over voltage	2,0	230 V + 10 %
Under voltage ^a	2,0	230 V - 20 %
Over frequency	2,0	50,0 Hz + 2 %
Under frequency	2,0	50,0 Hz - 4 %
LoM		
^a For synchronous generators the disconnecting time is 0,2 s, or a shorter time depending on the Critical Short-circuit Time of the generator. In The Netherlands it is only necessary to provide a single stage for under/over voltage and for frequency protection.		

LoM = loss of main production : protection system that will disconnect the micro-generator from the DSO Distribution Network and/or ceases to energize in the event of loss of that supply resulting in a deviation of the voltage or frequency beyond the LoM protection settings.

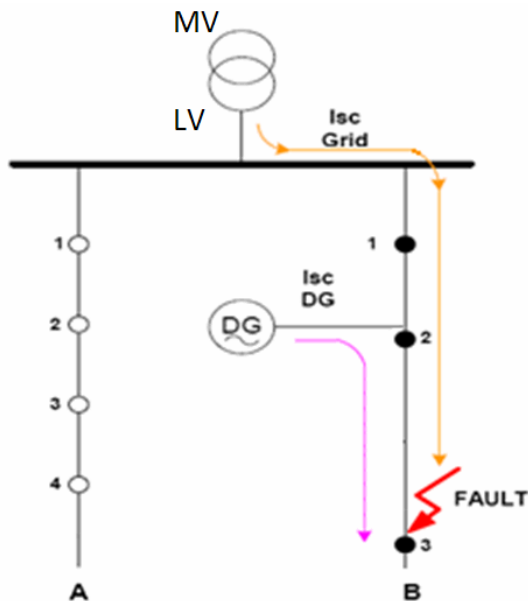
In Nederland zijn geen eisen gesteld voor afschakeling van de DG bij een frequentiesprong, Rate of change of frequentie (ROCOF) functie, of vectorsprong.

7.1 Potentiële beveiligingsproblemen in de buurt van decentrale opwekkers

7.1.1 Inleiding blinding

Zoals geïllustreerd in Figuur 7-1, kan blinding optreden wanneer de decentrale generatoren een kortsluiting voeden die stroomafwaarts op dezelfde feeder is gelegen. In dit geval is de foutstroom groter wegens de DG

bijdrage. Daarom is de spanningsval tussen de fout en de DG (locatie 2 en locatie 3 in Figuur 7-1 ook groter. Het spanningsniveau op locatie 2 is dus hoger ten opzichte van de situatie zonder DG. De foutstroom die door de beveiliging op locatie 1 vloeit is verminderd. Blinding gebeurt als deze foutstroom te laag is om de beveiliging te openen.



Figuur 7-1 Blinding risico van de beveiliging op locatie 1 wegens de DG bijdrage in de foutstroom

7.1.2 Invloed van de voornaamste parameters

Hoe groter het **kortsluitvermogen van de decentrale generatoren** is, hoe hoger het risico op blinding is. De fotovoltaïsche panelen zijn verbonden via een omvormer die de kortsluitstroom begrenst tot ongeveer 1,5 maal de nominale stroom. Bepaalde μ WKK technologieën gebruiken rechtstreeks gekoppelde asynchrone of synchrone generatoren die een kortsluitstroom tot 4 maal de nominale stroom genereren. De μ WKK's zijn kritischer dan de fotovoltaïsche panelen voor wat betreft het risico op blinding.

Hoe groter het **kortsluitvermogen van het voedingsnetwerk** is, hoe groter de stroom door de beveiliging zal zijn en dus hoe kleiner het risico op blinding. **De radiale structuur is dus kritischer dan de ring en de vermaasde structuren die een hoger stroomopwaarts kortsluitvermogen genereren.**

Hoe dieper op de feeder de fout gelokaliseerd is, hoe groter de kans op blinding is. Invloed op de foutlokalisatie is er echter niet.

7.1.3 Simulatie (NEPLAN software) van blinding risico in kritische LS netten

Door middel van simulaties wordt het reële blinding gevaar ingeschat. Daarvoor is een laagspanningsnetwerk in NEPLAN ingevoerd.

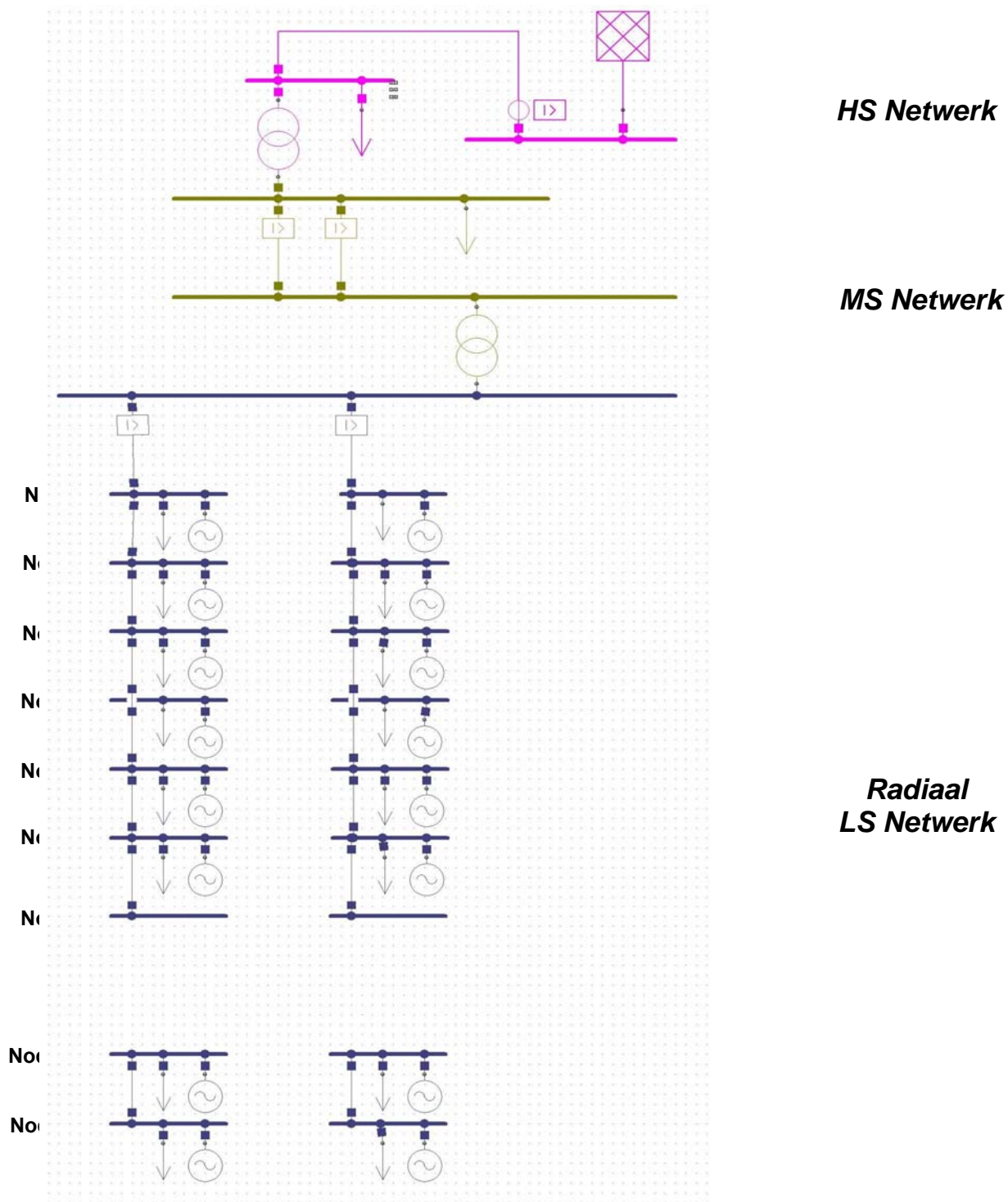
Het doel is het creëren van de meest kritieke situatie met betrekking tot de mogelijke gevolgen van decentrale generatoren op de LS beveiligingen. Daarom is er voor een radiaal laagspanningsnetwerk gekozen. Bovendien zijn de decentrale generatoren rechtstreeks gekoppelde synchrone machines. Uiteindelijk, op elk feeders zijn 50 woningen aangesloten, elk uitgerust met een μ WKK. Dit komt wel overeen met een “worst case” situatie.

Het hele netwerk is op Figuur 7-2 weergegeven en de voornaamste parameters zijn de volgende:

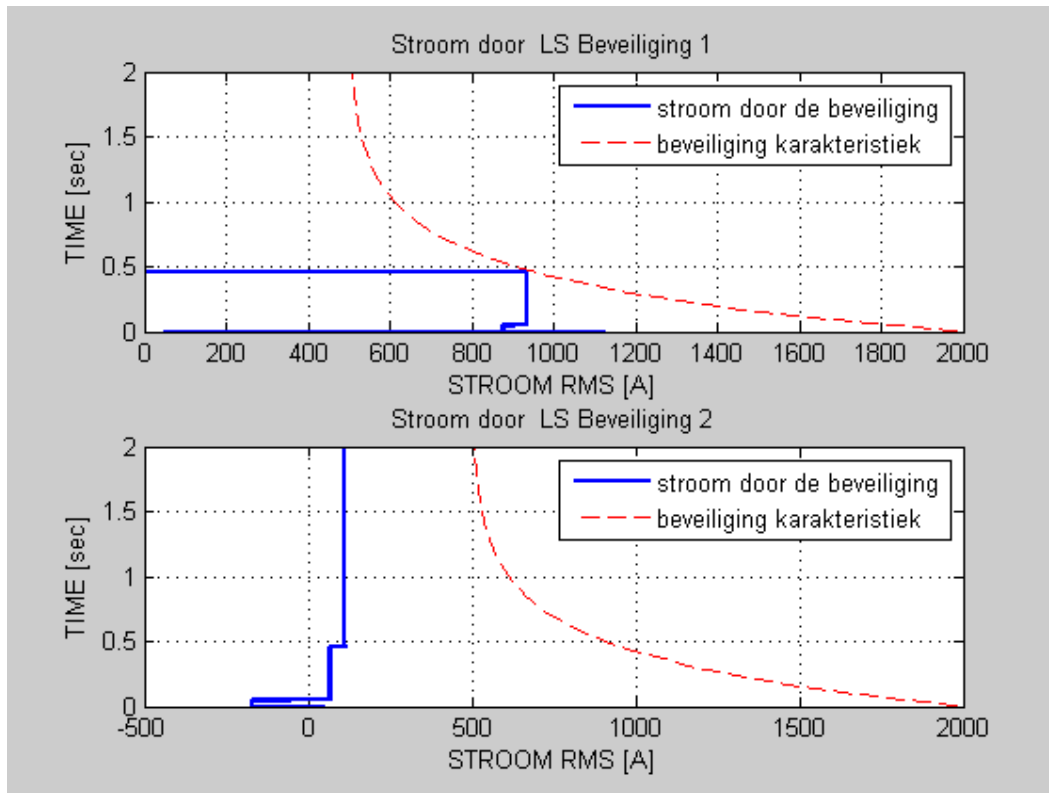
- Het laagspanningsnet wordt gevoed via een 11kV netwerk. Het kortsluitvermogen op het LV laagspanningsnet is 8 MVA. De karakteristiek van deze smeltveiligheden is op Figuur 7-3 en Figuur 7-6 gegeven.
- Het beschouwde LS netwerk bestaat uit twee feeders. Op het vertrekpunt is elke feeder beschermd door een smeltveiligheid ingesteld op 160 A.
- Op elke feeder zijn 50 woningen aangesloten. Elke woning bestaat uit een belasting van 1,2 kVA, $\cos \varphi = 0,9$ en een decentrale generator. Deze decentrale generatoren zijn 1kW rechtstreeks gekoppelde synchrone generatoren met een kortsluitstroom die 4 tot 5 maal groter is dan de nominale stroom. Dit zijn typische waarden voor een “REMEHA”¹ μ WKK.
- De fout vindt plaats aan het einde van de feeder, worst case simulatie voor blinding

De decentrale generatoren zijn uitgerust met een ontkoppelingsbeveiliging waarvan de karakteristiek deze van Tabel 7-1 zijn. De LS knopen (woningen die op Figuur 7-2 “Node” zijn geschreven) zijn met elkaar verbonden door 10 meters lange 150 mm² Al kabels.

Nu wordt bekeken wat gebeurt als er een kortsluiting (van 5m Ω) op NODE 1-50 (zie Figuur 7-2) optreedt (einde van de feeder). Deze situatie komt overeen met het grootste blinding risico van de LS beveiliging 1.

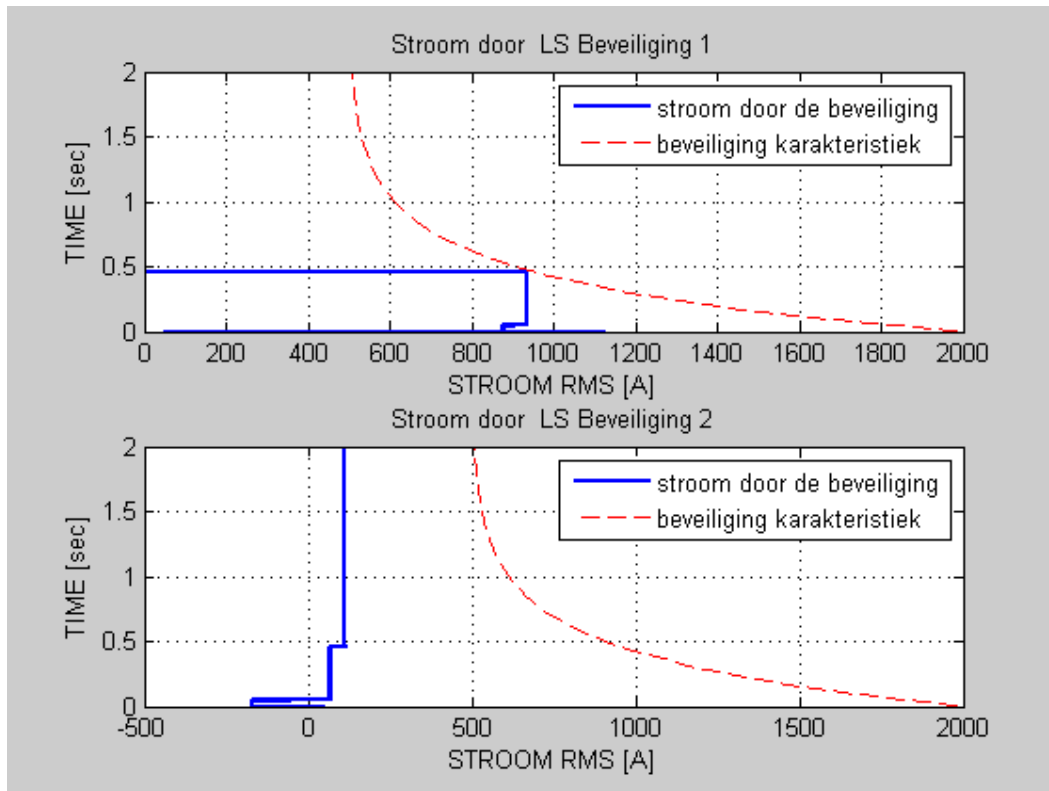


Figuur 7-2 Netwerk configuratie die in NEPLAN wordt ingevoerd om het risico van blinding en van false-tripping in te schatten (worst case)



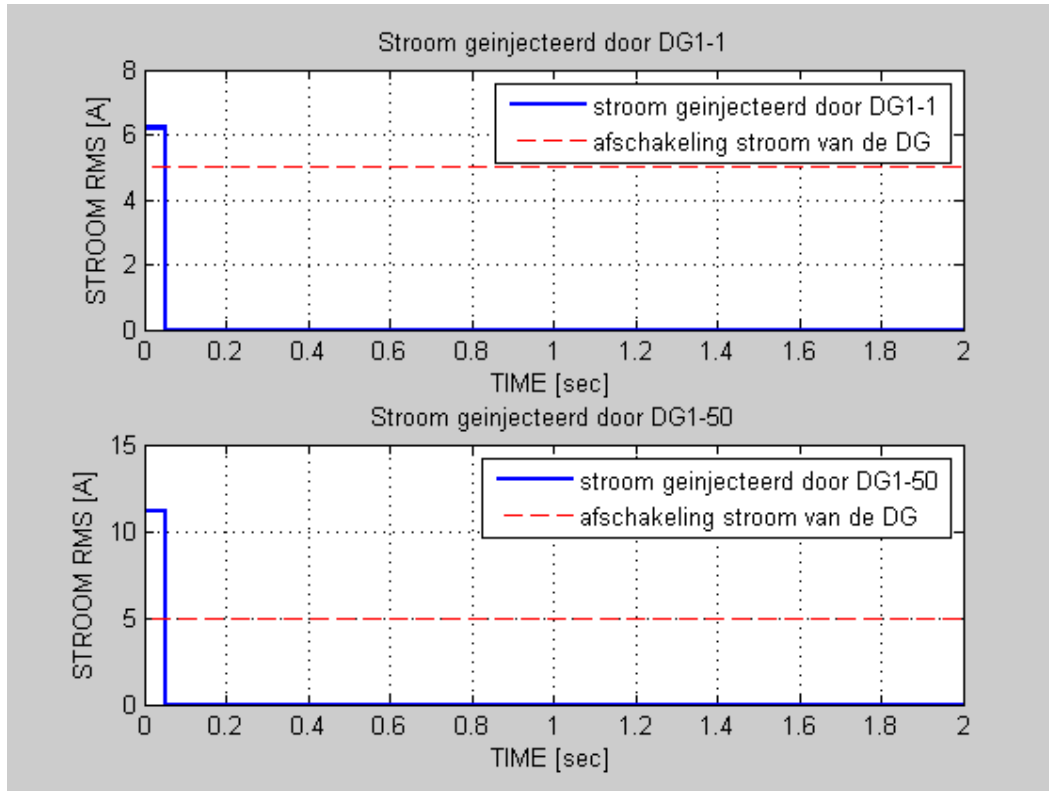
Figuur 7-3 toont de tijdsevolutie van de stromen door de LS beveiligingen 1 en 2 als de kortsluiting optreedt op tijd $t=0$ sec. In Figuur 7-4 die de stroom door de decentrale generatoren DG1-1 en DG1-50 weergeeft, is te zien dat alle DG snel door hun overstroombeveiliging afgeschakeld worden. Deze DG afschakeling is ook zichtbaar in Figuur 7-3. Inderdaad is de stroom door de LS beveiliging 1 iets lager als de DG tot de kortsluitstroom bijdragen. Dit verschil is eigenlijk de theoretische oorzaak van de blinding mogelijkheid. Te zien is dat de bijdrage van de decentrale generatoren in dit geval kleiner is dan de kortsluitstroom afkomstig van het voedingsnetwerk.

Dit illustreert het feit dat het optreden van blinding in laagspanningsnetwerken heel onwaarschijnlijk is. Zelfs in deze gesimuleerde "worst case" situatie, is de kortsluitstroom van de DG unit niet groot genoeg om de kortsluitstroom door beveiliging 1 onder 850 A te laten verlagen. Het blinding fenomeen vergt het gecombineerde effect van een zeer laag stroomopwaarts kortsluitvermogen en een heel groot gedecentraliseerd kortsluitvermogen.



Figuur 7-3 Stromen (RMS waarden) door de LS beveiligingen 1 en 2 als er een kortsluiting optreedt op NODE 1-50 op tijd $t=0$ sec

Figuur 7-3 toont de stroom door beveiliging 1 en 2. De stroom door beveiliging 1 vanuit het MS- net en de rechtse feeder is groot genoeg om de beveiliging aan te laten spreken binnen ongeveer 0,5 s. Normaal gesproken bedraagt de kortsluitstroom bij een 3-fase fout kA's wanneer de fout optreedt in de buurt van de busbar. De gesimuleerde fout is worst case voor het optreden van blinding, namelijk aan het eind van de feeder.

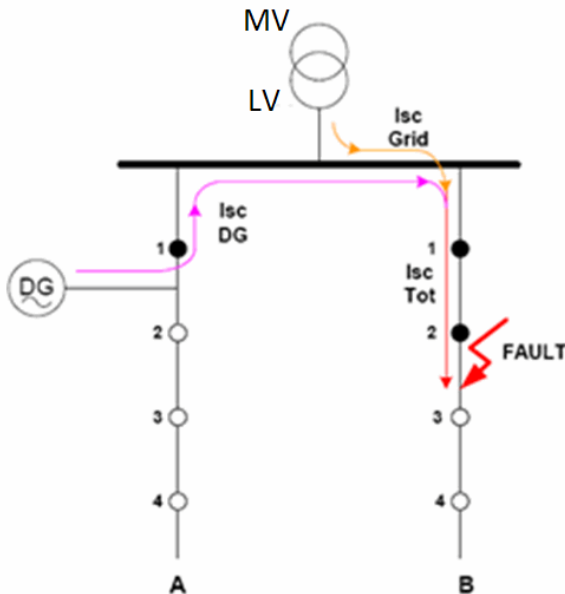


Figuur 7-4 Stromen (RMS waarden) die door DG1-1 en DG1-50 geïnjecteerd worden als er een kortsluiting optreedt op NODE 1-50 op tijd $t=0$ sec

Figuur 7-4 laat zien dat de DG's binnen 40 ms worden afgeschakeld door hun overstroombeveiliging.

7.1.4 Inleiding false-tripping

False-tripping kan optreden als er een fout gelokaliseerd is op een feeder gevoed door hetzelfde laagspanningsrek als de DG. In een dergelijk geval draagt de decentrale generator bij tot de foutstroom. Zoals er in Figuur 7-5 gezien kan worden gezien, zal dit deel van de foutstroom door de DG feeder beveiliging vloeien. Als deze stroom groot genoeg is, treedt false-tripping van deze beveiliging op.



Figuur 7-5 False-tripping risico van de beveiliging op locatie 1 van feeder A wegens de DG bijdrage in de foutstroom

7.1.5 Invloed van de voornaamste parameters

- Hoe groter het kortsluitvermogen van het voedingnetwerk is, hoe groter de stroom door de feeder met de fout is en dus hoe groter de spanningval is tussen de fout en het laagspanningsrek. Hoe groter de spanning op de laagspanningsrek is, hoe kleiner de bijdrage van de DG aan de foutstroom is en dus hoe kleiner het risico op false-tripping is. De radiale structuur is dus kritischer dan de ring en de vermaasde structuren die een hoger stroomopwaarts kortsluitvermogen genereren.
- Hoe groter het kortsluitvermogen van de decentrale generatoren is, hoe hoger het risico op false-tripping is. De fotovoltaïsche panelen zijn verbonden via een omvormer die de kortsluitstroom tot ongeveer 1,5 maal de nominale stroom begrenst. Bepaalde technologieën van μ WKK gebruiken rechtstreeks gekoppelde asynchrone of synchrone generatoren die een kortsluitstroom tot 4 maal de nominale stroom generen. De μ WKK zijn kritischer dan de fotovoltaïsche panelen voor wat betreft het risico van false-tripping.
- Hoe verder op de feeder de fout gelokaliseerd is, hoe kleiner de kans op false-tripping is. Echter is er geen invloed op de foutlokalisatie.
- De fout vindt plaats op de busbar, dit is wordt case voor het simuleren van het risico op false-tripping

7.1.6 Simulatie (NEPLAN software) van false-tripping risk in kritische LS netten

Het netwerk van Figuur 7-2 wordt opnieuw gebruikt om het reële false-tripping risico in te schatten.

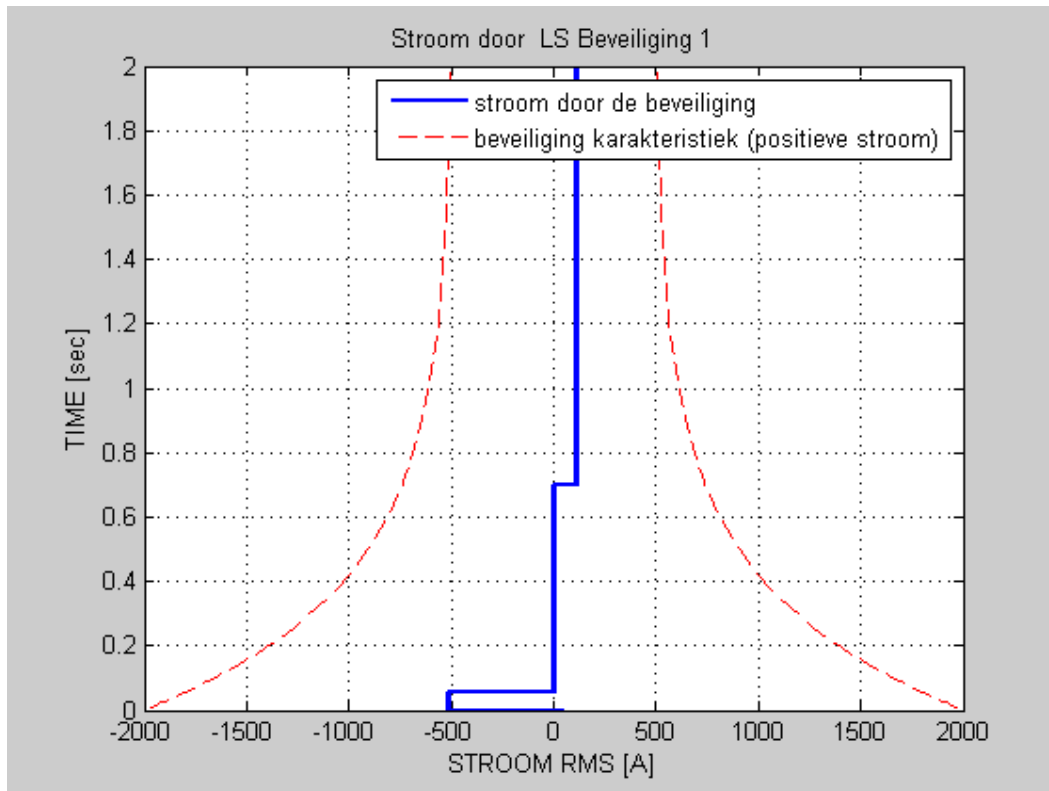
Om het meest kritieke geval te simuleren, wordt een kortsluiting op het LS laagspanningsrek zelf beschouwd. De bedoeling is weer de "worst case" situatie te analyseren.

Omdat er een gelijkwaardig false-tripping gevaar van de LS beveiliging 1 en van de LS beveiliging 2 is, wordt enkel het gedrag van LS beveiliging 1 bestudeerd.

Figuur 7-6 toont de tijdsevolutie van de stroom door LS beveiliging 1 als de kortsluiting begint op tijd $t=1$ sec en wordt verwijderd op $t=0,7$ sec. Figuur 7-7 toont de tijdsevolutie van de stroom geïnjecteerd door DG1-1. Om een eventuele false-tripping te detecteren, wordt er vanuit gegaan dat de feeder beveiliging sneller reageert dan de DG ontkoppeling beveiliging. Tijdens de kortsluiting, hebben de DG eenheden een bijdrage tot de kortsluitstroom door de LS beveiliging 1 van onder naar boven toe. Zoals Figuur 7-6 weergeeft, genereren deze DG bijdragen een negatieve waarde van de stroom door de beveiliging 1, met een amplitude van ongeveer 500 A. Omwille van de snelle afschakeling van de DG's als zij deze stroom injecteren, is dit negatieve stroom van 500 A niet groot genoeg om de smeltbeveiliging te doen werken. Daarvoor is er in dit geval geen false-tripping van beveiliging 1. Geconcludeerd kan worden dat, als de overstroombeveiliging van de DG's snel genoeg is (max. 300 ms), false-tripping een probleem is dat niet zal optreden in laagspanningsnetwerken. Op Figuur 7-6 kunnen we zien dat, om false-tripping te hebben, zouden we een decentraal vermogen nodig hebben dat nog drie keer groter is dan weergegeven op Figuur 7-2.

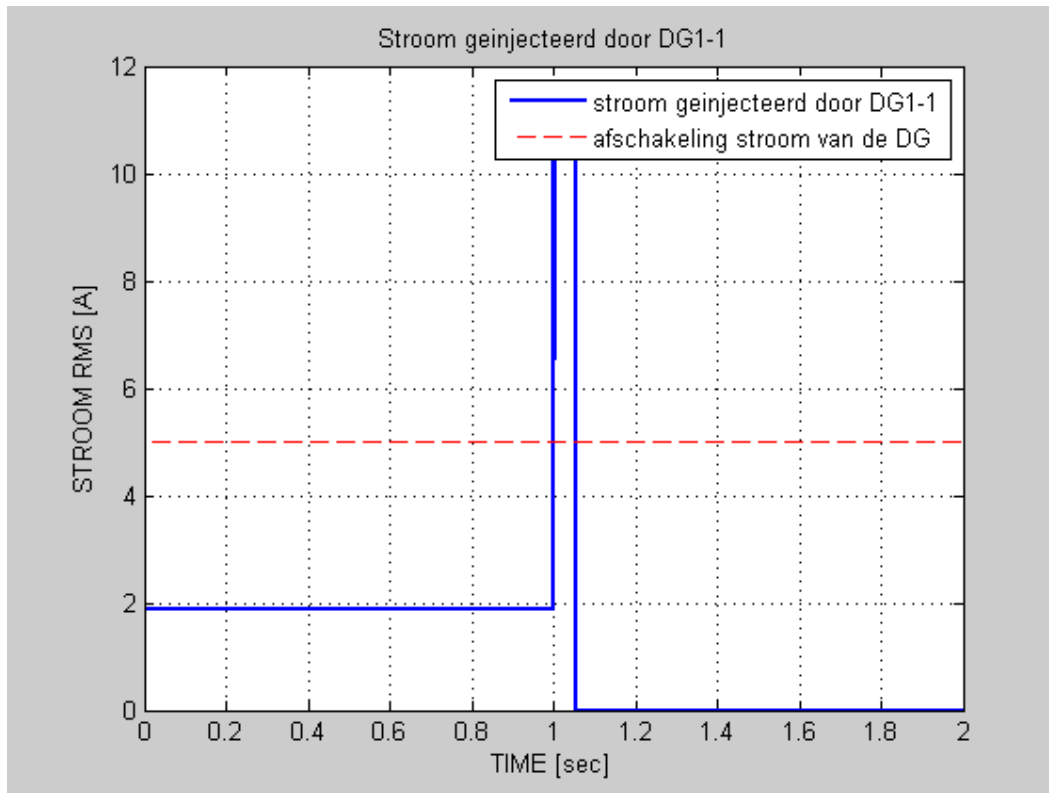
Als false-tripping toch zou voorkomen, kunnen enkele voorzorgsmaatregelen worden genomen om het probleem op te lossen. Deze worden in de volgende paragraaf aangeduid.

Geconcludeerd kan worden dat ook false-tripping geen probleem is, het kan (bijna) nooit optreden in laagspanningsnetwerken met een grote hoeveelheid aan decentrale generatoren (als aan de voorwaarden gesteld in de simulatie voldaan wordt). Een opgesteld DG vermogen per feeder van 500 kVA is nodig om in het gesimuleerde geval false-tripping te veroorzaken.



Figuur 7-6 Stroom (RMS waarden) door de LS beveiliging 1 als er een kortsluiting optreedt op het LS laagspanningsrek op tijd $t=0$ sec

De stroom door beveiliging 2, als de fout plaatsvindt net voorbij deze beveiliging 2, bestaat uit de stroom uit Figuur 7-6 plus de foutstroom vanuit middenspanning. De foutstroom door beveiliging 1 is onvoldoende om een false-trip te veroorzaken. Mochten alle overstroombeveiligingen van de microwkk's falen zal de foutstroom door beveiliging 1 500 A bedragen en binnen ongeveer 2 seconden afgeschakeld worden. De microwkk's worden echter door hun overstroombeveiliging binnen 40 ms afgeschakeld waardoor false-tripping niet kan voorkomen.



Figuur 7-7 Stroom (RMS waarden) die door DG1-1 geïnjecteerd wordt als er een kortsluiting optreedt op het LS laagspanningsrek op tijd $t=0$ sec

Figuur 7-7 laat zien dat DG-1 wordt afgeschakeld binnen 40 ms door zijn overstroombeveiliging.

7.1.7 Voorzorgmaatregelen om false-tripping te vermijden

De volgende oplossingen kunnen worden gebruikt om false-tripping te vermijden (als noodzakelijk) :

- De meest haalbare oplossing is het gebruik van **directionele beveiligingen** in plaats van smeltbeveiligingen. Dit type apparaat detecteert de richting van foutstroom en wordt niet geopend als de kortsluiting op een andere feeder is gelegen. Een ander voordeel van deze methode is dat de “fault clearing time” (tijd om af te schakelen) niet wordt verlengd.
- False-tripping kan ook worden vermeden door het **reduceren van het DG kortsluitvermogen**. Controle van de kortsluitstroom wordt automatisch bereikt voor de eenheden verbonden via een vermogen-elektronische omvormer. De verbinding van gewoonlijk rechtstreeks verbonden DG via een transformator kan worden verplicht om hun bijdrage aan het kortsluitvermogen te begrenzen. De vereiste beperking van het DG kortsluitvermogen hangt af van de netwerkconfiguratie en moet door berekening of simulatie voor elk geval afzonderlijk worden bepaald.

- De uitvoering van **afstandsrelais** in LV netwerk zou niet alleen blinding vermijden, maar ook false-tripping voorkomen. Dit is niet alleen gunstig voor de stijging van capaciteit aan decentrale productie, maar ook voor de verbetering van het gedrag van het bestaande netwerk. De uitvoering van deze futuristische oplossing vraagt echter veel aanpassingen en er zouden veel implementatieproblemen opgelost moeten worden.

7.2 Eilandwerking van decentrale opwekkers

Per definitie werkt een deel van het elektrische distributienet in eiland als het volledig losgekoppeld is van de rest van het netwerk, maar het onder spanning blijft door decentrale generatoren die aan dit deel van het netwerk aangesloten zijn.

Zoals in de andere Europese landen, is de eilandwerking om de volgende redenen verboden:

- Dit zou kunnen leiden tot een asynchrone aansluiting tussen het eiland en het hoofdnetwerk, wat schade veroorzaakt aan elementen zoals belastingen en generatoren.
- De decentrale generatoren zullen waarschijnlijk niet continu een elektrische energie van goede kwaliteit kunnen leveren (vooral als deze generatoren op hernieuwbare energie gebaseerd zijn). Dit zou kunnen leiden tot abnormale spannings- and frequentieniveaus.
- Het kortsluitvermogen in het eiland zou te laag kunnen zijn, zodat de overstroombeveiligingen niet meer werken op de manier waarop ze zijn ontworpen.
- Veiligheidsproblemen voor het onderhoudspersoneel dat denkt dat een afgeschakeld onderdeel van het netwerk niet meer onder spanning is terwijl de DG van dit onderdeel nog altijd in werking is.
- Het eiland LS net zou niet correct geaard kunnen zijn wat een veiligheidsprobleem voor de gebruikers vormt.

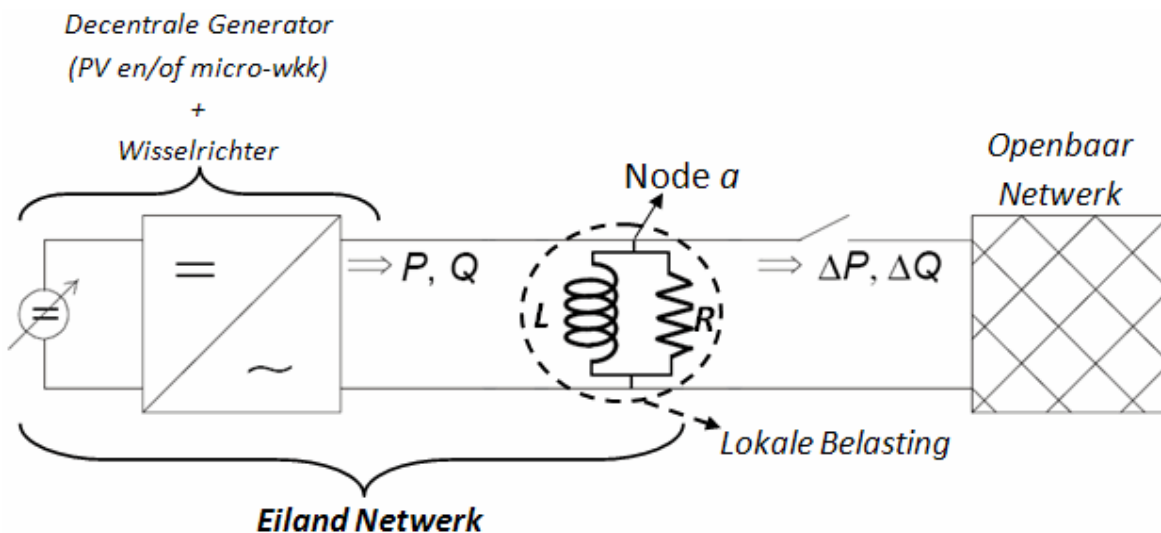
De doelstelling van dit hoofdstuk is tweeledig :

- Aan de ene kant wordt bekeken in welke mate de ontkoppelingsbeveiligingen kunnen detecteren dat hun generatoren in eiland werken, en dus zo snel mogelijk losgekoppeld moeten worden.
- Aan de andere kant worden de mogelijkheden tot een gezonde laagspanning eilandwerking bekeken.

7.2.1 Inleiding eiland detectie

De eerste stap het is goed begrijpen wat gebeurt in een LS net wanneer het wordt losgekoppeld van de rest van het openbare netwerk. Deze situatie wordt voorgesteld door het equivalent eendraadschema van Figuur 7-8. De laagspanningsbelastingen worden vertegenwoordigd door hun equivalente parallelle RL keten. Op dit schema worden alle lokale belastingen samengebracht in een equivalente RL belasting, Lokale Belasting

genoemd. In deze theoretische studie, verwaarlozen we dus de capacatieve component van de belasting. PV's en bepaalde technologieën van μ WKK zijn geen bronnen die rechtstreeks aan het netwerk gekoppeld zijn. Ze zijn verbonden via een vermogenselektronische wisselrichter die een 50 Hz stroom genereert. Deze stroom is ten opzichte van de netspanning verschoven in functie van de gewenste $\cos \varphi$ van de decentrale generator. Op Figuur 7-8 worden alle lokale DG's van het eiland samengebracht in een equivalente decentrale generator en zijn wisselrichter. In tegenstelling tot het netwerk van Figuur 7-2 (blinding en false-tripping studies), beschouwen we hier dat alle DG via een inverter aangesloten zijn. Op het moment van de scheiding met het openbare netwerk produceert deze equivalente DG een actief vermogen P en een reactief vermogen Q .



Figuur 7-8 Gelijkwaardige vertegenwoordiging van het eiland in een laagspanningsnetwerk

De actieve en reactieve vermogensuitwisselingen tussen het eiland en het openbare netwerk vlak voor de scheiding worden als ΔP en ΔQ genoteerd.

De consumptie van actief en reactief vermogen door de belasting, genoteerd $P_{belasting}$ en $Q_{belasting}$, zijn dus voor de scheiding gegeven door :

$$\frac{1}{R} V_{netwerk}^2 = P_{belasting} = P - \Delta P \quad (\text{Vergelijking 1})$$

$$\frac{1}{(\omega_{netwerk} \times L)} V_{netwerk}^2 = Q_{belasting} = Q - \Delta Q \quad (\text{Vergelijking 2})$$

$V_{netwerk}$ en $\omega_{netwerk}$ zijn de spanning en de hoekfrequentie op de node a (zien Figuur 7-8) als de DG en de lokale belasting met het openbaar netwerk verbonden zijn. Als de lokale belasting nu in eiland werkt, kan zij alleen het vermogen consumeren dat door de DG opgeleverd wordt:

$$\frac{1}{R} V_{eiland}^2 = P \quad (\text{Vergelijking 3})$$

$$\frac{1}{(\omega_{eiland} \times L)} V_{eiland}^2 = Q \quad (\text{Vergelijking 4})$$

V_{eiland} en ω_{eiland} zijn de spanning en de hoekfrequentie op de node a (zie Figuur 7-8) als de DG en de lokale belasting in eiland werken.

Het combineren van Vergelijking 1 en Vergelijking 3, geeft :

$$\left(\frac{V_{netwerk}}{V_{eiland}} \right)^2 = 1 - \frac{\Delta P}{P} \quad (\text{Vergelijking 5})$$

Volgens Tabel 7-1 zijn de spanningsgrenswaarden van de ontkoppelingsbeveiliging :

[230V-20% ; 230V +10%].

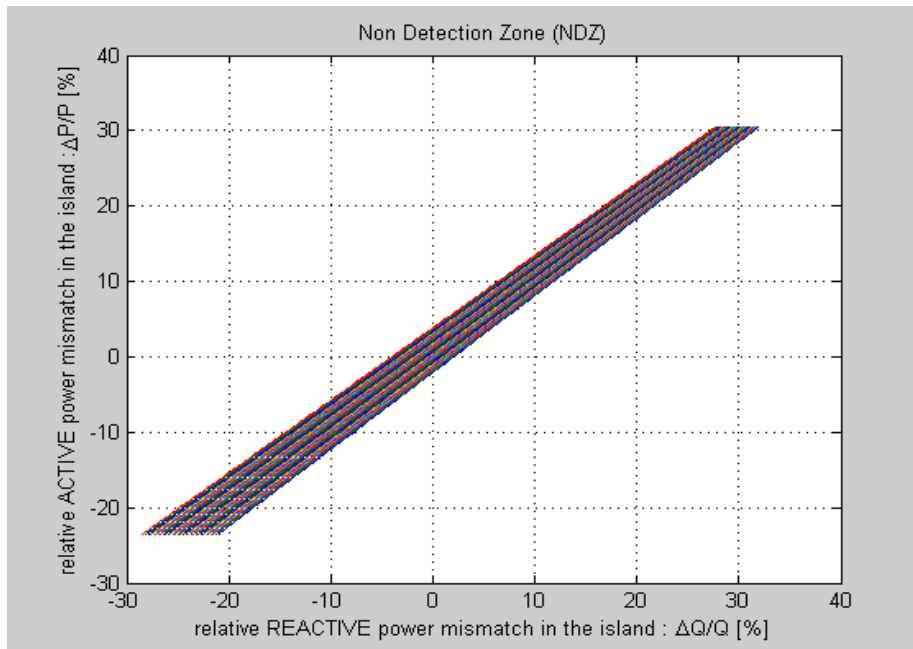
De eerste term van Vergelijking 5 mag dus in het interval : [0,82 ; 1,56] variëren. Volgens Vergelijking 5 mag het relatief actief vermogen onevenwicht, $\frac{\Delta P}{P}$, waarvoor de spanning in eiland in de aanvaardbare interval blijft [-23% ; 30%] bedragen. Dit wordt het "actieve vermogen interval" genoemd.

Het combineren van Vergelijking 4 en 5 levert:

$$\frac{\omega_{eiland}}{\omega_{netwerk}} \times \left(1 - \frac{\Delta P}{P} \right) = 1 - \frac{\Delta Q}{Q} \quad (\text{Vergelijking 6})$$

Volgens Tabel 7-1 zijn de hoekfrequentie grenswaarden van de ontkoppelingsbeveiliging : $[2 \times \pi \times (50\text{Hz} - 4\%); 2 \times \pi \times (50\text{Hz} + 2\%)]$. Gezien Vergelijking 6, komt dus voor elke waarde van het actief vermogen interval een $\frac{\Delta Q}{Q}$ interval overeen, voor de welke de hoekfrequentie in zijn aanvaardbaar interval blijft. Dit geeft dus aanleiding tot een oppervlak in het $\left(\frac{\Delta P}{P}; \frac{\Delta Q}{Q} \right)$ gebied, waarin zowel de frequentie als het spanningsniveau in hun aanvaardbare intervallen in eilandwerking blijven. Dit oppervlak, weergegeven in Figuur 7-9 wordt de "Non Detection Zone" (NDZ) genoemd.

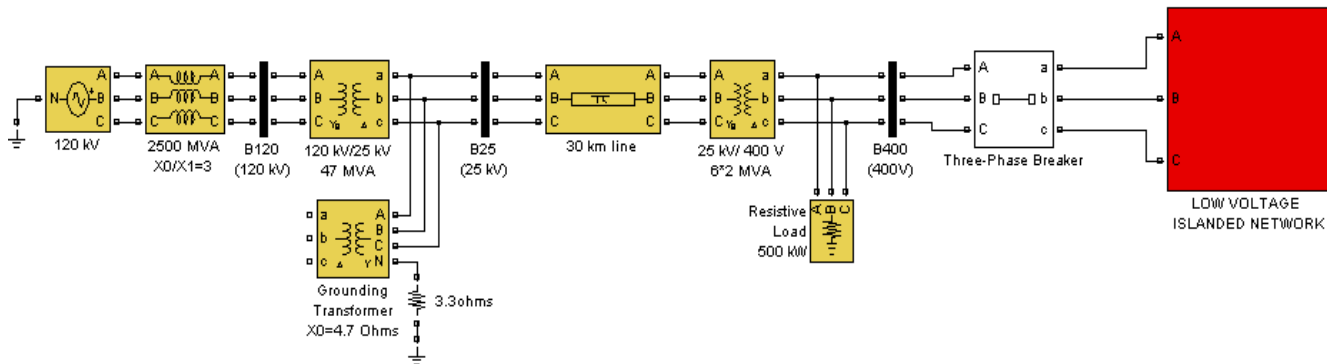
OPMERKING: Vergelijking 5 en 6 tonen dat het "actieve vermogen evenwicht" de spanningsniveaus bepaalt en het "reactieve vermogen evenwicht" bepalend is voor de frequentie. Dit in tegenstelling tot de netwerken gevoed door rechtstreeks aangesloten draaiende generatoren, waar de frequentie wordt bepaald door het "actieve vermogen evenwicht" en het spanningsniveau door het "reactieve vermogen evenwicht".



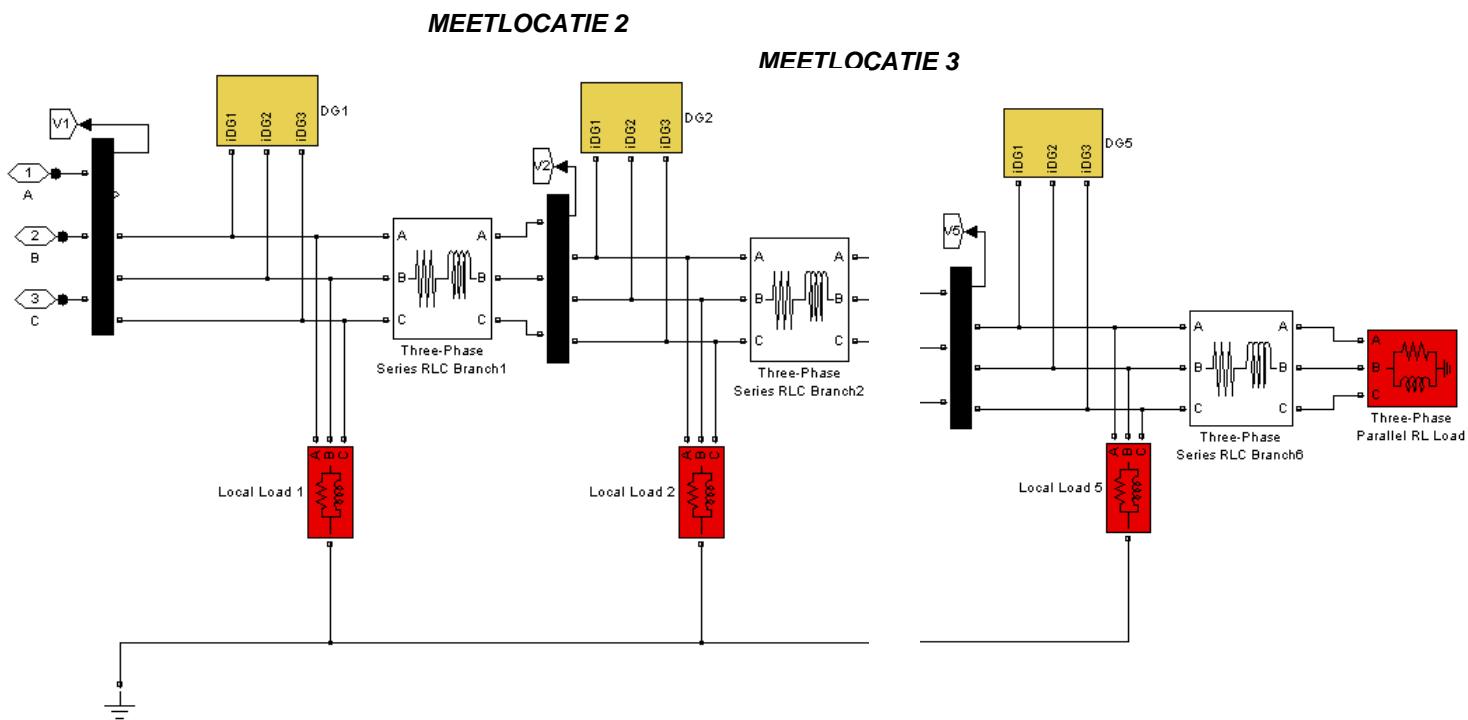
Figuur 7-9 Non Detection Zone of de ontkoppeling beveiligingen in functie van de reactieve en actieve vermogen onevenwicht.

7.2.2 Simulaties

Ter bevestiging van deze theoretische resultaten, worden simulaties uitgevoerd met behulp van de toolbox *SimPowerSystems* van MATLAB/Simulink. Het volledige netwerk is weergegeven in Figuur 7-10. Stroomopwaarts zijn de klassieke hoog- en middenspanningsnetwerken actief, waarvan de parameters op Figuur 7-10 worden gegeven. Deze netwerken voeden een laagspanningsnetwerk via een driefasige schakelaar. Wanneer deze schakelaar wordt geopend, werkt het laagspanningsnetwerk in eiland. Zoals geïllustreerd op Figuur 7-11, bestaat het laagspanningsnetwerk uit 5 knopen die door lijnen zijn verbonden. Deze lijnen zijn door driefasig *RL* serie takken gemodelleerd. Op elk knoop is er een belasting en een decentrale generator aangesloten, de belastingen zijn door hun equivalent RL- schema parallel gemodelleerd.



Figuur 7-10 Testnetwerk voor de simulatie van de eiland werking van een LS net (rood vierkant)



Figuur 7-11 Eenvoudig laagspanningsnetwerk dat wordt afgeschakeld om zijn eiland werking te simuleren

De decentrale generatoren worden beschouwd als perfecte stroombronnen. De amplitude en de fase (ten opzichte van de spanningsfase) van deze stromen worden bepaald door het actief en reactief vermogen die door de DG geïnjecteerd worden. De DG zijn via een korte kabel met hun knoop verbonden. Deze kabels worden door hun π model geïmplementeerd.

	Node-Node lijnen	DG-Node lijnen
Lengte	85 [m]	20 [m]
Weerstand per meter	0.378 [Ω /km]	0.378 [Ω /km]
Inductantie per meter	0,33 [mH/km]	0,33 [mH/km]
Capaciteit per meter	-	35 [μ F/km]
Homopolaire weerstand per meter	-	0,04 [Ω /km]
Homopolaire inductantie per meter	-	44,5 [μ H/km]
Homopolaire capaciteit per meter	-	35 [μ F/km]

Tabel 7-2 Parameters van de lijnen tussen de knopen en tussen de DG en hun knoop

Tabel 7-2 geeft de parameters van de lijnen tussen de knopen en tussen de DG en hun knoop.

De actieve en reactieve vermogens die door elk decentrale generator wordt geïnjecteerd zijn :

- $P=5 \text{ kW}$
- $Q=1 \text{ kVar}$

Deze waarden zijn realistische vermogens voor een huis uitgerust met fotovoltaïsche panelen en een μ WKK. De P/Q verhouding komt overeen met een $\cos \varphi$ van 0,98.

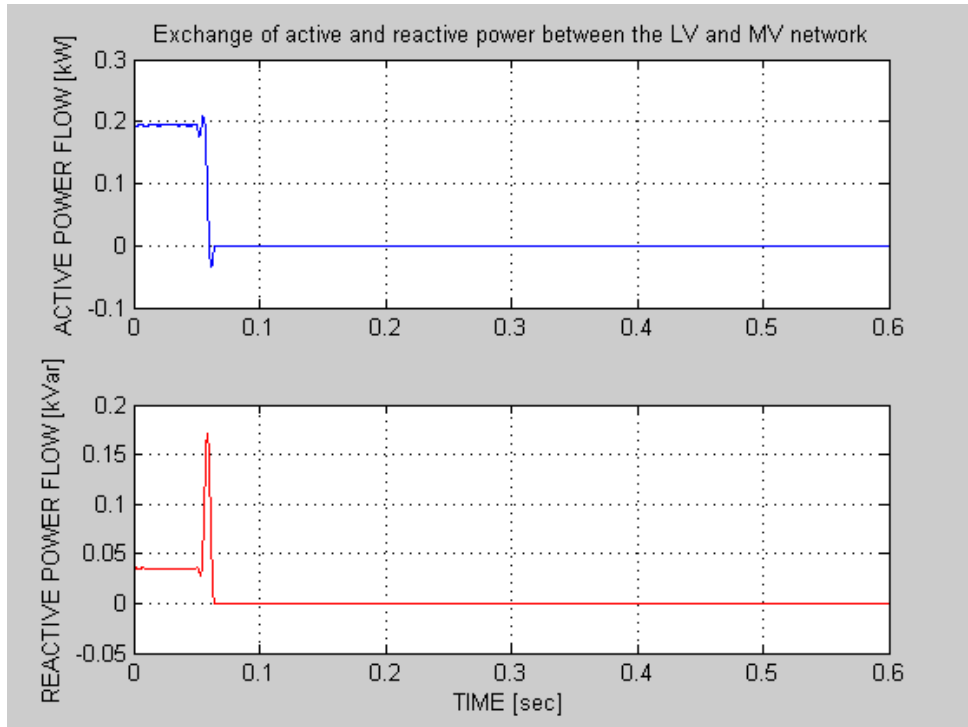
In de volgende paragrafen wordt de tijdsevolutie van verschillende elektrische parameters gesimuleerd als het LS- netwerk in eiland wordt gebracht. Drie configuraties worden bestudeerd. Een eerste waar de geproduceerde en verbruikte vermogens in het LS netwerk bijna dezelfde zijn, een tweede waar er een actief vermogensonevenwicht is en een derde met een reactief vermogensonevenwicht. De eiland werking begint in alle gevallen op tijd $t=0,05 \text{ sec}$.

7.2.3 Resultaten voor een configuratie binnen de NDZ ($\Delta P \approx 0$ en $\Delta Q \approx 0$)

In deze configuratie, is het actief en reactief vermogen van elke lokale belasting $P=3,5 \text{ kW}$ en $Q=0,72 \text{ kVAR}$.

In dit geval zijn de uitwisselingen van actief en reactief vermogen tussen het LS netwerk en het MS netwerk heel laag. Inderdaad, op Figuur 7-12 blijkt dat $\Delta P = 0,2 \text{ kW}$ en $\Delta Q = 0,03 \text{ kVAR}$. Dat komt overeen met $\frac{\Delta P}{P} = 0,8\%$ en $\frac{\Delta Q}{Q} = 0,6\%$, waar P en Q de som van de actieve en reactieve vermogens zijn, geproduceerd

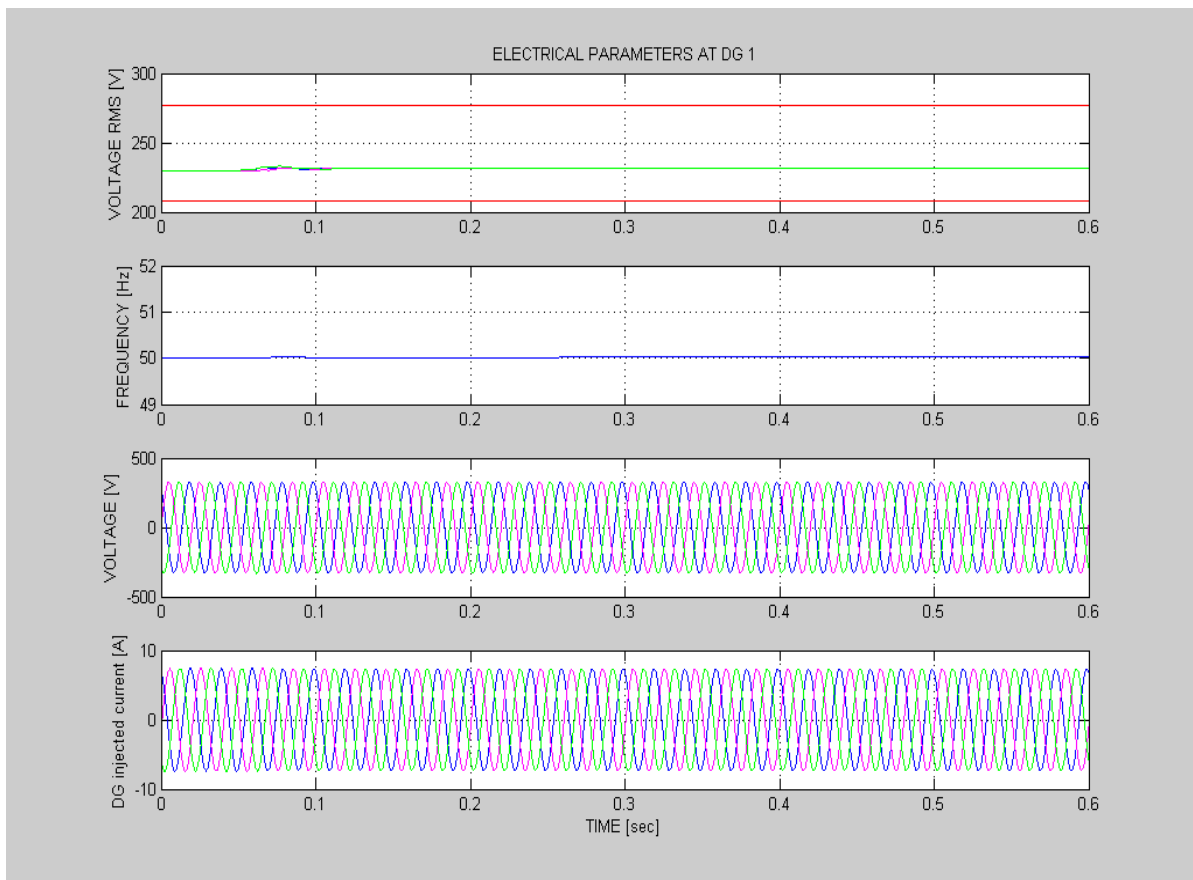
door alle decentrale generatoren. Opgemerkt is dat dit $\left(\frac{\Delta P}{P}; \frac{\Delta Q}{Q}\right)$ koppel binnen de NDZ van Figuur 7-9 ligt. Het spanningsniveau en de frequentie zullen dus normaal overal in hun aanvaardbare intervallen blijven zoudra het laagspanningsnetwerk in eiland wordt gebracht.



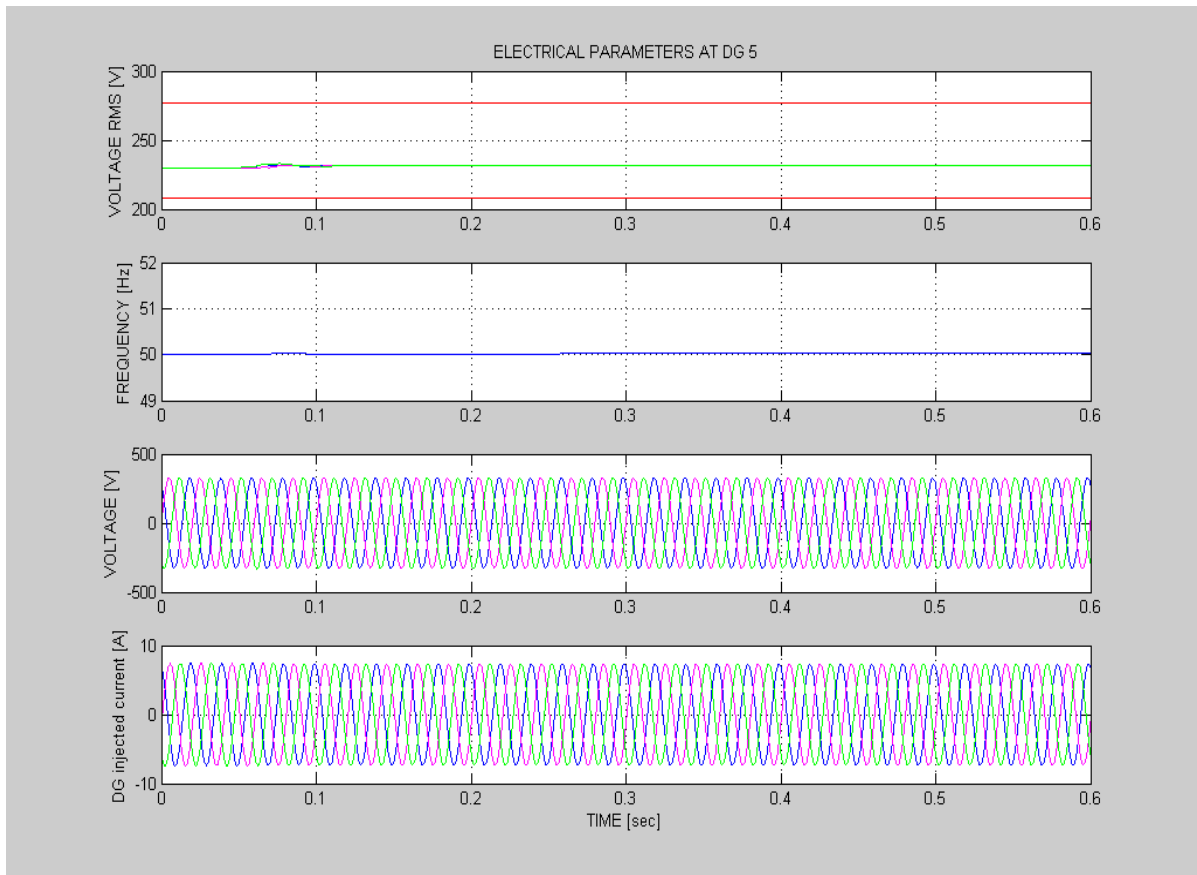
Figuur 7-12 Uitwisseling van actief en reactief vermogen tussen het LS netwerk (dat in $t=0,05$ sec in eiland wordt gebracht) en zijn aangesloten MS netwerk (op Meetlocatie 1 van Figuur 7-11). Deze uitwisseling is het beeld van het vermogensonevenwicht in het eiland.

Om dat te controleren wordt de tijdevolutie van de spanning (RMS, frequentie en golfvorm) en van de door de DG geïnjecteerde stroom op *meetlocatie 2* en *meetlocatie 3* (zien Figuur 7-11) gevolgd.

Figuur 7-13 en Figuur 7-14 bevestigen dat de spanningsniveaus en de frequentie bijna niet veranderen als het LS netwerk in eiland wordt gebracht. De eilandwerking wordt niet gedetecteerd en dus ook niet verwijderd door de DG ontkoppelingsbeveiligingen. Dit kan problematisch zijn voor de redenen die aan het begin van het hoofdstuk genoemd zijn.



Figuur 7-13 RMS-waarden van de spanning (3 fasen), spanningsfrequentie, spanningsgolfvorm en de door DG 1 geïnjecteerde stroom op Meetlocatie 2 (zie Figuur 7-11). In $t=0,05$ sec wordt het LS netwerk in eiland gebracht. De rode lijnen op de twee eerste grafieken zijn de tripwaarden van de ontkoppelingsbeveiliging (zie Tabel 7-1)

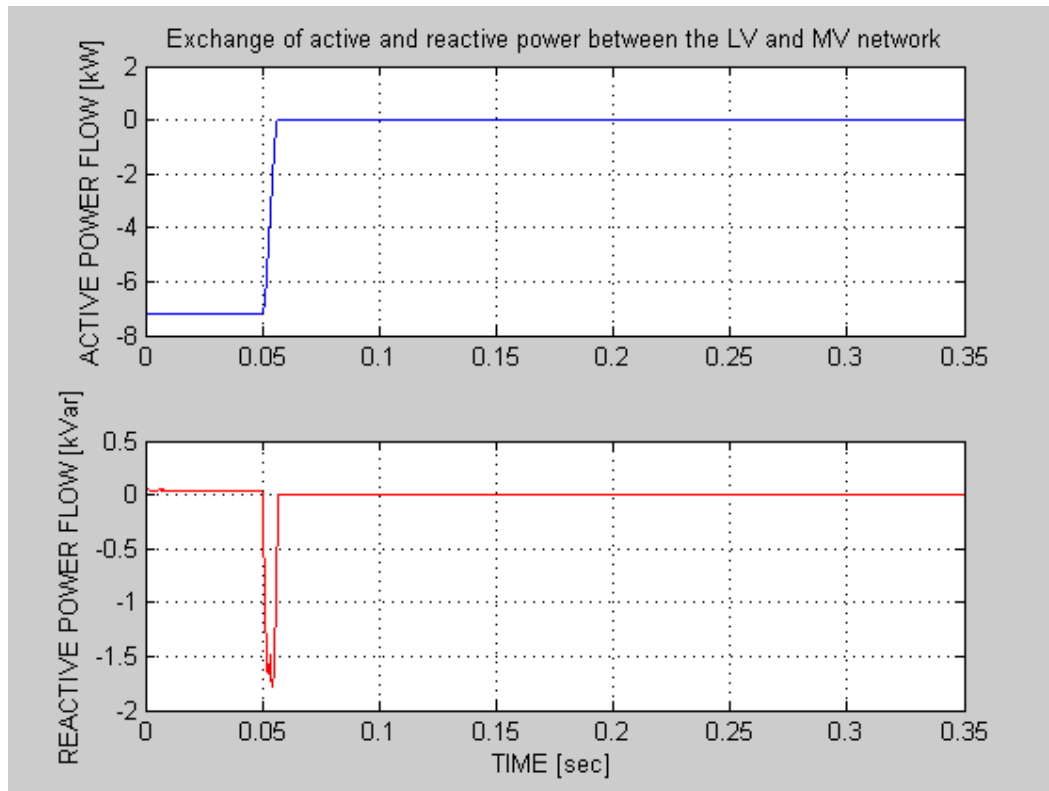


Figuur 7-14 RMS-waarden van de spanning (3 fasen), spanningsfrequentie, spanningsgolfvorm en de door DG 5 geïnjecteerde stroom op Meetlocatie 3 (zie Figuur 7-11). In $t=0,05$ sec wordt het LS netwerk in eiland gebracht. De rode lijnen op de twee eerste grafieken zijn de tripwaarden van de ontkoppelingsbeveiliging (Tabel 7-1)

7.2.4 Resultaten voor een belangrijke actief vermogensonevenwicht ($\Delta P \neq 0$ en $\Delta Q \approx 0$)

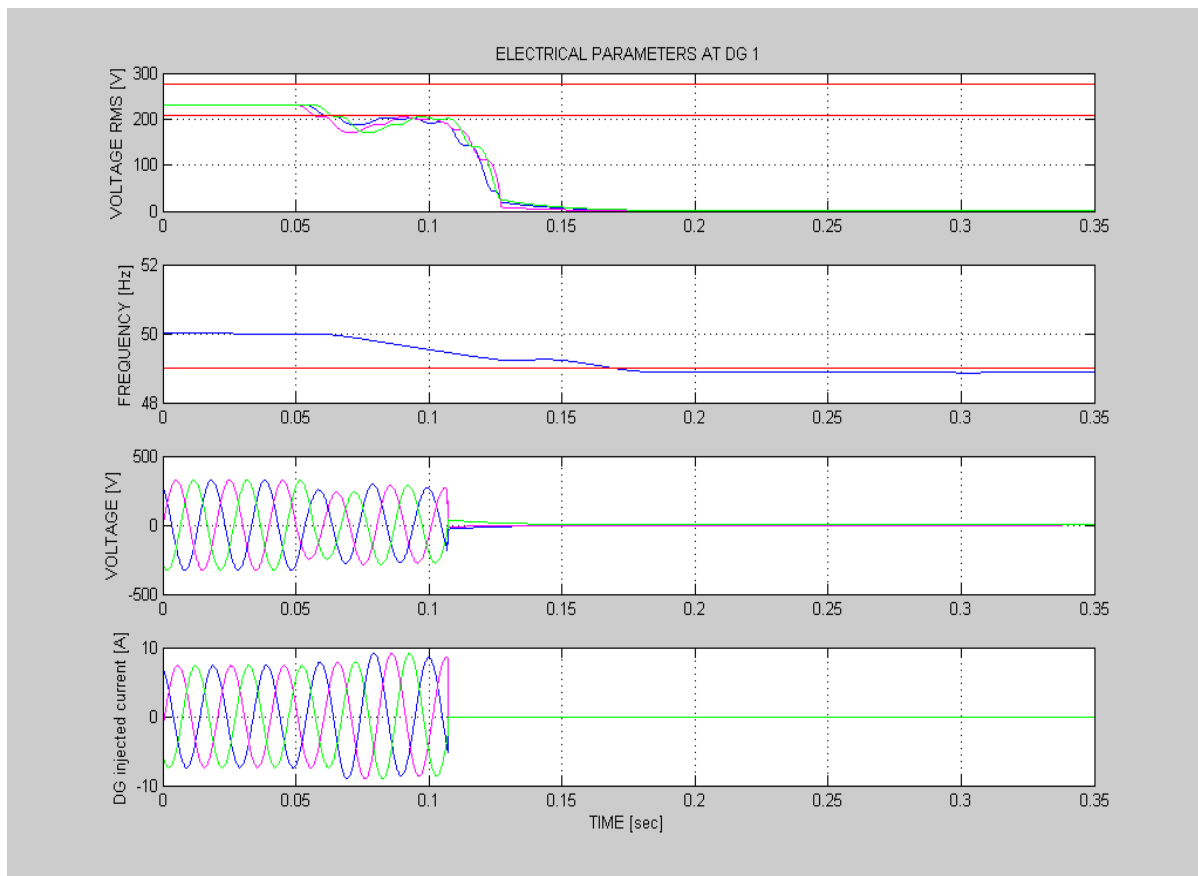
Alle parameters behouden dezelfde waarden als in de vorige paragraaf, behalve het actief vermogen van de belasting die nu 5 kW is (in plaats van $3,5 \text{ kW}$).

Zoals te zien in Figuur 7-15 veroorzaakt dit een ΔP van ongeveer -7 kW wat overeenkomt met een $\frac{\Delta P}{P}$ van -28% . Aangezien $\frac{\Delta Q}{Q}$ nog altijd $0,6\%$ is (zoals in de eerste configuratie), zien we op Figuur 7-9 dat dit $\left(\frac{\Delta P}{P}; \frac{\Delta Q}{Q}\right)$ koppel ver van de NDZ ligt.



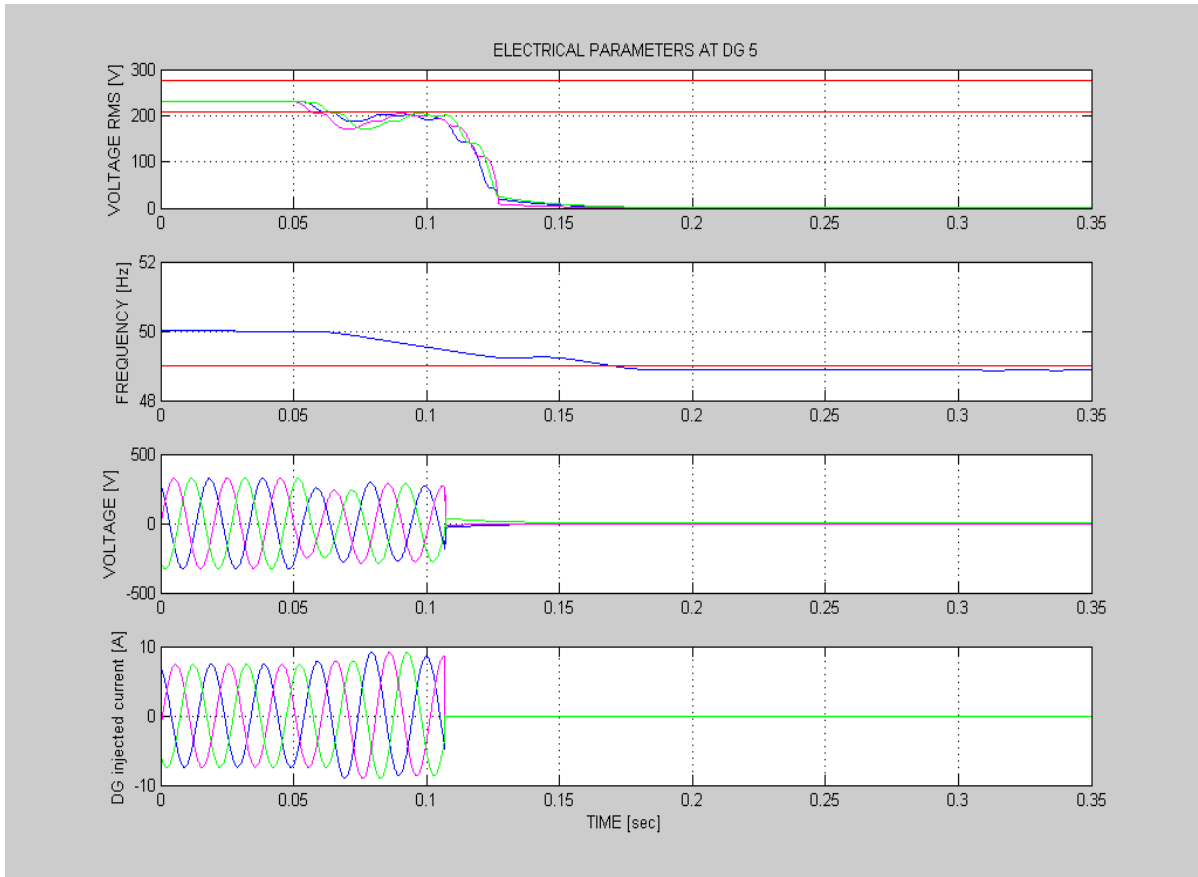
Figuur 7-15 Uitwisseling van actief en reactief vermogen tussen het LS netwerk (dat in $t=0,05$ sec in eiland wordt gebracht) en zijn aangesloten MS netwerk (op Meetlocatie 1 van Figuur 7-11). Deze uitwisseling is het beeld van het vermogensonevenwicht in het eiland.

Figuur 7-16 en Figuur 7-17 bevestigen duidelijk de afwijkingen van de spanning en de frequentie ten opzichte van hun nominale waarde zodra het LS netwerk in eiland wordt gebracht. De RMS-waarden van de spanning wordt snel kleiner dan de limietwaarde van de ontkoppelingsbeveiligingen. Dit veroorzaakt de afschakeling van de decentrale generatoren. De eilandwerking is dus gedetecteerd en verwijderd.



Figuur 7-16 RMS-waarden van de spanning (3 fasen), spanningsfrequentie, spanningsgolfvorm en de door DG 1 geïnjecteerde stroom op Meetlocatie 2 (zie Figuur 7-11). In $t=0,05$ sec wordt het LS netwerk in eiland gebracht. De rode lijnen op de twee eerste grafieken zijn de tripwaarden van de ontkoppelingsbeveiliging (zie Tabel 7-1)

In Figuur 7-16 Figuur 7-17 lijkt de frequentie niet verder te zakken dan net onder de 49 Hz. In Matlab is dit echter de frequentie van de nulspanning en heeft verder geen betekenis. De frequentie is na disconnectie van het LS- net natuurlijk 0 Hz, Matlab berekent in deze situatie de frequentie van het ruissignaal van een netwerk waarop geen spanningsbron meer is aangesloten.

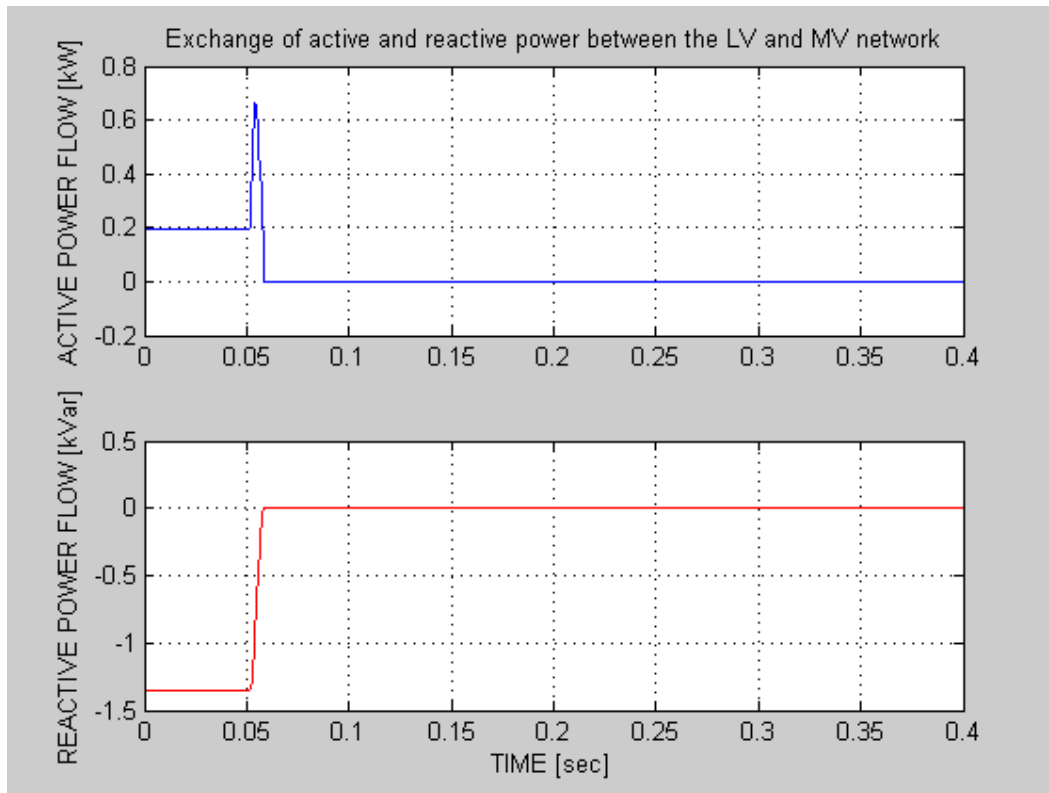


Figuur 7-17 RMS-waarden van de spanning (3 fasen), spanningsfrequentie, spanningsgolfvorm en de door DG 5 geïnjekteerde stroom op Meetlocatie 3 (zie Figuur 7-11). In $t=0,05$ sec wordt het LS netwerk in eiland gebracht. De rode lijnen op de twee eerste grafieken zijn de tripwaarden van de ontkoppelingsbeveiliging (zie Tabel 7-1)

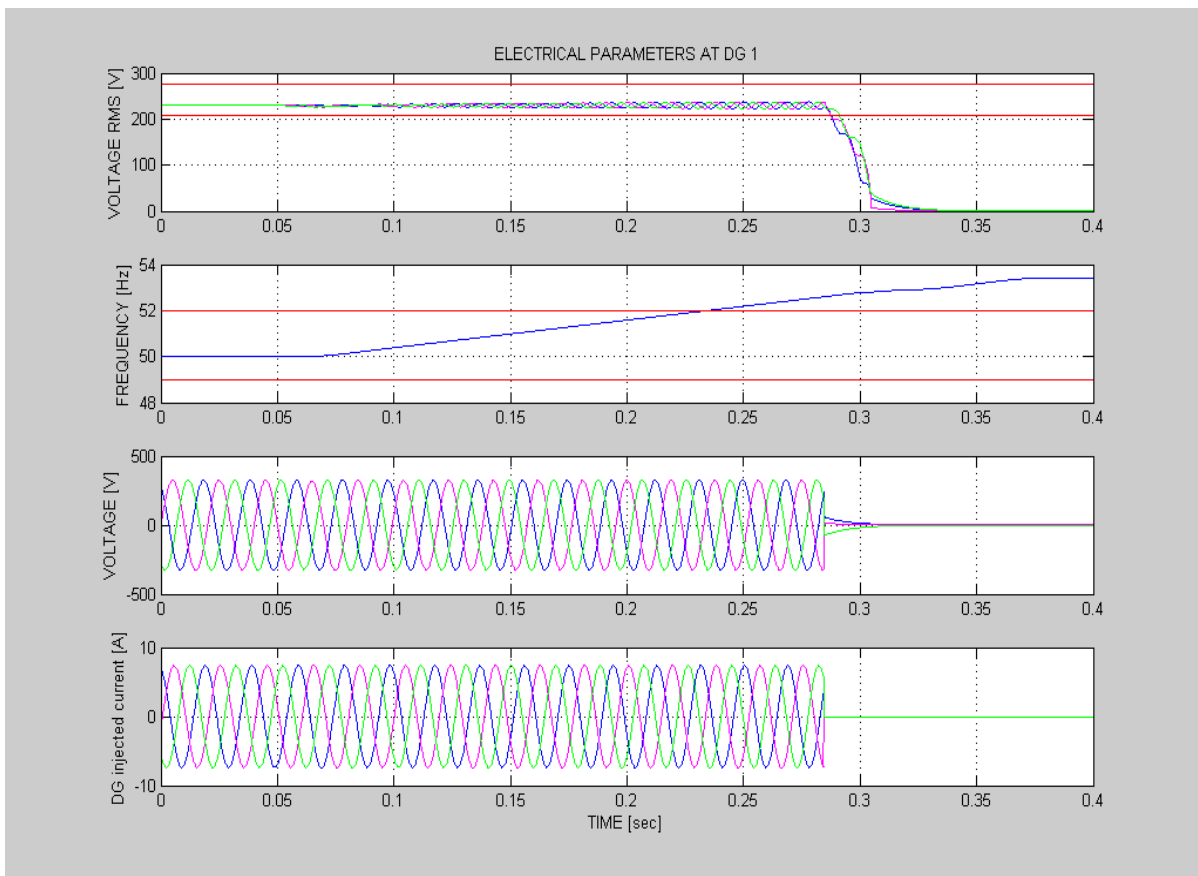
7.2.5 Resultaten voor een belangrijke reactieve vermogensonevenwicht ($\Delta P \approx 0$ en $\Delta Q \neq 0$)

Alle parameters behouden de zelfde waarden als in de eerste paragraaf (waar $\Delta P \approx 0$ en $\Delta Q \approx 0$), behalve het reactief vermogen van de belasting dat nu 1 kVAR is (in plaats van $0,72 \text{ kVAR}$).

Zoals te zien in Figuur 7-18, veroorzaakt dit een ΔQ van ongeveer -1.4 kVAR wat overeenkomt met een $\frac{\Delta Q}{Q}$ van -28% . Aangezien $\frac{\Delta P}{P}$ nog altijd $0,8\%$ is (zoals in de eerste configuratie), toont Figuur 7-9 dat dit $\left(\frac{\Delta P}{P}; \frac{\Delta Q}{Q}\right)$ koppel ver van de NDZ ligt.

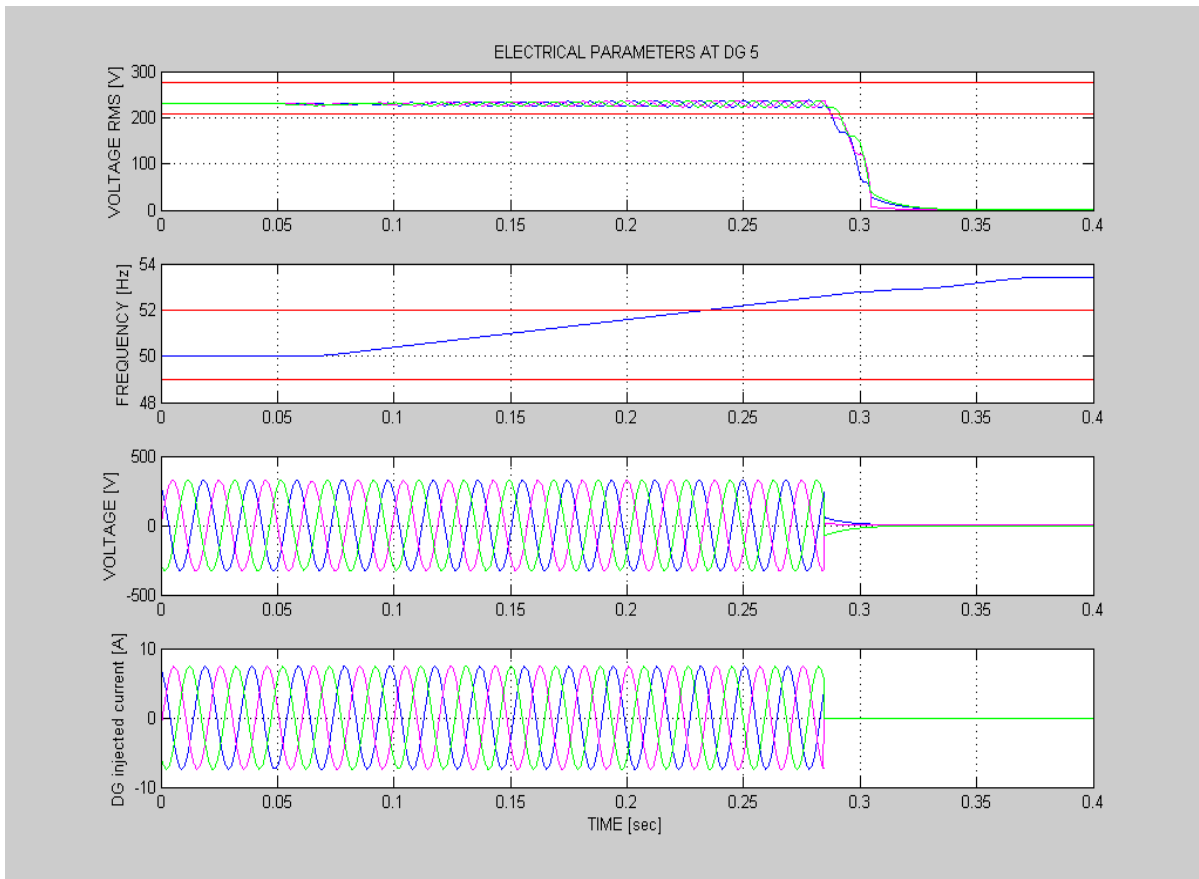


Figuur 7-18 Uitwisseling van actief en reactief vermogen tussen het LS netwerk (dat in t=0,05 sec in eiland wordt gebracht) en zijn aangesloten MS netwerk (op Meetlocatie 1 van figuur 10 B). Deze uitwisseling is het beeld van het vermogensonevenwicht in het eiland.



Figuur 7-19 RMS-waarden van de spanning (3 fasen), spanningsfrequentie, spanningsgolfvorm en de door DG 1 geïnjecteerde stroom op Meetlocatie 2 (zie Figuur 7-11). In $t=0,05$ sec wordt het LS netwerk in eiland gebracht. De rode lijnen op de twee eerste grafieken zijn de tripwaarden van de ontkoppelingsbeveiliging (zie Tabel 7-1)

Figuur 7-19 bevestigen duidelijk de afwijkingen van de frequentie die snel de maximale waarde van de ontkoppelingsbeveiligingen zal bereiken. Zolang dat de decentrale generatoren in werking blijven, houden de spanningsniveaus aanvaardbare waarden. Zodra de DG wegens te hoge frequentie afgeschakeld wordt, zal de spanning in het eiland netwerk natuurlijk naar nul gaan.



Figuur 7-20 RMS-waarden van de spanning (3 fasen), spanningsfrequentie, spanningsgolfvorm en de door DG 5 geïnjecteerde stroom op Meetlocatie 3 (zie Figuur 7-11). In $t=0,05$ sec wordt het LS netwerk in eiland gebracht. De rode lijnen op de twee eerste grafieken zijn de tripwaarden van de ontkoppelingsbeveiliging (zie Tabel 7-1)

7.2.6 Aanpassingen die een stabiele eilandwerking in een LS- netwerk mogelijk maken

7.2.6.1 BEHOEFTE AAN EEN SPANNINGSREGULATOR

De sectie 7.2.1 heeft bewezen hoe smal de NDZ was en hoe snel de frequentie en het spanningsniveau afwijken buiten dit NDZ. Aangezien de mogelijke aansluiting van grote belastingen zoals **elektrische auto's en E- warmtepompen**, de kans voor een stabiele eilandwerking is bijna nul zonder aanpassingen. Het gebruik van opslagmiddelen gekoppeld aan een tweerichting gecontroleerde omvormer is essentieel om de actief en reactieve vermogensniveaus te behouden zodat de spanning en de frequentie in het eiland in aanvaardbare intervallen blijven.

7.2.6.2 KORTSLUITVERMOGEN PROBLEMEN

Zoals boven gezegd, is de kortsluitstroom van decentrale generatoren die via een omvormer aangesloten zijn tot ongeveer 1,5 maal de nominale stroom begrensd. In eilandwerking zijn deze decentrale generatoren de enige bronnen van kortsluitstroom. Zonder aanpassing van de overstrombeveiligingen zullen ze dus waarschijnlijk niet werken in het geval van een kortsluitstroom. Nauwkeurige berekeningen of simulaties zijn noodzakelijk om de nieuwe beveiligingsregelingen vast te stellen. Deze beveiligingen moeten inderdaad niet te gevoelig worden gemaakt om ongewenste opening te vermijden in het geval van een grote belasting aansluiting, zoals het opladen van elektrische auto's.

7.3 ALGEMENE CONCLUSIE

Als eindconclusies van deze studie rondom beveiligingsproblematiek in laagspanningsnetwerken met een grote hoeveelheid van decentrale opwekkers gelden:

- Door simulaties in een “worstcase” situatie, hebben is vastgesteld dat de “**blinding**” van de beveiliging op de feeder met het kortsluiting, als gevolg van de bijdrage van de DG's aan de foutstroom, zeer onwaarschijnlijk in de Nederlandse laagspanningsnetwerken is.
- Vergelijkbaar met Blinding, simulaties tonen dat “**false-tripping**” van de beveiliging op een feeder in parallel met het defect feeder normaal gezien niet zal optreden. Alleen decentrale kortsluitvermogen > 500 kVA per feeder zou een false-tripping kunnen veroorzaken. Een zo groot vermogen op een LS feeder is echter onwaarschijnlijk.
- Omwille van veiligheidsredenen van het personeel en apparatuur, is de **eilandwerking** van een deel van het distributienetwerk verboden. De ontkoppelingsbeveiliging van kleine (< 16 A per fase) generatoren is gebaseerd op spanning en frequentie variatie. Door middel van een theoretische studie en simulaties is aangetoond dat voor sommige combinaties van actieve en reactieve vermogen onevenwicht in het eiland het spanningsniveau en de frequentie aanvaardbare waarden houden om is-

landing te bewerkstellen. In deze specifieke gevallen wordt de eilandwerking niet gedetecteerd. Deze "Non Detection Zone" is maar zeer nauw, zodat de eilandwerking in de overgrote meerderheid van de gevallen wordt gedetecteerd.

8. Economische analyse

8.1 Inleiding

De taak van de regionale netbeheerders is het aanleggen en beheren van onder andere de MS- en LS netten in Nederland. Hun taak is faciliterend, dat wil zeggen dat een aanvraag voor een normale aansluiting op het LS –net altijd mogelijk gemaakt moet worden. Deze aansluiting kan gebruikt worden voor afname maar ook voor teruglevering. Als deze nieuwe aansluiting ervoor zorgt dat het LS- net verzwaaard moeten worden, zijn deze kosten voor de netbeheerder.

Aan de hand van de gevonden knelpunten in hoofdstuk 5 worden de kosten bepaald die een netbeheerder moet maken om deze knelpunten te verhelpen. Deze oplossingen zijn conventioneel, dat wil zeggen het verzwaren van de MS/LS transformator, verzwaren MS- net, verzwaren LS- net of het veranderen van de trapstand van de MS/LS transformator (in geval van problemen met de spanningshuishouding).

Van niet conventionele oplossingen zoals vermogenselektronica, batterijopslag of sturing zullen de kosten niet worden berekend.

De impact van de scenario's op de netverliezen wordt in dit onderzoek niet verder onderzocht. Voor deze cijfers verwijzen we u naar het document HERMES Dossier 2 welke in September 2009 wordt opgeleverd.

8.2 Kwantificering van de verschillende kosten

In deze paragraaf worden de bijkomende kosten die een netbeheerder heeft om een bepaald scenario in een bepaalde type wijk mogelijk te maken gekwantificeerd. Bij deze kwantificering wordt uitgegaan van de volgende bedragen per (deel)oplossing (interne kostprijzen netbeheerders):

Trapstandaanpassing:		EUR 2.400/keer
Nieuwe transformator (inclusief plaatsen etc.):	400 kVA	EUR 10.000
	630 kVA	EUR 12.000
	1000 kVA	EUR 15.000 (geen standaard oplossing)
	1600 kVA	EUR 22.000 (geen standaard oplossing)
Nieuwe LS- kabel ter vervanging oude LS- kabel (gemiddeld inclusief graafwerkzaamheden):		EUR 60/meter

De kosten voor uitbreiding van het MS- net kunnen niet bepaald worden. Het MS- net is wel gedeeltelijk gemodelleerd en gesimuleerd echter normaal zitten tot 10 wijken in een halve ring- structuur van het MS- net, er is gesimuleerd met een enkele wijk. Daardoor kunnen de mogelijke problemen die op middenspanning ontstaan door inpassen van de scenario's niet worden ingeschat.

Exel

In Tabel 8-1 staan de kosten in KEURO die de netbeheerder moet maken om in een bestaande wijk en scenario 'Business as usual' de zes scenario's beschreven in deze studie mogelijk te maken. In dit geval gaat het om het dorp Exel bij Lochem.

Tabel 8-1 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor het dorp Exel

Scenario	2	3		4				5		6	7	
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na		Voor	Na
				15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²			
Transformator	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10
LS- kabel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trapstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

In Exel staat een transformator van 160 kVA. Bij de scenario's met elektrische warmtepompen wordt deze vaak overbelast. Dit ligt ook voor de hand, tijdens een extreme situatie (koude winter als in '08/'09) kan het gelijktijdig gebruik van een huishouden oplopen tot 8 kWe. Bij aansluiting van 20 woningen wordt het nominale vermogen van de transformator al bereikt. In Exel staan tientallen woningen, een vergroting van het transformator vermogen naar 400 kVA is vereist om de scenario's met elektrische warmtepompen mogelijk te maken.

Epse

Tabel 8-2 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor het dorp Epse

Scenario	2	3		4				5		6	7	
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na		Voor	Na
				15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²			
Transformator	10	0	0	12	12	12	12	22	22	22	15	15
LS- kabel	0	0	0	0	0	0	0	75	75	75	75	75
Trapstand	0	0	0	2,4	0	2,4	0	0	0	0	0	0

In Epse staat een transformator van 250 kVA. Bij een scenario waarin 50% van de huishoudens, evenredig verdeeld over de afgaande kabels, een airconditioning heeft van 2 kWe zal in een warme zomer bij veel vraag naar koeling de transformator overbelast raken. De transformatorcapaciteit moet uitgebreid worden naar 400 kVA. Ook bij scenario's met grootschalig PV komt de huidige transformatorcapaciteit te kort en is de spanning bij ingestelde secundaire spanning van 420V aan het eind van afgaande kabels mogelijk te hoog.

Bij de scenario's met elektrische warmtepompen wordt de MS/LS transformator en alle kabels vaak (zwaar) overbelast. De transformatorcapaciteit moet verzesvoudigd worden (1600 kVA) en alle afgaande kabels moeten vervangen/bijgelegd worden. Waar in de huidige situatie 150 mm² Al ligt moet 2x150 mm² Al gelegd worden, in geval van 95 mm² Al, 2x95 mm²Al. Uitgaande van een gemiddelde lengte van 250m en vijf afgaande kabels ter vervanging komt dit neer op een kostenpost van EUR 75.000.

Westbroekpark

Tabel 8-3 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Westbroekpark

Scenario	2		3		4		5		6		7	
			Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na			Voor	Na
					15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²		
Transformator	10	0	0	12	12	12	12	24	24	24	10	10
LS- kabel	0	0	0	30	30	30	30	78	78	78	27	27
Trapstand	0	0	0	2,4	2,4	0	0	0	0	0	0	0

Het gedeelte van het Westbroekpark dat gesimuleerd is in Vision wordt vermaasd bedreven, de voeding van het gemodelleerde LS- net gebeurt dus van uit verschillende transformatoren en ook kabels worden dus van twee kanen gevoed. Voor de kosten te berekenen wordt uitgegaan van een worst case situatie, dus wanneer het LS- net radiaal bedreven wordt doordat andere voedende transformatoren in onderhoud of storing zijn. Op dat moment wordt het LS- net gevoed door twee transformatoren van 250 kVA in parallel.

In het scenario met airco worden de transformatoren niet overbelast maar wel met meer dan 50% belast in vermaasd bedrijf. De kosten zijn bepaald zodat kabels en transformatoren in vermaasd bedrijf onder de 50% belasting blijven. De inpassing van microwkk kan zonder problemen, in combinatie met PV ontstaan capaciteitsproblemen, zowel op kabel- als transformatorniveau. Inpassing van elektrische warmtepompen is groot-schalig onmogelijk zonder het vergroten van de transformatorcapaciteit en verzwaren van de kabels.

Lombardijen

Tabel 8-4 Kosten in KEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Lombardijen

Scenario	2		3		4		5		6		7	
			Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na			Voor	Na
					15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²		
Transformator	12	0	0	15	15	12	12	12	12	15	0	0
LS- kabel	0	0	0	30	30	24	24	24	0	24	0	0
Trapstand	0	0	0	2,4	2,4	2,4	2,4	0	0	0	0	0

Het gemodelleerde gedeelte van het LS- net in Lombardijen wordt radiaal bedreven. De voeding bestaat uit een 400 kVA transformator, secundair ingesteld op 420V. Op dit net zitten voornamelijk flatwoningen aangesloten, dit beperkt de scenario's met warmtepompen. De resultaten van scenario 5,6 en 7 moeten daarom voorzichtig beschouwd worden.

Het inpassen van airconditioning is mogelijk door het vergroten van de transformatorcapaciteit naar 630 kVA. Inpassing van microwkk levert wederom geen problemen op, echter de inpassing van PV op de daken van de flats inclusief een microwkk per flatwoning zal grote investeringen vereisen. Ook de spanning voldoet niet meer aan de eisen gesteld in de EN50160. Zoals eerder vermeld zijn de scenario's met elektrische warmtepompen nauwelijks toepasbaar in deze wijk, de simulatieresultaten kunnen daarom geen duiding geven op de (on)mogelijkheid hiervan. Echter bij geringe inpassing (in de woningen waar het wel mogelijk is) geeft al problemen in het LS- net, grootschalige inpassing is dus helemaal onmogelijk zonder grote aanpassingen aan het LS- net.

Nootdorp

Tabel 8-5 Kosten in KEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Nootdorp

Scenario	2		3		4		5		6		7	
			Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na			Voor	Na
					15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²		
Transformator	0	0	0	12	12	0	0	12	12	12	0	0
LS- kabel	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32	0	0
Trapstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Het LS- net in het gesimuleerde gedeelte van Nootdorp wordt gevoed door een 400 kVA transformator. De koppeling van LS- kabels in LS- kasten wordt als onderbroken gezien. De problemen in het LS- net ontstaan bij inpassing van microwkk samen met grootschalig PV. De spanningen blijven binnen de limieten. Bij de inpassing van warmtepompen moeten ook LS- kabels verzwakt worden.

De mogelijkheid om LS- kabels te koppelen in LS- kasten kan problemen wegnemen. Dit zou als tijdelijke oplossing kunnen dienen. Bij storing opwaarts, of in een LS- kast, moet wel al het vermogen geleverd kunnen worden door de voedende transformator. De mogelijkheid tot het koppelen in LS- kasten moet situatie per situatie bekeken worden.

Betondorp

Tabel 8-6 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Betondorp

Scenario	2	3		4				5		6	7	
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	15 m ²	8 m ²		Voor	Na
				15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²					
Transformator	0	0	0	10	10	0	0	22	22	22	12	12
LS- kabel	0	0	0	0	0	0	0	96	96	96	15	15
Trapstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Het LS- net van Betondorp kan vermaasd bedreven worden als koppelingen van LS- kabels in LS- kasten gemaakt worden. Bij de simulaties is verondersteld dat dit niet het geval is. De voeding bestaat uit een 315 kVA transformator. Inpassing van airconditioning en microwkk levert geen problemen op voor het LS- net. Grootschalig PV met microwkk zorgt voor overbelasting van de transformator. De inpassing van elektrische warmtepompen vereist een verviervoudiging van het huidige transformatorvermogen en de verzwaring van de LS- kabels. Dit is een grote kostenpost. Koppeling van de LS- kabels kan in scenario 4 de problemen wegnemen, voor het scenario's met elektrische warmtepompen is dit geen oplossing.

Statenkwartier

Tabel 8-7 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Statenkwartier

Scenario	2	3		4				5		6	7	
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	15 m ²	8 m ²		Voor	Na
				15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²					
Transformator	10	0	0	24	24	20	20	24	24	24	0	0
LS- kabel	0	0	0	24	24	24	24	48	48	48	0	0
Trapstand	0	0	0	2,4	2,4	0	0	0	0	0	0	0

Het LS- net achter MS/LS station A400 wordt vermaasd bedreven en hoofdzakelijk gevoed door twee transformatoren van 250 kVA in parallel. In scenario 2 is het nodig 1 transformator van 250 kVA te vervangen door een van 400 kVA om de bedrijfszekerheid in gestoorde toestand (wanneer men het net radiaal wil gaan bedienen) te garanderen. Microwkk kan onbeperkt worden ingepast, ook qua spanningshuishouding. Zodra

echter grootschalig PV en/of warmtepompen worden ingepast moet de transformatorcapaciteit en het LS-net verzaard worden.

Schilderswijk

Tabel 8-8 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Schilderswijk

Scenario	2		3		4				5		6		7	
			Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na					Voor	Na
					15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²				
Transformator	12	0	0	30	30	22	22	15	0	0	0	0	0	
LS- kabel	72	24	24	84	84	84	84	48	24	0	0	0	0	
Trapstand	0	0	0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	0	0	0	0	0	

In het gedeelte van de Schilderswijk waar de studie over gaat staat een transformator van 200 en 400 kVA parallel. Bij een scenario waarin 50% van de huishoudens, evenredig verdeeld over de afgaande kabels, een airconditioning heeft van 2 kWe zullen in een warme zomer bij veel vraag naar koeling de transformatoren overbelast raken. De transformatorcapaciteit moet uitgebreid worden naar in totaal 2x630 kVA. In het scenario 2, waar alle huishoudens een microwkk van 1 kWe hebben, zijn er geen problemen met de transformatoren te verwachten. Wel worden enkele LS- kabels voor meer dan 50% belast wat in een gestoorde bedrijfs-toestand tot problemen zou kunnen leiden. Bij de scenario's met microwkk EN veel PV worden de MS/LS transformatoren en een gedeelte van de kabels vaak (zwaar) overbelast. De transformatorcapaciteit moet uitgebreid worden naar 2x1000 kVA en enkele afgaande kabels moeten in capaciteit verdubbeld worden (1400 m). Omdat in deze wijk nauwelijks warmtepompen worden toegepast LIJKT er geen probleem met warmtepompen. Dit is natuurlijk NIET zo, dit is gewoonweg niet doorgerekend. Omdat er problemen zijn door veel PV, door teveel teruglevering, ontstaan er zeker problemen met elektrische warmtepompen omdat dit een extra vraag betekend bovenop de normale vraag.

Kijkduin

Tabel 8-9 Kosten in kEUR per benodigde aanpassing per scenario voor de wijk Kijkduin

Scenario	2		3		4				5		6		7	
			Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na					Voor	Na
					15 m ²	15 m ²	8 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²				
Transformator	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	10	10	
LS- kabel	0	0	0	0	0	0	0	0	48	48	48	18	18	
Trapstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Het LS- net van Kijkduin wordt vermaasd bedreven, daardoor wordt een limiet gesteld aan de belasting van netcomponenten van 50%. Omdat Kijkduin een zeer lage woningdichtheid heeft (Villawijk) ontstaan er alleen problemen wanneer elektrische warmtepompen worden ingepast.

8.3 Conclusie

De kosten voor het verzwaren van het distributienet, midden- of laagspanning, worden in een normale situatie gedragen door de netbeheerder. Ook als deze verzwaring noodzakelijk is voor het mogelijk maken van nieuwe of zwaardere connecties van aangeslotenen. Voor de scenario's in dit onderzoek is bekeken op welke kosten de netbeheerder moet rekenen om hun klanten naar tevredenheid te kunnen voeden.

Het eerste scenario, business as usual, gaat uit van profielen met normaal gebruik (koelkast, TV, PC etc.) en hebben alle huishoudens hebben een gasaansluiting. In dat geval is er in alle gesimuleerde woonmilieus nog voldoende ruimte voor kleine uitbreidingen, in ieder geval is een betrouwbare bedrijfsvoering gegarandeerd. Ook de inpassing van airconditioning is meestal geen probleem. Opvallend is het dorpse woonmilieu, Epse, waar beperkte ruimte is. De inpassing van veel (lees meer dan 50% van de huishoudens een airco van 2 kWe) geeft zeker problemen op transformatorniveau. Ook bij minder dan 50% inpassing raakt de transformator al overbelast, dit hoeft echter niet problematisch te zijn (afhankelijk van de duur, ouderdom transformator, koeling etc.). Een investering van 10.000 euro om de transformator te vervangen door een zwaarder exemplaar zou in het gesimuleerde geval al een oplossing bieden. De kabels bieden namelijk wel voldoende ruimte. Nagegaan moet worden of de belasting van andere LS- netten in dorpse woonmilieus ook voldoet aan de resultaten uit dit onderzoek.

De introductie van microwkk (1 kWe op huishoudelijk niveau) brengt voor de netbeheerder weinig extra kosten met zich ten aanzien van het verzwaren van het LS- net. Dit is ook logisch aangezien men nu al rekening houdt met een afname van 1,2 kVA per woning (als belasting). Ook de spanningshuishouding voldoet aan de Netcode.

Photovoltaïsche panelen (PV) kunnen meestal zonder problemen ingepast worden, echter afhankelijk van het type LS- net, vermaasd/radiaal en type woonmilieu stads/dorps/etc., kan de grens liggen bij 8 m² per huishouden. Zeker de combinatie van PV met microwkk kan al snel tot problemen met transformatoren en LS- kabels leiden. Ook de spanningshuishouding voldoet in sommige gevallen niet meer aan de normen gesteld in de EN50160. De simulatieresultaten laten zien dat voorzichtigheid is geboden in huidige LS- netten voor de introductie van microwkk plus PV. De kosten om toch microwkk plus PV in te passen daar waar problemen geconstateerd zijn (uiteenlopend van 0 euro tot 120.000 euro afhankelijk van het woonmilieu), kunnen teruggevonden worden in de kostentabellen in dit hoofdstuk.

Elektrische warmtepompen ter vervanging van HR ketels zijn een bedreiging voor de meeste huidige LS- netten in Nederland. Door de relatief hoge vraag van deze belastingen kan het LS- net verzwaaard moeten

worden. Dit begint bij een kleine penetratie op transformatorniveau, waarna ook de LS- kabels het vermogen niet meer kunnen transporteren. De enige echte oplossing, behalve sturing, is het vervangen van hoofdzakelijk alle LS- kabels en MS/LS transformatoren. Om deze hoge investeringen, uiteenlopend van 10.000 euro tot 100.000 euro afhankelijk van het woonmilieu, te vermijden moet gekeken worden of 'slimmere' oplossingen mogelijk zijn. Echter in worst case situaties blijft men toch over met een veel hogere vraag dan de 1,2 kVA per woning waar nu rekening mee gehouden wordt. Investeren in de huidige LS- netten om (grootschalige) inpassingen van elektrische warmtepompen mogelijk te maken, lijkt onvermijdelijk.

9. Conclusie en aanbevelingen

De in dit project bepaalde karakteristieke wijken en woningen voor Nederland (fase A1), zijn doorgerekend met de meest waarschijnlijke scenario's uit HERMES DG 2. De afstemming en afbakening is gebeurd in samenspraak met de stuurgroep HERMES DG. Besloten werd om wijken waarvan verwacht werd dat ze een zwak LS- net hadden icm met een hoge woningdichtheid uitvoerig te bestuderen/simuleren. Het landelijke perifere en dorpse woonmilieu werden als minder relevant beschouwd, problemen leken in eerste instantie hier niet te ontstaan. Daarom zijn van deze twee woonmilieus maar van ieder één gemodelleerd/gesimuleerd.

Voor de scenario's werd beslist om met een 'worst case' benadering te werken, bijvoorbeeld een 100% gelijktijdigheid voor warmtepompen op een koude winterdag of alle woningen met PV op het zuiden. Op deze manier zijn de zwakke plekken in een LS- net makkelijk te identificeren. Problemen met het MS- net zijn niet naar voren gekomen vanwege het bekijken van hoofdzakelijk één LS- net aangesloten op een MS- ring. Over de ruimte in MS- netten wordt in dit onderzoek geen uitspraak gedaan.

De LS- netten van de negen verkozen woonwijken zijn met behulp van informatie uit de databases van de netbeheerders gemodelleerd in Vision van PhaseToPhase. De modellering is nauwkeurig gebeurd, vooral wanneer er sprake was van een vermaasd net. Er is beslist om LS- kabels NIET te koppelen in LS- kasten, dit om de worst case benadering te houden. Wel is rekening gehouden met de voeding van LS- kabels vanaf twee MS/LS stations. Bij de beoordeling van de belasting van afgaande kabels is rekening gehouden met de manier van voeding. Ook is besloten om bij een vermaasd net een maximale belasting van 50% voor de LS- kabels aan te houden. In de praktijk wordt deze grens vaak niet zo streng toegepast.

Een landelijk perifere woonmilieu, als voorbeeld is Exel nabij Lochem genomen, biedt veel kansen voor inpassing van DG's en airconditioning, beperkte ruimte voor elektrische warmtepompen en voldoende ruimte voor het laden van elektrische auto's. Door de lange kabels ontstaan relatief grote spanningsschommelingen bij wisselende belastingen (afname of teruglevering). Echter door de relatief zware kabels en de lage woningdichtheid ontstaan pas problemen bij hoge penetraties aan elektrische warmtepompen. Het inpassen van grootschalig PV (45 m² bij een boerderij) aan het eind van een lange LS- kabel, levert geen problemen op met de spanningshuishouding.

In de dorpse woonmilieus in Nederland lijkt de ruimte voor uitbreiding in het LS- net beperkt. De simulatie is uitgevoerd voor Epse, in de gemeente Lochem. Alleen het inpassen van microwkk kan onbeperkt zonder problemen te creëren met de capaciteit van transformatoren en kabels of de spanningshuishouding. De eerste problemen ontstaan op transformatorniveau, zoals bij de inpassing van grote hoeveelheden airconditioning (50% van de huishoudens 2 kWe). De combinatie van microwkk plus PV kan maar zeer beperkt zonder aanpassingen aan het LS- net. Elektrische warmtepompen kunnen nauwelijks ingepast worden door de relatief hoge woningdichtheid icm de hoge verbruiken van de woningen (gemiddeld 4000 à 5000 kWh/j). Hoge

investeringen zijn nodig om warmtepompen of grootschalig PV plus microwkk in te passen. Verder is het verstandig na te gaan of andere dorpse woonmilieus eenzelfde situatie van het LS-net als in Epse kennen.

In het stedelijk naoorlogse (compact) woonmilieu Lombardijen staan veel flatwoningen. Dit woonmilieu komt relatief veel voor in Nederland. Door het grote aantal flats kunnen de scenario's maar beperkt worden ingepast (geen elektrische warmtepomp en relatief weinig dakoppervlak voor PV). De inpassing van airconditioning, PV en elektrische warmtepompen vereist al bij een kleine penetratiegraad aanpassingen aan het LS-net. Microwkk kan wel onbeperkt worden ingepast, per flatwoning een microwkk is geen probleem voor het LS-net (er is geen simulatie uitgevoerd voor de situatie IN de flat). Betondorp behoort tot hetzelfde woonmilieu maar bevat meer vrijstaande en rijtjeswoningen. Airconditioning en microwkk kan hier zonder meer worden ingepast. Elektrische warmtepompen vereisen netverzwaring waaraan hoge kosten zijn verbonden.

Nootdorp kent een stedelijk naoorlogs grondgebonden woonmilieu met een mix aan woningtypes. Door de lagere woningdichtheid ten opzichte van het woonmilieu stedelijk naoorlogs compact, ontstaan er pas problemen met de capaciteit van kabels en transformatoren wanneer microwkk gecombineerd wordt met PV of elektrische warmtepompen grootschalig worden ingepast. In het algemeen zullen stedelijke woonmilieus met een groot percentage vrijstaande en rijtjeswoningen veel minder snel problemen ondervinden dan de stedelijke woonmilieus met veel flatwoningen. Uiteraard is er een verschil met de mogelijkheid tot het inpassen van de scenario's, echter airconditioning wordt in alle woonmilieus als toepasbaar gezien.

Centrumstedelijke wijken zijn er in Nederland niet zoveel (37). Wel worden ze vaak gerenoveerd, ze bepalen het 'gezicht' van een stad. De Schilderswijk in Den Haag is een mooi voorbeeld van een centrumstedelijke wijk met vooral portiekwoningen. Deze wijk met het bijbehorende LS-net biedt redelijk ruimte voor uitbreiding met airconditioning in vermaasd bedrijf. Kenmerk van een centrumstedelijke wijk is de zeer hoge woningdichtheid. Als het LS-net hier vroeger bij aanleg niet op berekend was is de inpassing van airco beperkt mogelijk. De inpassing van microwkk kan onbeperkt, inpassing van PV wel of niet in combinatie met microwkk kan al snel tot problemen leiden (bij meer dan 1,1 kWp per woning). Elektrische warmtepompen kunnen niet/nauwelijks ingepast worden en dit is ook niet waarschijnlijk vanwege de grote impact op de woning.

Binnen het stedelijk vooroorlogse woonmilieu is het Statenkwartier gesimuleerd. Het LS-net is vrij zwaar uitgelegd maar kent ook veel aansluitingen per afgaande kabel. Ook wordt het net vermaasd bedreven waardoor er voldoende capaciteit is voor inpassing van airconditioning, PV en microwkk. Elektrische warmtepompen leiden snel tot overbelaste transformatoren.

Ook zijn twee groen stedelijke wijken gesimuleerd, het Westbroekpark en Kijkduin. Beide LS-netten worden vermaasd bedreven en kennen relatief veel ruimte voor inpassing van de scenario's. Dit is mede mogelijk door de zware kabels icm lage woningdichtheid. Meestal is de transformatorcapaciteit de eerste bottleneck.

De inpassing van elektrische warmtepompen is problematisch, zowel qua capaciteit van kabels en transformatoren als op het gebied van de spanningshuishouding. Uitbreiding van het LS-net is in alle gesimuleerde wijken vereist. Het inpassen van microwkk kan in alle wijken onbeperkt, icm met PV ontstaan vaak problemen met de capaciteit EN de spanningshuishouding. Opgelet moet worden met LS-netten die vermaasd bedreven worden. Door deze netten volledig uit te nutten, kunnen er problemen ontstaan bij storing of onderhoud aan voedende stations. Dit is aangegeven in deze studie en de grens is gezet op 50% belasting van afgaande kabels. Zodoende kan altijd de gehele feeder vanaf één kant gevoed worden. Over het MS-net kunnen geen uitspraken gedaan worden, deze zijn slechts gedeeltelijk en onvolledig gemodelleerd.

Elektrische voertuigen kunnen 'ongestuurd', 'slim', 'langzaam' en 'snel' opgeladen worden. Onderzocht is hoeveel elektrische voertuigen in huidige netten 'ongestuurd' (3 kWe gedurende 5h) opgeladen kunnen worden. Dit is uitgedrukt in het percentage EV's per woonwijk. Uitgegaan is van een evenredige verdeling over de wijk. De resultaten variëren van een maximum van 10% tot mogelijkheid tot laden van alle EV's tegelijkertijd. Opvallend is het dorpse woonmilieu, de ruimte in deze radiaal netten lijkt zeer beperkt. Uitgezocht moet worden of dit een algemeen beeld geldend beeld is voor dorpse woonmilieus.

Door 'iets slimmer' te laden, zoals de lader aangesloten op een tijdklok, kan het aantal op te laden auto's in een nacht eenvoudig verdubbeld worden. Technisch is dit zeer eenvoudig, het is meer een zaak de eigenaren van EV's te overtuigen van de noodzaak van 'slim' laden of ze te belonen wanneer ze meewerken aan een dergelijk vorm van sturing. In principe wordt hun privésfeer hiermee aangetast, wat als zeer onaangenaam ervaren kan worden. Dit vergt veel nader onderzoek om een uiteindelijk marktmodel te ontwikkelen waaraan iedereen wil/kan meewerken om zodoende een grootschalige inpassing van EV's mogelijk te maken.

Als onderdeel van dit onderzoek is bepaald of er problemen met beveiligingsfilosofie ontstaan wanneer veel DG wordt ingepast in een LS-net. De fenomenen 'blinding', 'false tripping' en 'islanding' zijn onderzocht. In de huidige LS-netten in NL is het optreden van 'blinding' door de bijdrage van DG's aan de kortsluitstroom zeer onwaarschijnlijk. Ook het fenomeen 'false tripping' heeft een zeer geringe kans van optreden. Pas bij een opgesteld DG vermogen van meer dan 500 kVA per LS-feeder bestaat er bij het falen van de overstroombeveiligingen van de DG's een kans op false-tripping. De mogelijke oplossingen om dit fenomeen te voorkomen zijn directionele beveiligingen, het reduceren van het DG kortsluitvermogen en afstandsrelais.

Eilandwerking, 'islanding', is in Nederland verboden vanwege veiligheidsredenen. Zodra een fout in het net gedetecteerd wordt moet de DG afschakelen. De kans dat de DG niet afschakelt is zeer klein, het spanningsniveau en de frequentie moeten in een zeer nauwe band, de 'Non Detection Zone (NDZ)' blijven. De kans om in deze NDZ terecht te komen is te verwaarlozen.

In Nederland, maar ook in andere landen, is regionale netbeheerder verantwoordelijk voor het beheer van de MS- en LS-netten. De aanpassingen die de netbeheerder aan het net moet maken voor de inpassing van

nieuwe belastingen of opwekkers komen op rekening van de netbeheerder. Deze kosten kunnen in veel scenario's hoog oplopen. De inpassing van microwkk's vereist in geen van de wijken aanpassingen aan het LS- net. Bij inpassing van microwkk plus PV zijn veelal investeringen nodig op transformator niveau. Het grootschalig inpassen van elektrische warmtepompen vereist, vanaf een bepaalde hoeveelheid en afhankelijk van de wijk, altijd (grote) aanpassingen aan het LS- net. De kosten kunnen, afhankelijk van de tijdsdruk en het type woonmilieu met bijbehorende LS- net, oplopen tot boven de EUR 100.000 per wijk (achter één MS/LS station). De netbeheerder moet ervoor zorgen dat hij minimaal op de hoogte is van het aantal en type van warmtepompen aangesloten in een wijk, zodat bij toename van het aantal warmtepompen tijdig aanpassingen gedaan kunnen worden.

Literatuurlijst

1. ABF Research, *14-deling Woonmilieus*
2. CENELEC *Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks Final DRAFT*. January 2007
3. Cijfers CBS. www.cbs.nl
4. Cijfers EnergieNed. www.energiened.nl
5. *CIRE paper 0887 Technical assessment of dispersed electric vehicles in medium voltage distribution networks*. 20th conference Prague 8-11 June 2009
6. EnergieNed. *Handleiding voor de elektrische installatie van netgekoppelde fotovoltaïsche (PV) systemen*. December 1998
7. EnergieNed. Technische aansluitvoorwaarden Decentrale elektriciteitsproductie-eenheden.
8. Kristien Clement, Edwin Haesen, Johan Driesen. *CIRE paper 0160 Stochastic analysis of the impact of plug-in hybrid electric vehicles on the distribution grid*. 20th conference Prague 8-11 June 2009
9. Michiel van Lumig, *HERMES DG 2*. Juli 2008
10. Resultaten onderzoek WoOn 2006

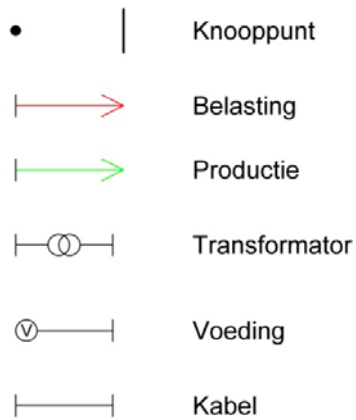
Websites:

1. <http://www.iea.org>. *Development of the most suitable infrastructure for commuter electric vehicles*. Oktober 2008
2. www.phasetophase.nl
3. www.vrom.nl
4. <http://www.schilderswijk.nl/>
5. <http://www.statenkwartier.net/>
6. <http://www.lowensteyn.com/betondorp/index.html>
7. <http://www.noitdorpsche-historien.nl/>
8. <http://www.woneninlombardijen.nl/do.php?fct=pages&op=showPage&pageld=242>
9. <http://kijkduin.uit-nederland.nl/>
10. <http://www.wittebrugpark.nl/bijlagen/ikapteynstreef/wbpgeschiedenis.htm>
11. <http://epse.plein.nl/specials/index.php?spec=overepse.html&titel=Over%20Epse>
12. [http://nl.wikipedia.org/wiki/Exel_\(dorp\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Exel_(dorp))
13. <http://www.pv-solar24.info/>

Appendix A Simulatieresultaten

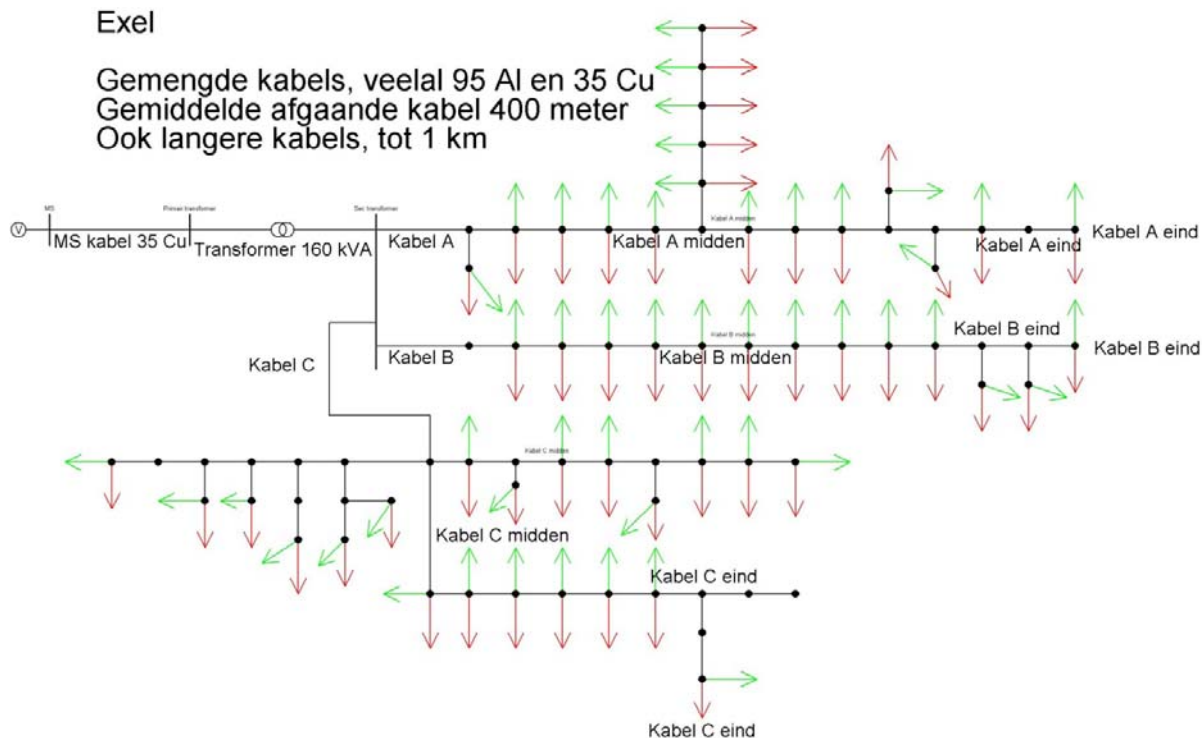
In deze appendix staan alle LS- modellen in Vision en alle simulatieresultaten per wijk en scenario.

De legenda horende bij de Vision modellen staat hieronder weergegeven.



Figuur 0-1 Legenda horende bij de Vision modellen van de woonwijken

Resultaten Exel



Figuur 0-2 :LS- model van Exel in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in Exel. In het geval een cel rood van kleur is, wordt de nominale belasting overschreden. Dit wil niet direct zeggen dat er een probleem is, maar wel een aandachtspunt. 'Voor' en 'Na' wil zeggen de belasting vóór en ná na-isolatie (bij scenario 5,6 en 7 niet van belang). In de grafieken staan zowel de maximale belastingen als de spanningshuishouding weergegeven met de datum waarop de maximum overschrijding bereikt werd.

Tabel 0-1 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
160 kVA transformator	34%	26%	23%	31%
Kabel A	11%	8%	7%	10%
Kabel B	6%	4%	4%	5%
Kabel C	12%	9%	8%	11%

Scenario 2 Business as usual met airco

Tabel 0-2 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
160 kVA transformator	34%	55%	57%	31%
Kabel A	11%	18%	19%	10%
Kabel B	6%	10%	10%	5%
Kabel C	12%	18%	19%	11%

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk

Tabel 0-3 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
160 kVA transformator	25%	25%	25%	25%	25%	24%	25%	25%
Kabel A	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Kabel B	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Kabel C	7%	7%	8%	8%	8%	8%	7%	8%

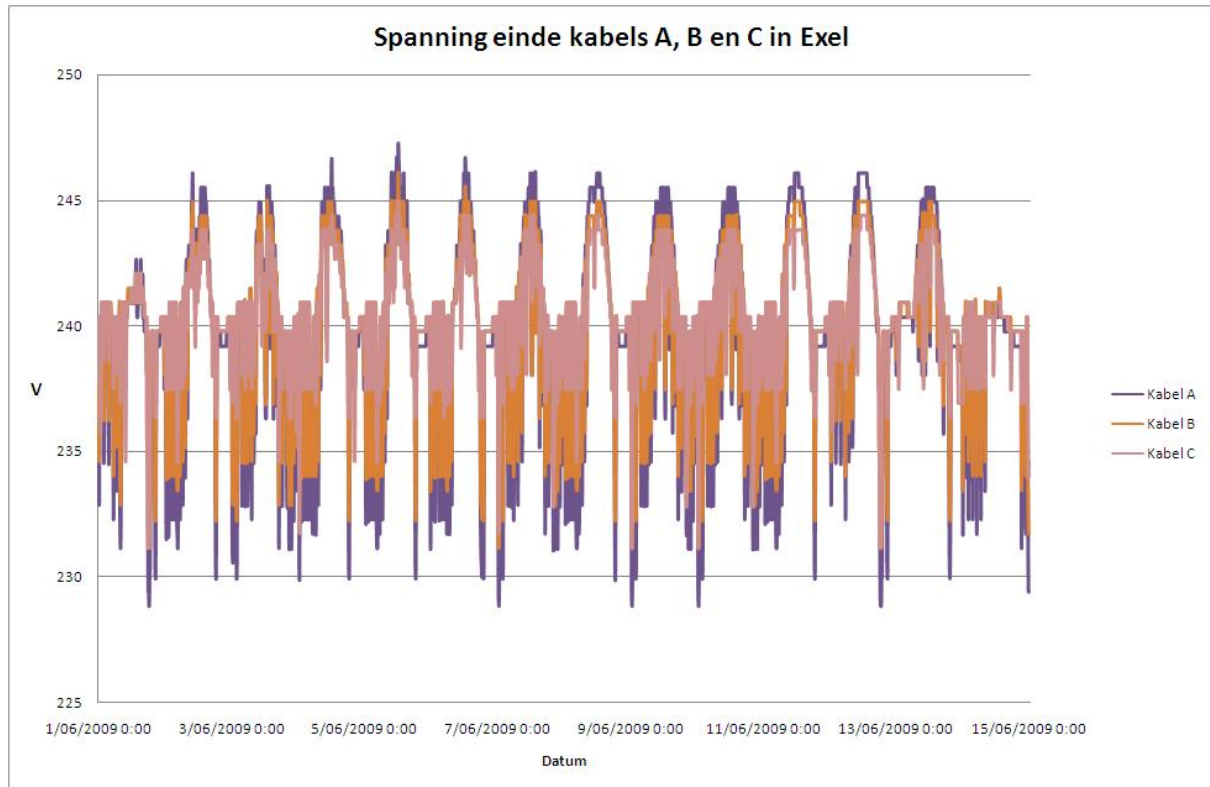
Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV**Tabel 0-4 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'**

Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
160 kVA transformator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	71%	46%	71%	46%	81%	52%	79%	50%	73%	46%	69%	45%	46%	45%	69%	45%
Kabel A	24%	15%	24%	15%	27%	17%	26%	17%	24%	16%	25%	16%	23%	15%	23%	15%
Kabel B	14%	9%	14%	9%	16%	10%	16%	10%	14%	9%	15%	9%	14%	9%	14%	10%
Kabel C	22%	14%	22%	14%	25%	16%	24%	15%	22%	14%	21%	14%	21%	14%	21%	14%

Volgens Tabel 0-1 t/m Tabel 0-4 zijn er geen problemen als de eerste vier scenario toegepast worden in woonmilieu Exel, een perifeer landelijk gebied. De inpassing van PV en microwkk is hier zonder meer groot-schalig mogelijk. In het volgende scenario 5, worden warmtepompen ingepast voor de vrijstaande en rijwoningen. Er wordt gerekend voor een worst case situatie, dit zit in de profielen die Vision als input gebruikt.

Vanwege de lange kabellengtes is het interessant om te bekijken wat de impact is van veel geïnstalleerd PV vermogen aan het eind van een kabel. Er is gekozen om een simulatie uit te voeren met 45 m² PV (6,3 kWp) op drie punten aan het eind van de lange (>400m) afgaande kabels (zie Figuur 0-2).

De fasespanning wordt door de grootschalige inpassing van PV opgedreven naar 247V (secundair is de lijnspanning 420V ingesteld.) Dit is de spanning in de meterkast achter 15m 6 mm² Cu aansluitkabel. Volgens de norm EN50160 is dit nog toelaatbaar, bij 253V fasespanning ligt de absolute grens (in de volgende versie van de norm wordt deze grensspanning mogelijk verruimd).

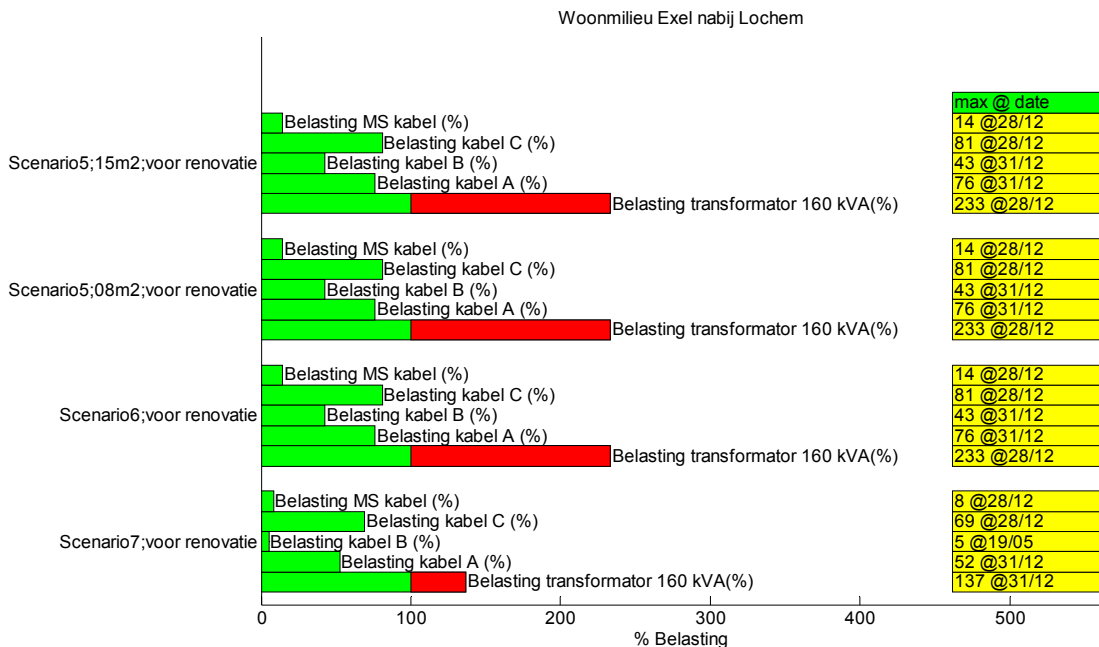


Figuur 0-3 Spanning aan het eind van de afgaande kabels met 6,3 kWp op het einde van elke kabel

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp

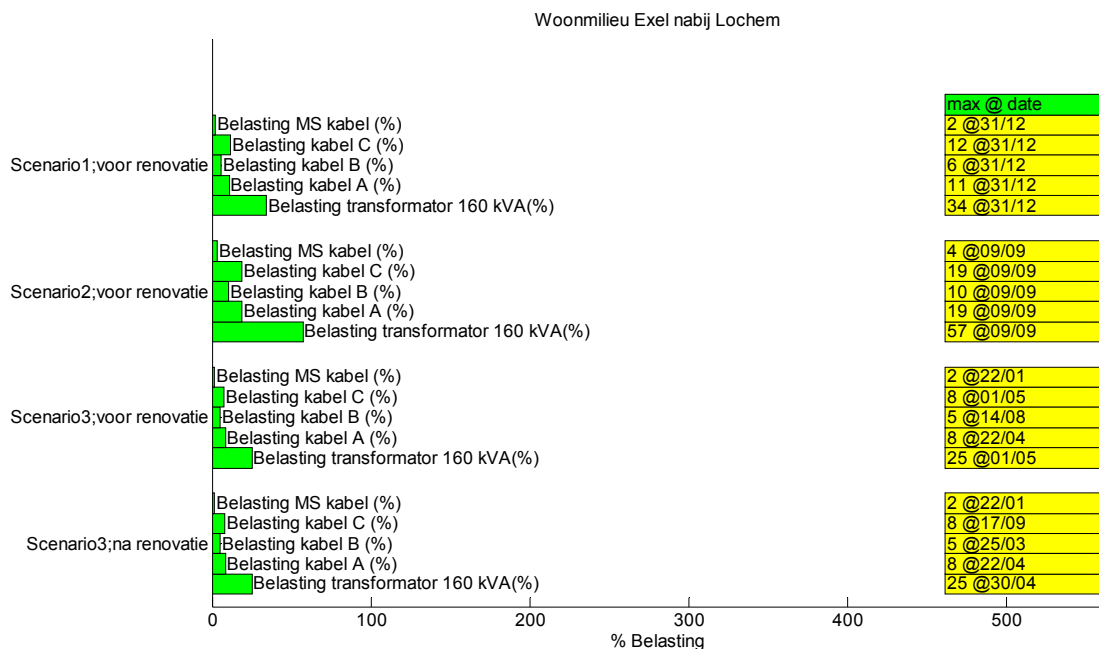
Tabel 0-5 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
160 kVA trans- formator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	233%	233%	120%	120%	112%	112%	211%	211%
Kabel A	76%	76%	38%	38%	36%	36%	75%	75%
Kabel B	43%	43%	21%	21%	21%	20%	42%	42%
Kabel C	81%	81%	59%	62%	44%	45%	67%	67%



Figuur 0-4 Belastingen 160 kVA transformator en afgaande kabels in Exel

In Figuur 0-4 staan de belastingen weergegeven van de 160 kVA MS/LS transformator en de afgaande kabels weergegeven in de scenario's 5, 6 en 7. Iedere balk representeert een element, transformator of afgaande kabel. Het betreffende element staat achter de balk. Helemaal rechts in de grafiek staat de maximale belasting opgetreden op een datum. Wanneer de balk rood is wordt de maximale nominale belasting overschreden. Bij grootschalige toepassing van warmtepompen in Exel komt de transformatorcapaciteit tekort. Opvallend is wel dat de kabels niet worden overbelast. Dit komt door de kleine woningdichtheid, dus een relatief beperkt aantal huizen per afgaande kabel, welke ook nog eens is uitgelegd op spanningshuishouding en daardoor een relatief hoge capaciteit heeft. Hoe de belasting is zonder inpassing van een scenario, oftewel in het scenario 1 vóór renovatie, staat in onderstaande Figuur 0-5 weergegeven. Let op: voor de scenario's 1, 2 en 6 heeft de term vóór renovatie GEEN betekenis omdat het elektriciteitsverbruik/teruglevering bijna onafhankelijk is van de warmtevraag(welke wel varieert in het geval van vóór of ná na-isolatie).



Figuur 0-5 Belastingen 160 kVA transformator en afgaande kabels in Exel

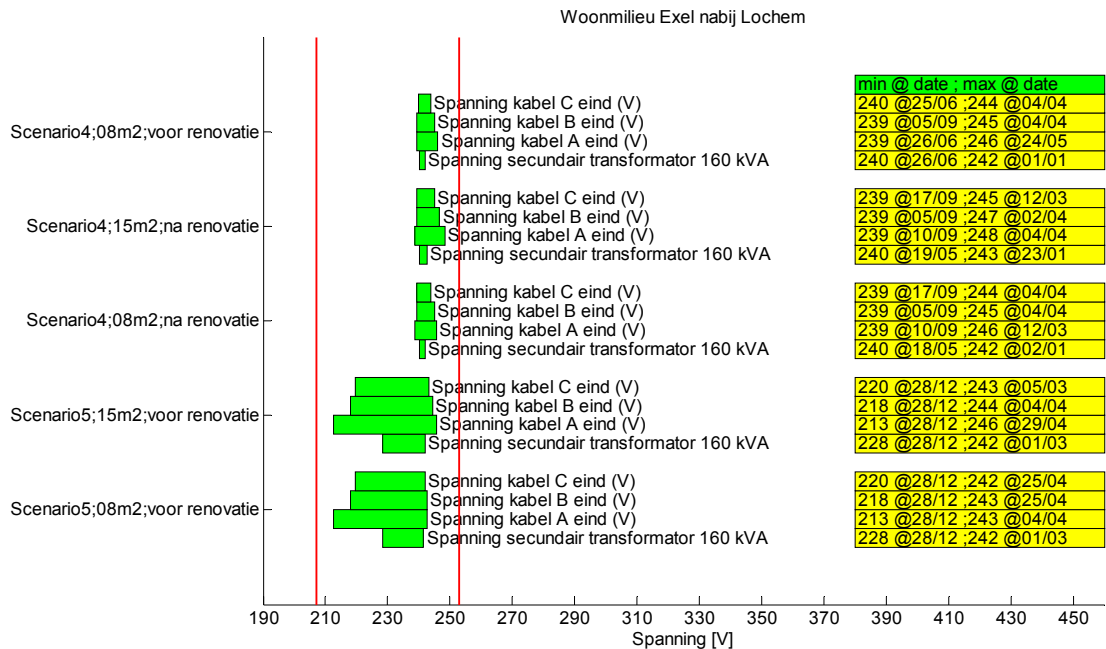
In Figuur 0-5 kan worden gezien dat door de geringe woningdichtheid er geen problemen ontstaan door inpassing van airconditioning (scenario 2) of door microwkk's (scenario 3). De spanningshuishouding is in het scenario zonder warmtepompen ook geen probleem. De spanningshuishouding voor de scenario's met veel PV en/of warmtepompen staat weergegeven in Figuur 0-6 en blijkt ook geen problemen te geven. De verklaring zit in de relatief zware afgaande kabels voor het geringe aantal huizen dat aangesloten is per kabel. Let op: bij sterke verjonging met elektrische warmtepompen kunnen toch problemen optreden, deze zijn echter niet door Vision gesimuleerd. Er is gekeken naar het begin van de kabel om een indruk te krijgen van de stijging van de belasting tov het Business as Usual scenario. Bij gebruik van warmtepompen moet men rekenen met ± 10 kWe per woning, bij 150 mm^2 Al zouden tot 20 woningen aangesloten kunnen worden. In Exel zijn gemiddeld minder woningen aangesloten, waardoor een 95 mm^2 Al ook zal volstaan. Ook de lange kabel-lengtes in Exel veroorzaken geen problemen met de spanningshuishouding. Wel zijn de spanningsvariaties relatief groot (schommeling binnen een jaar van 213V tot 246V).

Scenario 6 Elektrische warmtepompen**Tabel 0-6 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'Elektrische warmtepompen'**

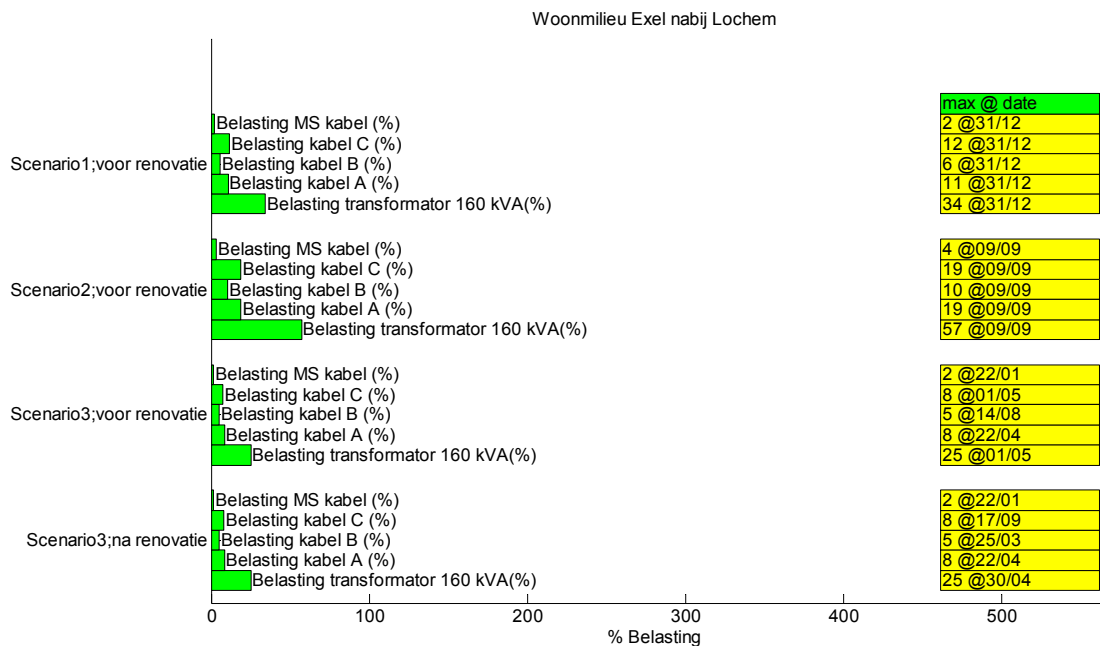
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
160 kVA transformator	233%		120%		114%		211%	
Kabel A	76%		38%		36%		75%	
Kabel B	43%		21%		20%		42%	
Kabel C	81%		65%		46%		67%	

Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp**Tabel 0-7 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Exel in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'**

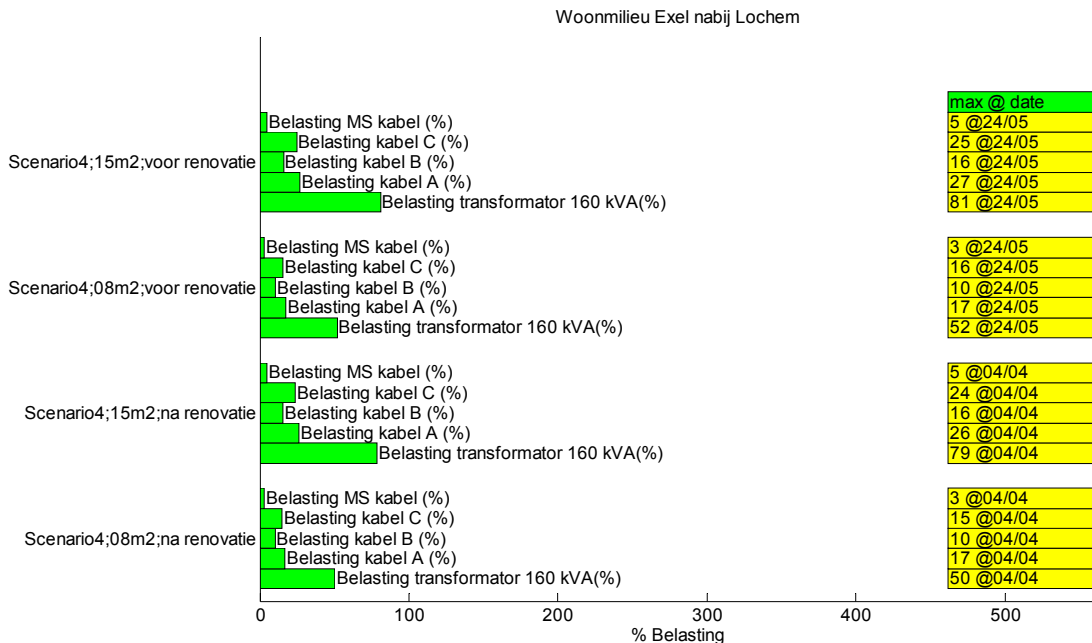
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
160 kVA transformator	137%	137%	84%	95%	80%	83%	116%	116%
Kabel A	52%	52%	26%	26%	27%	27%	51%	51%
Kabel B	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Kabel C	69%	69%	63%	64%	41%	42%	64%	64%



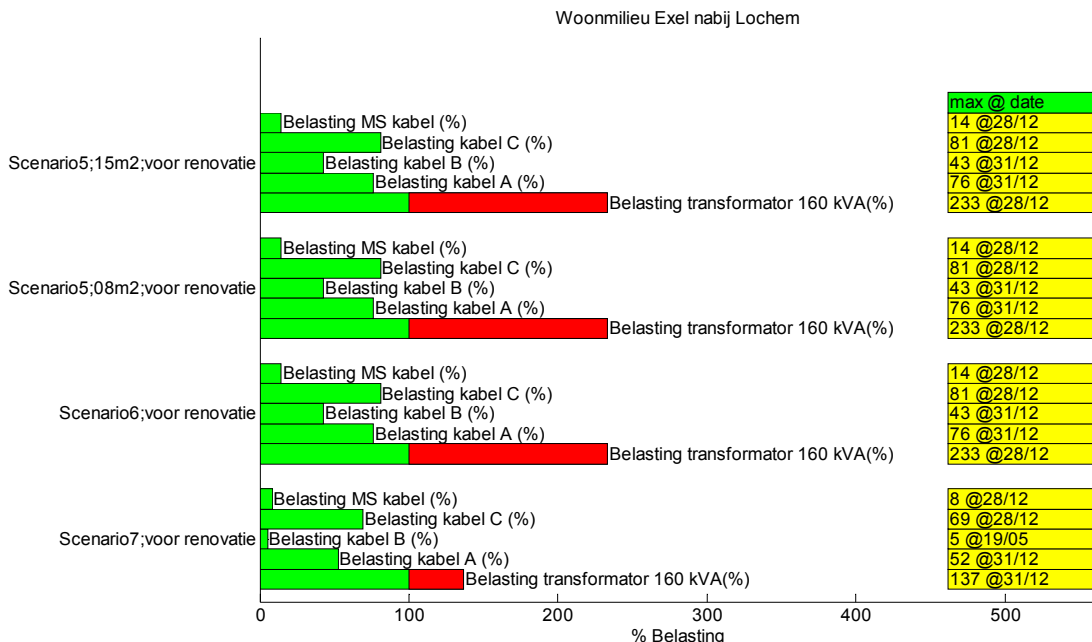
Figuur 0-6 Spanningshuishouding in Exel



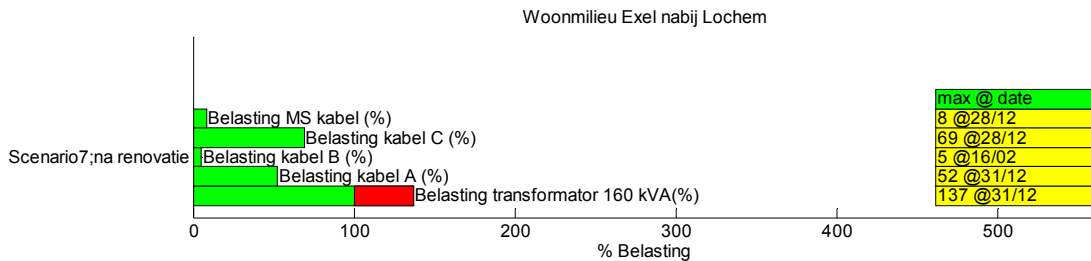
Figuur 0-7 Belasting transformator en kabels Exel



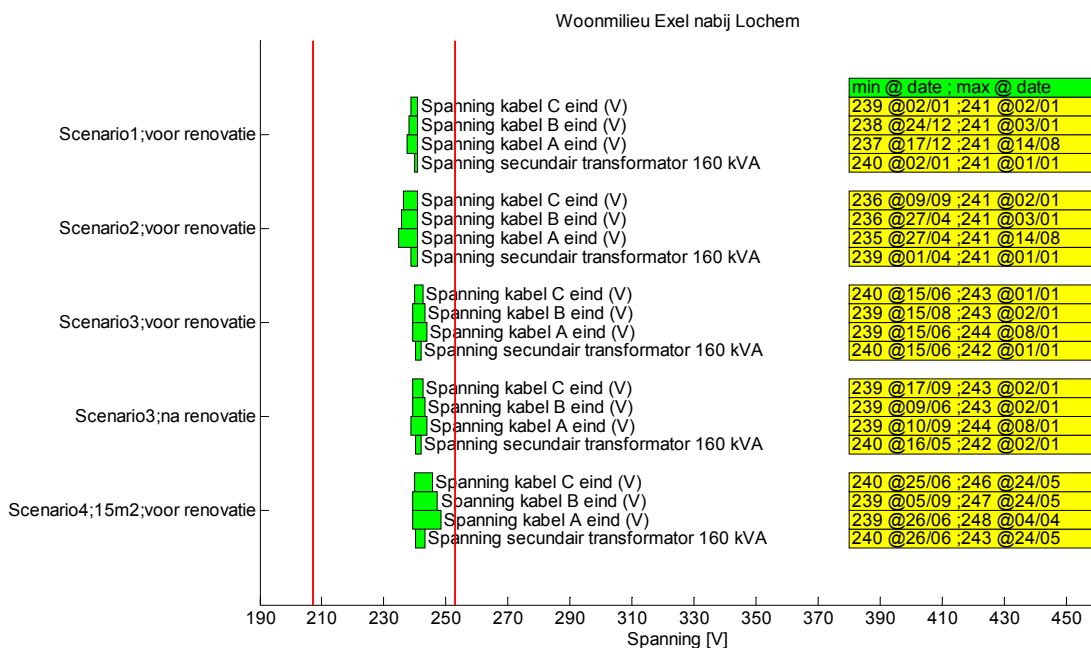
Figuur 0-8 Belasting transformator en kabels Exel



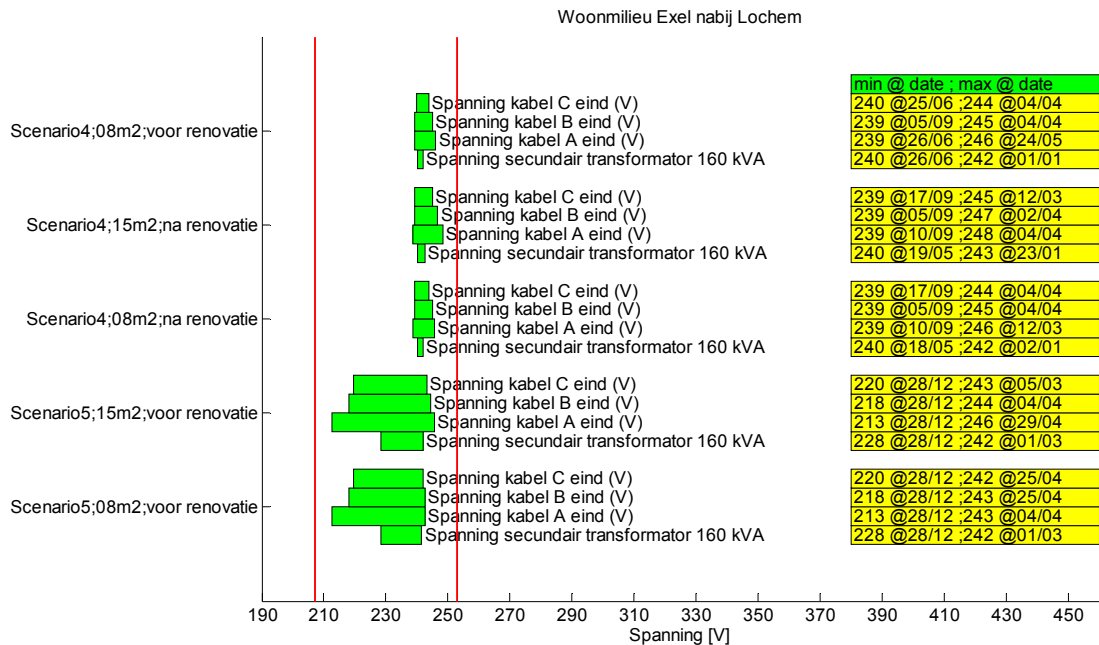
Figuur 0-9 Belasting transformator en kabels Exel



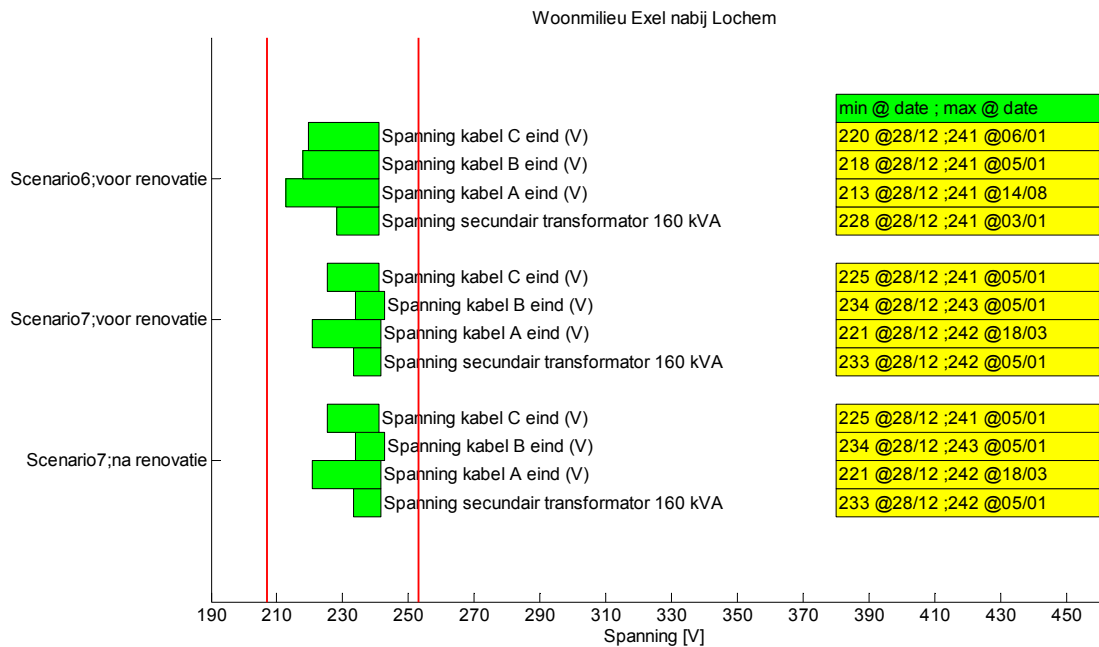
Figuur 0-10 Belasting transformator en kabels Exel



Figuur 0-11 Spanningshuishouding LS- net Exel

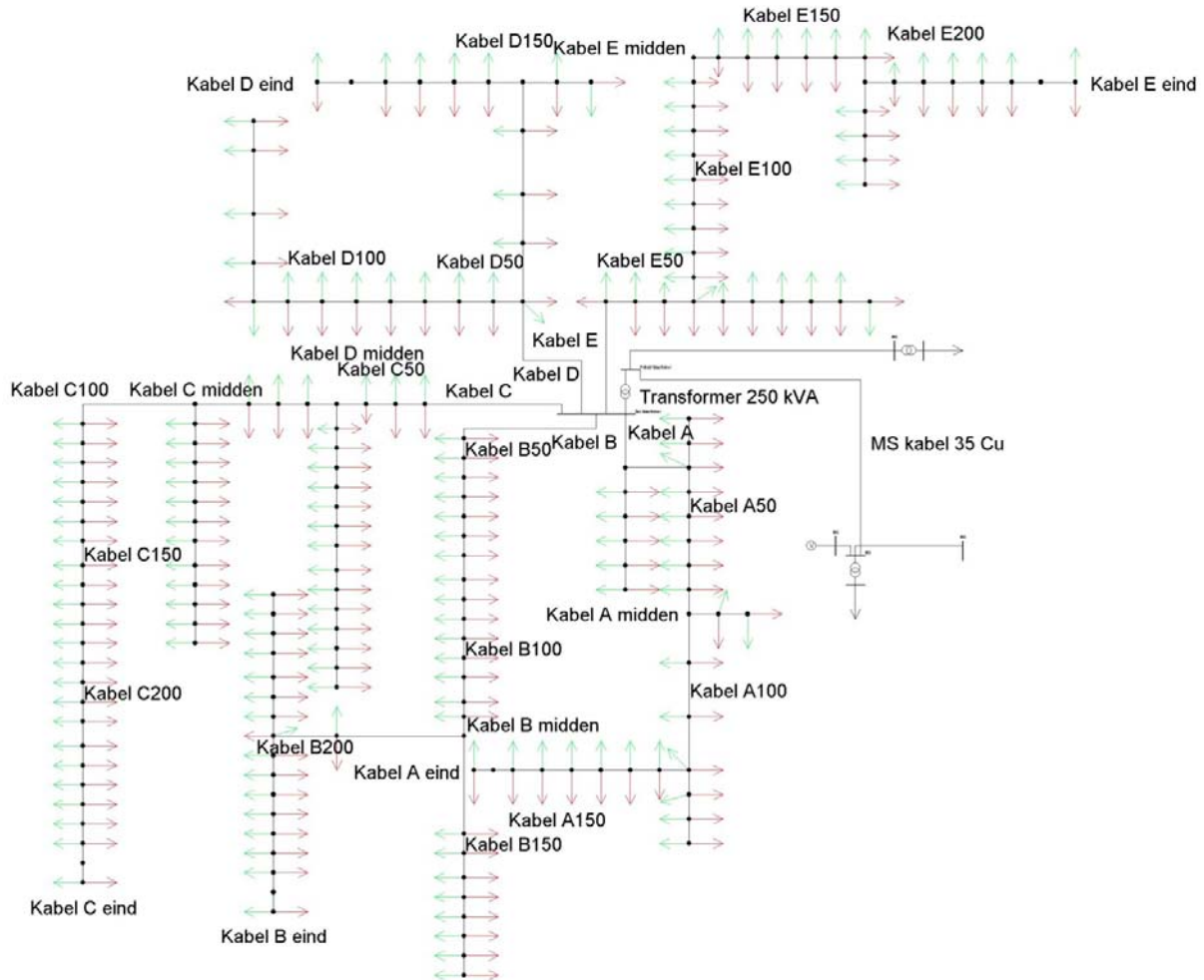


Figuur 0-12 Spanningshuishouding LS- net Exel



Figuur 0-13 Spanningshuishouding LS- net Exel

Resultaten Epse



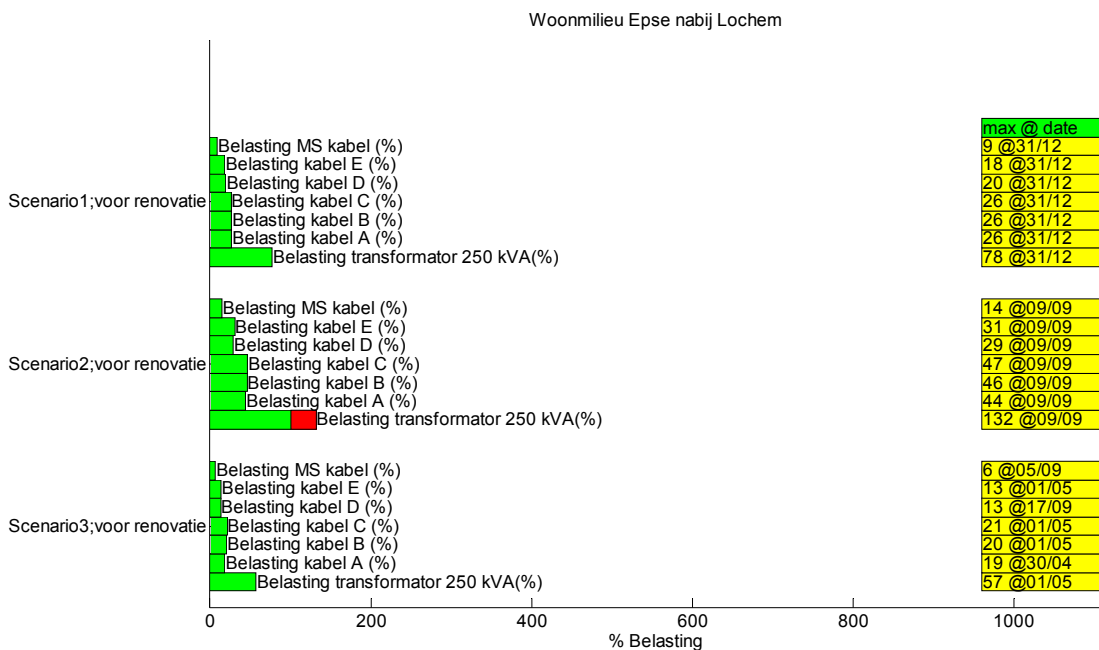
Figuur 0-14 LS- model van Epse in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in Epse.

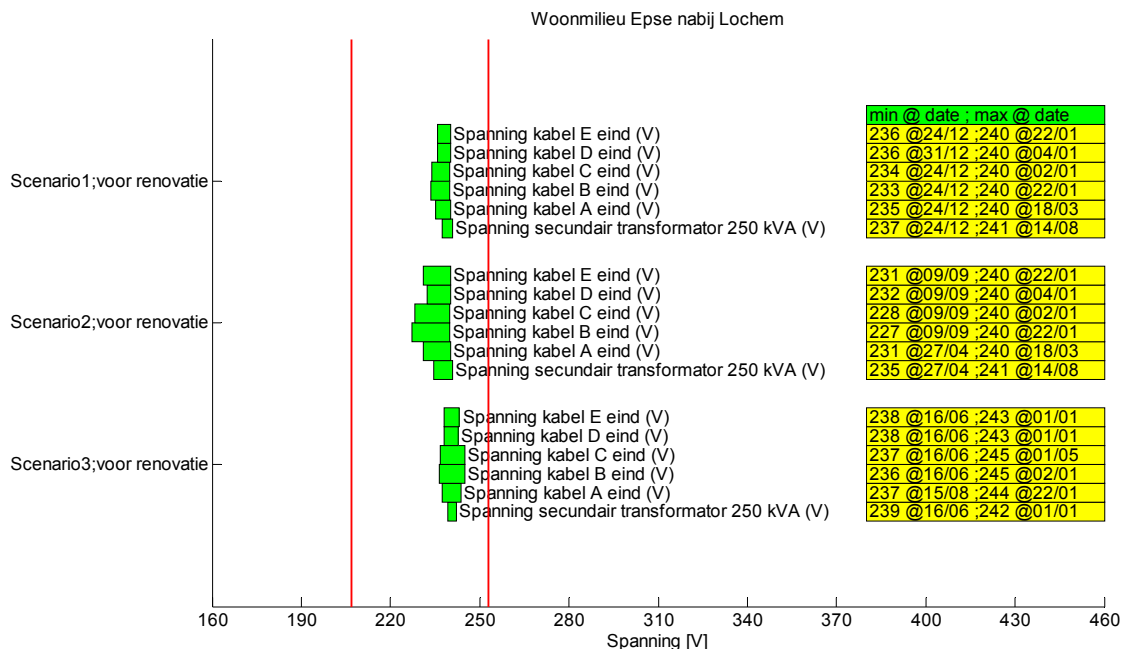
Tabel 0-8 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	78%	59%	52%	69%
Kabel A	26%	20%	18%	23%
Kabel B	26%	20%	18%	23%
Kabel C	26%	20%	18%	23%
Kabel D	20%	15%	13%	18%
Kabel E	18%	14%	12%	16%



Figuur 0-15 Belastingen 250kVA transformator en afgaande kabels in Epse

In Figuur 0-15 staat de spanningshuishouding voor de scenario's 1, 2 en 3. Als 50% van de huishoudens een airconditioning (2 kWe) aanschaffen in Epse en deze allemaal tegelijk gebruiken wordt de MS/LS transformator met 32% overbelast. De kabelcapaciteit geeft geen problemen. Ook toepassing van microwkk's geeft geen problemen.



Figuur 0-16 Spanningshuishouding in Epse

Ook de spanningenhuishouding laat geen problemen zien voor de eerste drie scenario's.

Scenario 2 Business as usual met airco

Tabel 0-9 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA trans- formator	78%	126%	132%	69%
Kabel A	26%	42%	44%	23%
Kabel B	26%	44%	46%	23%
Kabel C	26%	45%	47%	23%
Kabel D	20%	28%	29%	18%
Kabel E	18%	29%	31%	16%

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk

Tabel 0-10 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA transformator	56%	56%	57%	57%	57%	55%	56%	56%
Kabel A	18%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%
Kabel B	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Kabel C	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%
Kabel D	10%	11%	12%	12%	13%	13%	11%	13%
Kabel E	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV

Tabel 0-11 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

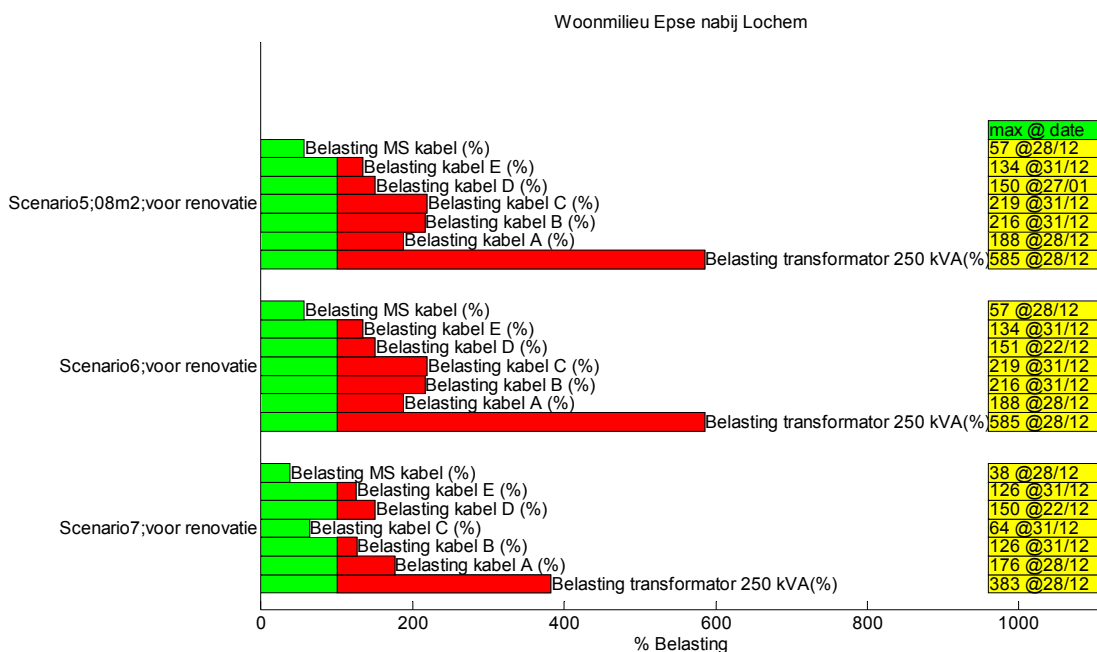
Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
250 kVA transformator	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
	161	161	161	161	183	183	178	178	165	165	158	158	157	157	156	156
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kabel A	53%	53%	53%	53%	60%	60%	60%	60%	58%	58%	54%	54%	52%	52%	52%	52%
Kabel B	56%	56%	56%	56%	64%	64%	62%	62%	58%	58%	59%	59%	55%	55%	55%	55%
Kabel C	59%	59%	59%	59%	67%	67%	65%	65%	61%	61%	62%	62%	58%	58%	57%	57%
Kabel D	31%	31%	31%	31%	36%	36%	36%	36%	34%	34%	32%	32%	30%	30%	30%	30%
Kabel E	37%	37%	37%	37%	43%	43%	43%	43%	41%	41%	39%	39%	37%	7%	37%	37%

Bij de toepassing van microwkk én PV raakt de transformator zwaar overbelast, tot 83%. De afgaande kabels kunnen de stromen wel nog verwerken. De oorzaak van de overbelasting ligt in de gelijktijdige opwekking van de microwkk en PV in alle seizoenen. Let wel, in de tabel staat de maximale overbelasting weergegeven zonder de duur ervan.

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp

Tabel 0-12 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

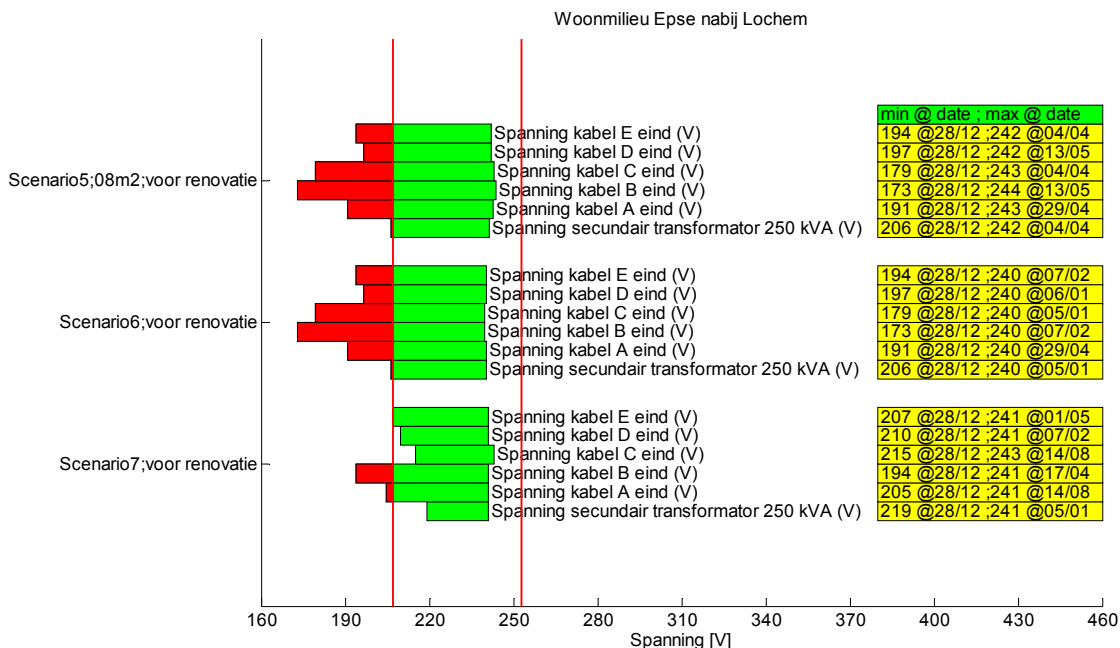
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA trans- formator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	585%	585%	262%	262%	249%	251%	554%	554%
Kabel A	188%	188%	88%	88%	80%	81%	183%	183%
Kabel B	215%	216%	96%	96%	92%	92%	210%	210%
Kabel C	219%	219%	98%	98%	94%	94%	214%	214%
Kabel D	150%	150%	140%	144%	83%	85%	150%	150%
Kabel E	134%	134%	62%	62%	59%	59%	131%	131%



Figuur 0-17 Belastingen 250kVA transformator en afgaande kabels in Epse

In Figuur 0-17 staan de loadflow resultaten van de scenario's met warmtepompen. Bij toepassing van warmtepompen ontstaan problemen met alle LS- kabels en de 250 kVA transformator. In Epse zou een 1600 kVA transformator nodig zijn als alle huizen voorzien zouden worden van een elektrische warmtepomp. Ook zouden (bijna) alle kabels vervangen moeten worden door een met de dubbele capaciteit. Let op: bij verjonging

kan meer dan een verdubbeling van het vermogen nodig zijn. In Epse zitten tot 40 woningen op een kabel, wat zou neerkomen op de noodzakelijkheid van een kabel van 4x240 mm² Cu kabel of 2x4x150 mm² Al.



Figuur 0-18 Spanningshuishouding in Epse

Ook de spanningshuishouding in Epse vertoont problemen bij toepassing van warmtepompen. In het scenario 5, PV én elektrische warmtepompen schommelt de spanning op jaarbasis tussen de 173V en 244V. Dit wil niet automatisch zeggen dat de spanning niet voldoet aan de EN50160, het kan een moment opname zijn. Echter de kans dat de mogelijkheid bestaat dat de spanning op plaatsen in het LS- net zakt naar 173V door toepassing van elektrische warmtepompen in een extreme situatie is onacceptabel.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

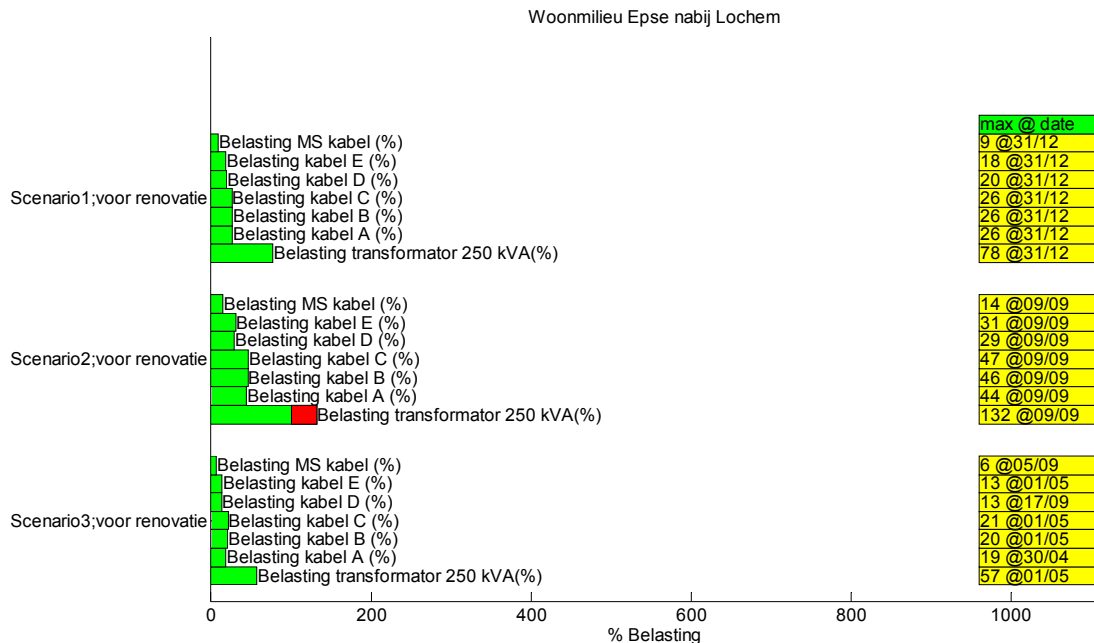
Tabel 0-13 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA transformator	585%		262%		252%		554%	
Kabel A	188%		88%		81%		183%	
Kabel B	216%		96%		92%		210%	
Kabel C	220%		98%		94%		214%	
Kabel D	151%		148%		86%		150%	
Kabel E	134%		62%		59%		131%	

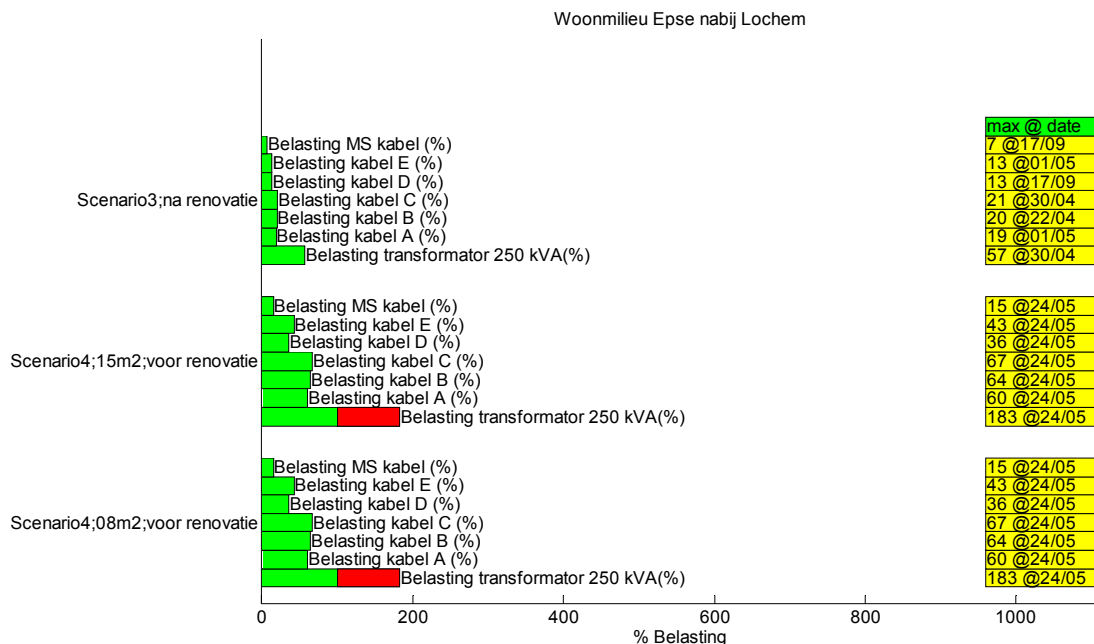
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-14 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Epse in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

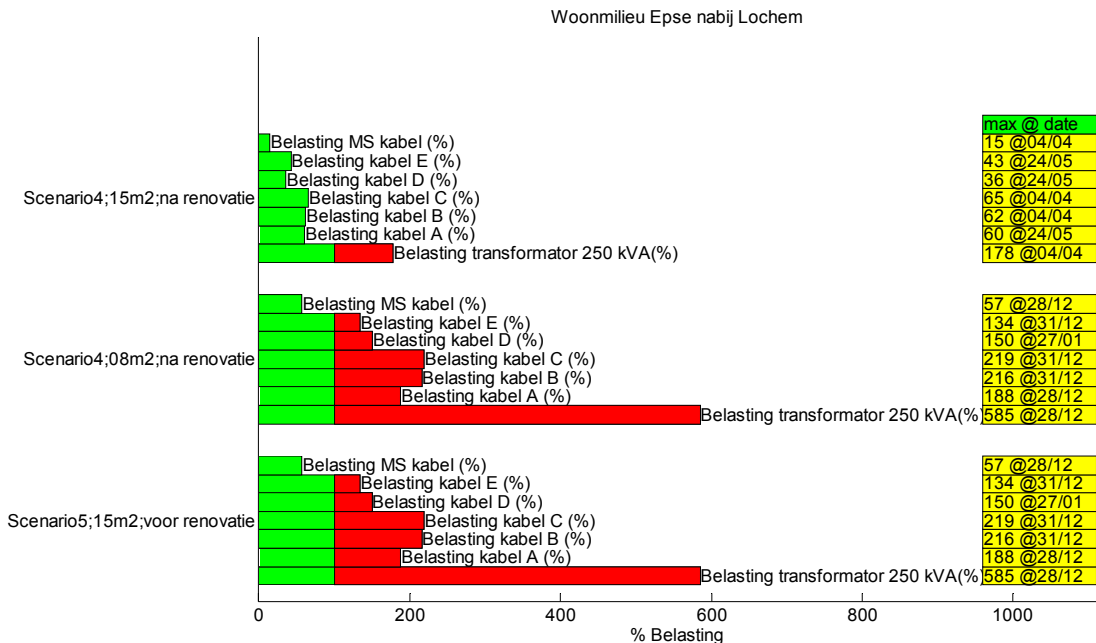
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA transformator	383%	383%	182%	190%	192%	194%	357%	357%
Kabel A	176%	176%	86%	86%	80%	80%	171%	171%
Kabel B	126%	126%	58%	59%	62%	62%	121%	121%
Kabel C	64%	64%	37%	38%	41%	41%	59%	59%
Kabel D	150%	150%	148%	148%	85%	85%	150%	150%
Kabel E	126%	126%	61%	61%	59%	59%	123%	123%



Figuur 0-19 Belasting transformator en kabels Epse



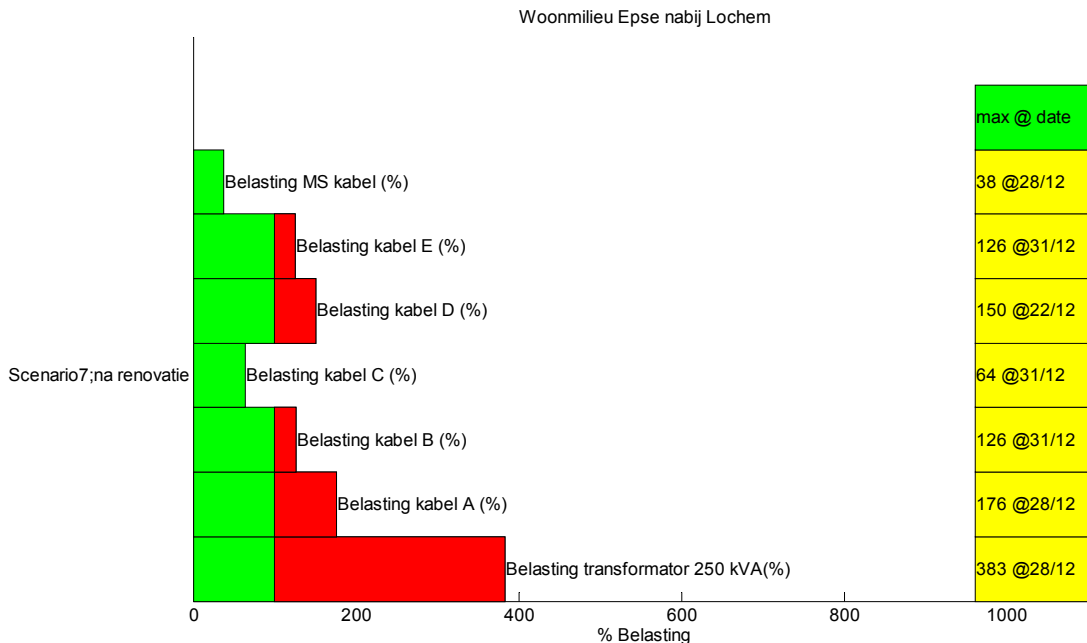
Figuur 0-20 Belasting transformator en kabels Epse



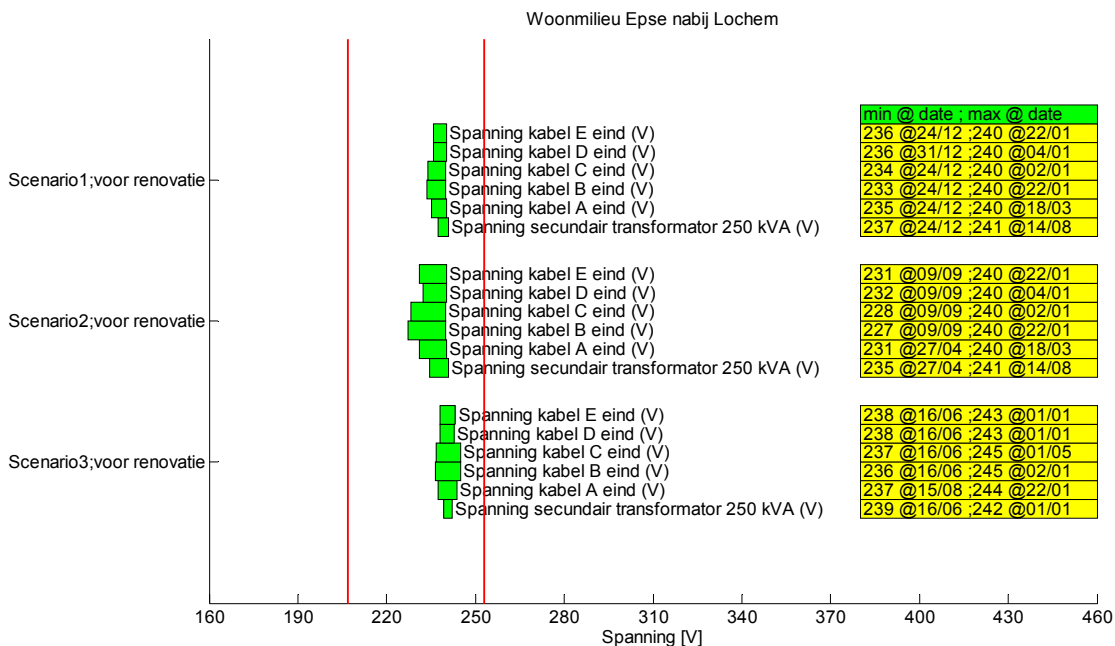
Figuur 0-21 Belasting transformator en kabels Epse



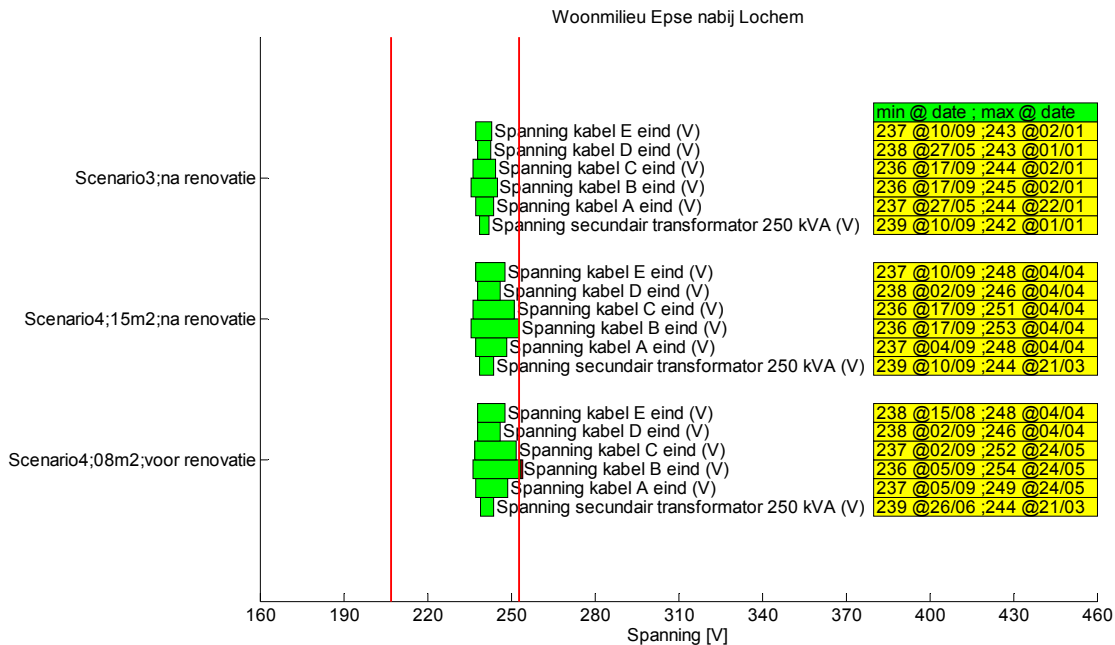
Figuur 0-22 Belasting transformator en kabels Epse



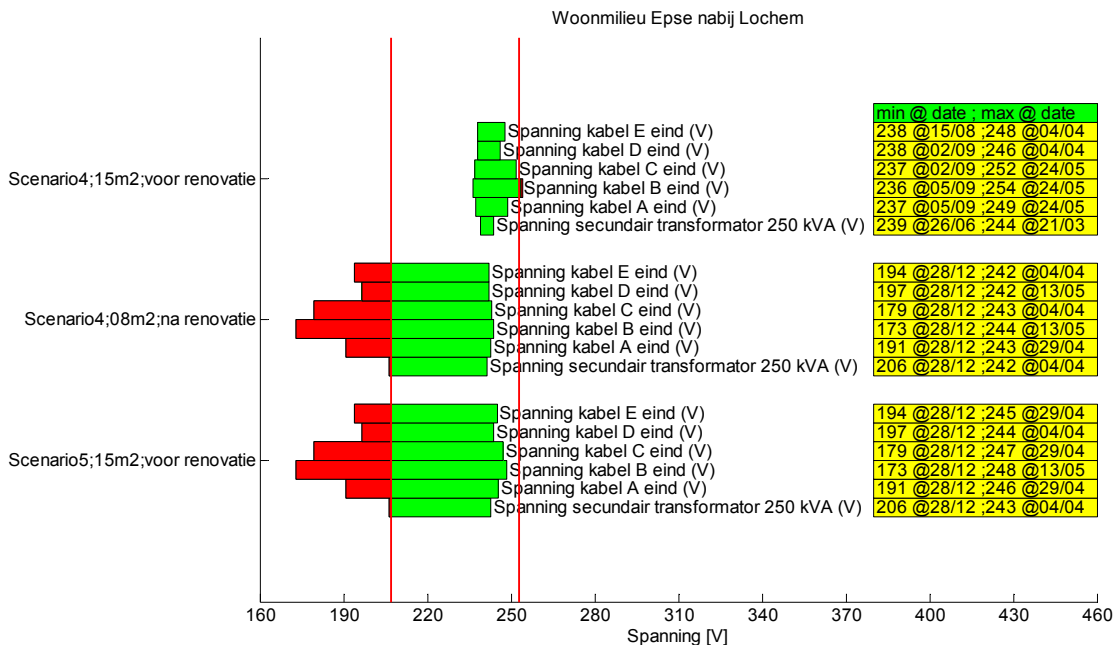
Figuur 0-23 Belasting transformator en kabels Epse



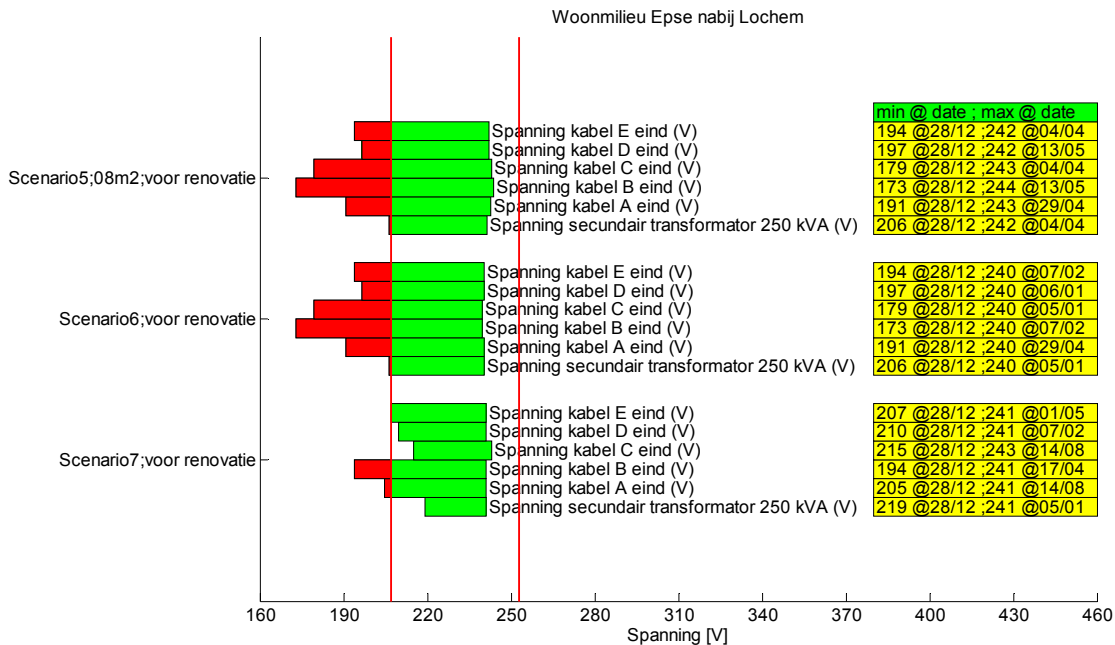
Figuur 0-24 Spanningshuishouding LS- net Epse



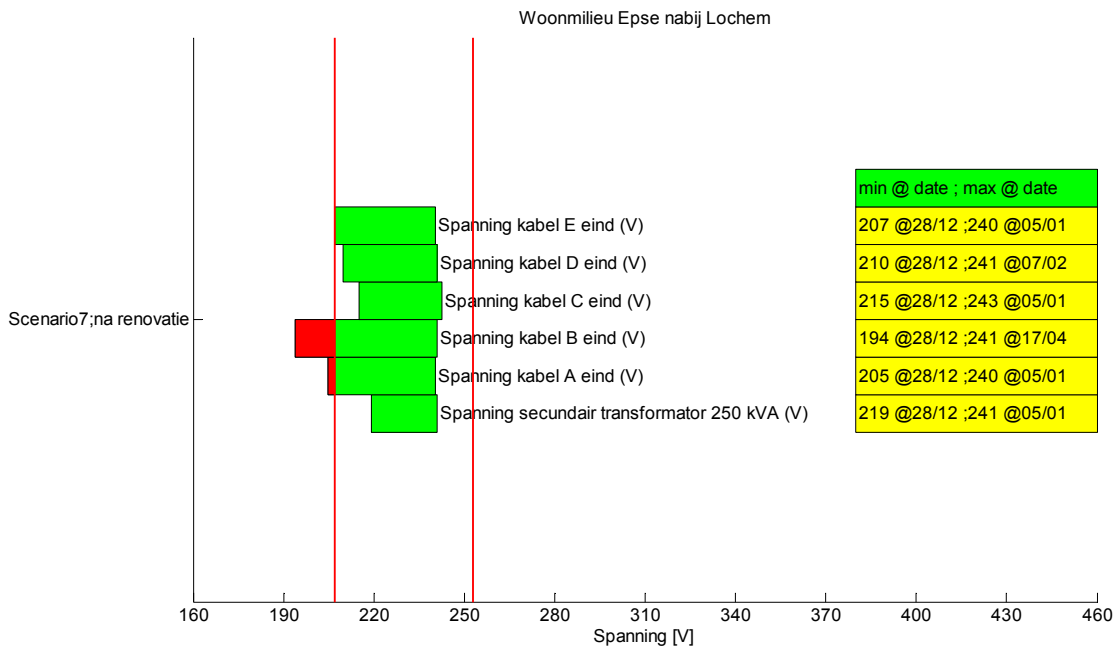
Figuur 0-25 Spanningshuishouding LS- net Epse



Figuur 0-26 Spanningshuishouding LS- net Epse

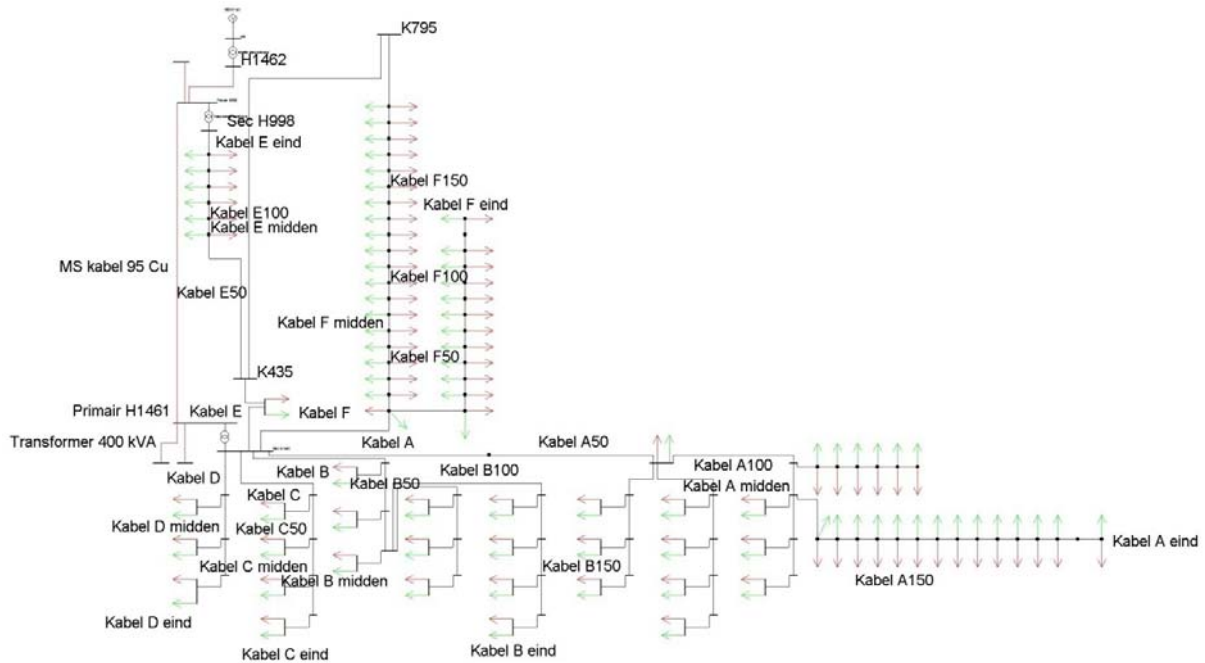


Figuur 0-27 Spanningshuishouding LS- net Epse



Figuur 0-28 Spanningshuishouding LS- net Epse

Resultaten Lombardijen



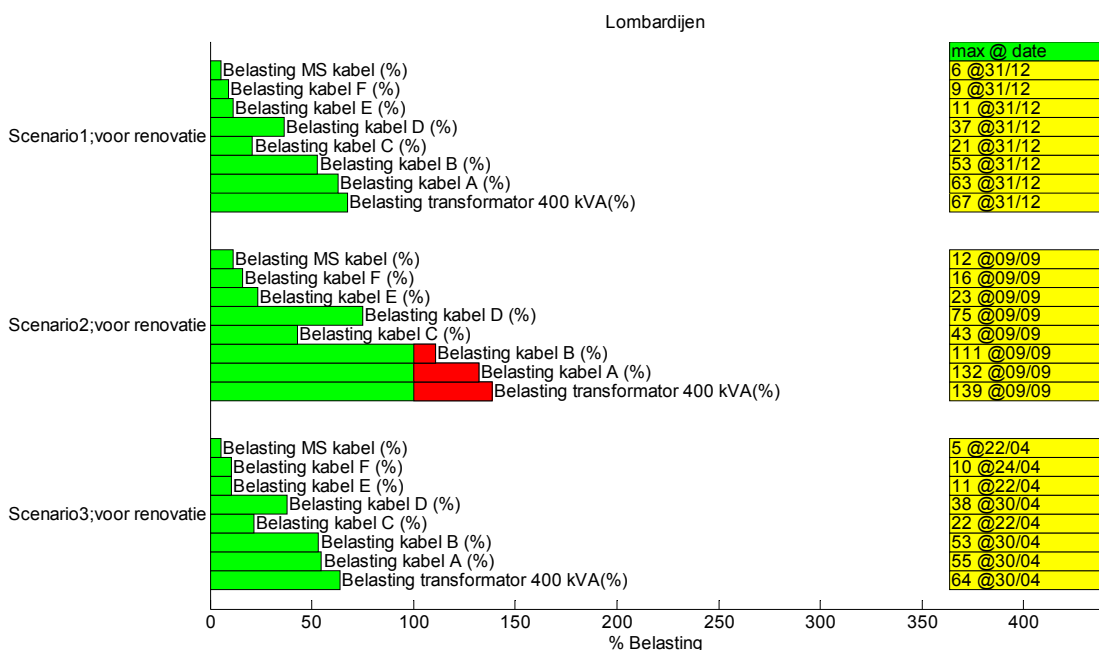
Figuur 0-29 LS- net van Lombardijen in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in Lombardijen.

Tabel 0-15 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	67%	51%	45%	60%
Kabel A	63%	48%	42%	57%
Kabel B	53%	40%	36%	47%
Kabel C	21%	16%	14%	19%
Kabel D	37%	28%	25%	33%
Kabel E	11%	8%	8%	10%
Kabel F	9%	7%	6%	8%



Figuur 0-30 Belastingen 400 kVA transformator en afgaande kabels in Lombardijen

In het Business as Usual scenario zijn er geen problemen. Bij toepassing van veel airconditioners kunnen er problemen ontstaan op het gebied van overbelasting van kabels en transformatoren (zie Figuur 0-30 en Tabel 0-16). Er is gerekend met 50% van de huishoudens aan 2 kWe bovenop de normale elektriciteitsvraag.

Scenario 2 Business as usual met Airc

Tabel 0-16 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
400 kVA transformator	67%		133%		139%		60%	
Kabel A	63%		127%		132%		57%	
Kabel B	53%		106%		111%		47%	
Kabel C	21%		41%		43%		19%	
Kabel D	37%		72%		75%		33%	
Kabel E	11%		22%		23%		10%	
Kabel F	9%		15%		16%		8%	

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk

Tabel 0-17 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

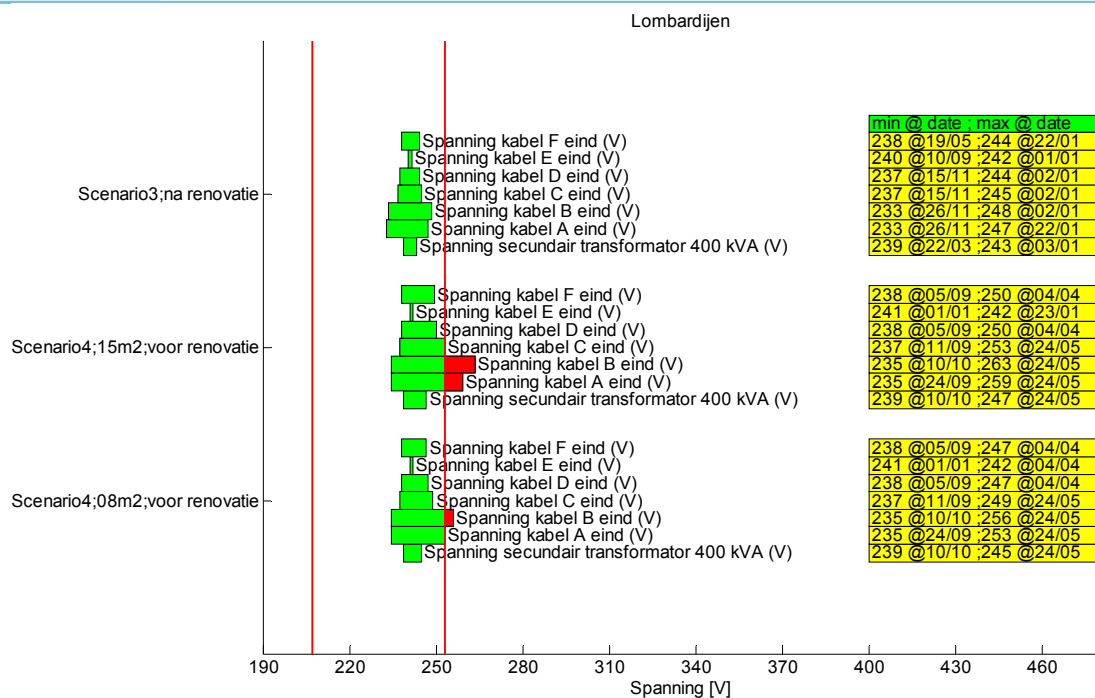
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
400 kVA transformator	63%	63%	63%	63%	63%	60%	63%	63%
Kabel A	54%	54%	55%	55%	54%	56%	54%	54%
Kabel B	53%	53%	53%	54%	53%	54%	53%	53%
Kabel C	21%	21%	22%	22%	21%	22%	21%	21%
Kabel D	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%
Kabel E	10%	10%	11%	11%	11%	10%	10%	10%
Kabel F	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

Inpassing van microwkk (1 kWe) is zondermeer mogelijk.

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV

Tabel 0-18 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
400 kVA transformator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	177 %	117 %	177 %	117 %	200 %	131 %	194 %	128 %	187 %	120 %	165 %	109 %	173 %	116 %	166 %	111 %
Kabel A	150 %	100 %	150 %	100 %	168 %	112 %	164 %	99%	164 %	108 %	147 %	99%	147 %	98%	141 %	94%
Kabel B	144 %	97%	144 %	97%	161 %	108 %	158 %	106 %	157 %	105 %	141 %	97%	141 %	96%	136 %	92%
Kabel C	60%	40%	60%	40%	67%	44%	65%	44%	65%	43%	58%	40%	58%	39%	56%	38%
Kabel D	104 %	70%	104 %	70%	117 %	78%	115 %	76%	114 %	75%	102 %	69%	102 %	69%	98%	66%
Kabel E	29%	19%	29%	19%	32%	22%	32%	21%	31%	20%	28%	19%	28%	19%	27%	18%
Kabel F	22%	14%	23%	16%	26%	18%	26%	17%	24%	17%	25%	18%	23%	16%	23%	17%



Figuur 0-31 Spanningshuishouding in Lombardijen

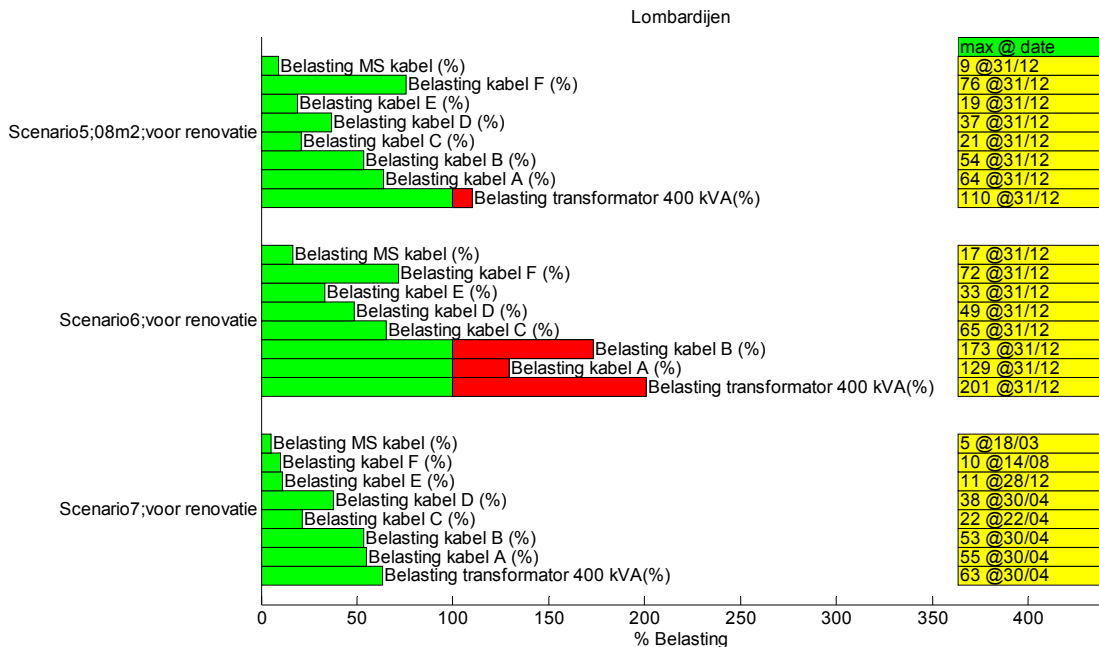
Bij toepassing van microwkk icm met PV raken transformatoren en kabels overbelast. Inpassing tot een bepaalde penetratiegrens/vermogen is uiteraard wel mogelijk, ruwweg 50% van het gesimuleerde vermogen is mogelijk als dit evenredig verdeeld wordt over de wijk.

De overbelasting ontstaat wanneer microwkk en PV samen terugleveren. Daardoor raakt ook de spanningshuishouding in de problemen, er ontstaan overspanningen aan het einde van de afgaande kabels. Door het vergroten van de capaciteit van kabels en transformatoren en/of het reduceren van het opgestelde teruglever vermogen kunnen de problemen worden voorkomen.

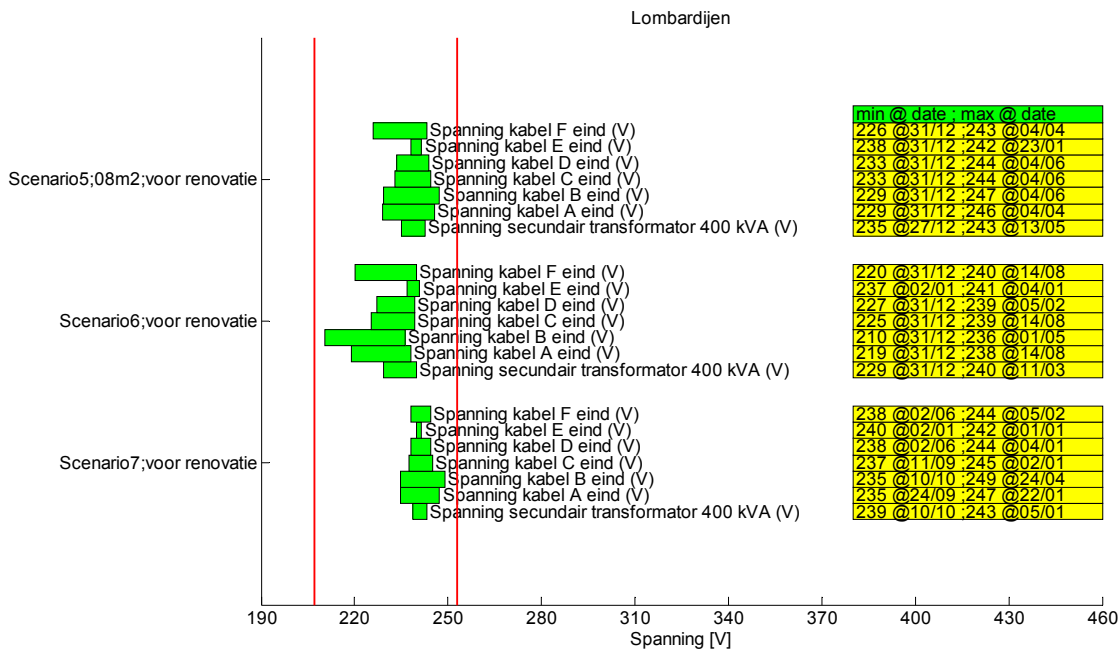
Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp

Tabel 0-19 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
400 kVA transformator	110%	110%	121%	68%	120%	63%	100%	100%
Kabel A	88%	64%	107%	48%	102%	44%	84%	57%
Kabel B	86%	54%	104%	48%	99%	45%	83%	47%
Kabel C	35%	21%	43%	20%	41%	18%	34%	19%
Kabel D	62%	37%	75%	34%	71%	32%	59%	33%
Kabel E	19%	19%	20%	11%	20%	10%	18%	18%
Kabel F	76%	76%	38%	38%	37%	37%	75%	75%



Figuur 0-32 Belastingen 400 kVA transformator en afgaande kabels in Lombardijen



Figuur 0-33 Spanningshuishouding in Lombardijen

De grootschalige inpassing van elektrische warmtepompen zorgt voor problemen op het gebied van capaciteit maar niet op spanningshuishouding. LET OP: de inpassing van elektrische warmtepompen wordt 'realistisch' gesimuleerd. Dat wil zeggen dat portiekwoningen en flats geen elektrische warmtepompen hebben, toch het merendeel van de woningen in Lombardijen. Daardoor lijken de problemen beperkt, dit is echter schijn. De geschetste problemen ontstaan al bij een zeer kleine penetratie van elektrische warmtepompen in vrijstaande huizen en rijwoningen.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

Tabel 0-20 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	201%	133%	120%	175%
Kabel A	129%	95%	85%	114%
Kabel B	173%	127%	112%	152%
Kabel C	65%	49%	43%	58%
Kabel D	49%	36%	32%	43%
Kabel E	33%	25%	22%	30%
Kabel F	72%	35%	34%	71%

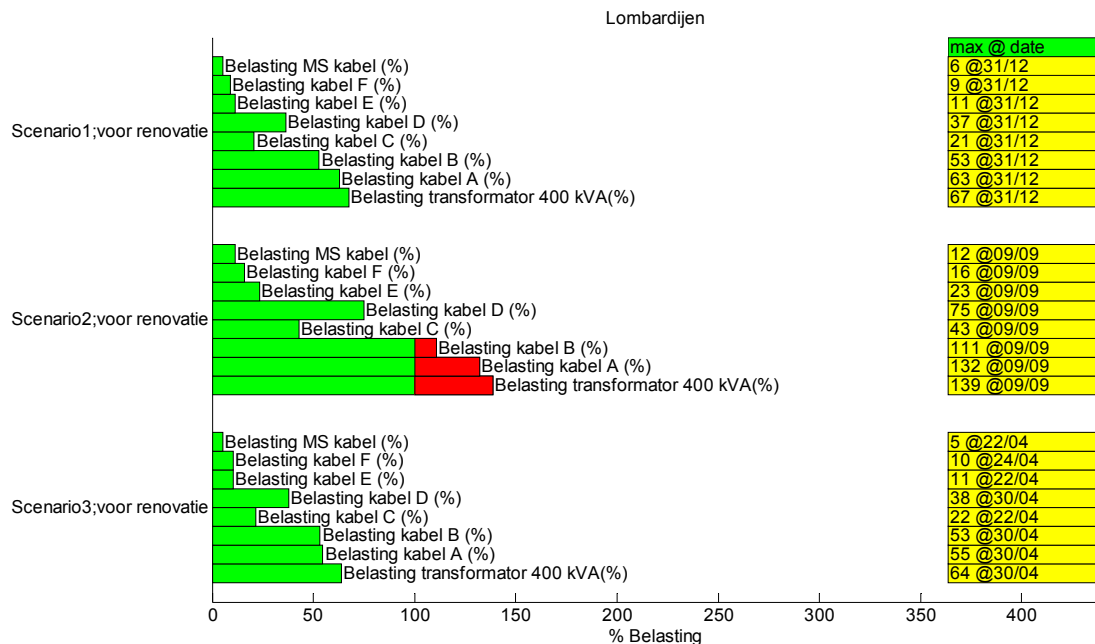
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-21 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Lombardijen in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

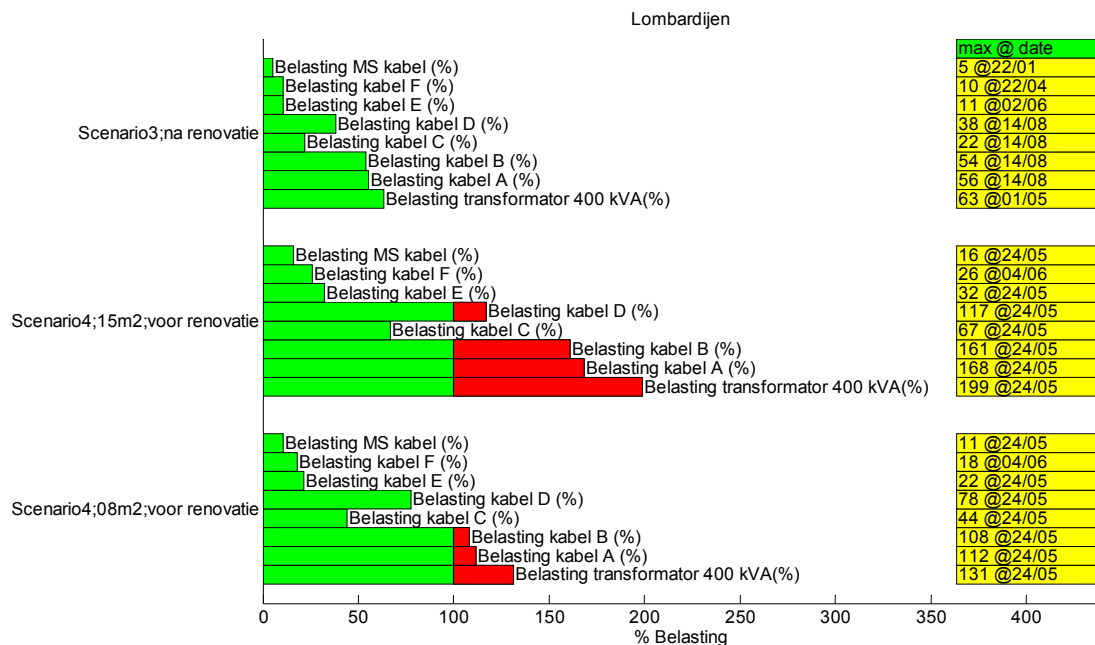
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
400 kVA transformator	62%	62%	63%	63%	62%	60%	63%	62%
Kabel A	54%	54%	55%	55%	54%	56%	54%	54%
Kabel B	53%	53%	53%	54%	53%	54%	53%	53%
Kabel C	21%	21%	22%	22%	21%	22%	22%	21%
Kabel D	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%
Kabel E	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
Kabel F	9%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

Bij toepassing 50% microwkk (huizen A,B en C, 100% voor huizen D en E) en 50% elektrische warmtepompen (alleen huizen A,B en C) zijn er geen problemen te verwachten in Lombardijen. Echter dit komt omdat

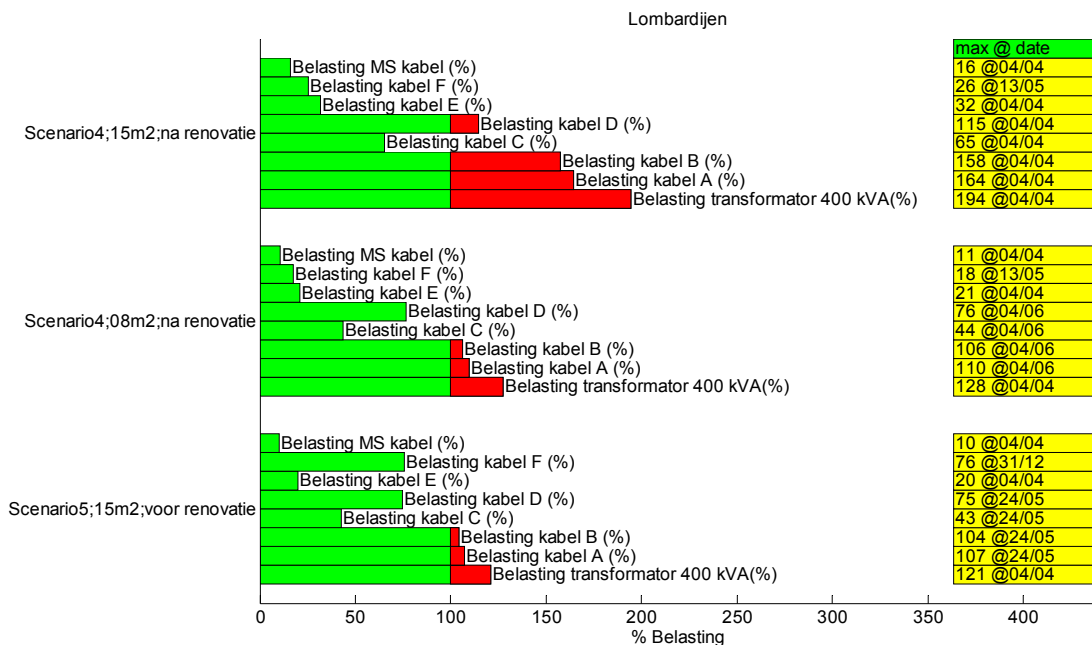
het merendeel van Lombardijen uit portiekwoningen en flats bestaat waar geen elektrische warmtepomp (makkelijk) kan worden toegepast.



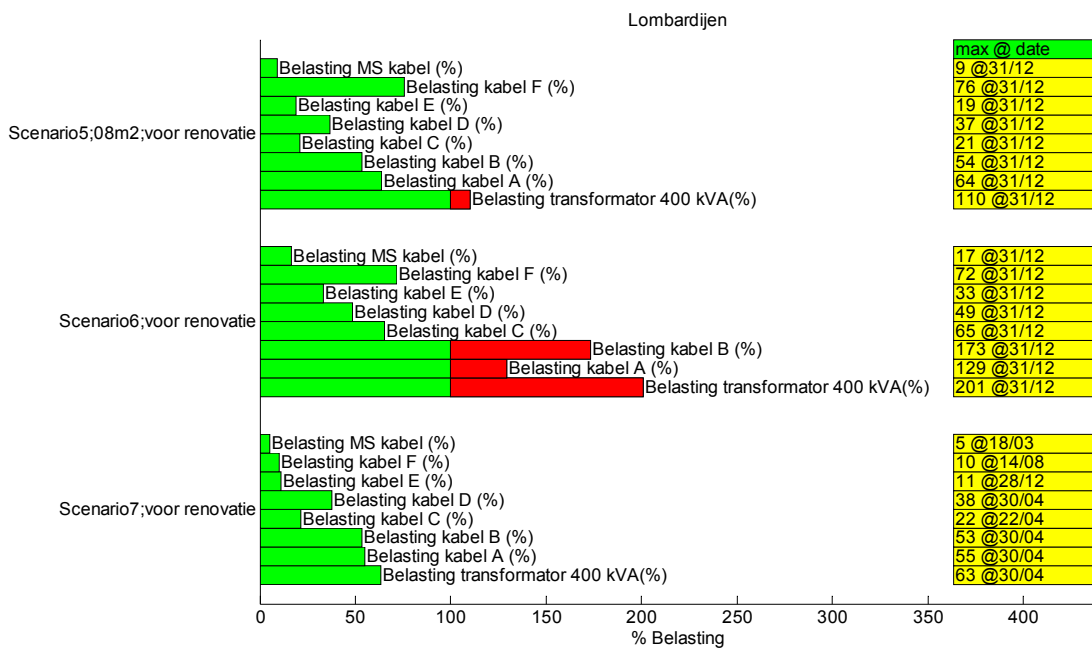
Figuur 0-34 Belasting transformator en kabels Lombardijen



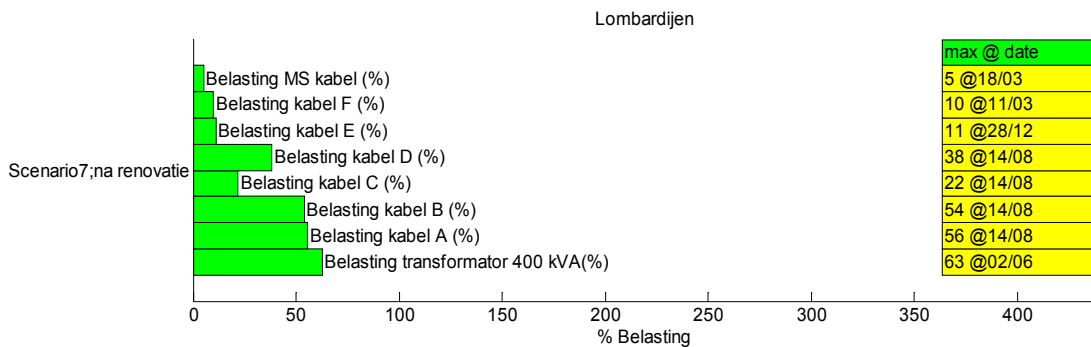
Figuur 0-35 Belasting transformator en kabels Lombardijen



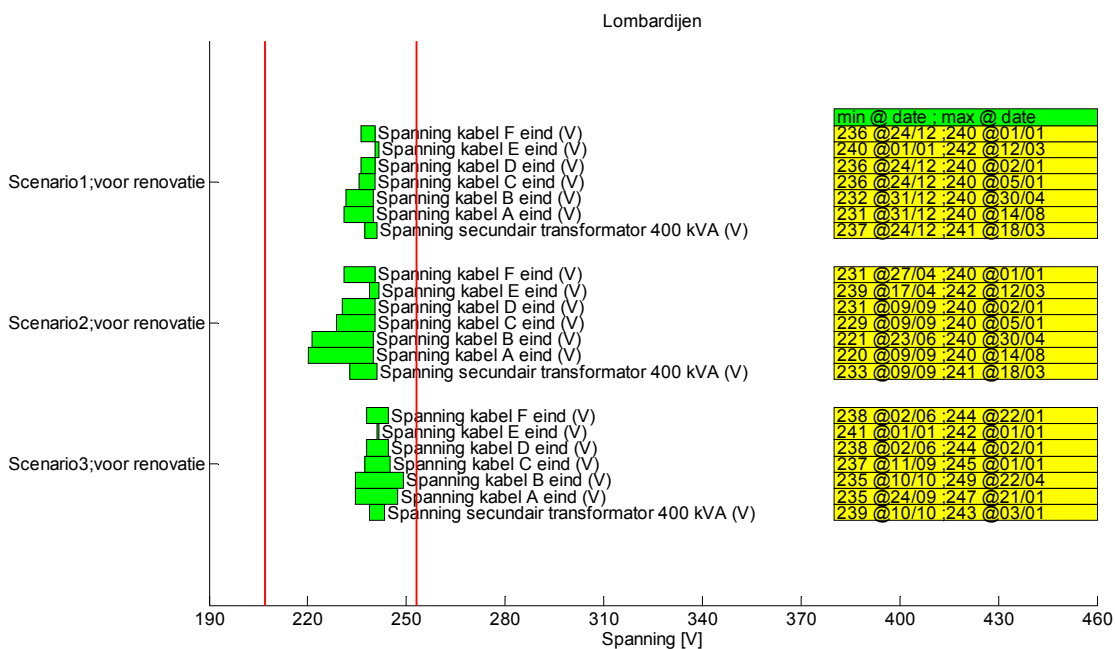
Figuur 0-36 Belasting transformator en kabels Lombardijen



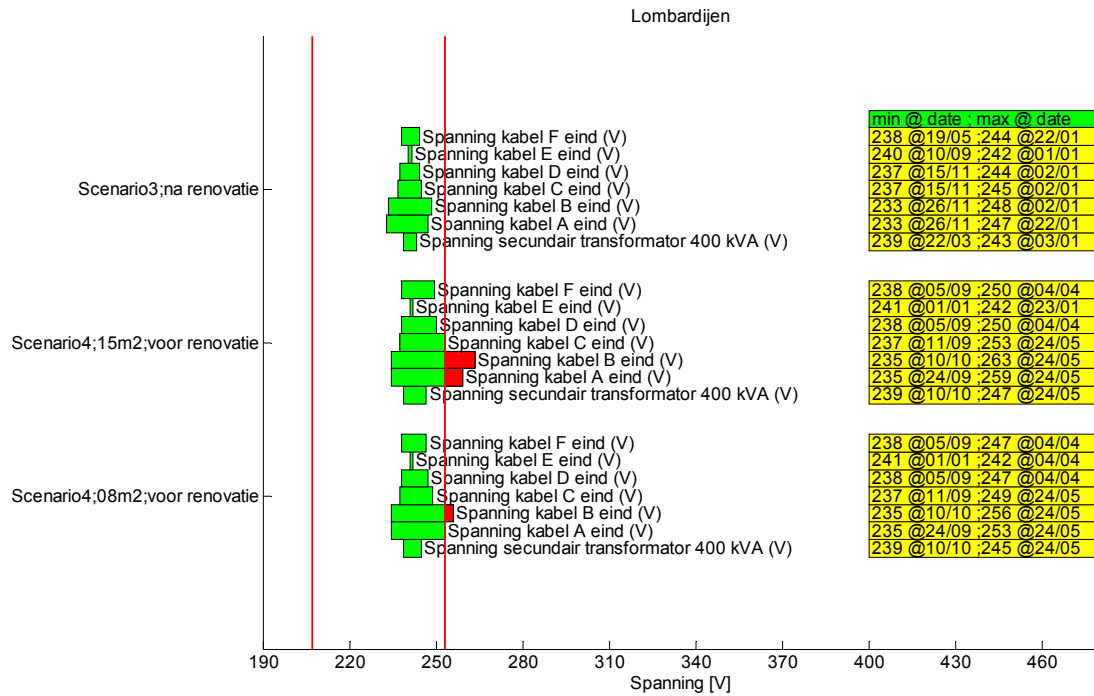
Figuur 0-37 Belasting transformator en kabels Lombardijen



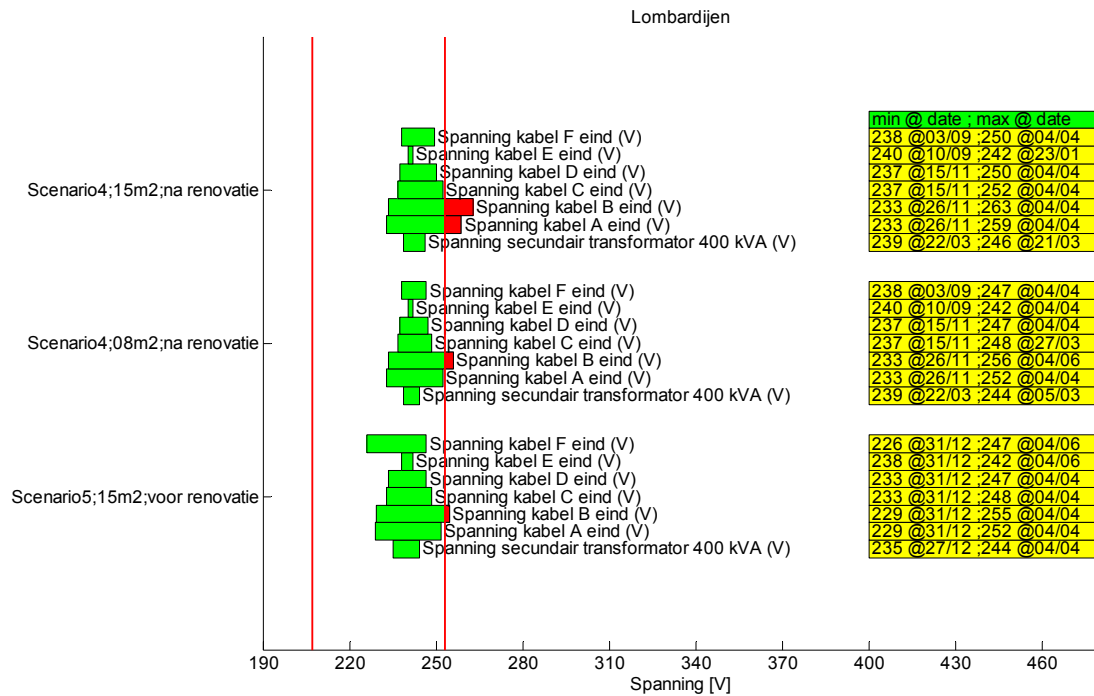
Figuur 0-38 Belasting transformator en kabels Lombardijen



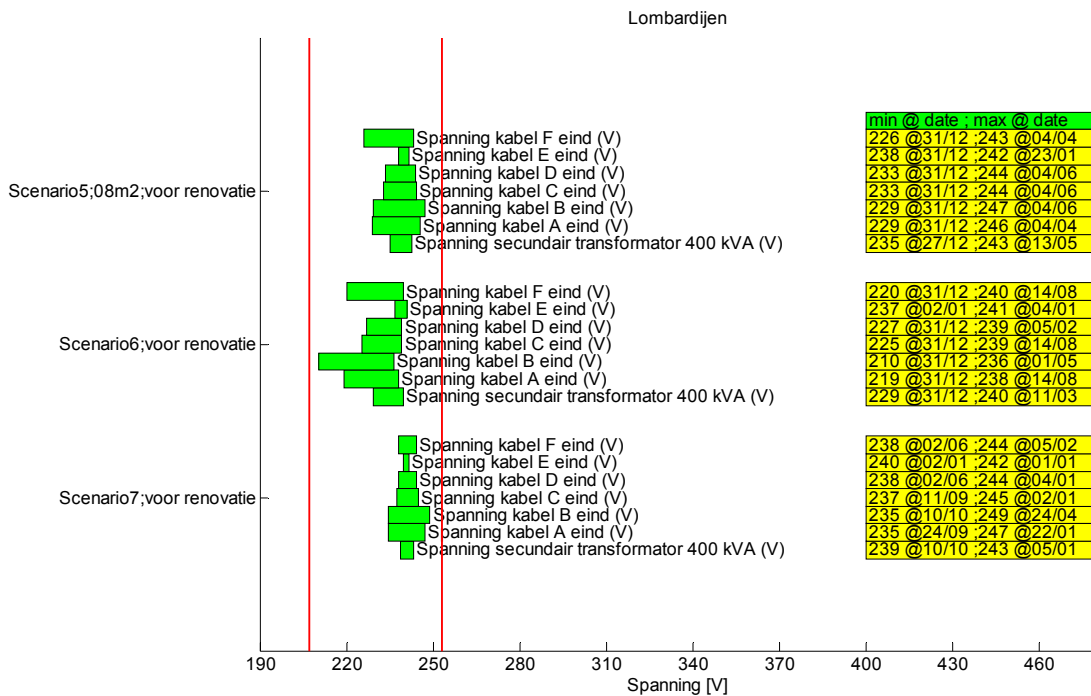
Figuur 0-39 Spanningshuishouding LS- net Lombardijen



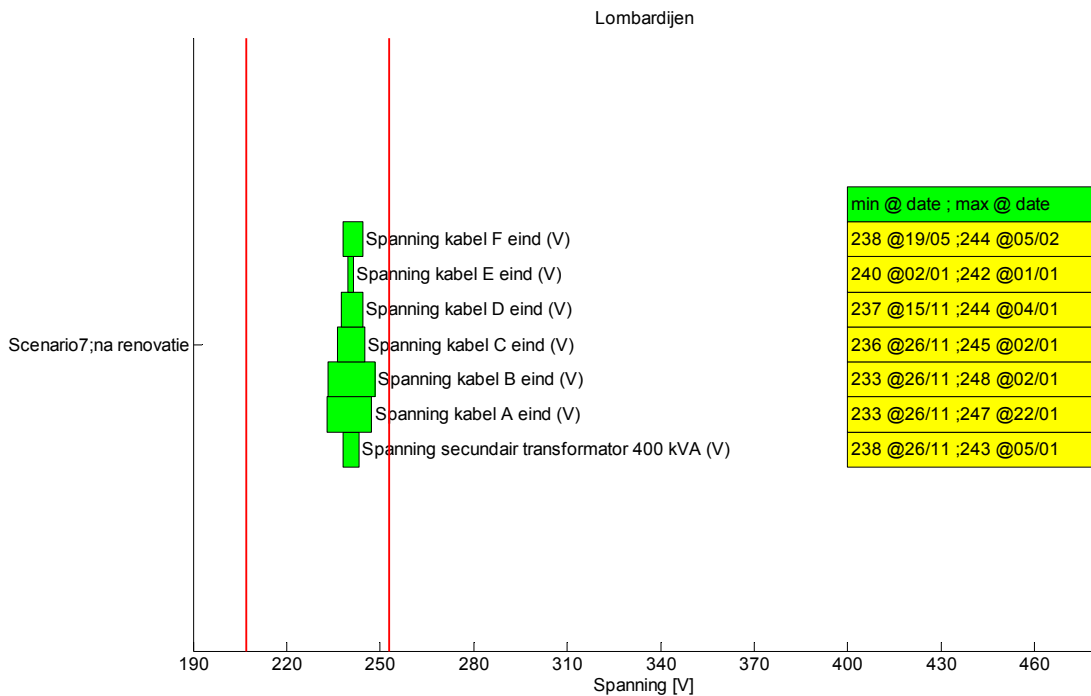
Figuur 0-40 Spanningshuishouding LS- net Lombardijen



Figuur 0-41 Spanningshuishouding LS- net Lombardijen

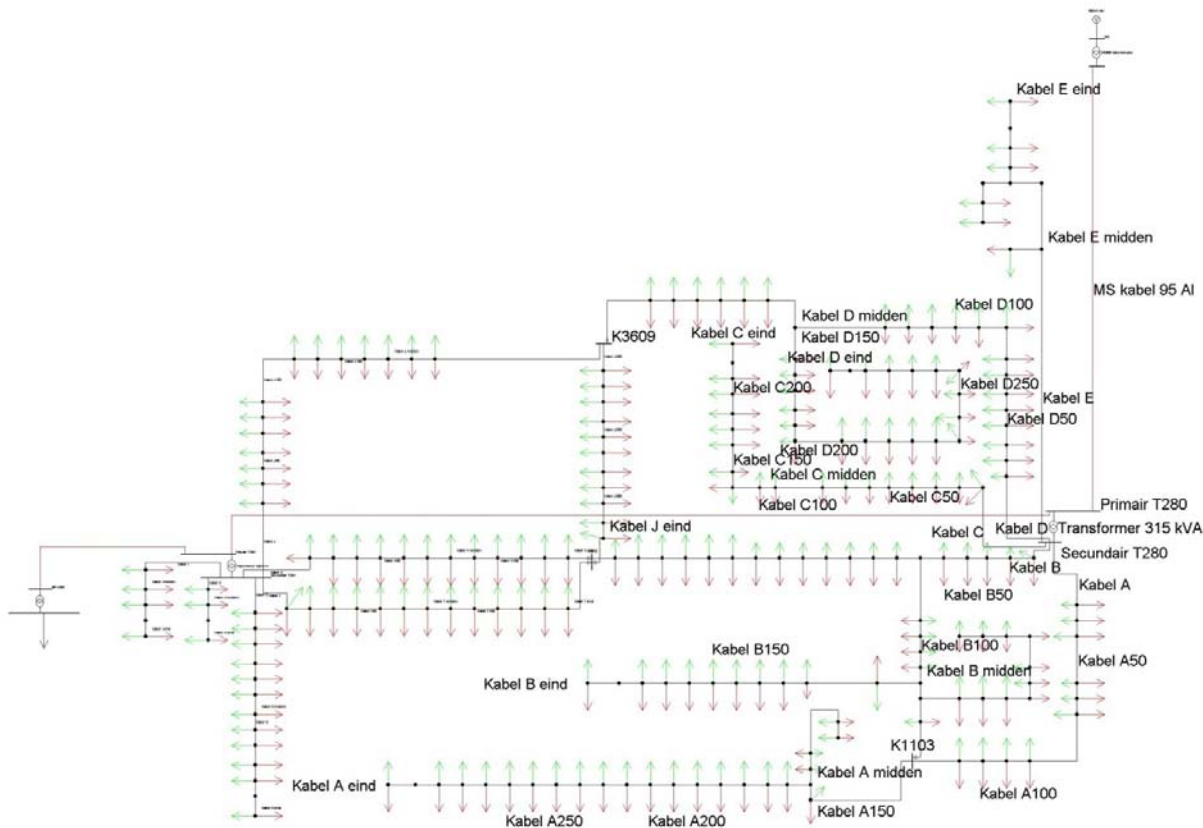


Figuur 0-42 Spanningshuishouding LS- net Lombardijen



Figuur 0-43 Spanningshuishouding LS- net Lombardijen

Resultaten Betondorp



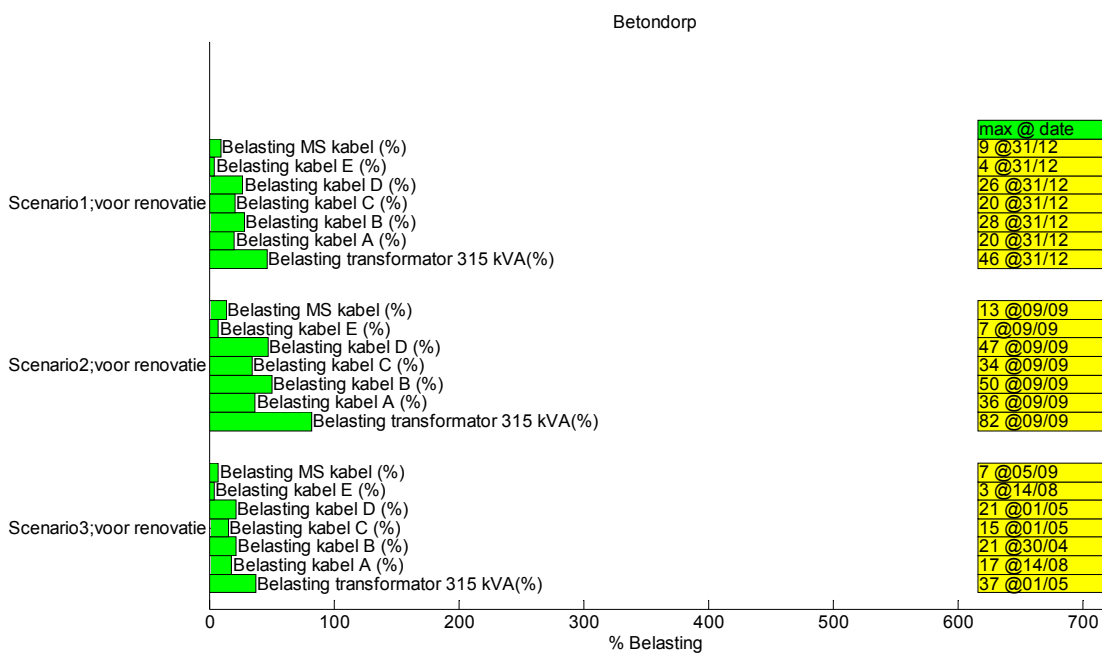
Figuur 0-44 LS- model Betondorp in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in Betondorp.

Tabel 0-22 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
315 kVA transformator	40%	30%	27%	36%
Kabel A	6%	5%	4%	5%
Kabel B	14%	10%	9%	12%
Kabel C	20%	15%	14%	18%
Kabel D	26%	20%	18%	24%
Kabel E	4%	3%	3%	3%



Figuur 0-45 Belastingen 315 kVA transformator en afgaande kabels in Betondorp

In Figuur 0-45 staan de belastingen van de kabels (begin feeder) en de 315 kVA transformator weergegeven. Er zijn geen problemen bij toepassing airconditioners of microwkk's.

Scenario 2 Business as usual met Airco**Tabel 0-23 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'Business as usual met airco'**

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
315 kVA trans-formator	46%		78%		82%		41%	
Kabel A	16%		28%		29%		15%	
Kabel B	28%		47%		50%		25%	
Kabel C	20%		32%		34%		18%	
Kabel D	26%		45%		47%		24%	
Kabel E	4%		6%		7%		3%	

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk**Tabel 0-24 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'**

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
315 kVA trans-formator	36%	36%	37%	36%	36%	36%	36%	36%
Kabel A	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Kabel B	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%
Kabel C	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Kabel D	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%
Kabel E	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%

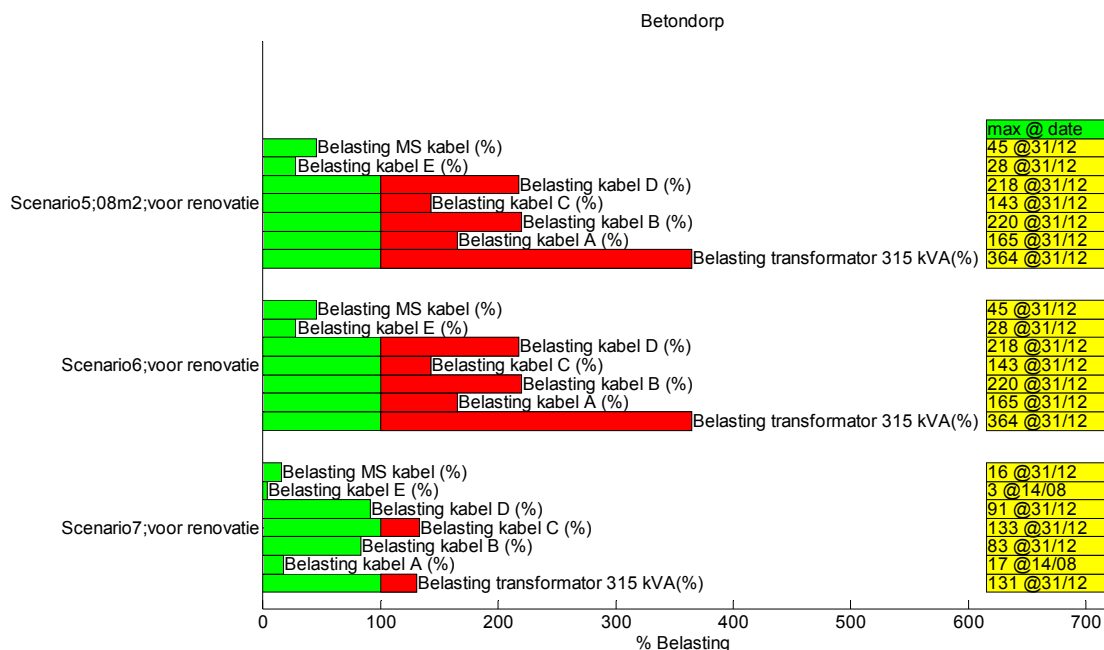
Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV**Tabel 0-25 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'**

Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
315 kVA transformator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	102 %	66%	102 %	66%	116 %	75%	113 %	73%	105 %	67%	106 %	70%	100 %	66%	99%	66%
Kabel A	40%	26%	40%	26%	45%	29%	44%	28%	41%	26%	39%	27%	39%	25%	38%	25%
Kabel B	59%	39%	59%	39%	67%	44%	66%	42%	61%	39%	62%	41%	58%	38%	58%	38%
Kabel C	41%	27%	41%	27%	47%	31%	47%	31%	46%	29%	43%	28%	41%	27%	41%	27%
Kabel D	58%	38%	58%	38%	65%	43%	64%	41%	59%	38%	60%	40%	56%	37%	56%	37%
Kabel E	9%	6%	9%	6%	10%	7%	10%	6%	9%	6%	10%	6%	9%	6%	9%	6%

Toepassing van microwkk plus PV geeft in het scenario met 15 m² PV per huis een kleine overbelasting van de transformator. Omdat dit worst case is bij 100% inpassing zal dit in de praktijk niet voorkomen.

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp**Tabel 0-26 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'**

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
315 kVA transformator	364%	364%	168%	168%	162%	162%	355%	355%
Kabel A	116%	116%	59%	59%	57%	57%	114%	114%
Kabel B	220%	220%	102%	102%	99%	99%	215%	215%
Kabel C	143%	143%	68%	68%	65%	66%	139%	139%
Kabel D	218%	218%	97%	97%	94%	94%	212%	212%
Kabel E	28%	28%	14%	14%	13%	13%	28%	28%



Figuur 0-46 Belastingen 315 kVA transformator en afgaande kabels in Betondorp

Inpassing van elektrische warmtepompen in Betondorp moet met grote zorg gebeuren. Het model bevat alleen huizen van type A, B en C waardoor een 100% inpassing van elektrische warmtepompen mogelijk is. De kabels en transformatoren zullen overbelast raken. Uitbreiding van het transformatorvermogen naar minimaal 1000 kVA is nodig, kabels moeten in capaciteit verdubbeld worden.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

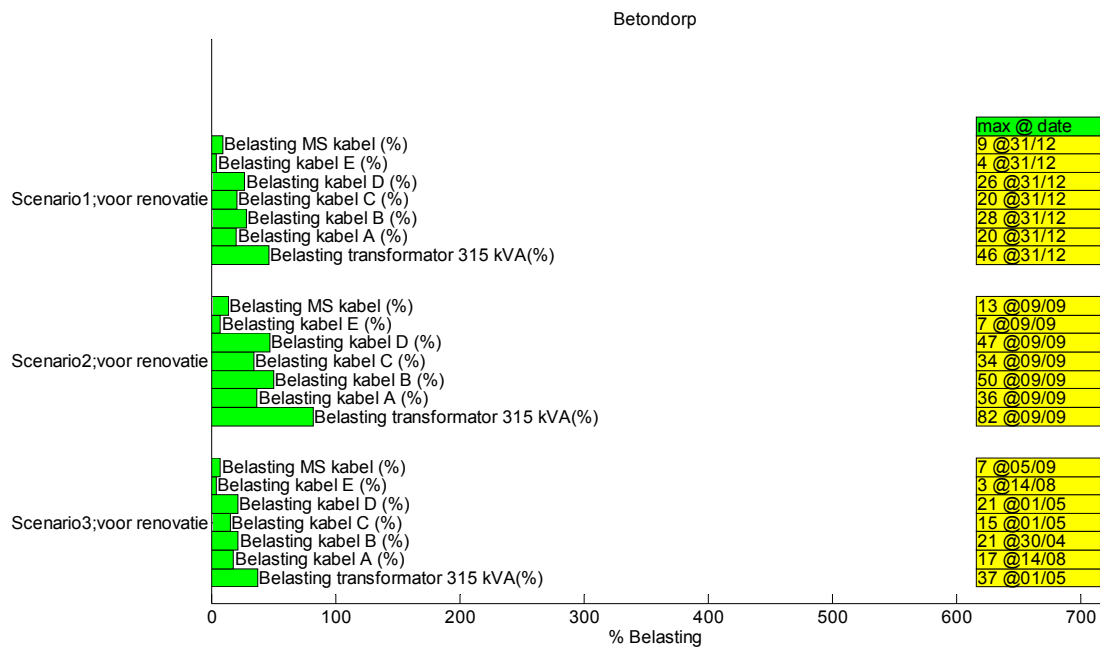
Tabel 0-27 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
315 kVA transformator	364%	168%	162%	355%
Kabel A	116%	59%	57%	114%
Kabel B	220%	102%	99%	215%
Kabel C	143%	68%	66%	139%
Kabel D	218%	97%	94%	212%
Kabel E	28%	14%	13%	28%

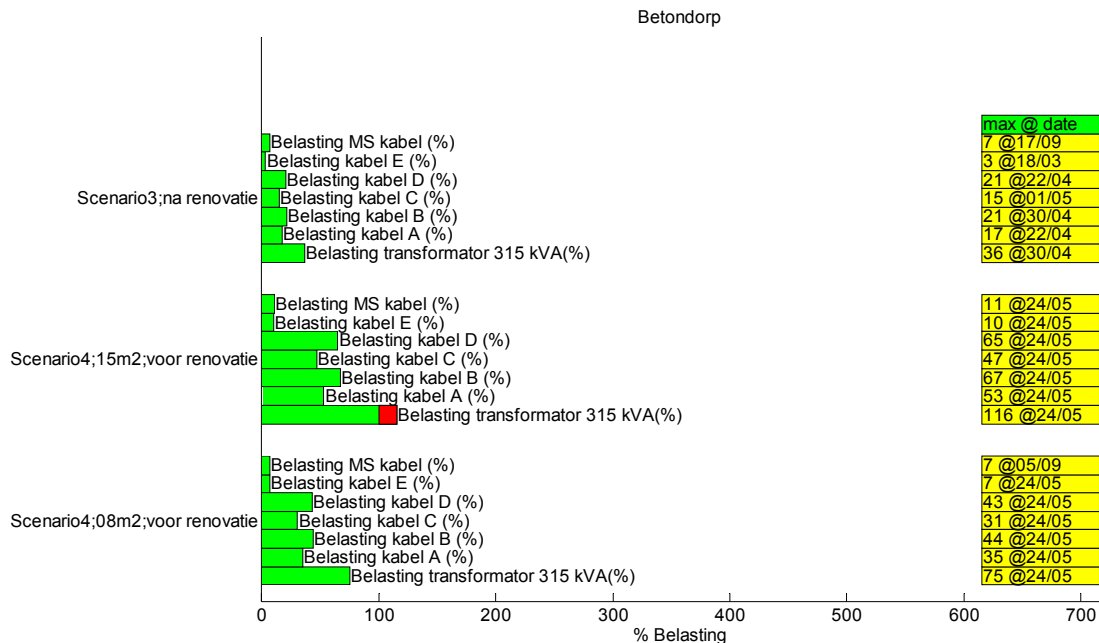
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-28 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Betondorp in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

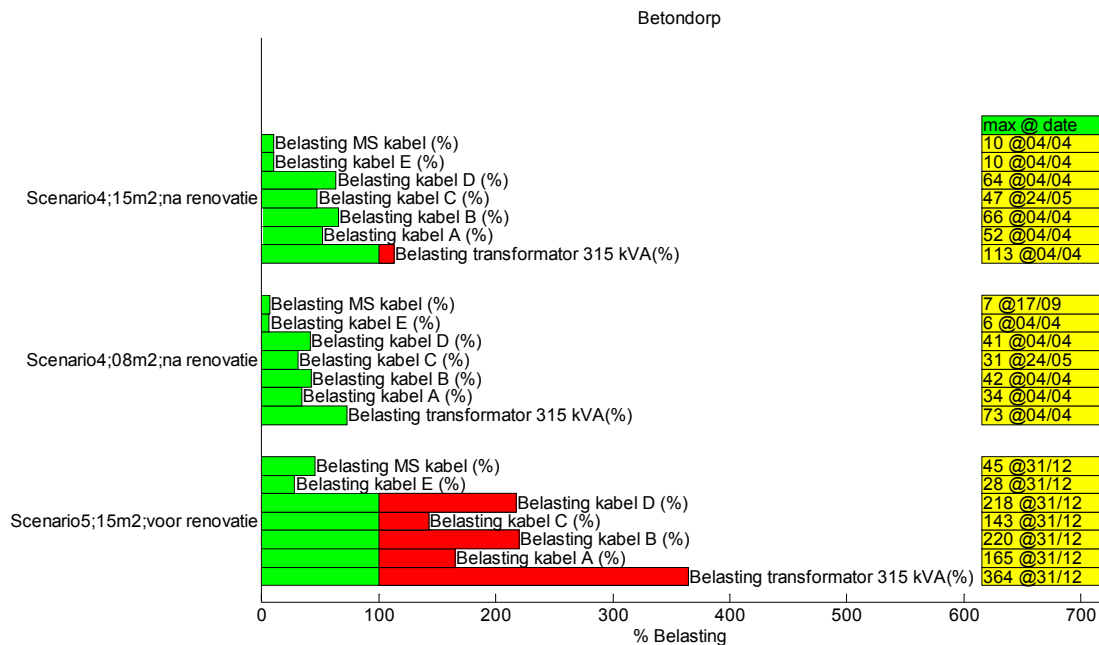
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
315 kVA transformator	131%	131%	73%	74%	80%	80%	124%	124%
Kabel A	19%	19%	16%	16%	18%	18%	16%	18%
Kabel B	83%	83%	46%	46%	50%	50%	79%	79%
Kabel C	133%	133%	66%	66%	64%	64%	130%	130%
Kabel D	91%	91%	49%	49%	52%	52%	87%	87%
Kabel E	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%



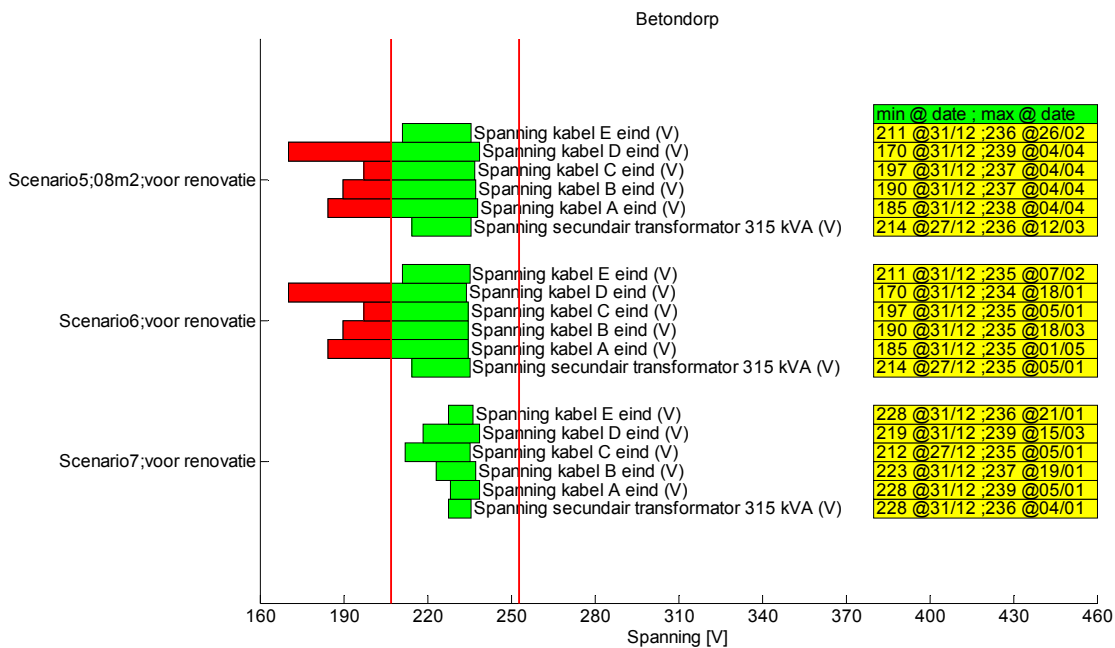
Figuur 0-47 Belasting transformator en kabels Betondorp



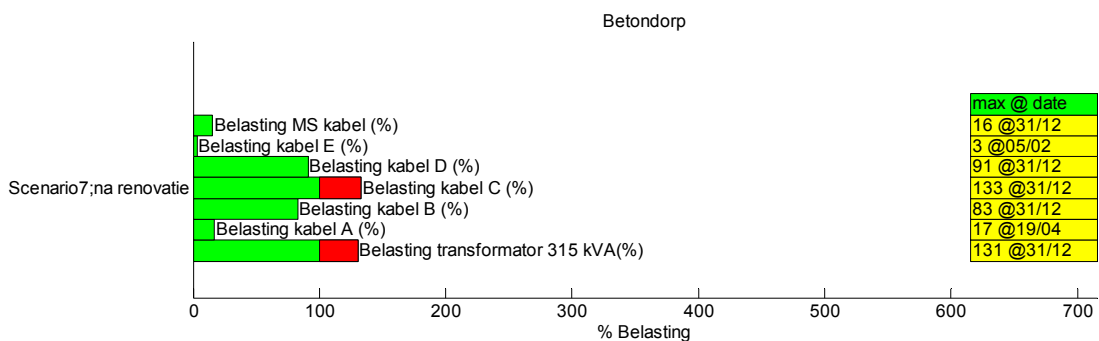
Figuur 0-48 Belasting transformator en kabels Betondorp



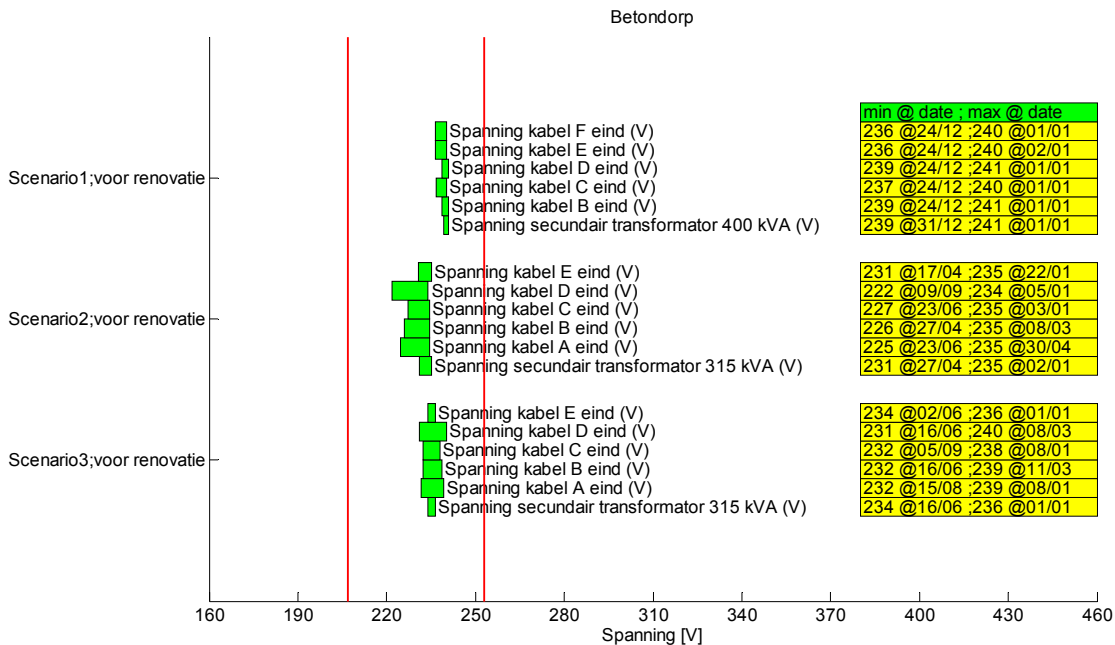
Figuur 0-49 Belasting transformator en kabels Betondorp



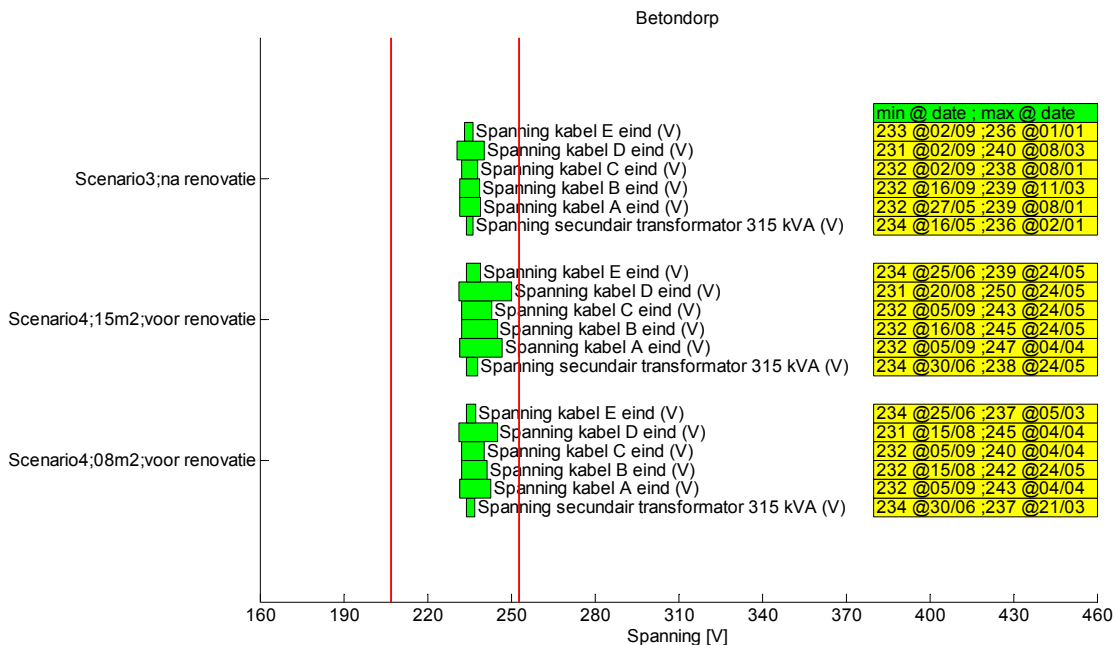
Figuur 0-50 Belasting transformator en kabels Betondorp



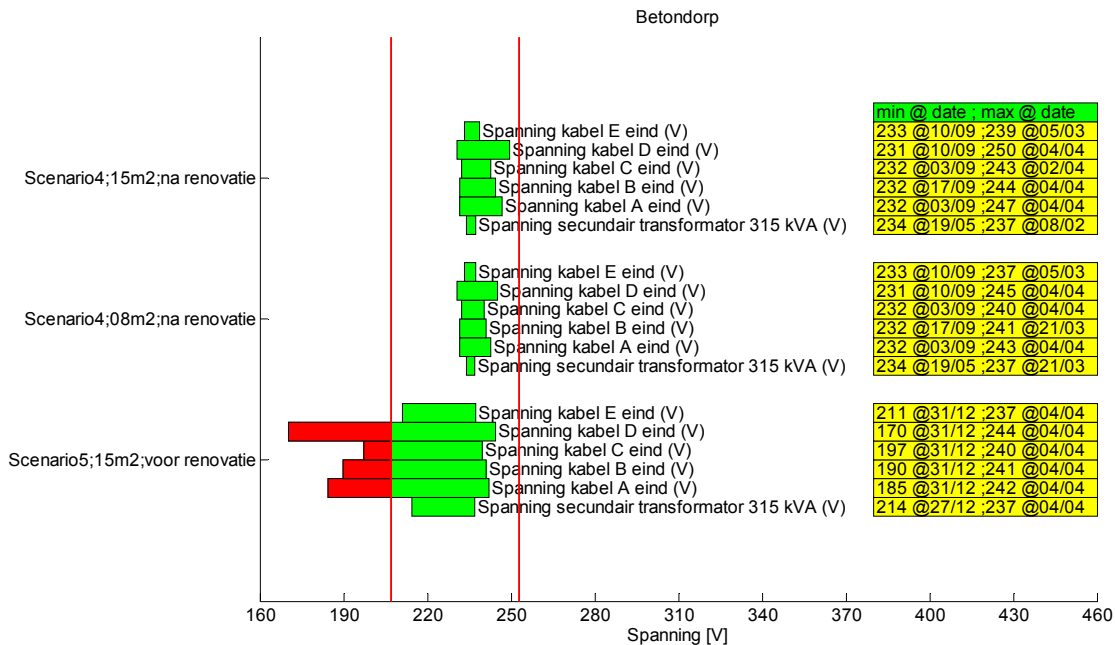
Figuur 0-51 Belasting transformator en kabels Betondorp



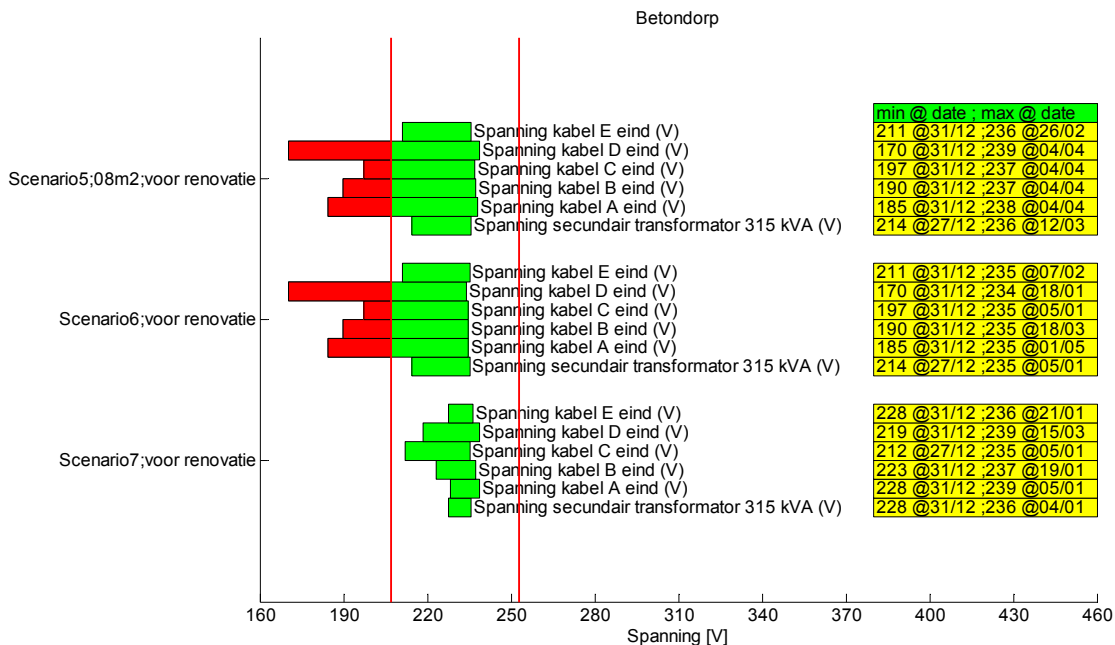
Figuur 0-52 Spanningshuishouding LS- net Betondorp



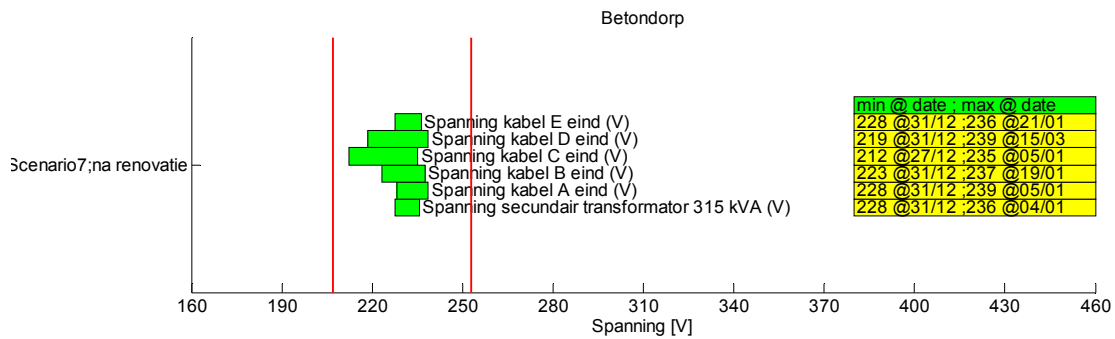
Figuur 0-53 Spanningshuishouding LS- net Betondorp



Figuur 0-54 Spanningshuishouding LS- net Betondorp

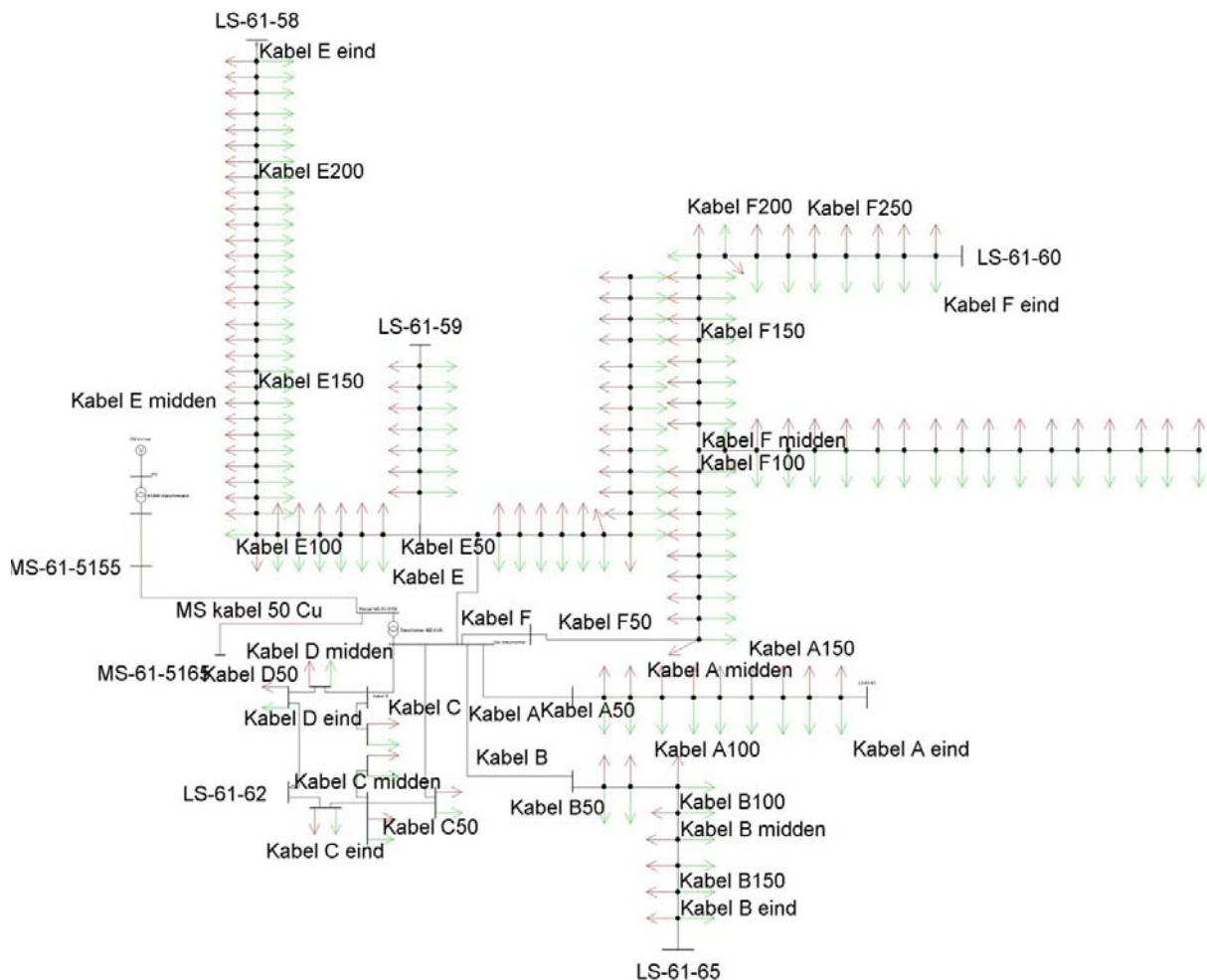


Figuur 0-55 Spanningshuishouding LS- net Betondorp



Figuur 0-56 Spanningshuishouding LS- net Betondorp

Resultaten Nootdorp



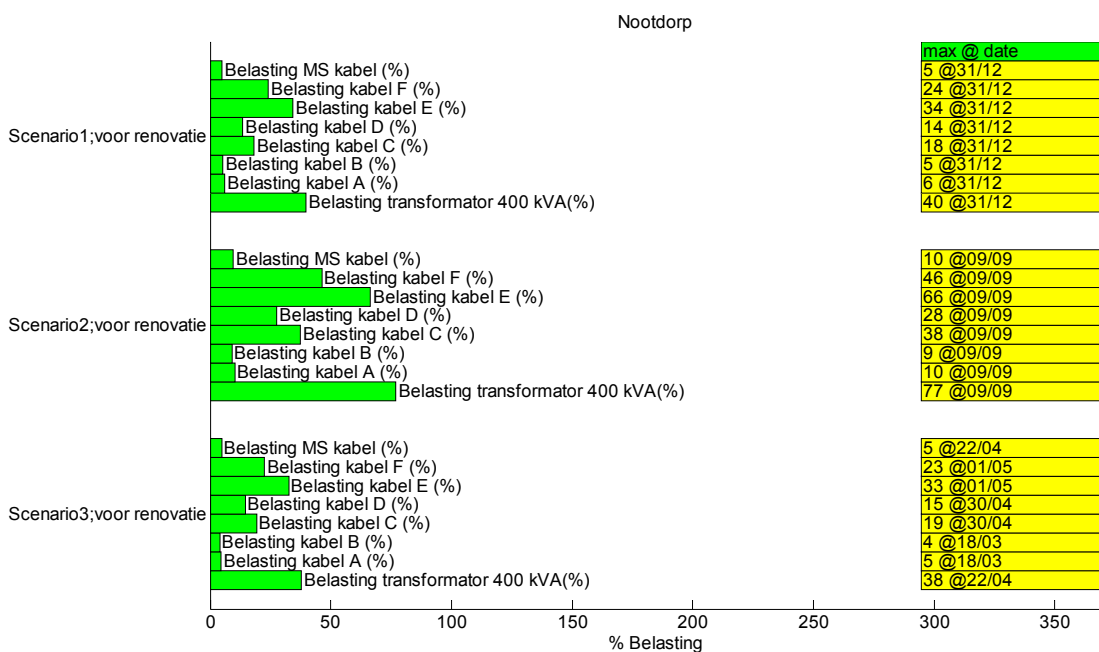
Figuur 0-57 LS- model van Nootdorp in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in Nootdorp.

Tabel 0-29 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	40%	30%	27%	36%
Kabel A	6%	5%	4%	5%
Kabel B	5%	4%	4%	5%
Kabel C	18%	14%	12%	16%
Kabel D	3%	10%	9%	12%
Kabel E	34%	26%	23%	31%
Kabel F	24%	18%	16%	22%



Figuur 0-58 Belastingen 400 kVA transformator en afgaande kabels in Nootdorp

In de scenario's 1,2 en 3 zijn er geen problemen in het LS- net van Nootdorp.

Scenario 2 Business as usual met Airco**Tabel 0-30 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'Business as usual met airco'**

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
400 kVA trans-formator	40%		74%		77%		36%	
Kabel A	6%		10%		10%		5%	
Kabel B	5%		9%		9%		5%	
Kabel C	18%		36%		38%		16%	
Kabel D	3%		27%		28%		12%	
Kabel E	34%		64%		66%		31%	
Kabel F	24%		44%		46%		22%	

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk**Tabel 0-31 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'**

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
400 kVA trans-formator	38%	38%	38%	38%	37%	31%	38%	38%
Kabel A	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Kabel B	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Kabel C	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%
Kabel D	14%	14%	15%	15%	14%	15%	14%	14%
Kabel E	32%	32%	33%	32%	32%	32%	32%	32%
Kabel F	22%	22%	23%	22%	22%	22%	22%	22%

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV

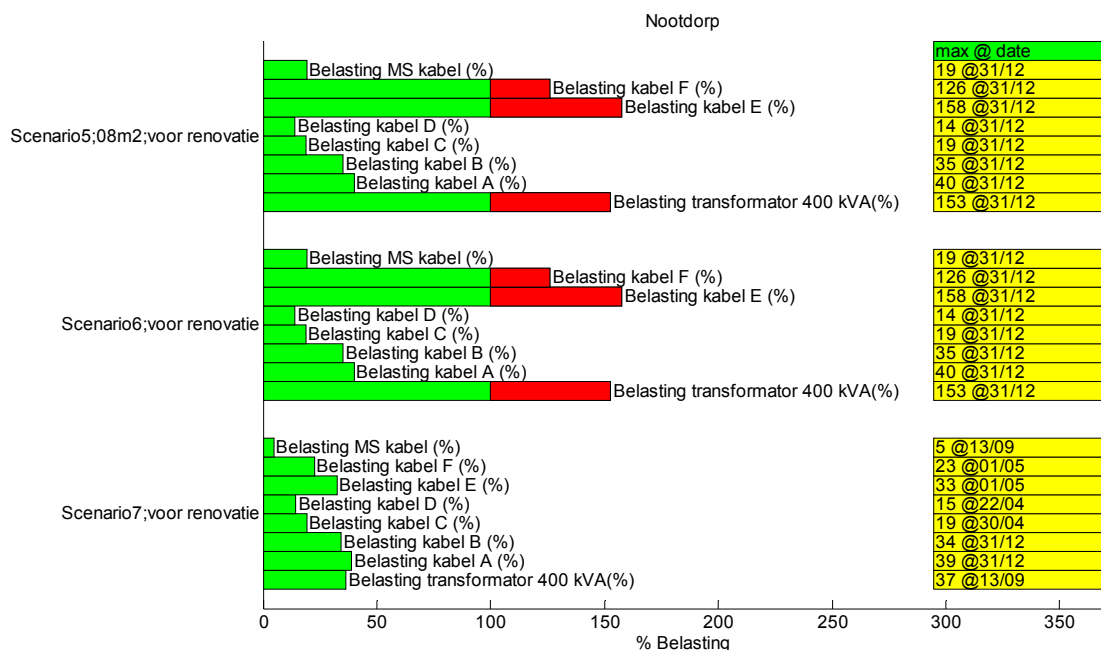
Tabel 0-32 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
400 kVA transformator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	106 %	70%	106 %	70%	120 %	79%	117 %	76%	103 %	69%	90%	62%	104 %	69%	94%	63%
Kabel A	13%	8%	13%	8%	14%	9%	15%	9%	15%	9%	13%	9%	13%	8%	13%	8%
Kabel B	11%	7%	11%	7%	13%	8%	13%	8%	11%	8%	12%	8%	11%	7%	11%	7%
Kabel C	53%	35%	53%	35%	59%	39%	58%	39%	58%	38%	52%	35%	52%	35%	50%	33%
Kabel D	40%	27%	40%	27%	46%	30%	45%	29%	44%	29%	40%	27%	40%	26%	38%	25%
Kabel E	90%	60%	90%	60%	101 %	67%	99%	65%	88%	59%	93%	61%	88%	59%	87%	58%
Kabel F	62%	41%	62%	41%	70%	46%	69%	45%	61%	41%	64%	42%	61%	41%	60%	40%

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp

Tabel 0-33 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
400 kVA transformator	153%	153%	80%	80%	76%	76%	146%	146%
Kabel A	40%	40%	20%	20%	20%	39%	39%	39%
Kabel B	35%	35%	18%	18%	17%	17%	34%	34%
Kabel C	31%	19%	38%	17%	36%	16%	30%	17%
Kabel D	24%	14%	29%	13%	27%	12%	23%	12%
Kabel E	158%	158%	81%	81%	77%	77%	152%	152%
Kabel F	126%	126%	64%	64%	60%	60%	122%	122%



Figuur 0-59 Belastingen 400 kVA transformator en afgaande kabels in Nootdorp

De inpassing van elektrische warmtepompen geeft problemen in het LS-net van Nootdorp. Op de niet-overbelaste kabels A, B, C en D zitten weinig elektrische warmtepompen aangesloten, waardoor geen problemen lijken te bestaan. Op kabels E en F zitten gemiddeld 40 woningen met allen een elektrische warmtepomp waardoor overbelasting ontstaat. De transformatorcapaciteit moet uitgebreid worden naar 630 kVA.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

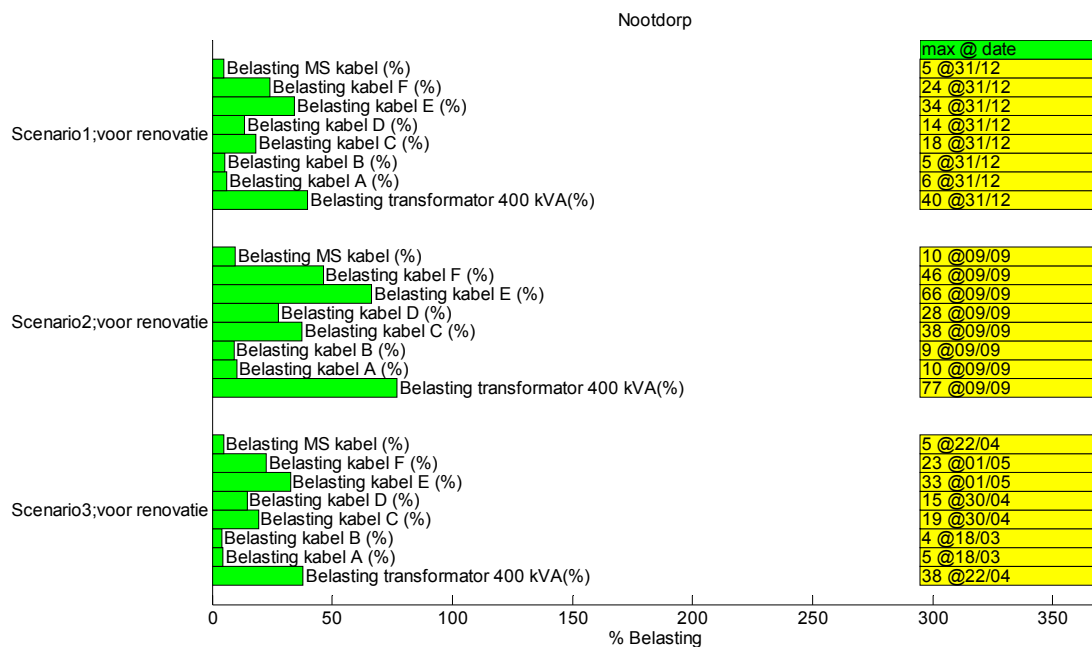
Tabel 0-34 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	153%	80%	76%	146%
Kabel A	40%	20%	20%	39%
Kabel B	35%	18%	17%	34%
Kabel C	19%	14%	13%	17%
Kabel D	14%	10%	9%	12%
Kabel E	158%	81%	77%	152%
Kabel F	126%	64%	61%	122%

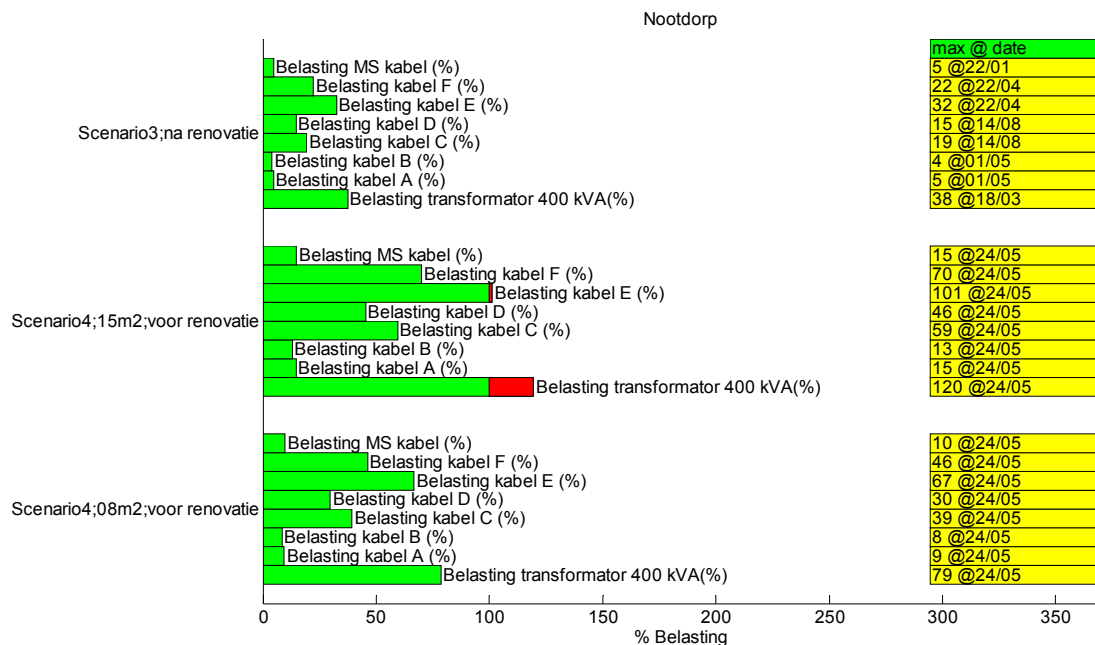
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-35 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Nootdorp in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

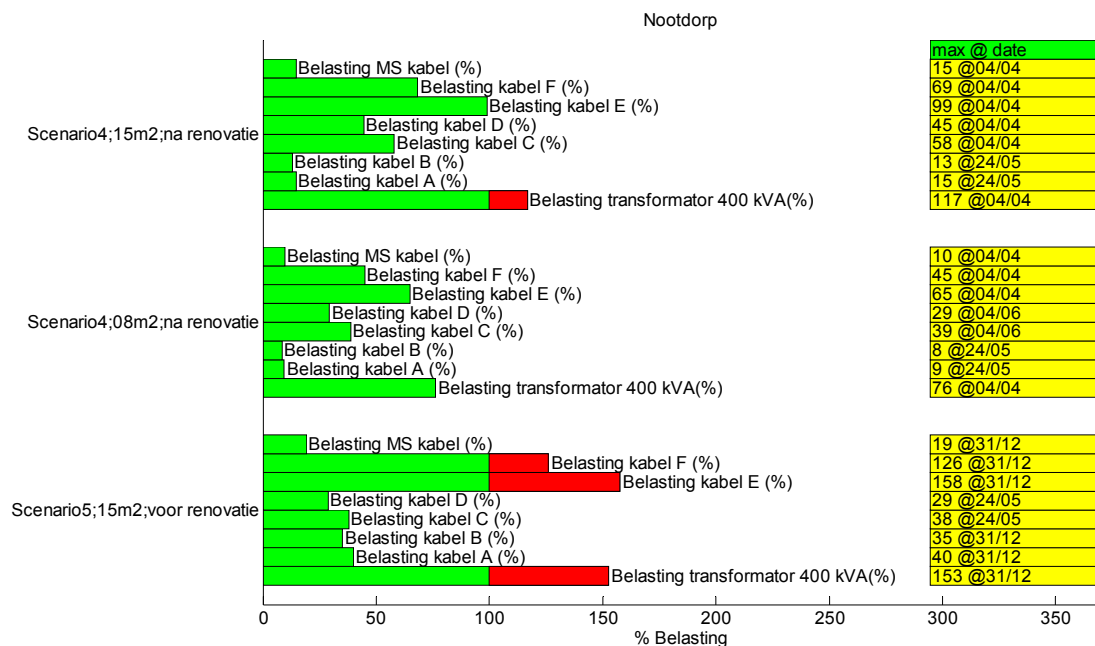
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
400 kVA trans- formator	33%	33%	34%	33%	37%	37%	34%	34%
Kabel A	39%	39%	20%	20%	20%	19%	38%	38%
Kabel B	34%	34%	18%	18%	17%	17%	34%	34%
Kabel C	19%	19%	19%	19%	19%	20%	19%	19%
Kabel D	14%	14%	15%	15%	14%	15%	14%	14%
Kabel E	32%	32%	33%	33%	32%	32%	32%	32%
Kabel F	22%	22%	23%	23%	22%	22%	22%	22%



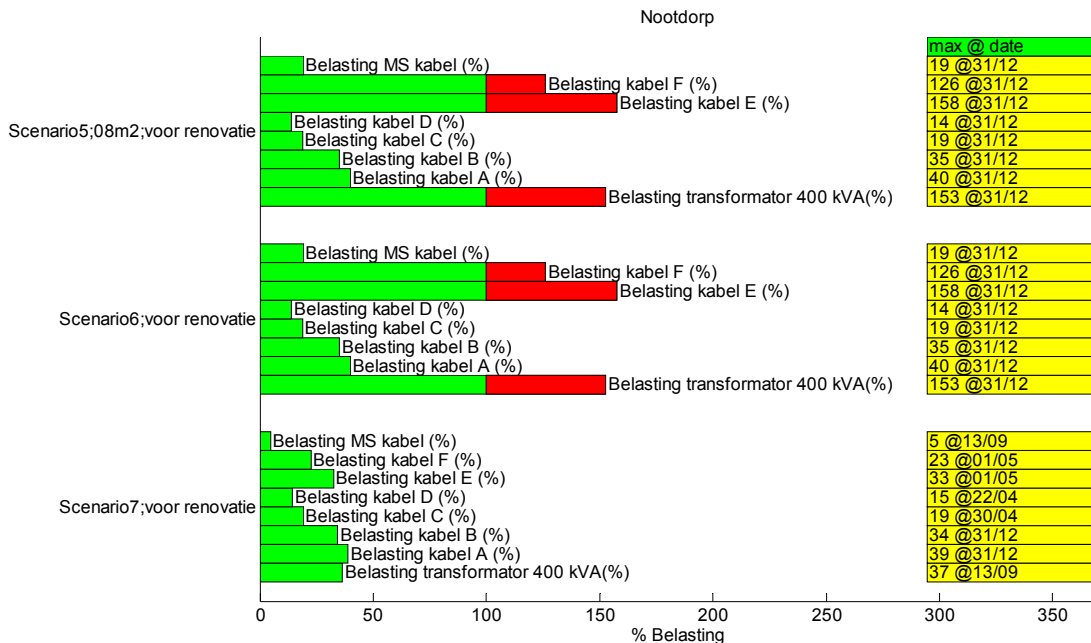
Figuur 0-60 Belasting transformator en kabels Nootdorp



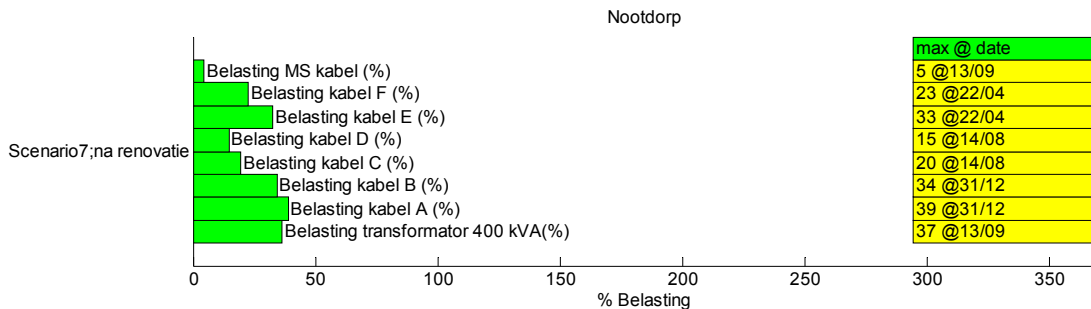
Figuur 0-61 Belasting transformator en kabels Nootdorp



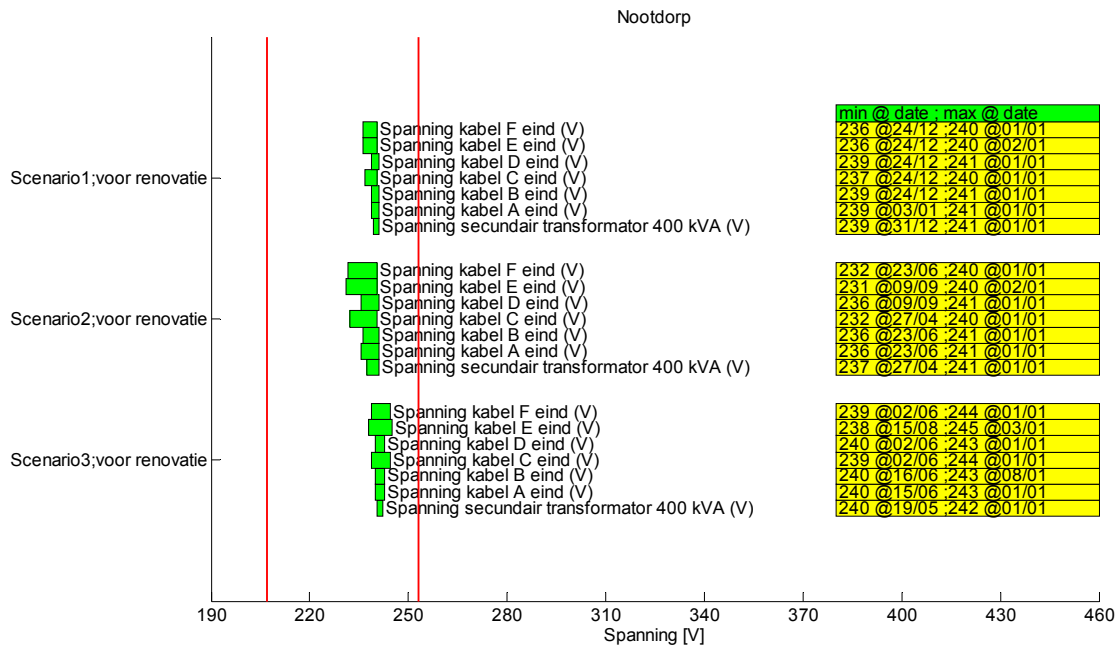
Figuur 0-62 Belasting transformator en kabels Nootdorp



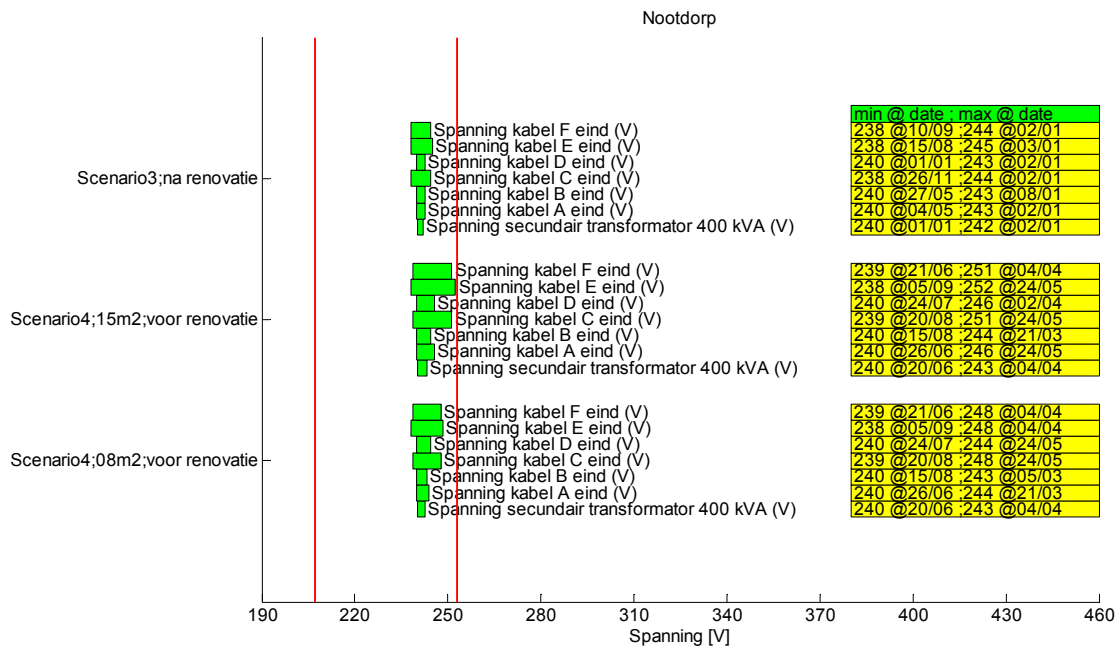
Figuur 0-63 Belasting transformator en kabels Nootdorp



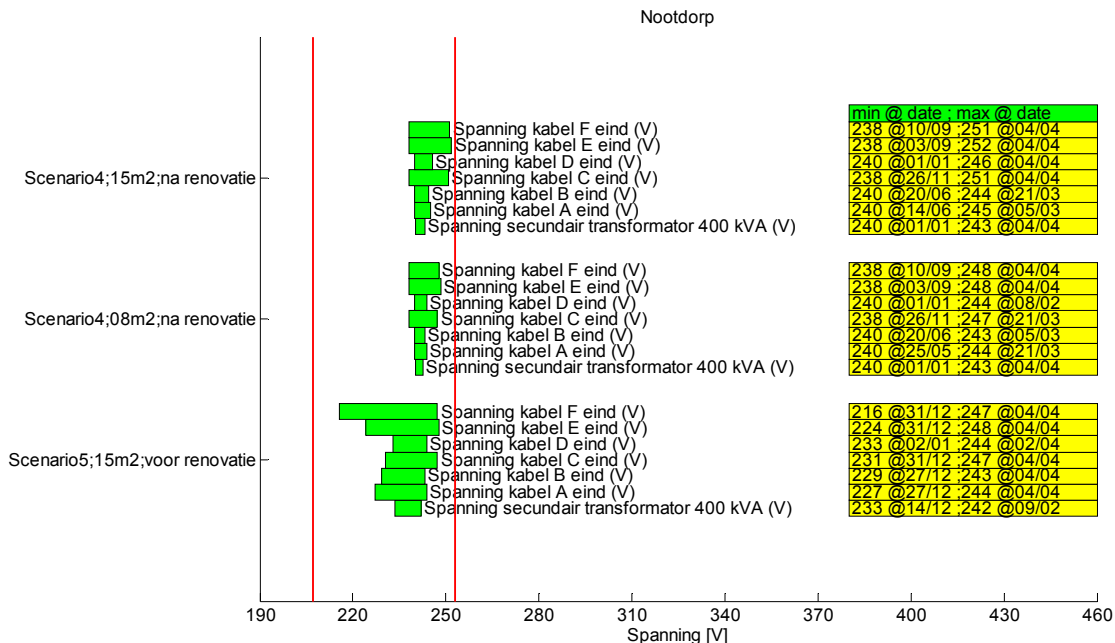
Figuur 0-64 Belasting transformator en kabels Nootdorp



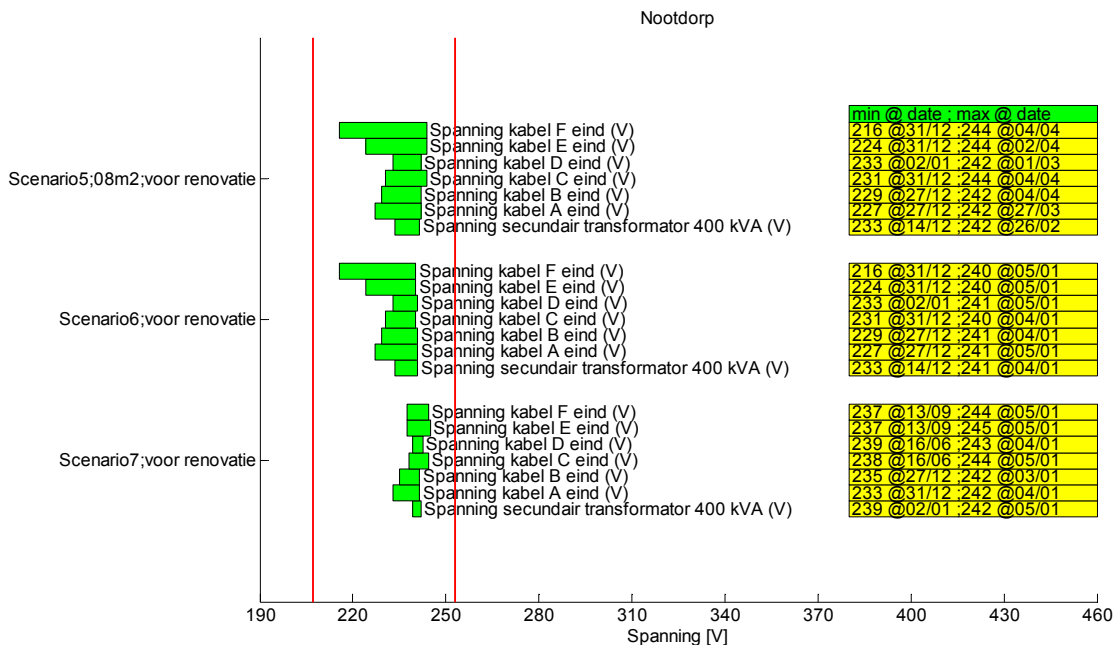
Figuur 0-65 Spanningshuishouding LS- net Nootdorp



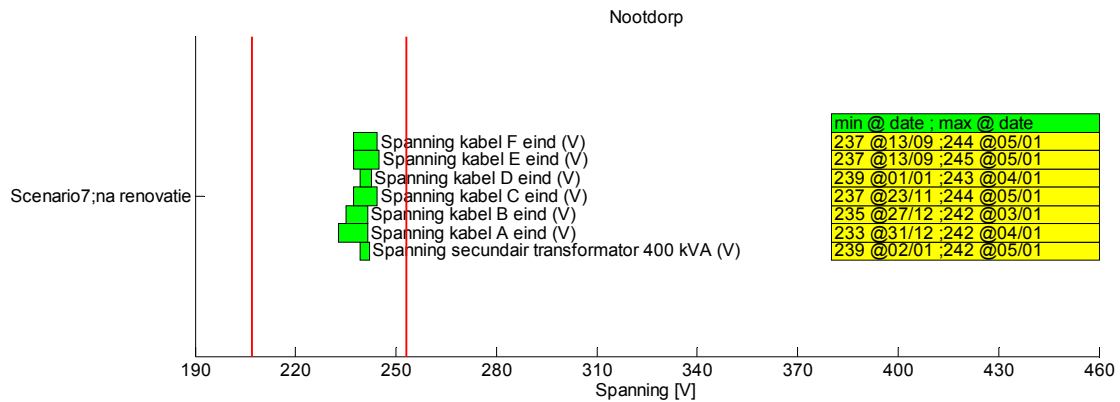
Figuur 0-66 Spanningshuishouding LS- net Nootdorp



Figuur 0-67 Spanningshuishouding LS- net Nootdorp

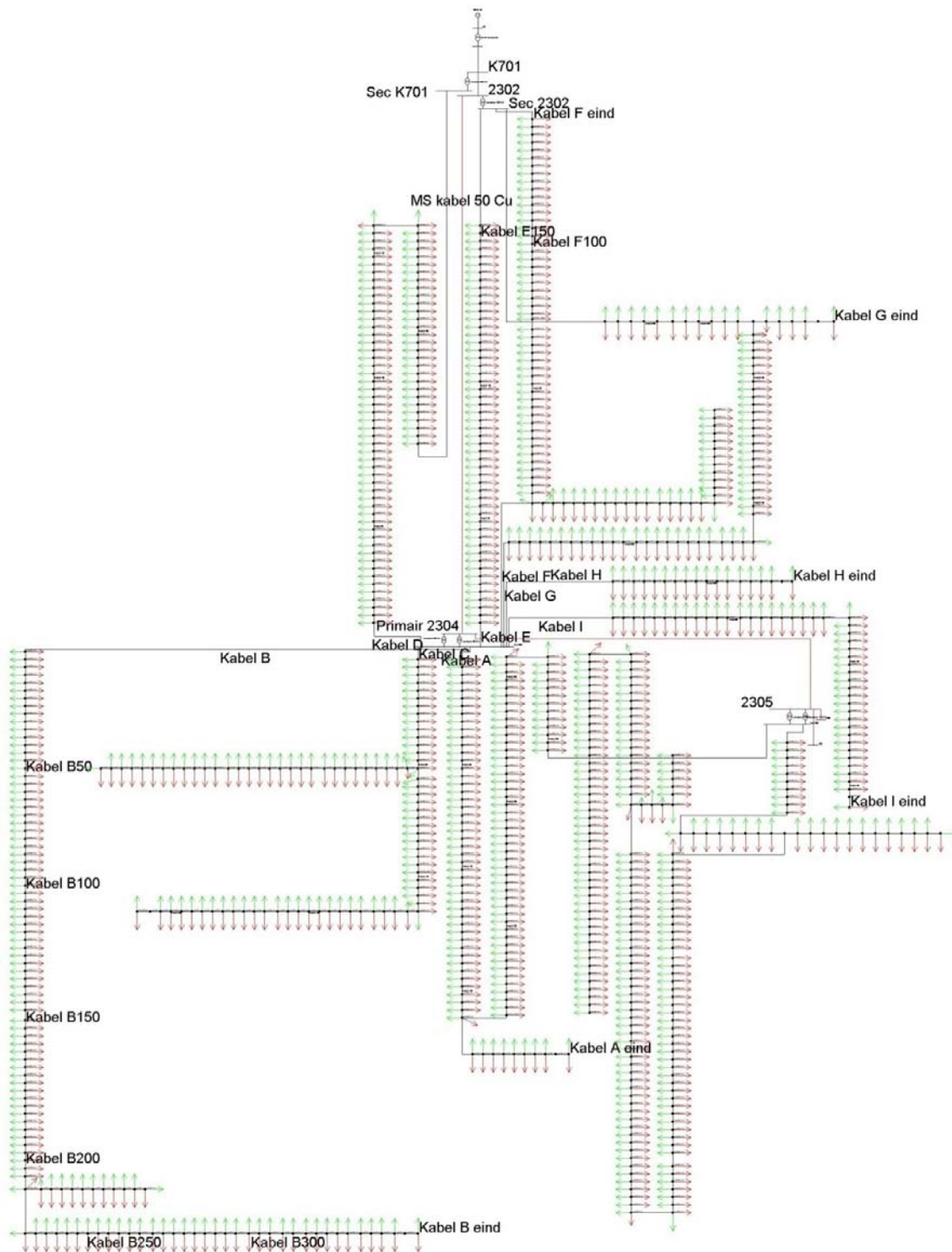


Figuur 0-68 Spanningshuishouding LS- net Nootdorp



Figuur 0-69 Spanningshuishouding LS- net Nootdorp

Resultaten Schilderswijk

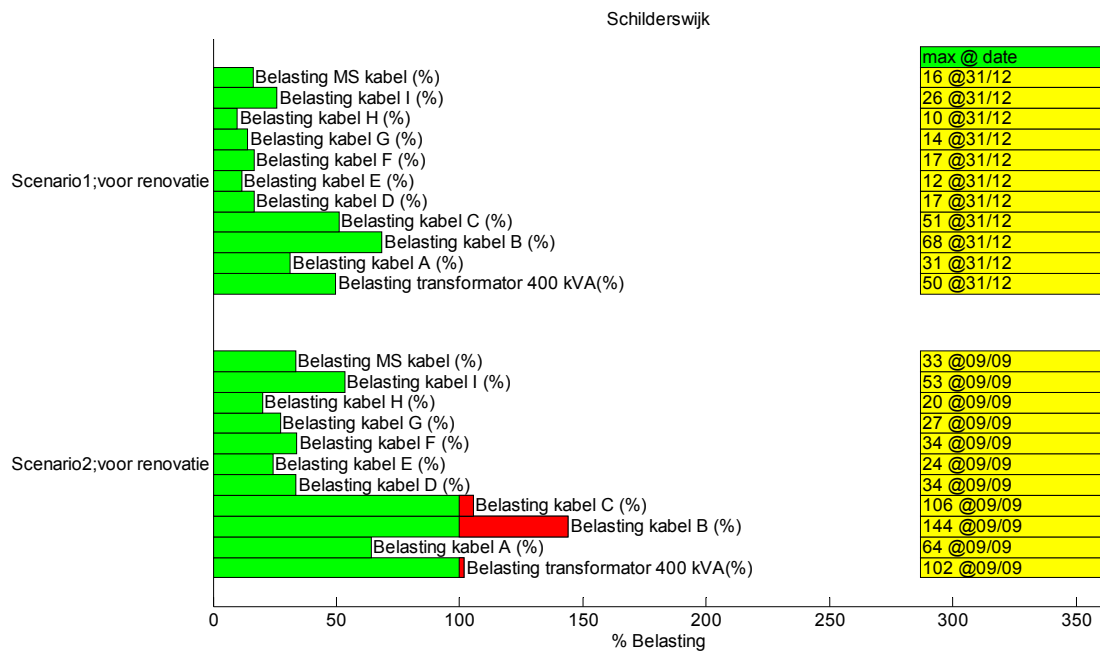


Figuur 0-70 LS- model van de Schilderswijk in Vision

Scenario 1 Business as usual

Tabel 0-36 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	50%	38%	34%	45%
Kabel A	31%	24%	21%	28%
Kabel B	68%	52%	46%	61%
Kabel C	51%	39%	34%	46%
Kabel D	17%	13%	11%	15%
Kabel E	12%	9%	8%	10%
Kabel F	17%	13%	11%	15%
Kabel G	14%	11%	10%	13%
Kabel H	10%	7%	7%	9%
Kabel I	26%	20%	18%	23%



Figuur 0-71 Belastingen 400 kVA transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk

De Schilderswijk, een centrum stedelijk wijk, bestaat vooral uit portiekwoningen met een gemiddeld gebruik van 3000 kWh per woning/jaar. De belasting in de huidige situatie biedt ruimte voor uitbreiding met nieuwe

belastingen en opwekkers. De belasting van de kabels lijkt laag, echter de voeding gebeurt vanaf twee kanten. De maximale belasting mag dus maar 50% bedragen, anders kan in geval van storing niet de gehele feeder vanaf één kant gevoed worden. Dit was de filosofie toen het net aangelegd werd, dit is nog steeds het uitgangspunt echter belastingen kunnen opgelopen zijn tot boven de 50% door uitbreidingen op het net.

Scenario 2 Business as usual met Airco

Tabel 0-37 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
400 kVA transformator	50%	98%	102%	45%
Kabel A	31%	62%	64%	28%
Kabel B	68%	138%	144%	61%
Kabel C	51%	101%	105%	46%
Kabel D	17%	32%	34%	15%
Kabel E	12%	23%	24%	10%
Kabel F	17%	33%	34%	15%
Kabel G	14%	26%	27%	13%
Kabel H	10%	20%	20%	9%
Kabel I	26%	51%	53%	23%

Airconditioning kan in grote mate toegepast worden, echter er bestaat de kans op overbelasting. Op transformatorniveau zijn er niet direct problemen te verwachten.

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk**Tabel 0-38 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'**

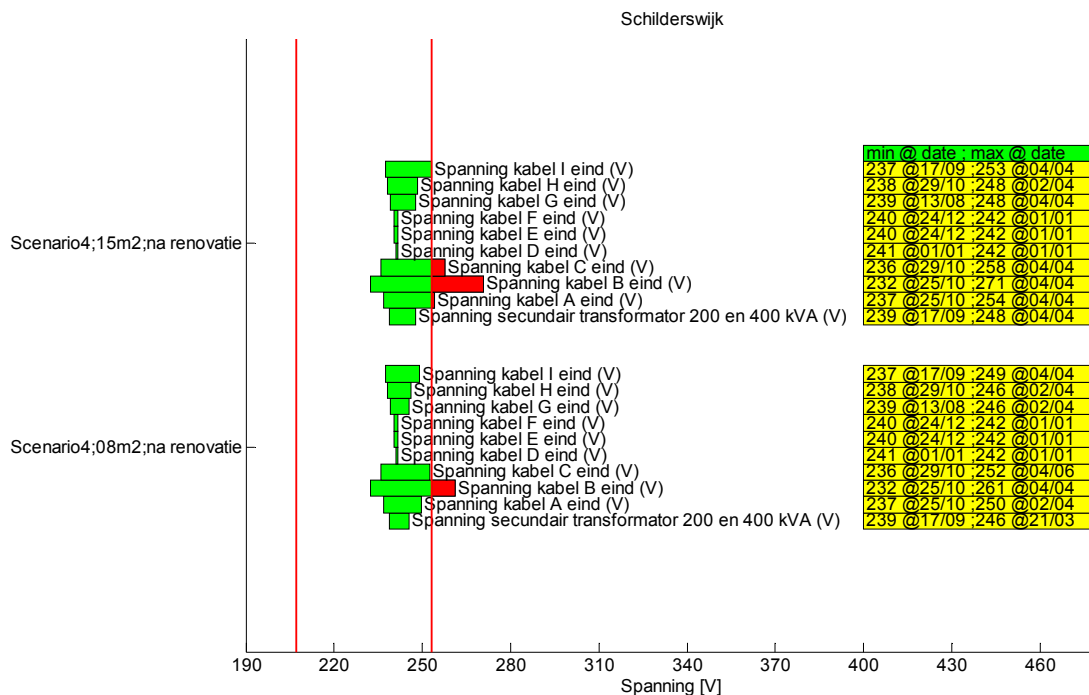
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
400 kVA transformator	51%	51%	52%	51%	51%	51%	51%	51%
Kabel A	32%	32%	33%	32%	32%	325	32%	32%
Kabel B	68%	68%	69%	68%	68%	68%	68%	68%
Kabel C	52%	52%	53%	53%	52%	53%	52%	52%
Kabel D	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
Kabel E	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
Kabel F	17%	17%	18%	18%	17%	18%	18%	18%
Kabel G	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Kabel H	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Kabel I	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%

Microwkk's kunnen onbeperkt worden toegepast. Wel bestaat de kans dat in geval van storing teveel vermogen één richting op moet waardoor overbelasting van kabels kan ontstaan. Dit is wel in een worst case situatie waar wel rekening mee gehouden moet worden wanneer er een grootschalige vervanging van HR door HRe gaat plaatsvinden.

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV

Tabel 0-39 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

Max:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
400 kVA transformator	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	143 %	95%	143 %	95%	161 %	106 %	158 %	103 %	157 %	103 %	147 %	97%	140 %	94%	138 %	92%
Kabel A	89%	60%	89%	60%	100 %	66%	98%	65%	97%	64%	92%	61%	87%	59%	86%	58%
Kabel B	184 %	124 %	184 %	124 %	205 %	138 %	201 %	136 %	200 %	134 %	189 %	127 %	180 %	123 %	177 %	121 %
Kabel C	144 %	96%	144 %	96%	161 %	108 %	158 %	106 %	157 %	104 %	148 %	99%	141 %	95%	139 %	94%
Kabel D	49%	32%	49%	32%	55%	36%	53%	35%	53%	35%	50%	33%	48%	32%	47%	31%
Kabel E	33%	22%	33%	22%	37%	24%	34%	24%	36%	24%	34%	23%	32%	22%	32%	21%
Kabel F	49%	33%	49%	33%	56%	37%	54%	36%	54%	35%	51%	34%	48%	32%	48%	32%
Kabel G	39%	26%	39%	26%	44%	29%	43%	28%	435	28%	38%	25%	38%	25%	37%	25%
Kabel H	28%	19%	28%	19%	32%	21%	31%	21%	31%	20%	29%	19%	28%	19%	27%	18%
Kabel I	75%	50%	75%	50%	84%	56%	82%	55%	81%	54%	77%	51%	73%	49%	72%	48%



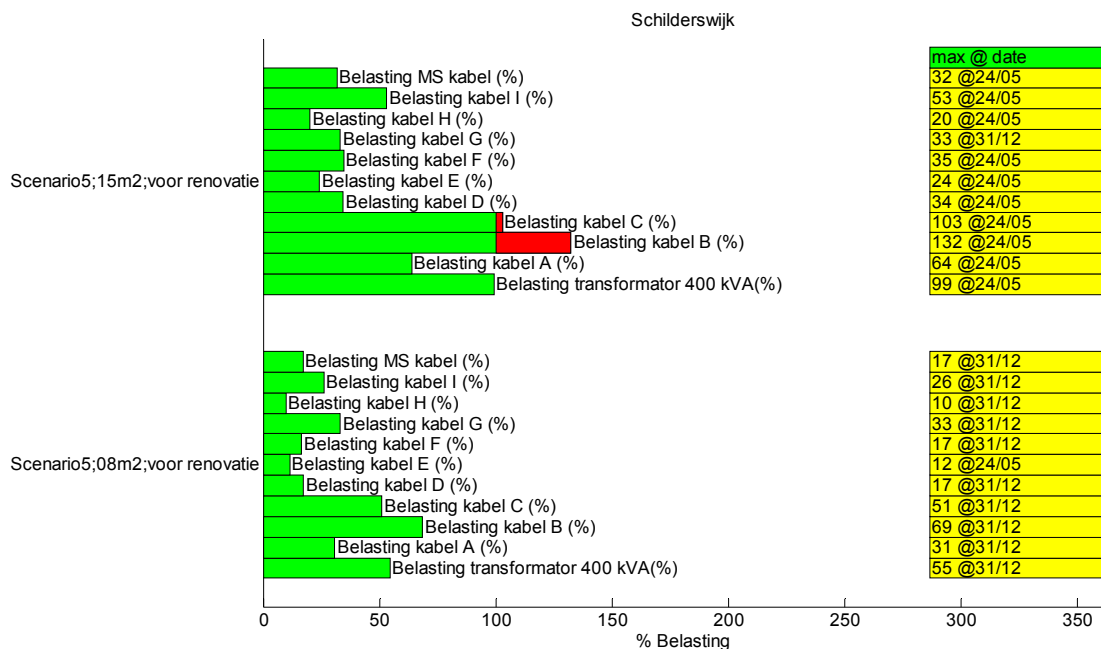
Figuur 0-72 Spanningshuishouding in de Schilderswijk

De inpassing, mogelijk projectmatig, van microwkk plus PV zal problemen geven in een centrumstedelijke wijk als de Schilderswijk. Let op: de hoeveelheid PV is onrealistisch hoog, namelijk 6 kWp per gebouw. Beter is rekening te houden met 3 kWp, echter ook dan treedt overbelasting op. Kabels en transformatoren zullen moeten worden verzaard om dit scenario mogelijk te maken. Ook de spanningshuishouding is zwaar verstoord. Door teruglevering treden spanningen op van 271V. De simulaties zijn uitgevoerd met een ingestelde secundaire lijnspanning van 420V. Verstellen van de trapstand zou de spanningsproblemen wegnemen, echter niet de capaciteitsproblemen. Dit scenario is een aandachtspunt vanwege relatief grote waarschijnlijkheid van realisatie.

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp**Tabel 0-40 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'**

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
400 kVA trans- formator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	83%	55%	99%	44%	97%	43%	81%	47%
Kabel A	53%	31%	64%	30%	61%	27%	51%	28%
Kabel B	110%	69%	132%	62%	127%	57%	106%	61%
Kabel C	85%	51%	103%	47%	99%	44%	82%	46%
Kabel D	28%	17%	34%	16%	33%	14%	27%	15%
Kabel E	20%	11%	24%	12%	22%	10%	19%	10%
Kabel F	29%	17%	35%	15%	33%	15%	28%	15%
Kabel G	33%	33%	26%	19%	26%	18%	31%	31%
Kabel H	17%	10%	20%	9%	19%	9%	16%	9%
Kabel I	44%	26%	53%	24%	51%	23%	42%	23%

De zichtbare overbelasting in Tabel 0-40 komt niet door de elektrische warmtepompen, deze zitten aangesloten op kabel G. De overbelasting wordt veroorzaakt door PV installaties op de portiekwoningen. Voor de portiekwoningen is gerekend met 6 kWp per gebouw (bestaande uit 3 portiekwoningen). Dit is aan de forse kant. Realistischer is het scenario met 8 m² per portiekwoning (3 kWp per gebouw). Er treedt geen overbelasting op, echter de grens moet liggen op 50% om ook in gestoorde situaties niet een overbelast net te krijgen.



Figuur 0-73 Belastingen 400 kVA transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk

De inpassing van veel warmtepompen in de Schilderswijk is onrealistisch, dit zou een te grote impact hebben op de woning. Daardoor lijken geen problemen te bestaan in een dergelijke situatie, echter dit is niet het geval. Inpassing zou grote gevolgen hebben maar wordt door de grote onwaarschijnlijkheid niet doorgerekend. Alleen op kabel G zitten enkele elektrische warmtepompen.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

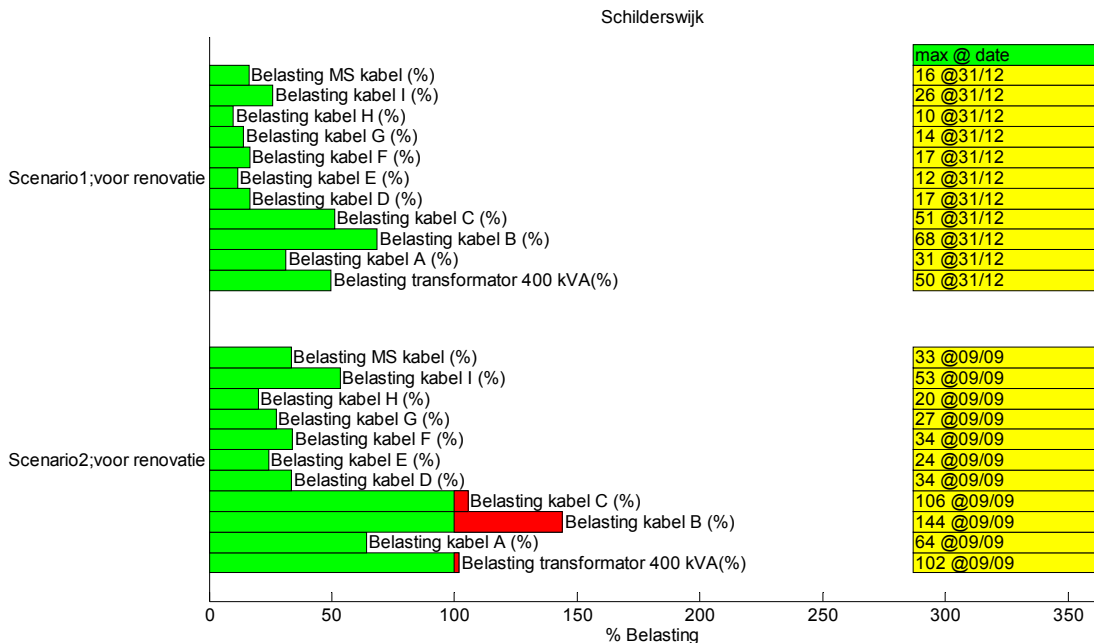
Tabel 0-41 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
400 kVA transformator	55%		39%		35%		47%	
Kabel A	31%		24%		21%		28%	
Kabel B	69%		52%		46%		61%	
Kabel C	51%		39%		35%		46%	
Kabel D	17%		13%		11%		15%	
Kabel E	11%		9%		8%		10%	
Kabel F	17%		13%		11%		15%	
Kabel G	33%		19%		18%		31%	
Kabel H	10%		7%		7%		9%	
Kabel I	26%		20%		18%		23%	

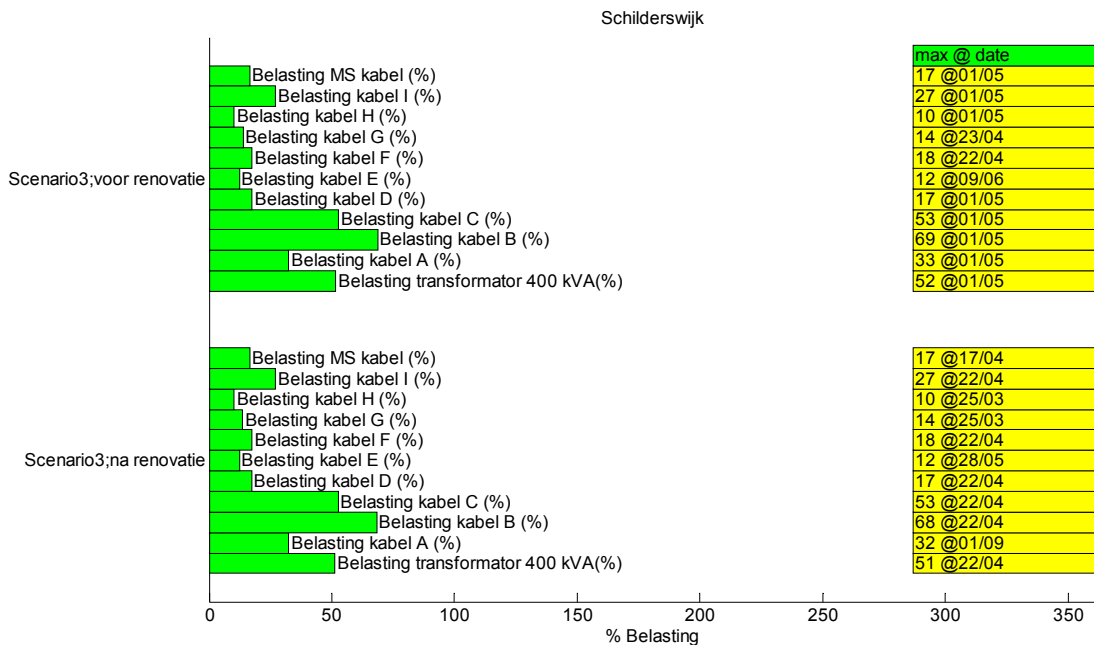
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-42 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in de Schilderswijk in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

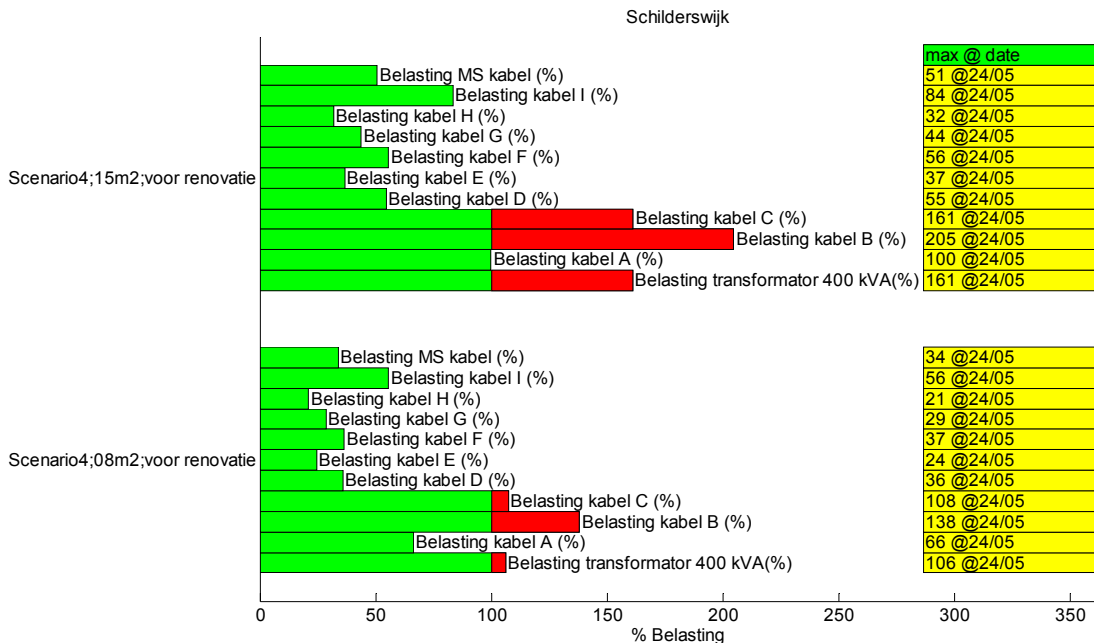
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
400 kVA transformator	50%	50%	51%	50%	50%	50%	50%	50%
Kabel A	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%
Kabel B	68%	68%	69%	68%	68%	68%	68%	68%
Kabel C	52%	52%	53%	53%	52%	53%	52%	52%
Kabel D	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
Kabel E	14%	14%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Kabel F	17%	17%	18%	18%	18%	18%	17%	18%
Kabel G	20%	20%	17%	17%	18%	18%	18%	19%
Kabel H	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Kabel I	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%



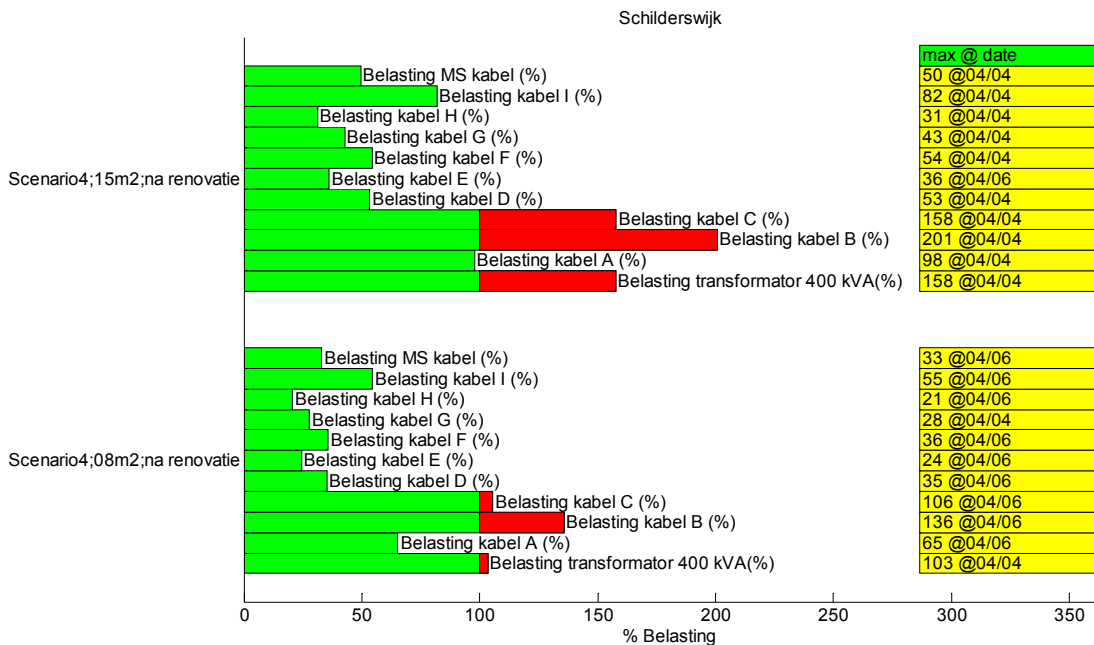
Figuur 0-74 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



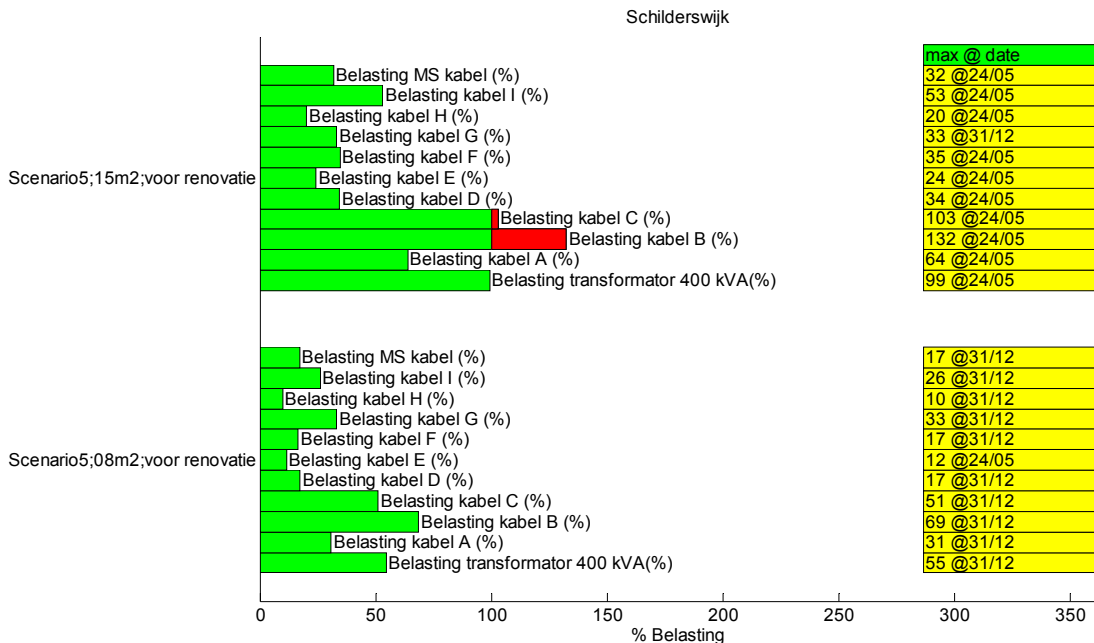
Figuur 0-75 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



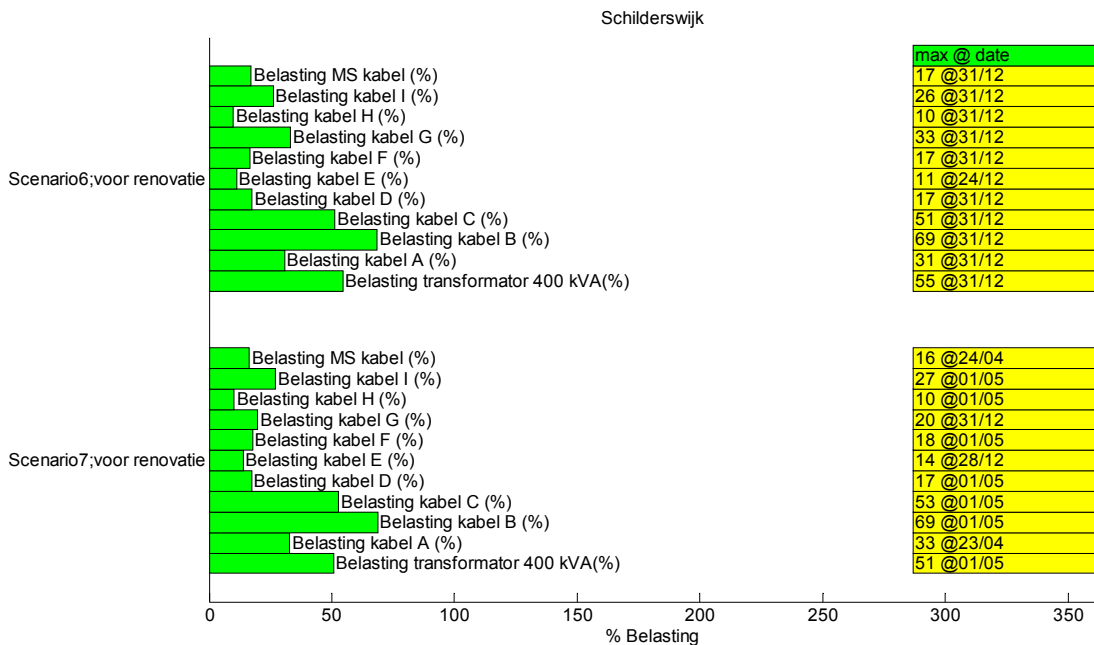
Figuur 0-76 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



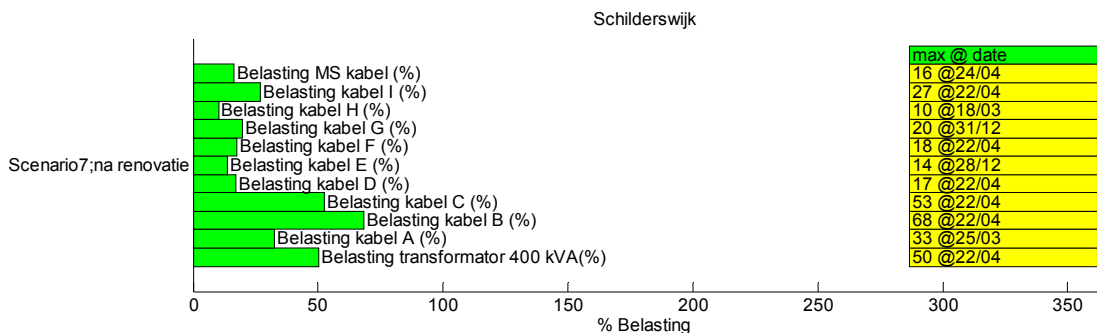
Figuur 0-77 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



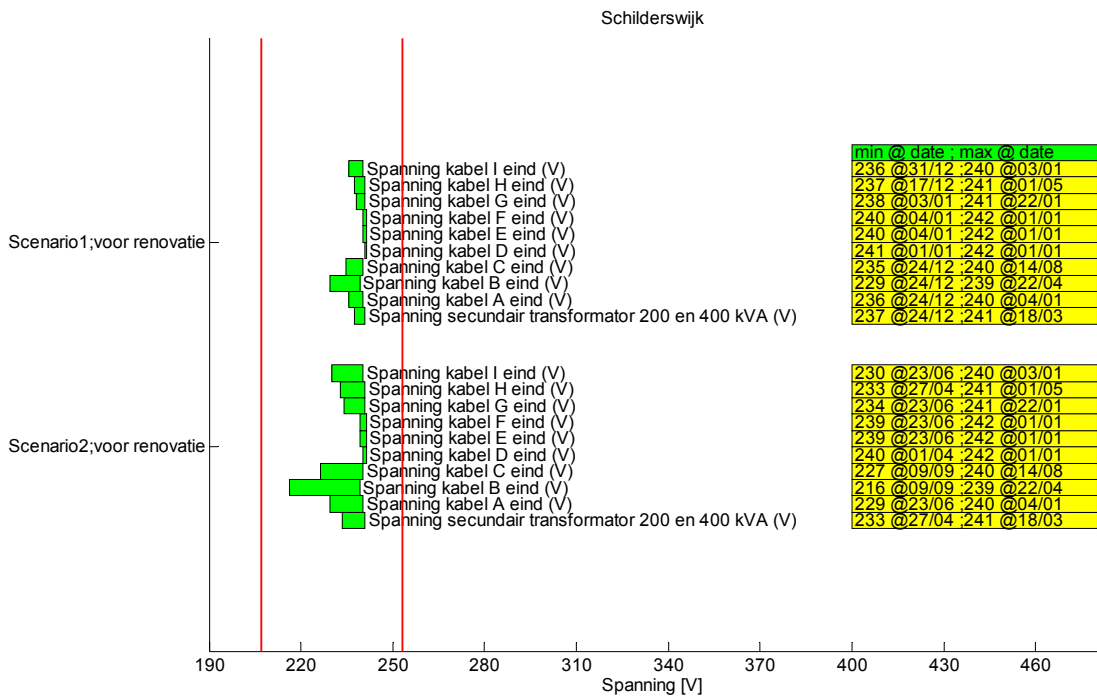
Figuur 0-78 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



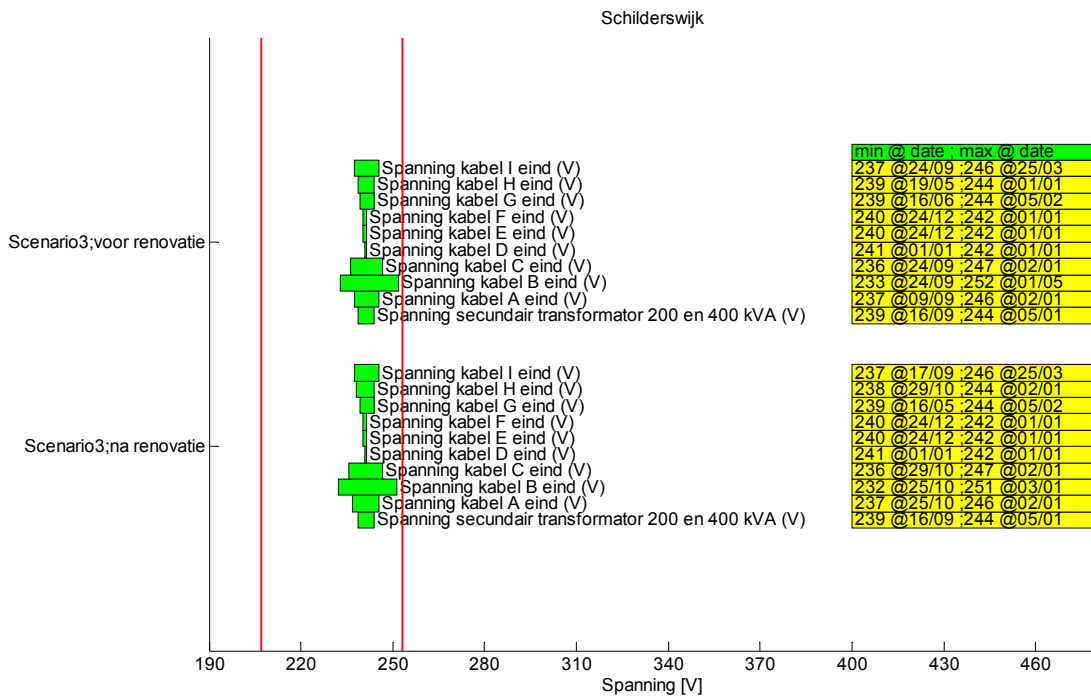
Figuur 0-79 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



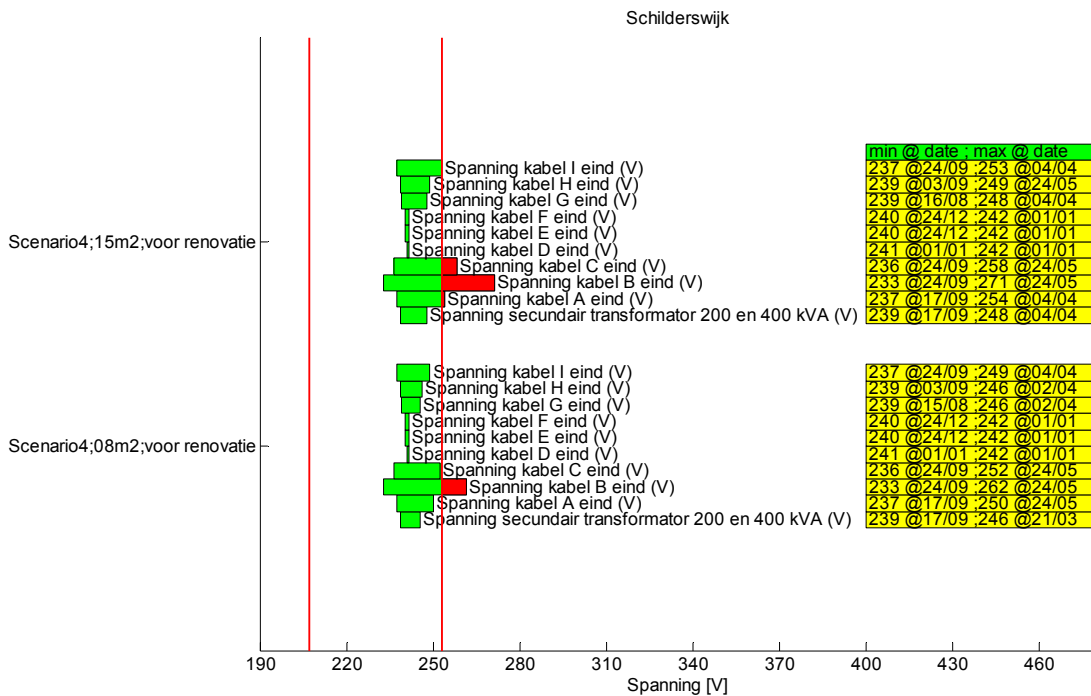
Figuur 0-80 Belasting transformator en kabels Schilderswijk



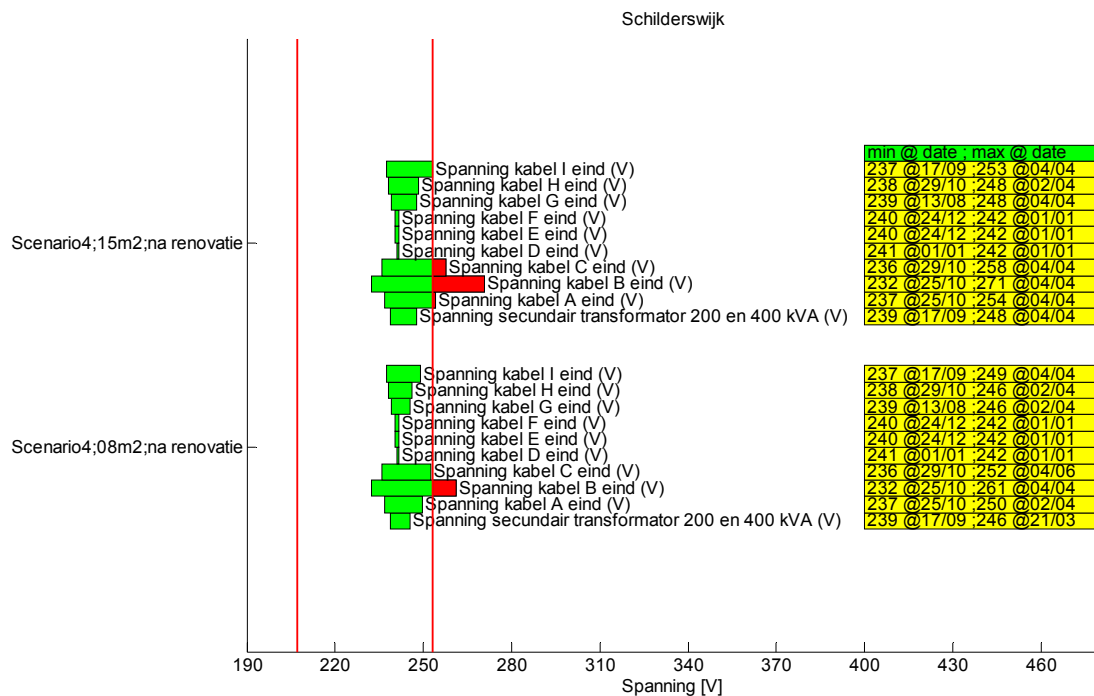
Figuur 0-81 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk



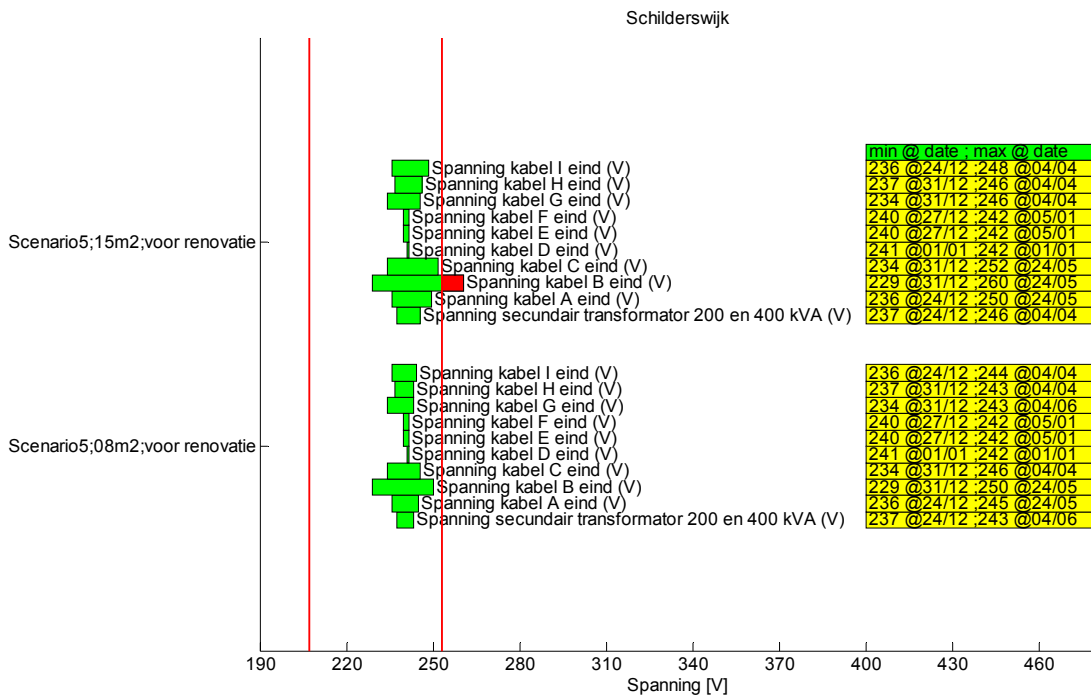
Figuur 0-82 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk



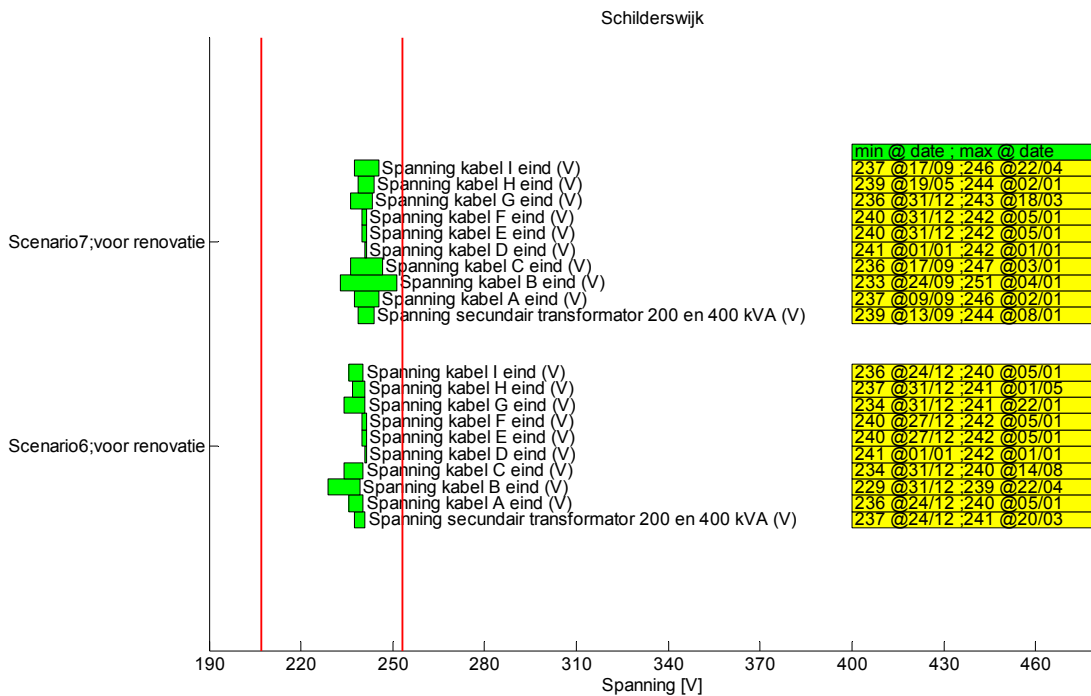
Figuur 0-83 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk



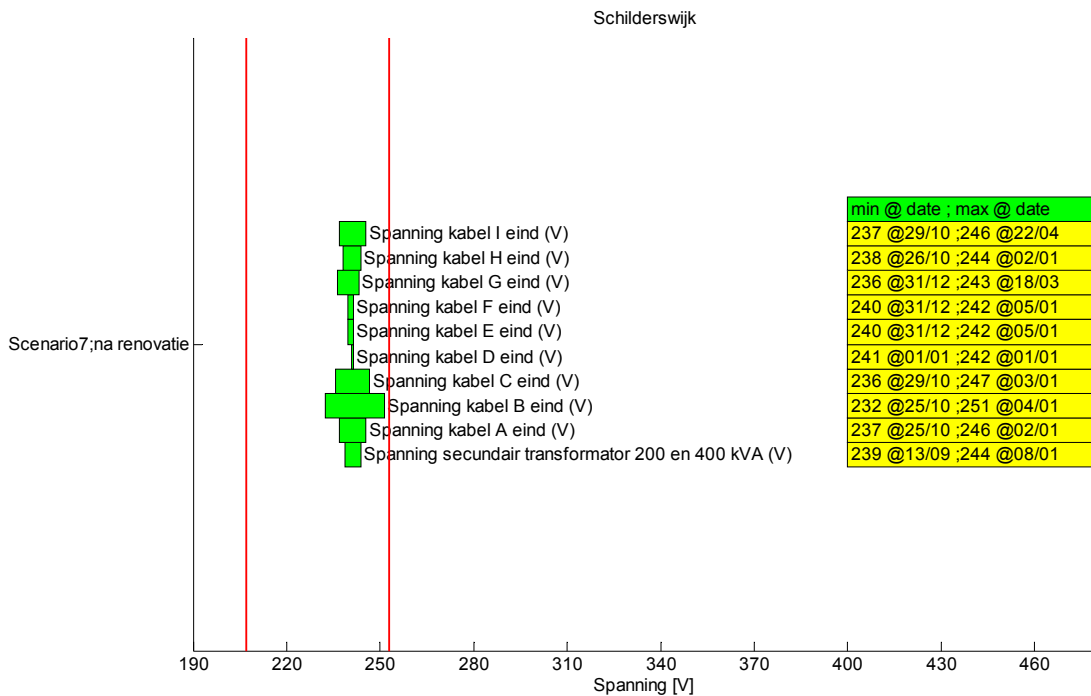
Figuur 0-84 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk



Figuur 0-85 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk

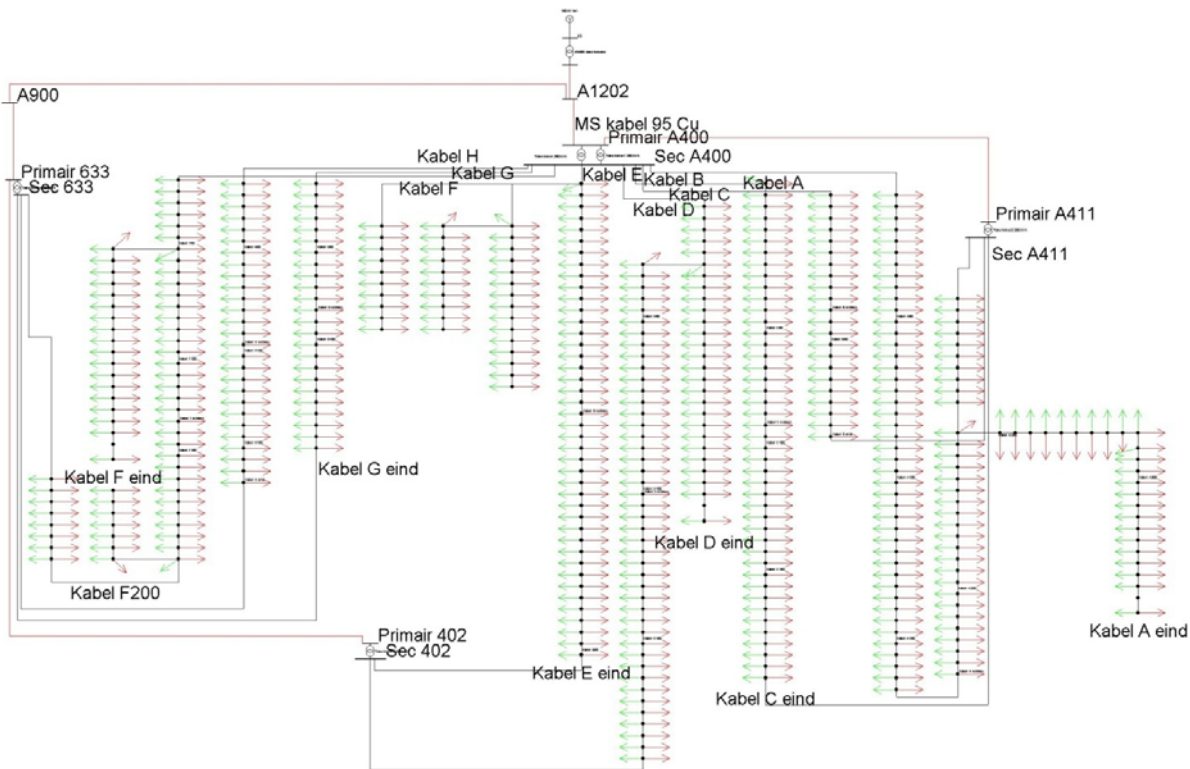


Figuur 0-86 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk



Figuur 0-87 Spanningshuishouding LS- net Schilderswijk

Resultaten Statenkwartier



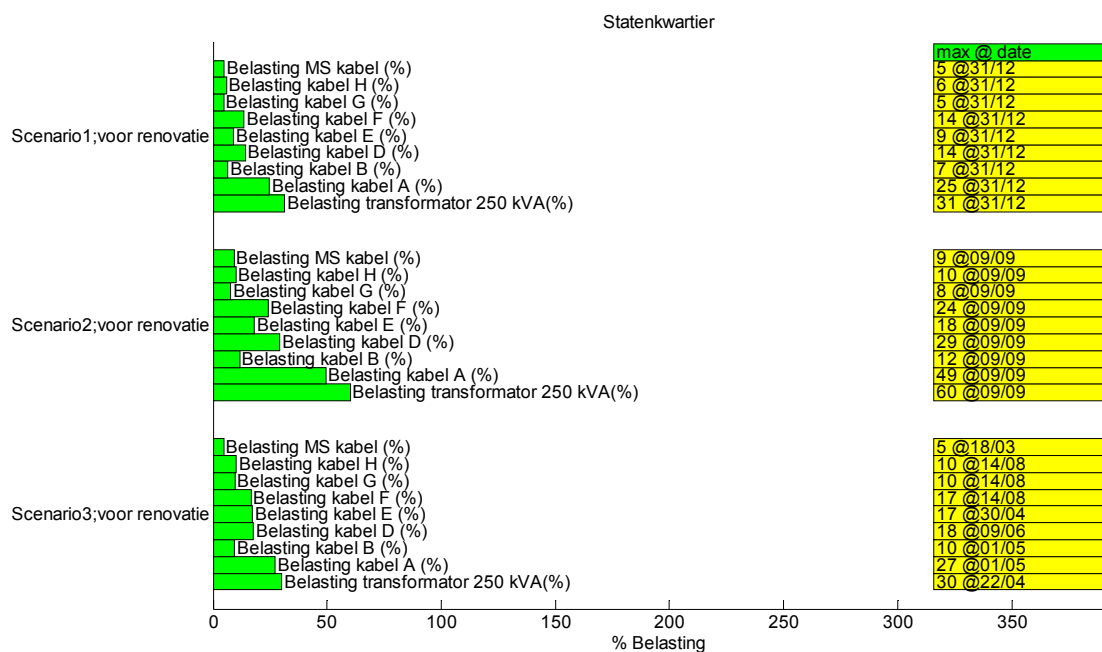
Figuur 0-88 LS- net van het Statenkwartier in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in het Statenkwartier.

Tabel 0-43 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	31%	24%	21%	28%
Kabel A	25%	19%	17%	22%
Kabel B	7%	5%	4%	6%
Kabel C	12%	9%	8%	11%
Kabel D	14%	11%	10%	13%
Kabel E	9%	7%	6%	8%
Kabel F	14%	10%	9%	12%



Figuur 0-89 Belastingen 250 kVA transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier

De belasting van kabels en transformatoren in het Statenkwartier is in de eerste drie scenario's ruim onder de 100%. Airconditioning en microwkk is zonder meer toepasbaar. Let op: het Statenkwartier heeft een vermaasd net waardoor de belasting aan het begin van een feeder niet meer mag bedragen dan 50%.

Scenario 2 Business as usual met Airco

Tabel 0-44 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA trans- formator	31%		58%		60%		28%	
Kabel A	25%		47%		49%		22%	
Kabel B	7%		11%		12%		6%	
Kabel C	12%		24%		25%		11%	
Kabel D	14%		28%		29%		13%	
Kabel E	9%		17%		18%		8%	
Kabel F	14%		23%		24%		12%	

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk

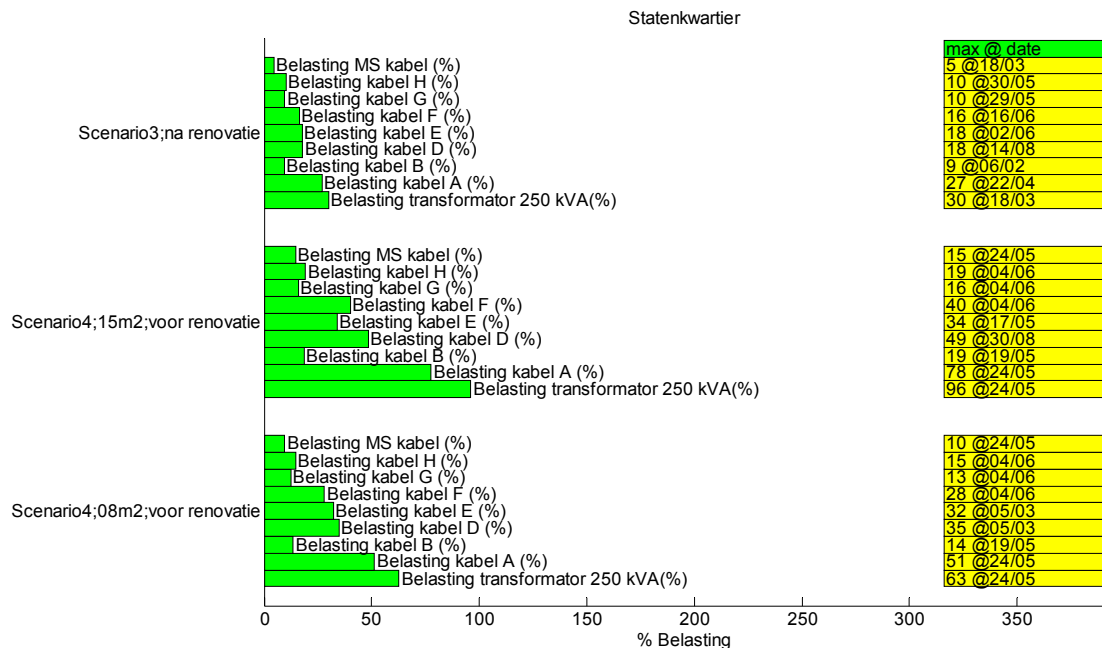
Tabel 0-45 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA trans- formator	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Kabel A	25%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%
Kabel B	6%	9%	10%	9%	9%	9%	9%	9%
Kabel C	13%	15%	16%	16%	15%	16%	16%	16%
Kabel D	15%	15%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
Kabel E	10%	12%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
Kabel F	11%	15%	16%	16%	16%	16%	16%	16%

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV

Tabel 0-46 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
250 kVA transformator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	85%	56%	85%	56%	96%	63%	94%	61%	83%	55%	76%	50%	83%	55%	76%	50%
Kabel A	69%	46%	70%	47%	78%	51%	77%	52%	73%	47%	72%	48%	68%	45%	69%	47%
Kabel B	15%	12%	19%	14%	19%	14%	20%	15%	18%	13%	19%	14%	16%	12%	18%	14%
Kabel C	36%	24%	37%	25%	40%	26%	41%	28%	40%	27%	38%	26%	35%	235	36%	25%
Kabel D	43%	35%	43%	29%	48%	32%	49%	33%	49%	32%	44%	31%	42%	28%	42%	29%
Kabel E	27%	32%	27%	18%	34%	26%	34%	25%	34%	25%	33%	24%	31%	23%	33%	25%
Kabel F	32%	21%	34%	23%	40%	28%	38%	26%	38%	26%	40%	28%	36%	25%	36%	26%



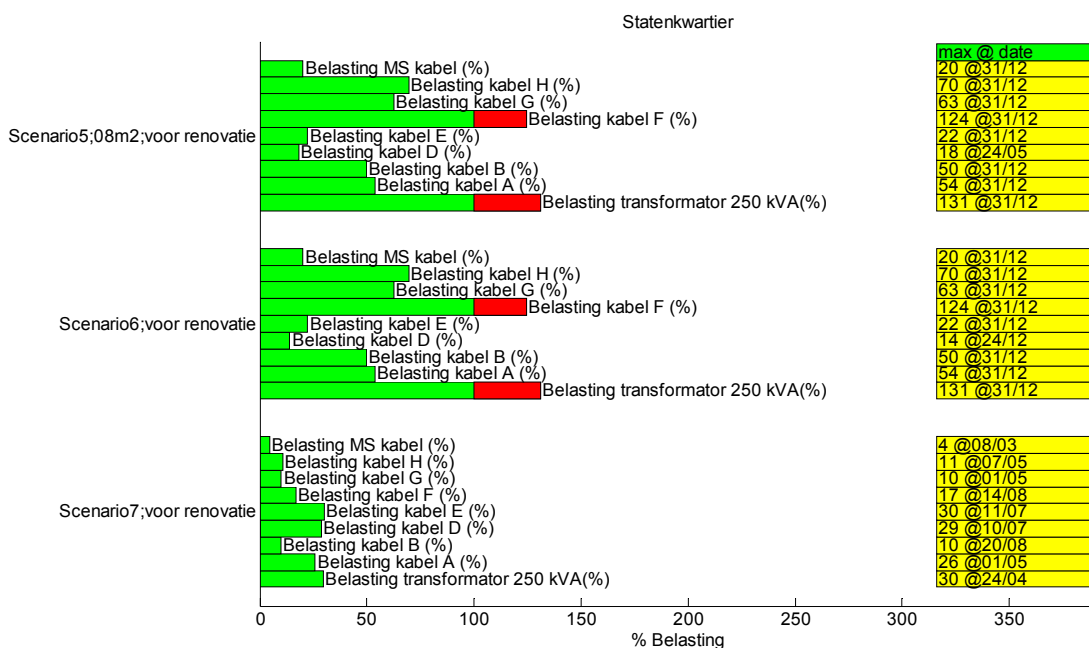
Figuur 0-90 Belastingen 250 kVA transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier

De inpassing van microwkk icm met grootschalig PV is mogelijk. Let wel op dat het net vermaasd bedreven wordt waardoor bij de storing niet zeker is dat kabels alle stroom kunnen verwerken. Meerdere oplossingen zijn mogelijk, zoals gedeeltelijke afschakeling of netverzwaring.

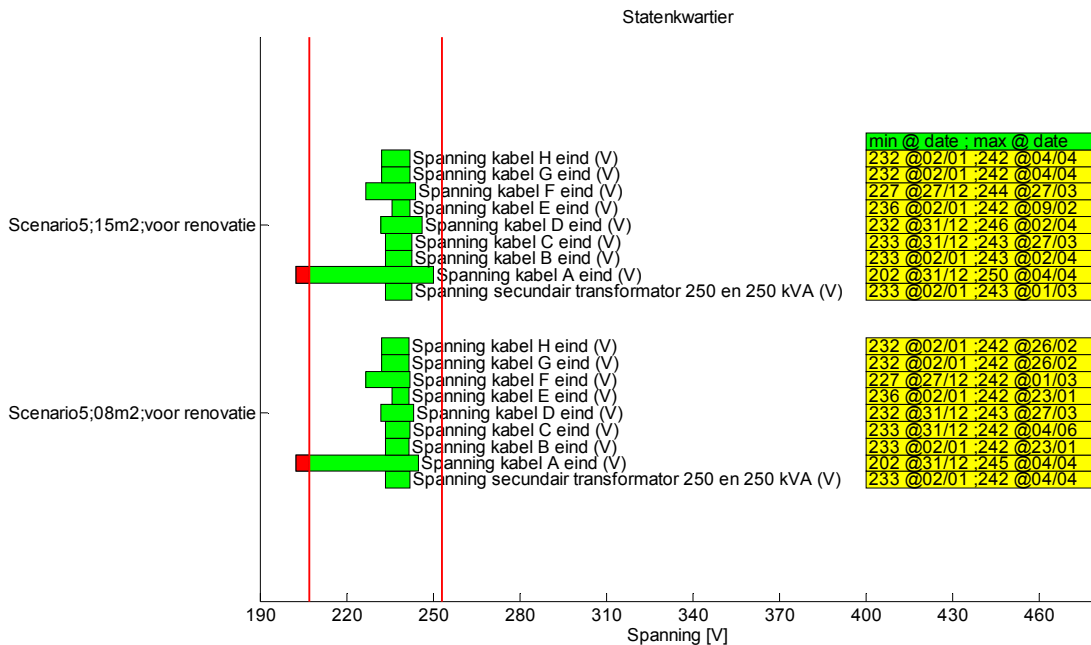
Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp

Tabel 0-47 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

Max belasting van	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
250 kVA transformator	131%	131%	69%	69%	65%	65%	126%	126%
Kabel A	54%	54%	47%	30%	47%	28%	50%	50%
Kabel B	50%	50%	25%	25%	24%	24%	49%	49%
Kabel C	22%	12%	27%	13%	24%	11%	21%	11%
Kabel D	43%	14%	35%	18%	29%	15%	28%	14%
Kabel E	42%	22%	20%	12%	18%	12%	21%	21%
Kabel F	124%	124%	62%	62%	60%	60%	123%	123%



Figuur 0-91 Belastingen 250 kVA transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier



Figuur 0-92 Spanningshuishouding Statenkwartier

De inpassing van warmtepompen dient weer met de grootste voorzichtigheid te gebeuren. Ten eerste wordt het net vermaasd bedreven waardoor de bedrijfszekerheid bij belastingen groter dan 50% aan het begin van een kabel niet gegarandeerd kan worden. De MS/LS transformatoren worden overbelast wanneer ongeveer de helft van de woningen wordt uitgerust met een elektrische warmtepomp. Ook de spanningen variëren op jaarbasis zoveel dat dit niet opgevangen kan worden door een aanpassing van de trapstand.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

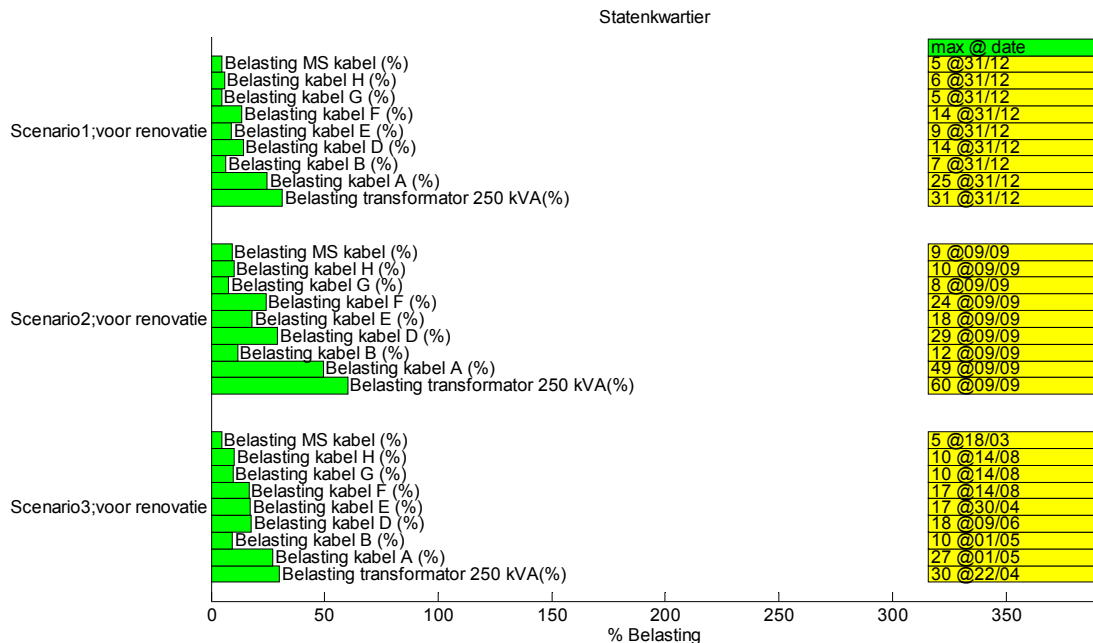
Tabel 0-48 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA trans- formator	131%		69%		65%		126%	
Kabel A	54%		30%		28%		49%	
Kabel B	50%		25%		24%		49%	
Kabel C	12%		9%		8%		11%	
Kabel D	14%		11%		10%		13%	
Kabel E	22%		12%		12%		21%	
Kabel F	124%		62%		60%		123%	

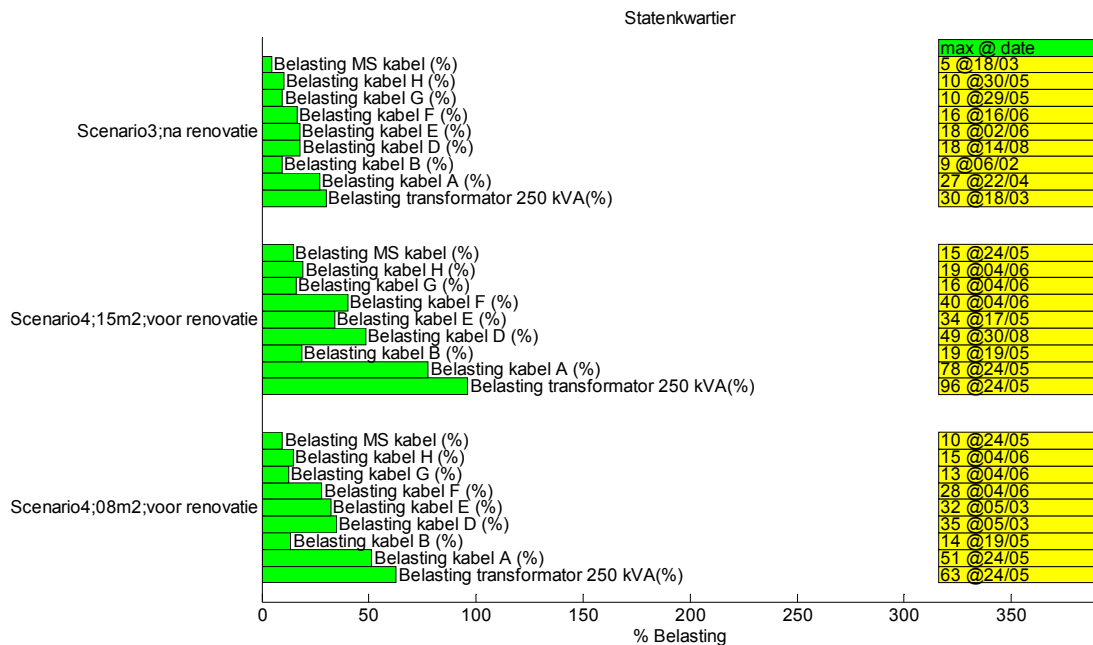
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-49 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Statenkwartier in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

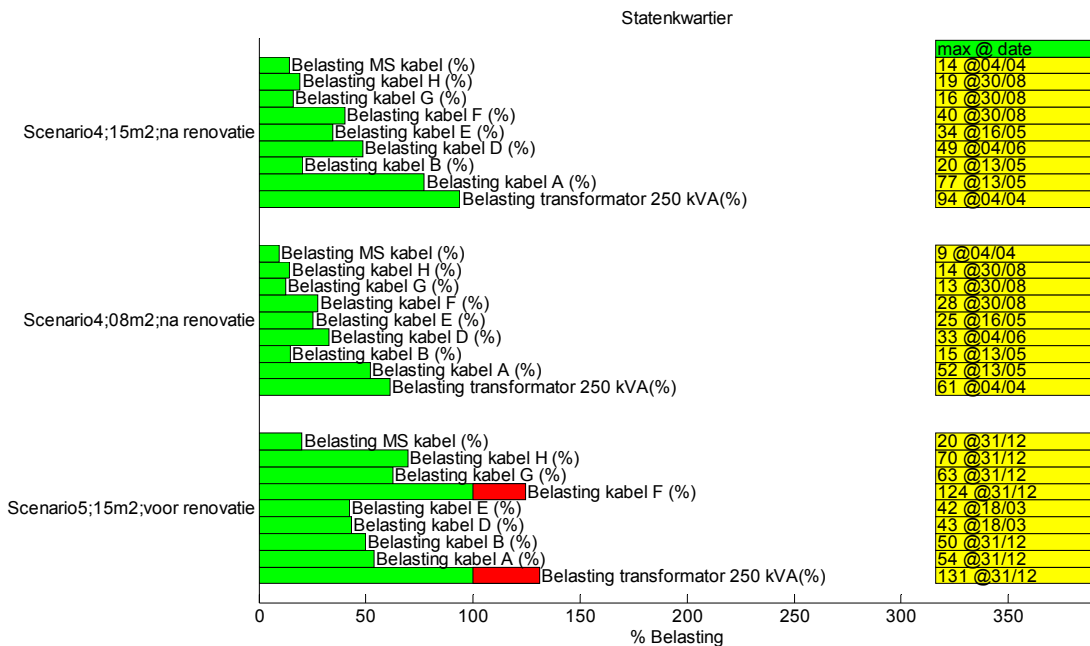
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA trans- formator	29%	29%	30%	29%	29%	26%	30%	29%
Kabel A	23%	26%	26%	26%	26%	25%	26%	26%
Kabel B	7%	8%	8%	10%	10%	11%	9%	10%
Kabel C	12%	14%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Kabel D	15%	15%	18%	18%	29%	18%	18%	18%
Kabel E	12%	12%	19%	19%	30%	19%	19%	19%
Kabel F	16%	16%	17%	17%	17%	17%	17%	17%



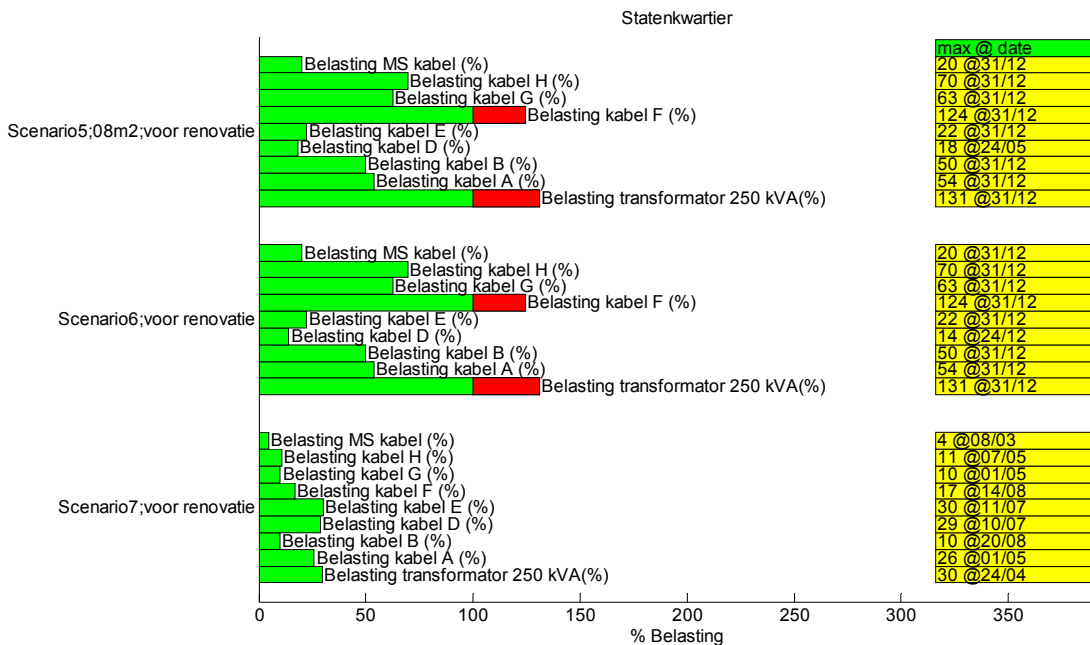
Figuur 0-93 Belasting transformator en kabels Statenkwartier



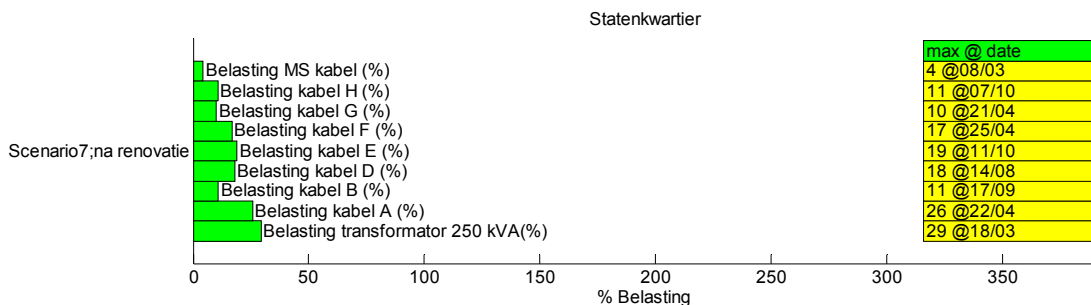
Figuur 0-94 Belasting transformator en kabels Statenkwartier



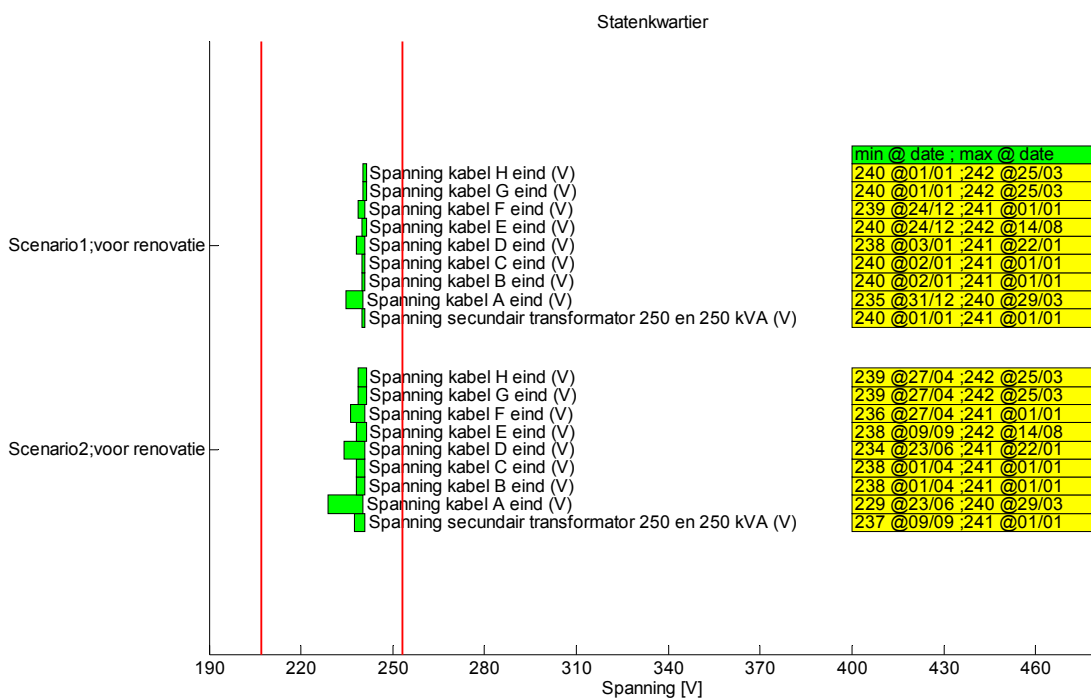
Figuur 0-95 Belasting transformator en kabels Statenkwartier



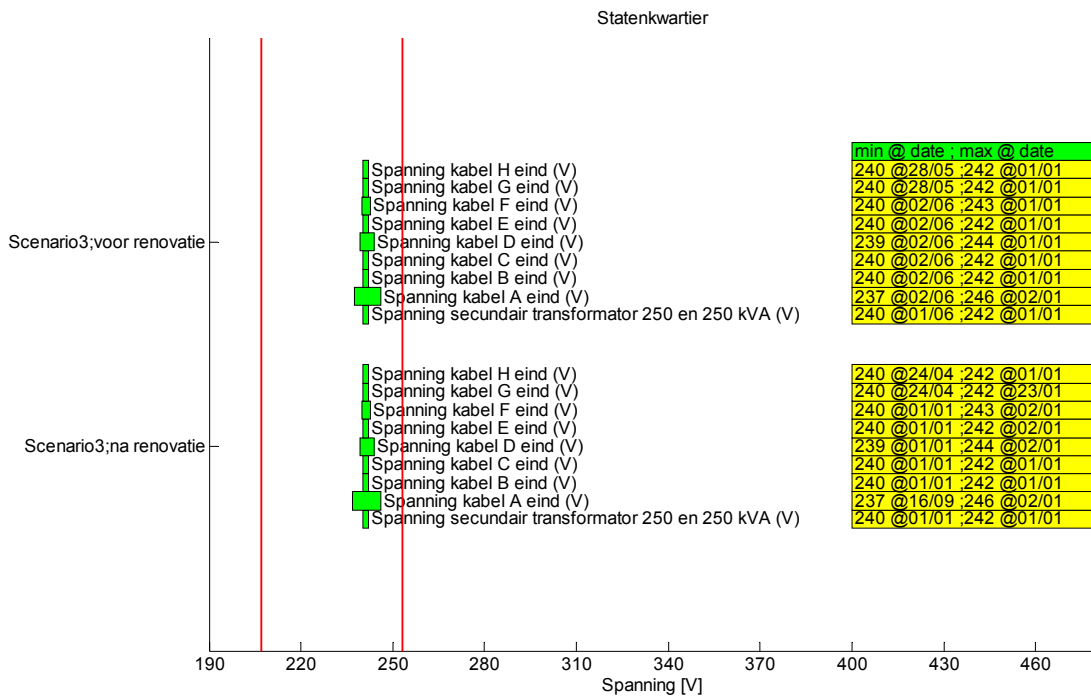
Figuur 0-96 Belasting transformator en kabels Statenkwartier



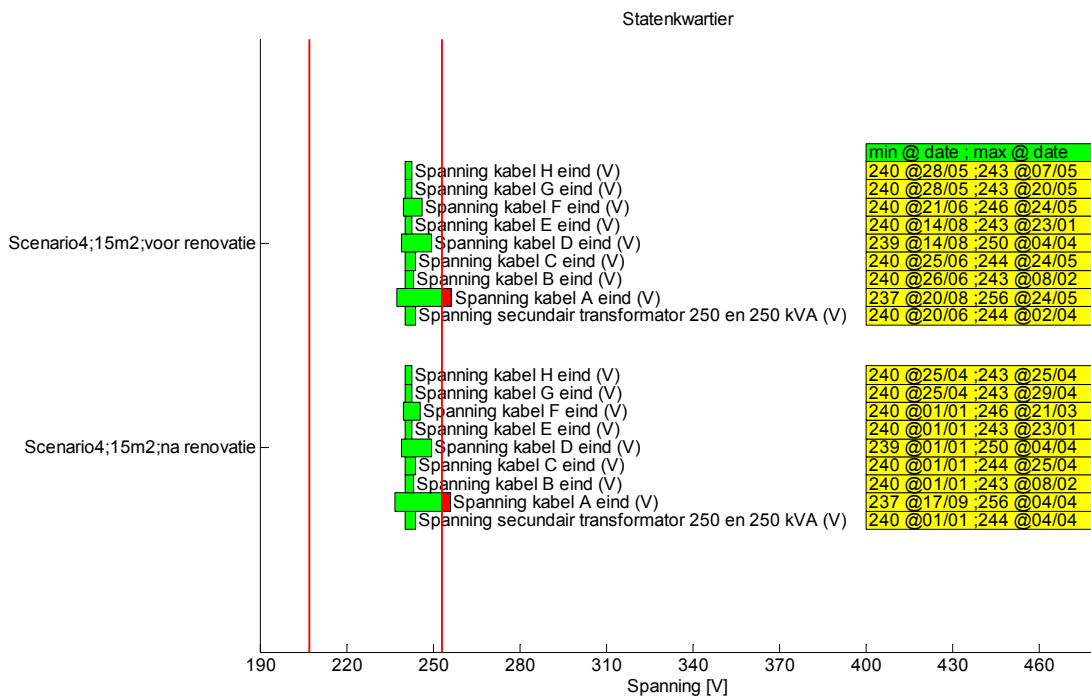
Figuur 0-97 Belasting transformator en kabels Statenkwartier



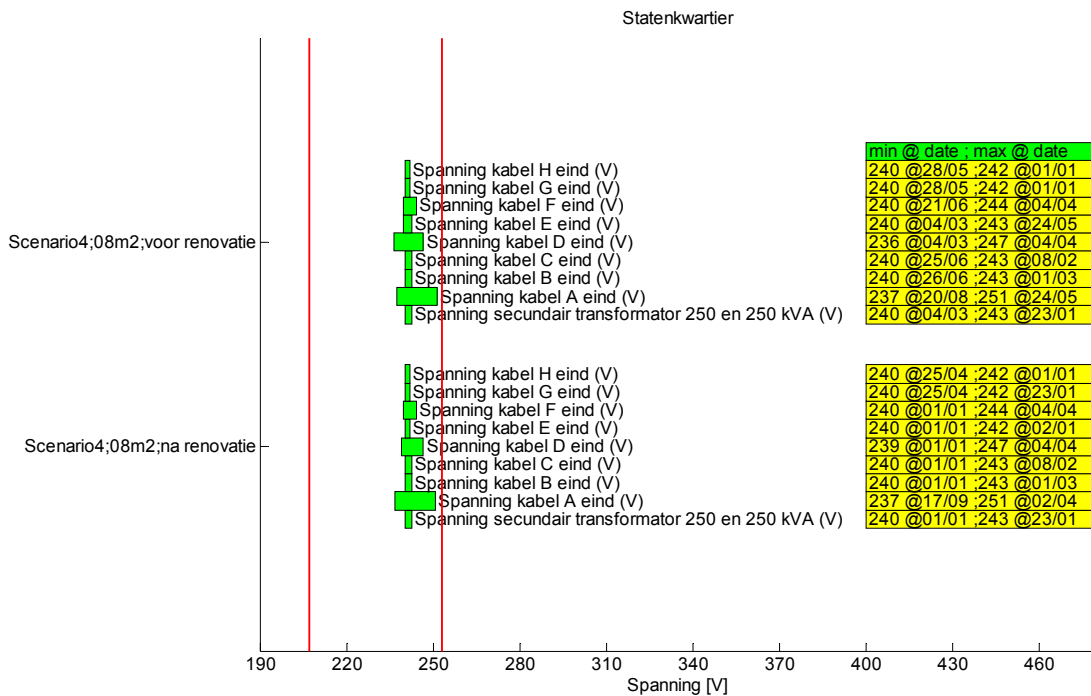
Figuur 0-98 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier



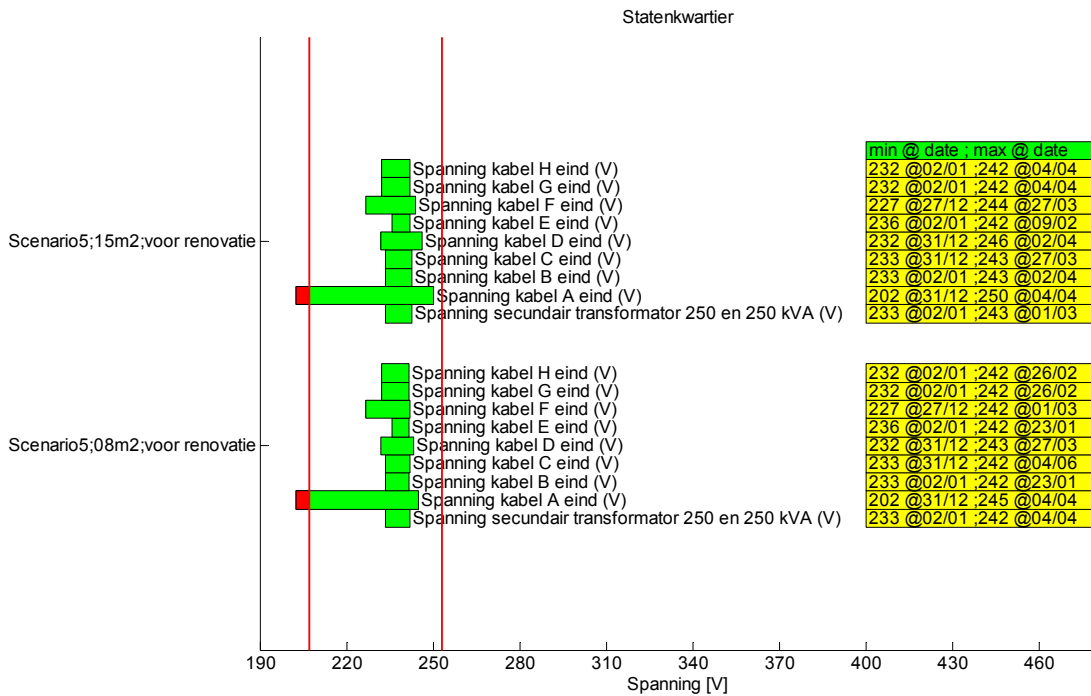
Figuur 0-99 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier



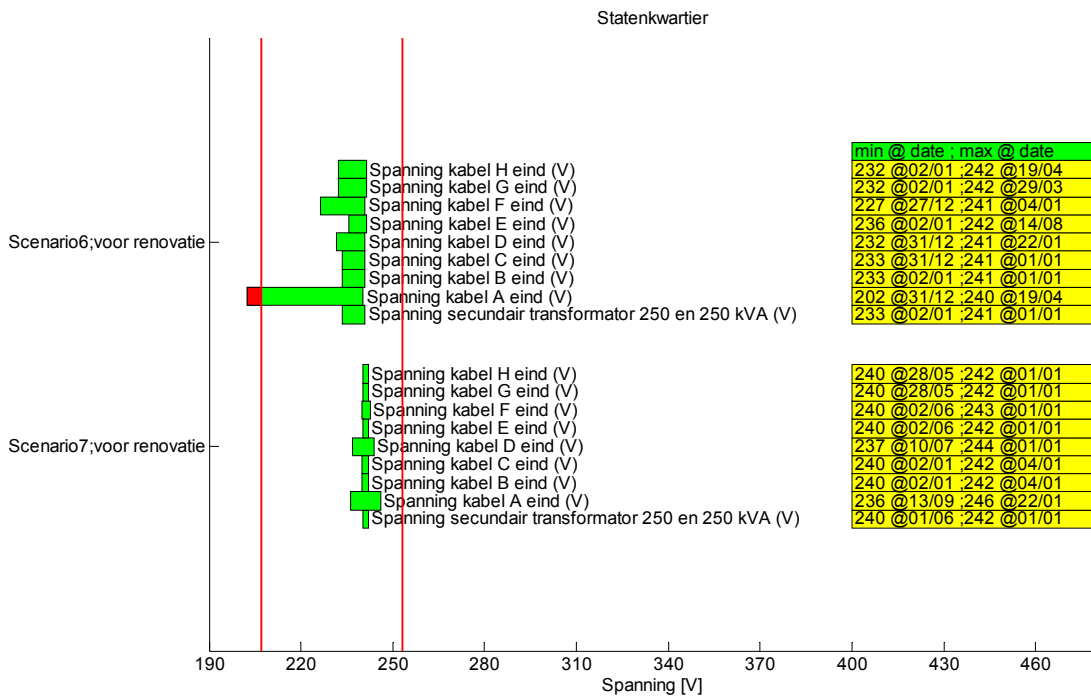
Figuur 0-100 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier



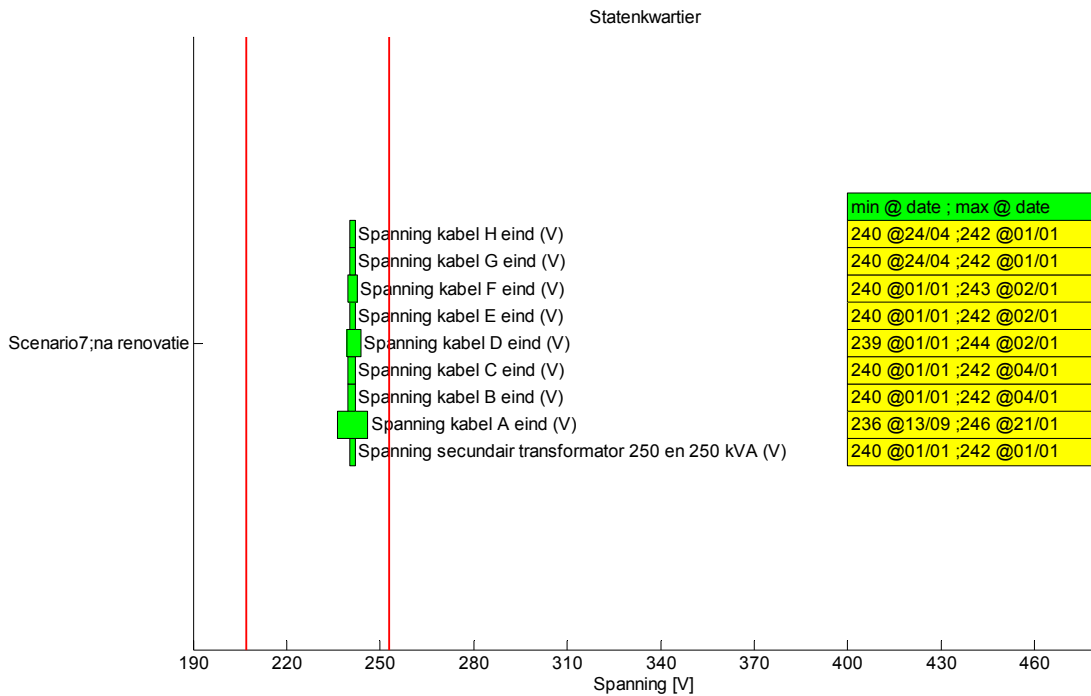
Figuur 0-101 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier



Figuur 0-102 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier

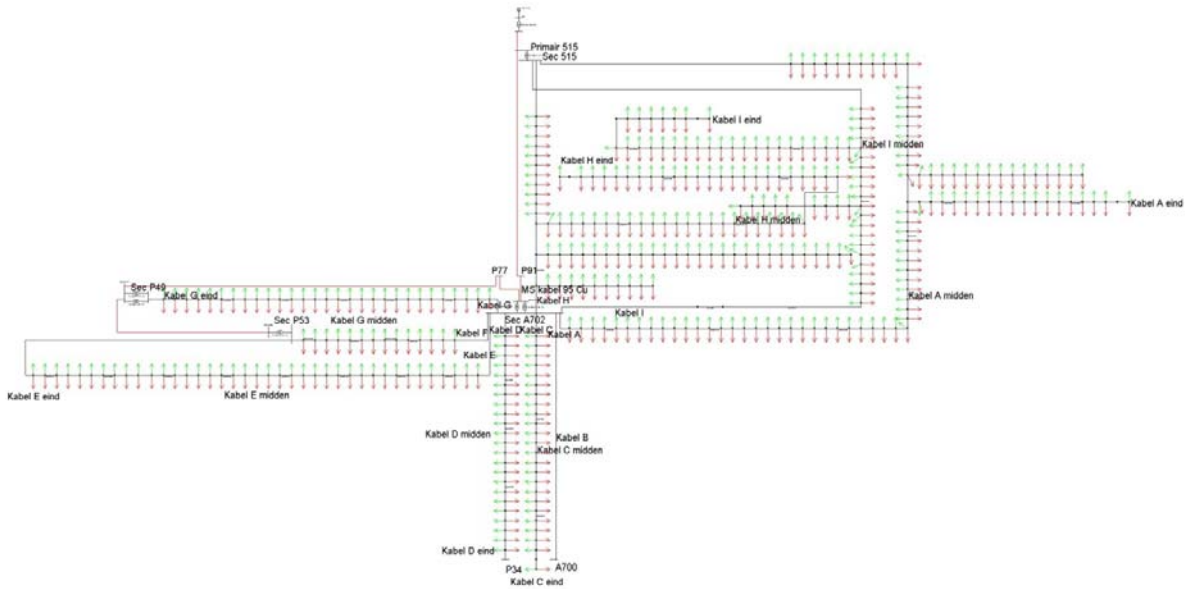


Figuur 0-103 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier



Figuur 0-104 Spanningshuishouding LS- net Statenkwartier

Resultaten Westbroekpark



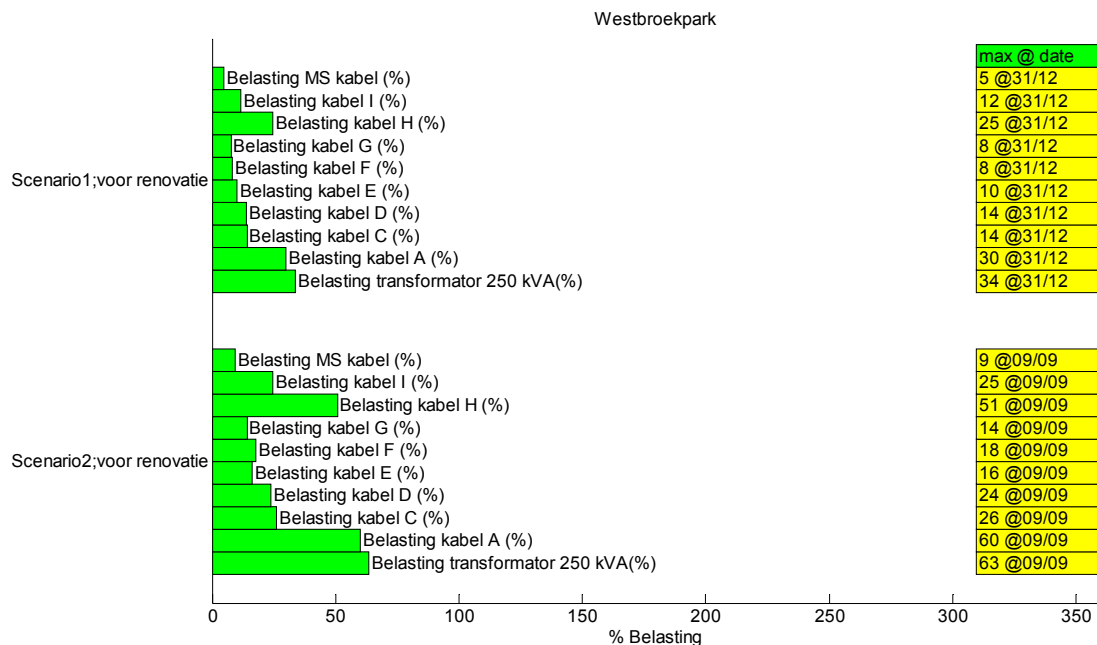
Figuur 0-105 LS- net van het Westbroekpark in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in het Westbroekpark.

Tabel 0-50 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	34%	26%	23%	30%
Kabel A	30%	23%	20%	27%
Kabel B	12%	9%	8%	11%
Kabel C	3%	3%	2%	3%
Kabel D	9%	7%	6%	8%
Kabel E	8%	6%	5%	7%
Kabel F	9%	7%	6%	8%
Kabel G	10%	8%	7%	9%
Kabel H	11%	9%	8%	10%
Kabel I	16%	12%	11%	14%



Figuur 0-106 Belastingen 250 kVA transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark

In de eerste twee scenario's zijn geen problemen te bekennen. Let op dit net wordt vermaasd bedreven, 50% belasting van kabels bij de aansluiting op het LS- rek is het maximum. Omdat dit net een gedeelte van een Villawijk betreft met waarschijnlijk hoge verbruiken kan de inschatting van de belasting te laag zijn. Ook

de airconditioning van 2 kWe bij 50% van deze vrijstaande woningen is waarschijnlijk een te lage inschatting. In vermaasd bedrijf zal er ook bij een hoger verbruik nog geen probleem zijn, voorzichtigheid is geboden bij storingen of onderhoud.

Scenario 2 Business as usual met Airco

Tabel 0-51 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA trans- formator	34%	61%	63%	30%
Kabel A	30%	58%	60%	27%
Kabel B	12%	24%	25%	11%
Kabel C	3%	7%	7%	3%
Kabel D	9%	16%	16%	8%
Kabel E	8%	13%	14%	7%
Kabel F	9%	16%	17%	8%
Kabel G	10%	21%	21%	9%
Kabel H	11%	21%	22%	10%
Kabel I	16%	31%	32%	14%

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk

Tabel 0-52 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA transformator	30%	30%	31%	30%	30%	26%	30%	30%
Kabel A	30%	30%	30%	31%	30%	29%	30%	30%
Kabel B	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Kabel C	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Kabel D	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Kabel E	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Kabel F	8%	8%	8%	8%	8%	7%	8%	8%
Kabel G	11%	11%	11%	12%	12%	12%	11%	14%
Kabel H	10%	10%	10%	10%	10%	9%	10%	10%
Kabel I	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV

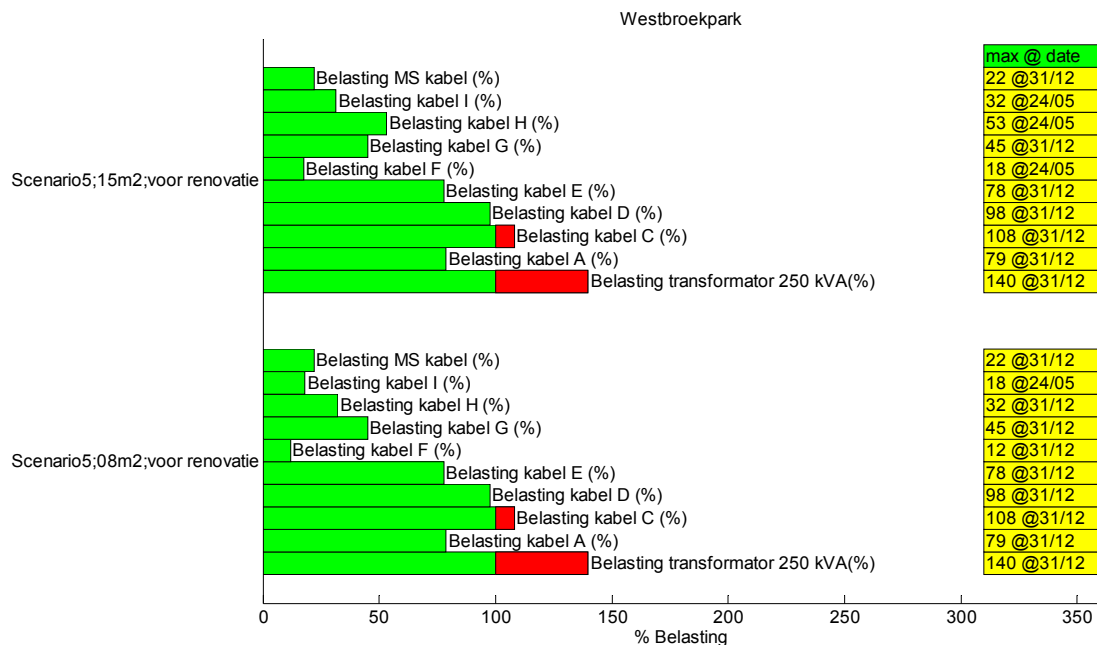
Tabel 0-53 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'

Max:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
250 kVA transformator	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15	8
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
	86%	56%	86%	56%	97%	63%	94%	61%	87%	56%	72%	50%	84%	55%	78%	51%
Kabel A	83%	55%	83%	55%	93%	62%	91%	60%	82%	56%	73%	51%	81%	55%	74%	50%
Kabel B	34%	23%	34%	23%	38%	26%	38%	25%	38%	25%	35%	24%	34%	23%	33%	23%
Kabel C	9%	6%	9%	6%	10%	7%	10%	7%	10%	7%	9%	6%	9%	6%	9%	6%
Kabel D	22%	14%	22%	14%	24%	16%	24%	16%	22%	14%	24%	16%	21%	14%	21%	14%
Kabel E	16%	11%	16%	11%	18%	12%	19%	12%	18%	12%	17%	11%	16%	10%	16%	11%
Kabel F	21%	14%	21%	14%	24%	16%	24%	15%	23%	14%	20%	12%	21%	14%	20%	13%
Kabel G	29%	20%	29%	20%	33%	22%	32%	21%	30%	21%	27%	19%	29%	19%	26%	18%
Kabel H	29%	19%	29%	19%	33%	22%	32%	21%	29%	19%	24%	17%	28%	19%	26%	17%
Kabel I	43%	29%	43%	29%	48%	32%	47%	32%	47%	31%	42%	29%	42%	29%	41%	28%

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp

Tabel 0-54 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
250 kVA trans-formator	140%	140%	73%	73%	69%	69%	134%	134%
Kabel A	79%	79%	57%	43%	56%	41%	74%	74%
Kabel B	21%	13%	25%	12%	24%	11%	20%	11%
Kabel C	6%	4%	7%	3%	6%	3%	5%	3%
Kabel D	68%	68%	33%	32%	32%	67%	67%	67%
Kabel E	56%	56%	27%	27%	26%	26%	54%	54%
Kabel F	51%	51%	26%	26%	25%	25%	49%	49%
Kabel G	24%	24%	14%	13%	14%	14%	23%	23%
Kabel H	46%	46%	24%	24%	23%	23%	44%	44%
Kabel I	26%	16%	31%	16%	30%	13%	25%	14%



Figuur 0-107 Belastingen 250 kVA transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark

De inpassing van warmtepompen lijkt mogelijk in vermaasd bedrijf, alleen de transformatorcapaciteit zal uitgebreid moeten worden naar 400 kVA maar voor de bedrijfszekerheid nog hoger (radiaal bedrijf). De zware kabels (70 mm² en 95 mm² Cu) met weinig aangesloten woningen maken ruimte voor uitbreiding met PV en/of microwkk goed mogelijk.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

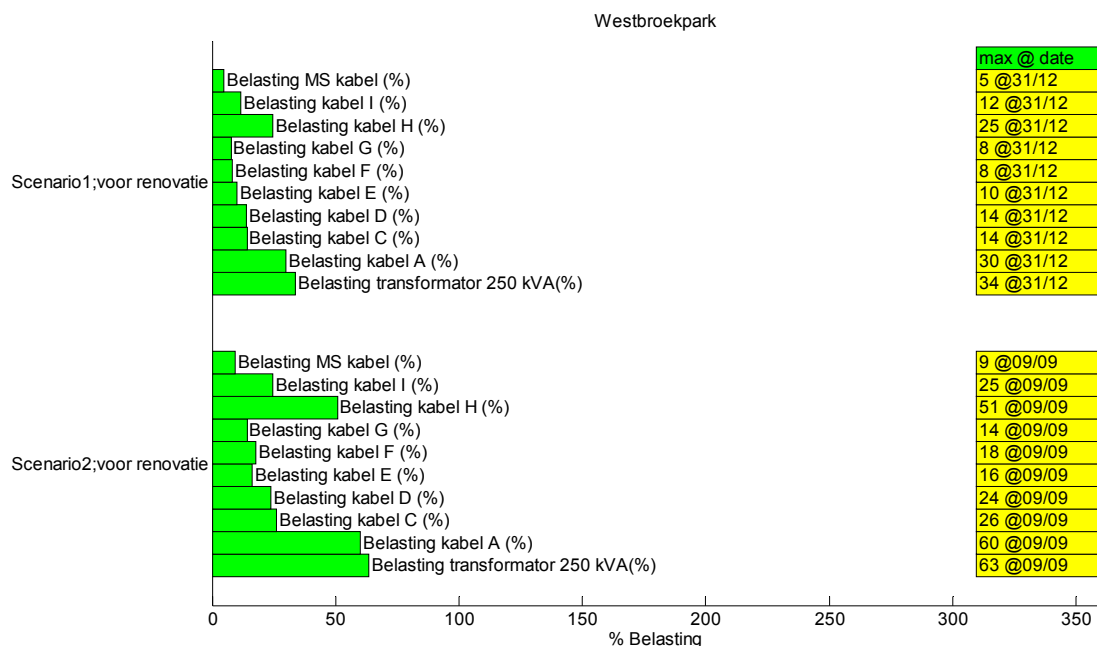
Tabel 0-55 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	140%	73%	69%	134%
Kabel A	79%	43%	41%	74%
Kabel B	13%	10%	8%	11%
Kabel C	4%	3%	2%	3%
Kabel D	68%	33%	32%	67%
Kabel E	56%	27%	26%	54%
Kabel F	51%	26%	25%	49%
Kabel G	24%	20%	20%	22%
Kabel H	46%	24%	23%	44%
Kabel I	16%	12%	11%	14%

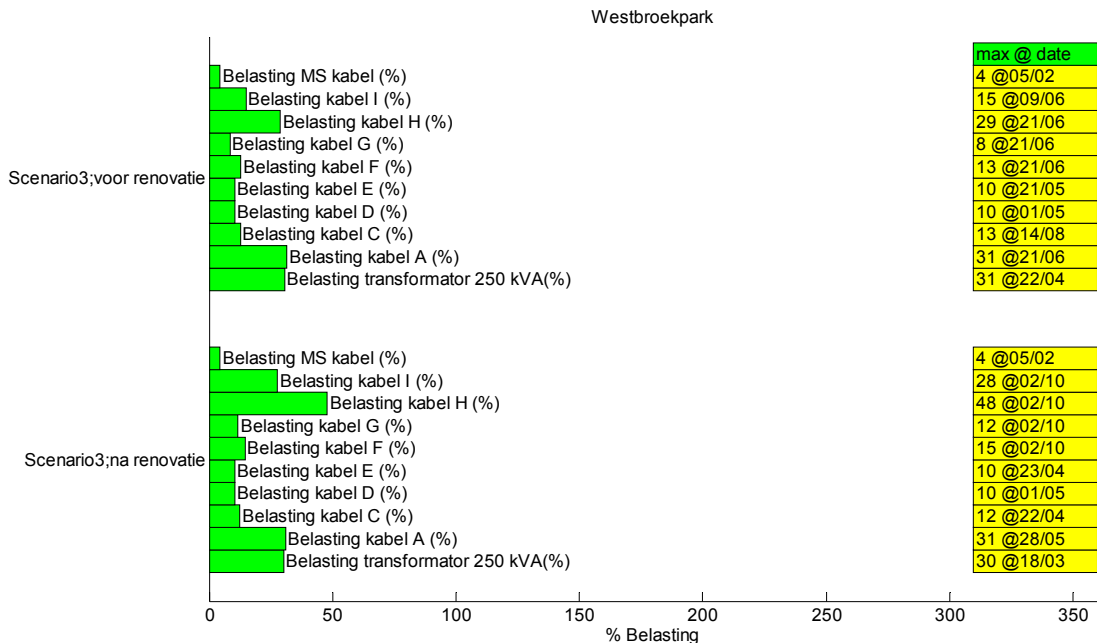
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-56 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in het Westbroekpark in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

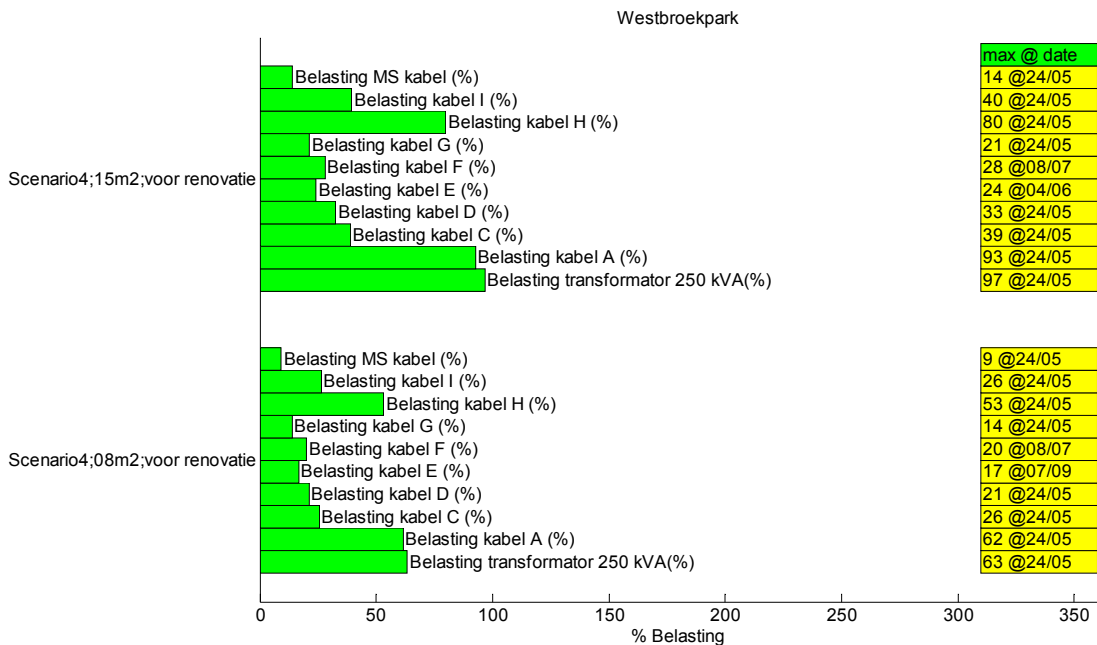
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA trans- formator	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
	72%	72%	46%	46%	51%	51%	67%	67%
Kabel A	44%	44%	38%	37%	38%	33%	38%	38%
Kabel B	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Kabel C	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Kabel D	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Kabel E	54%	54%	27%	27%	26%	26%	53%	53%
Kabel F	42%	42%	21%	22%	22%	22%	40%	40%
Kabel G	22%	22%	17%	17%	17%	15%	29%	19%
Kabel H	22%	22%	15%	15%	16%	16%	21%	21%
Kabel I	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%



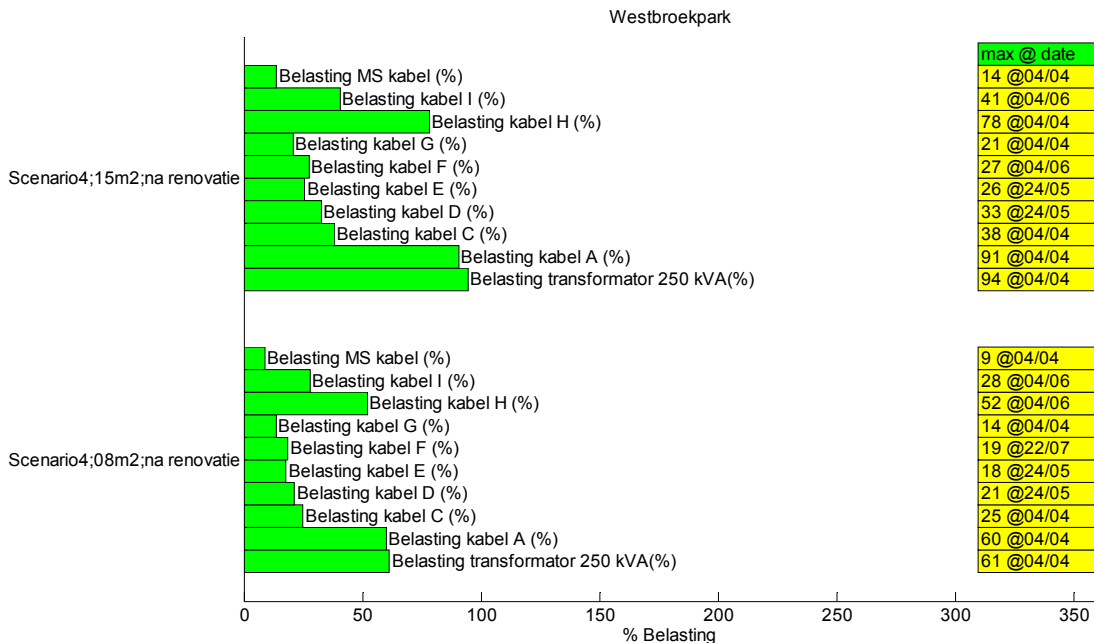
Figuur 0-108 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



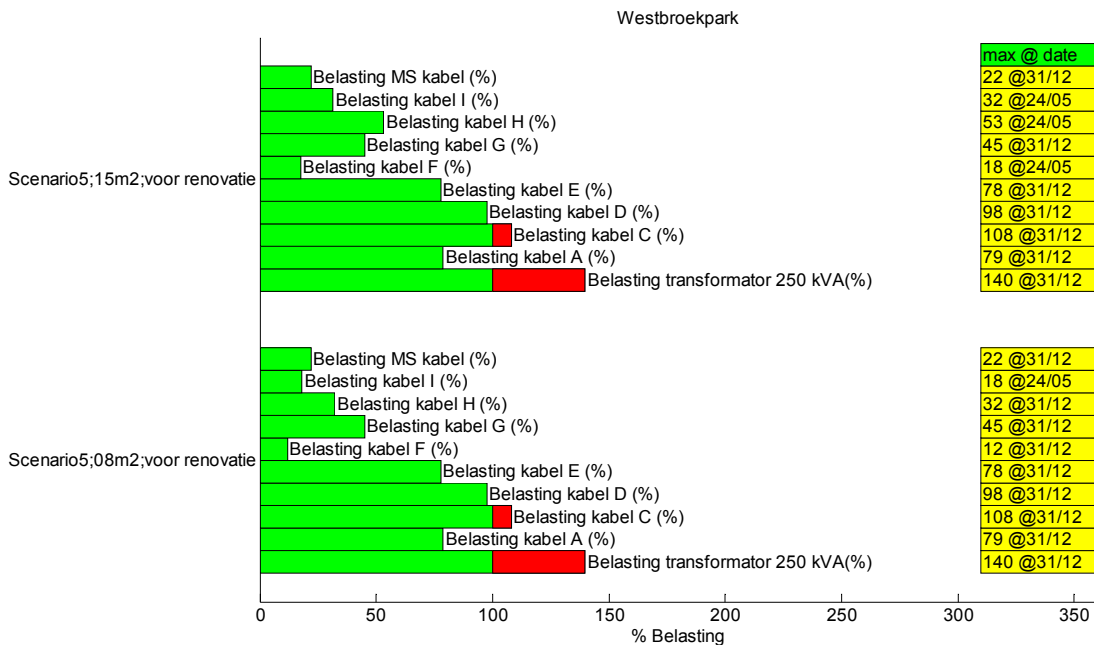
Figuur 0-109 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



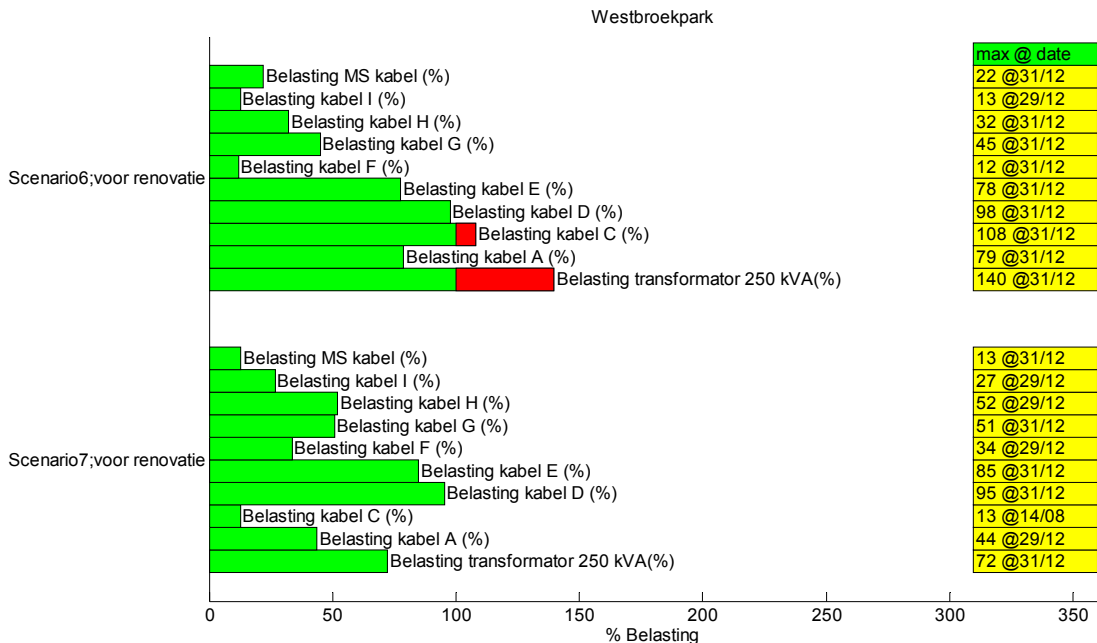
Figuur 0-110 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



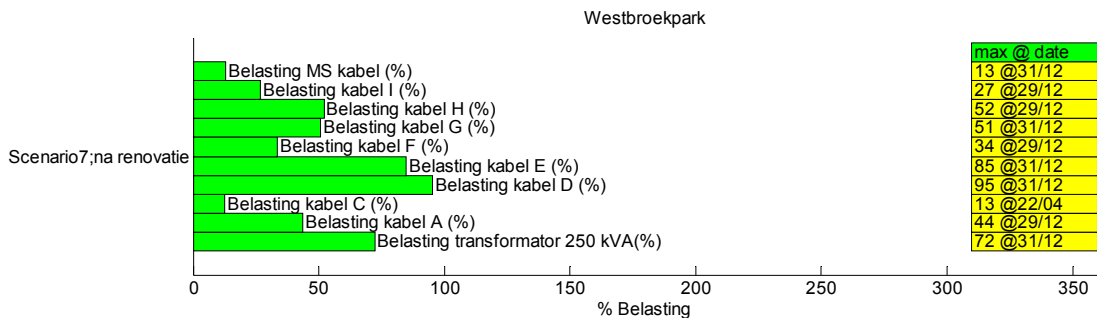
Figuur 0-111 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



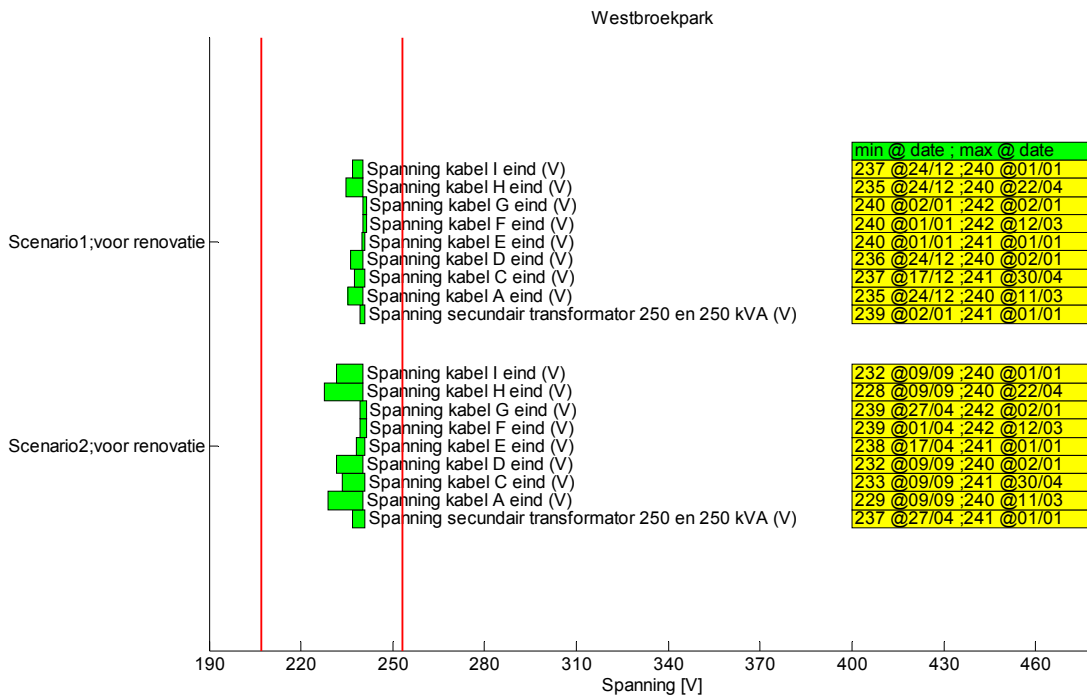
Figuur 0-112 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



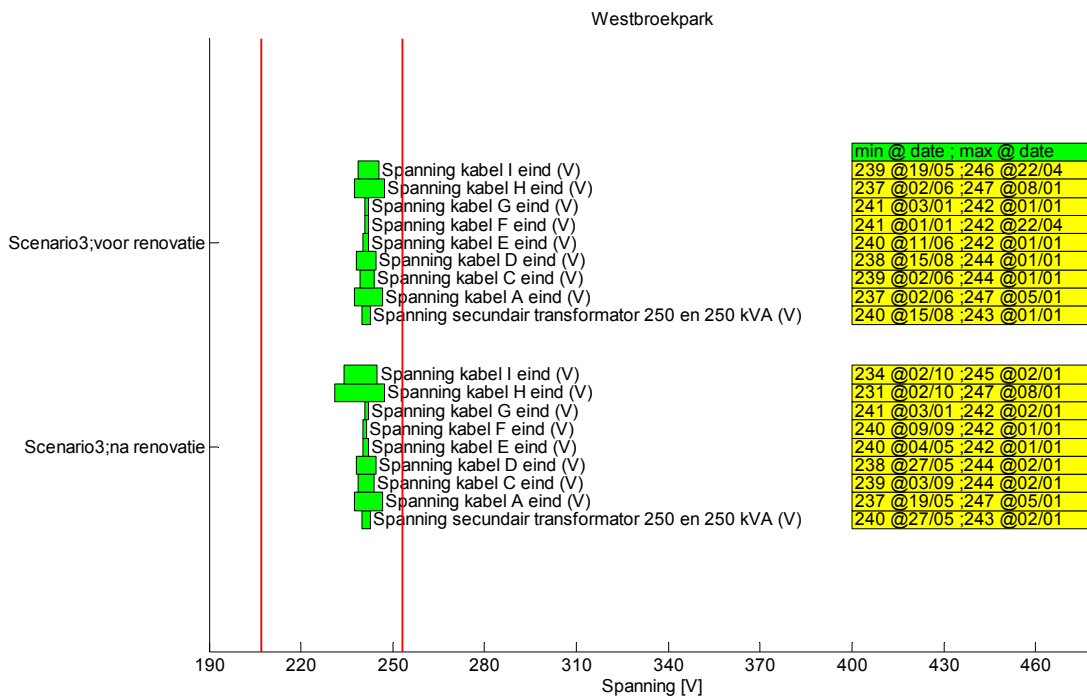
Figuur 0-113 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



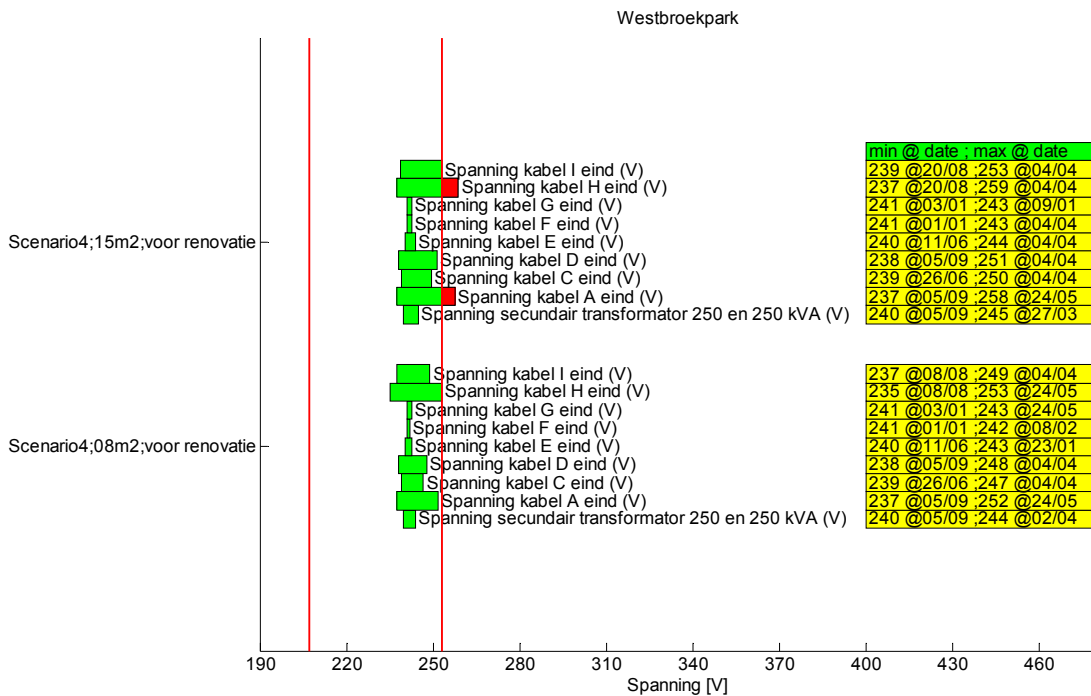
Figuur 0-114 Belasting transformator en kabels Westbroekpark



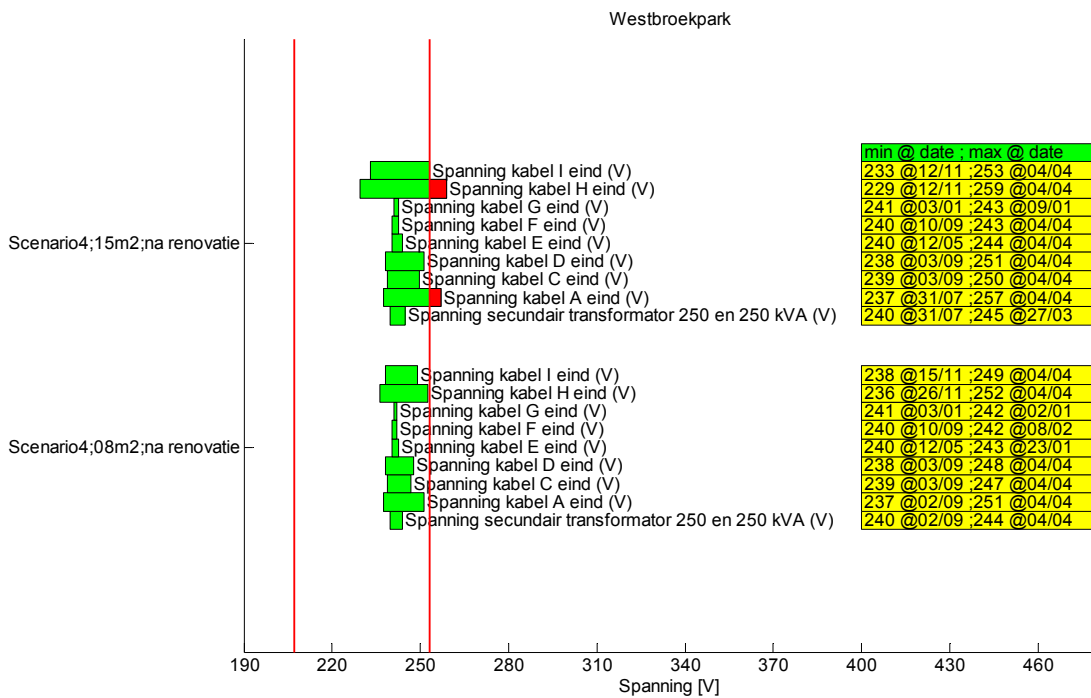
Figuur 0-115 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark



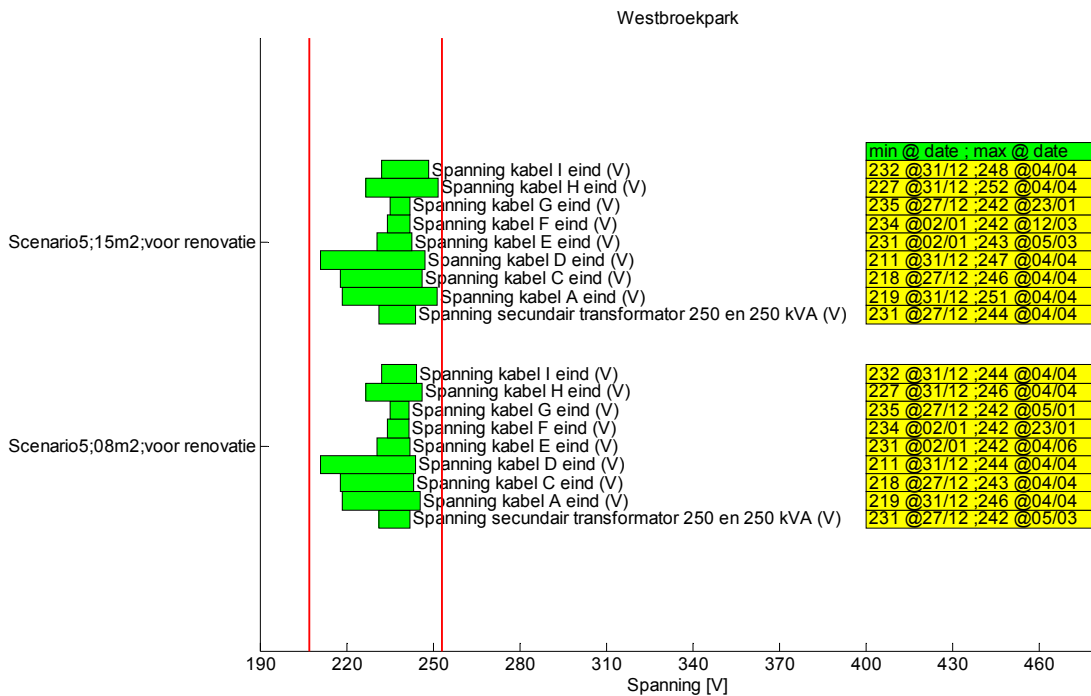
Figuur 0-116 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark



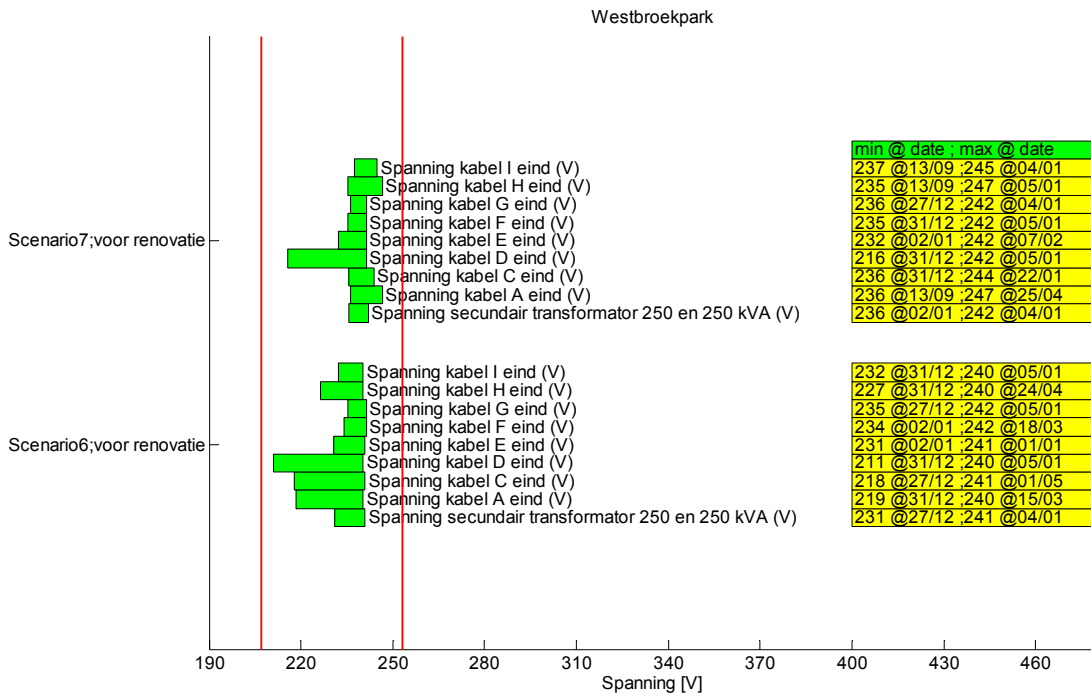
Figuur 0-117 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark



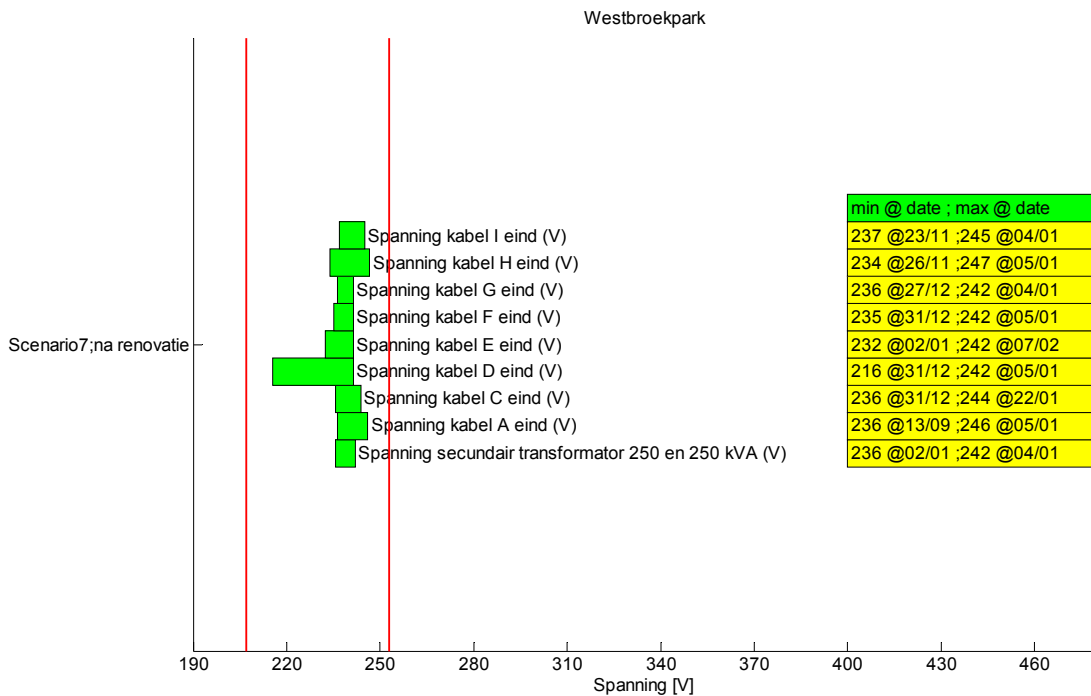
Figuur 0-118 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark



Figuur 0-119 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark

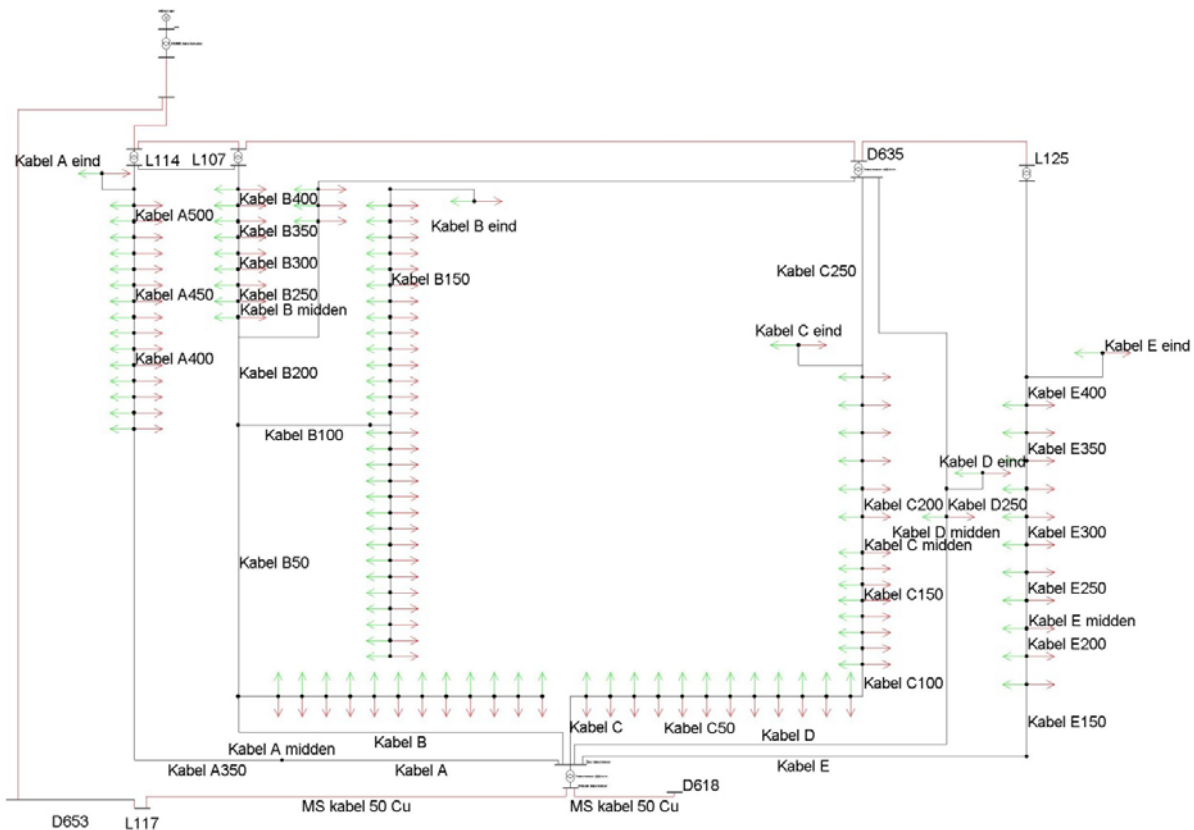


Figuur 0-120 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark



Figuur 0-121 Spanningshuishouding LS- net Westbroekpark

Kijkduin



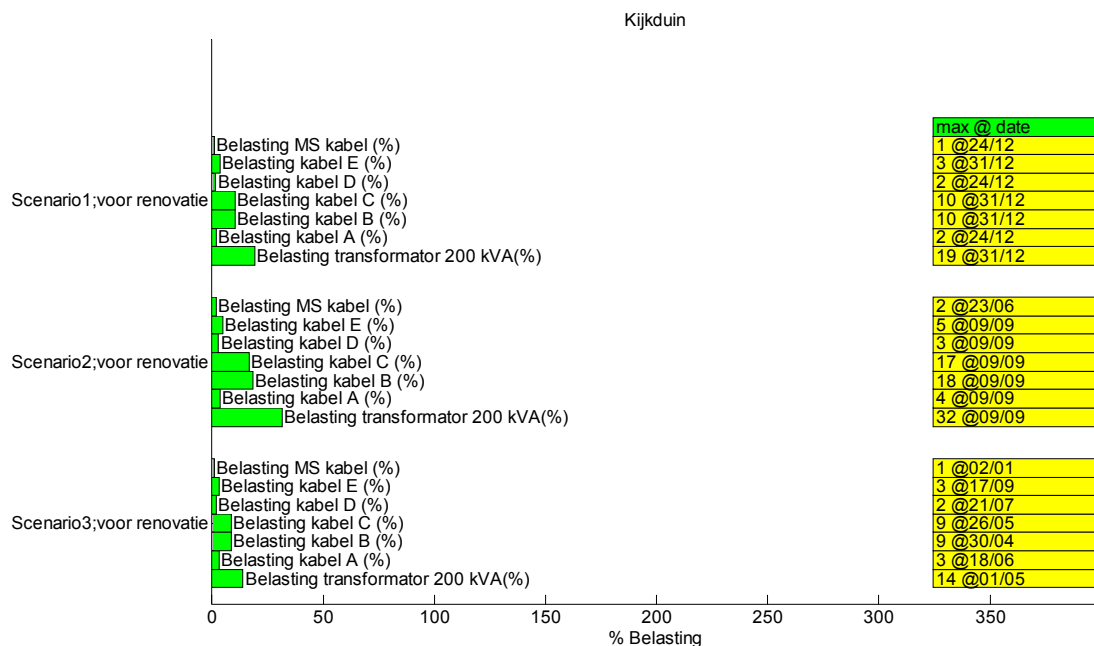
Figuur 0-122 LS- net Kijkduin in Vision

Scenario 1 Business as usual

In de tabellen hieronder staat aangegeven wat de maximale belasting (%) is van de MS/LS transformator en de afgaande kabels (bij de aansluiting op de LS- rail) per seizoen in Kijkduin.

Tabel 0-57 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'Business as usual'

Max belasting:	Winter	Lente	Zomer	Herfst
250 kVA transformator	19%	15%	13%	17%
Kabel A	2%	1%	1%	2%
Kabel B	10%	8%	7%	9%
Kabel C	10%	8%	7%	9%
Kabel D	2%	1%	1%	1%
Kabel E	3%	3%	2%	3%



Figuur 0-123 Belastingen 200 kVA transformator en afgaande kabels in Kijkduin

Het LS- net van Kijkduin is zeer zwaar uitgelegd voor het aantal woningen dat er op is aangesloten. Deze woningen zijn wel veelal vrijstaand van het type A. Waarschijnlijk is de inschatting van het verbruik nog aan de lage kant, evenals de penetratie van airconditioning. Toch zal ook bij toename van de belasting nog geen probleem ontstaan met kabels of transformatoren.

Scenario 2 Business as usual met airco

Tabel 0-58 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'Business as usual met airco'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA trans-formator	19%		30%		32%		17%	
Kabel A	2%		3%		4%		2%	
Kabel B	10%		18%		18%		9%	
Kabel C	10%		16%		17%		9%	
Kabel D	2%		3%		3%		1%	
Kabel E	3%		5%		5%		3%	

Scenario 3 SOFC brandstofcel microwkk

Tabel 0-59 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk'

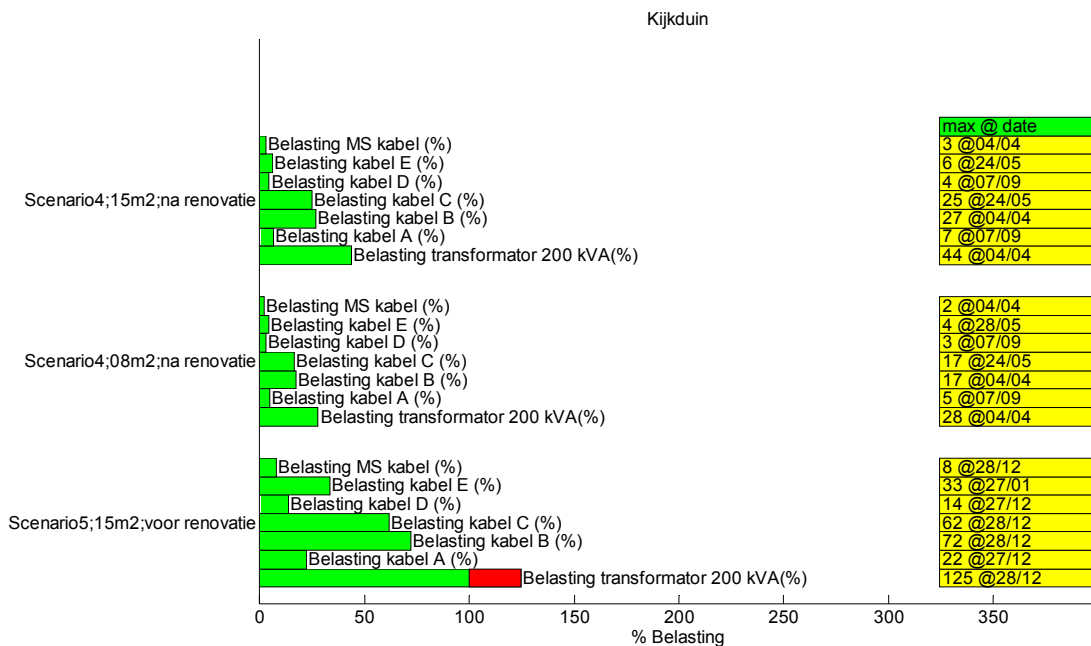
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA trans-formator	14%	14%	14%	14%	14%	13%	14%	14%
Kabel A	2%	2%	3%	3%	3%	3%	2%	3%
Kabel B	9%	9%	9%	9%	9%	8%	9%	9%
Kabel C	7%	8%	9%	9%	9%	8%	9%	9%
Kabel D	1%	1%	2%	2%	2%	2%	1%	2%
Kabel E	2%	2%	3%	3%	3%	3%	3%	3%

Scenario 4 SOFC brandstofcel microwkk + PV**Tabel 0-60 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + PV'**

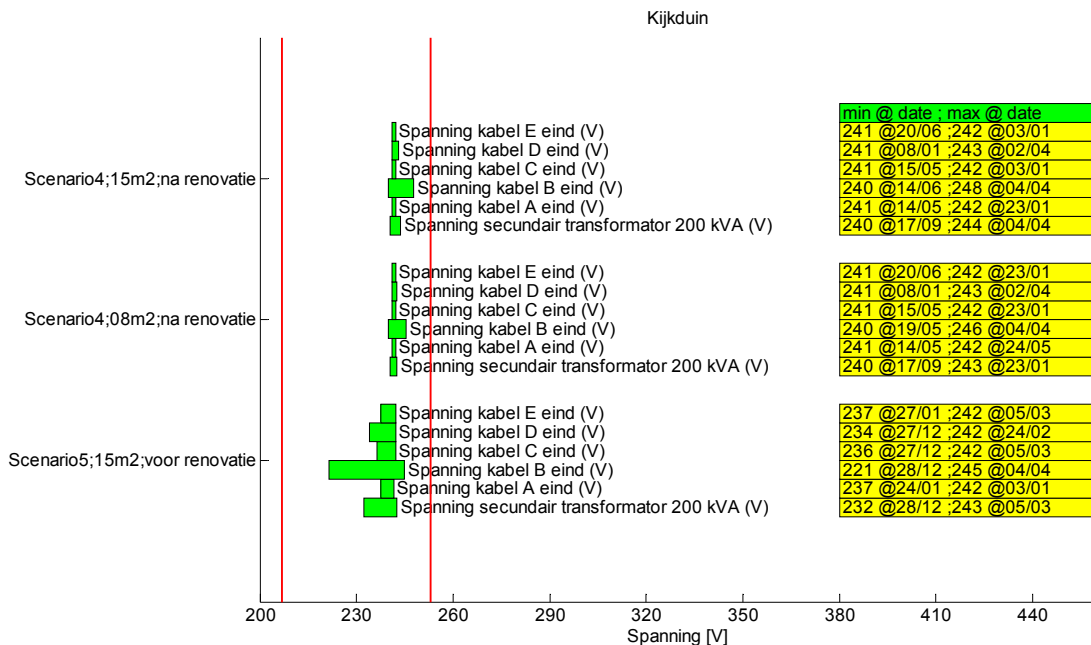
Max belasting:	Winter				Lente				Zomer				Herfst			
	Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na		Voor		Na	
250 kVA transformator	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
	39%	25%	39%	25%	45%	29%	44%	28%	40%	26%	38%	25%	39%	25%	38%	25%
Kabel A	5%	3%	5%	3%	6%	4%	6%	4%	6%	5%	7%	5%	5%	3%	5%	3%
Kabel B	24%	16%	24%	16%	27%	18%	27%	17%	25%	16%	24%	16%	24%	16%	23%	16%
Kabel C	21%	13%	21%	13%	24%	15%	25%	17%	24%	16%	22%	15%	20%	13%	22%	14%
Kabel D	4%	3%	4%	3%	4%	3%	4%	3%	4%	3%	4%	3%	4%	3%	4%	3%
Kabel E	5%	3%	5%	3%	6%	4%	6%	4%	6%	4%	5%	4%	5%	3%	5%	3%

Scenario 5 PV + elektrische warmtepomp**Tabel 0-61 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'PV + elektrische warmtepomp'**

Max belasting van	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²	15 m ²	8 m ²
250 kVA transformator	125%	125%	66%	66%	61%	62%	113%	113%
Kabel A	22%	22%	15%	13%	11%	11%	22%	22%
Kabel B	72%	72%	37%	37%	34%	34%	71%	71%
Kabel C	62%	62%	32%	32%	30%	30%	60%	60%
Kabel D	14%	14%	7%	7%	7%	7%	14%	14%
Kabel E	33%	34%	32%	33%	18%	18%	33%	33%



Figuur 0-124 Belastingen 200 kVA transformator en afgaande kabels in Kijkduin



Figuur 0-125 Spanningshuishouding in Kijkduin

De inpassing van microwkk en/of grootschalig PV kan zonder problemen van overbelasting of overspanningen. Elektrische warmtepompen kunnen beperkt ingepast worden vanwege het laag aantal woningen per zwaar uitgevoerde feeder. Omdat dit net vermaasd bedreven wordt is aandacht vereist voor situaties van onderhoud of storingen.

Scenario 6 Elektrische warmtepompen

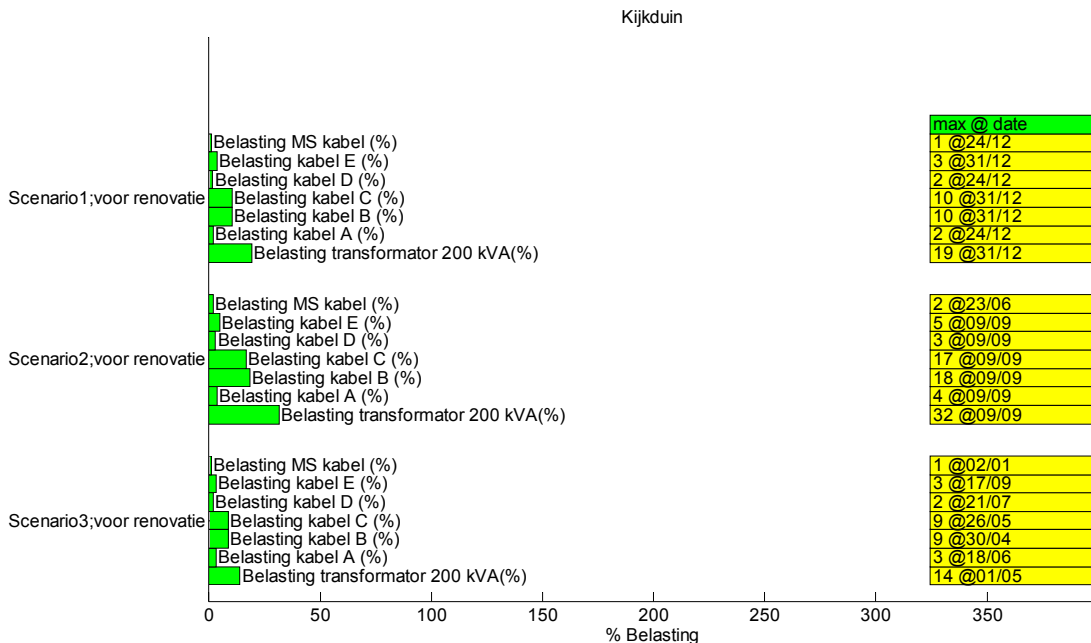
Tabel 0-62 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin e in het scenario 'Elektrische warmtepompen'

Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
250 kVA transformator	125%		66%		63%		113%	
Kabel A	22%		12%		11%		22%	
Kabel B	72%		37%		34%		71%	
Kabel C	62%		32%		30%		60%	
Kabel D	14%		7%		7%		14%	
Kabel E	34%		33%		19%		34%	

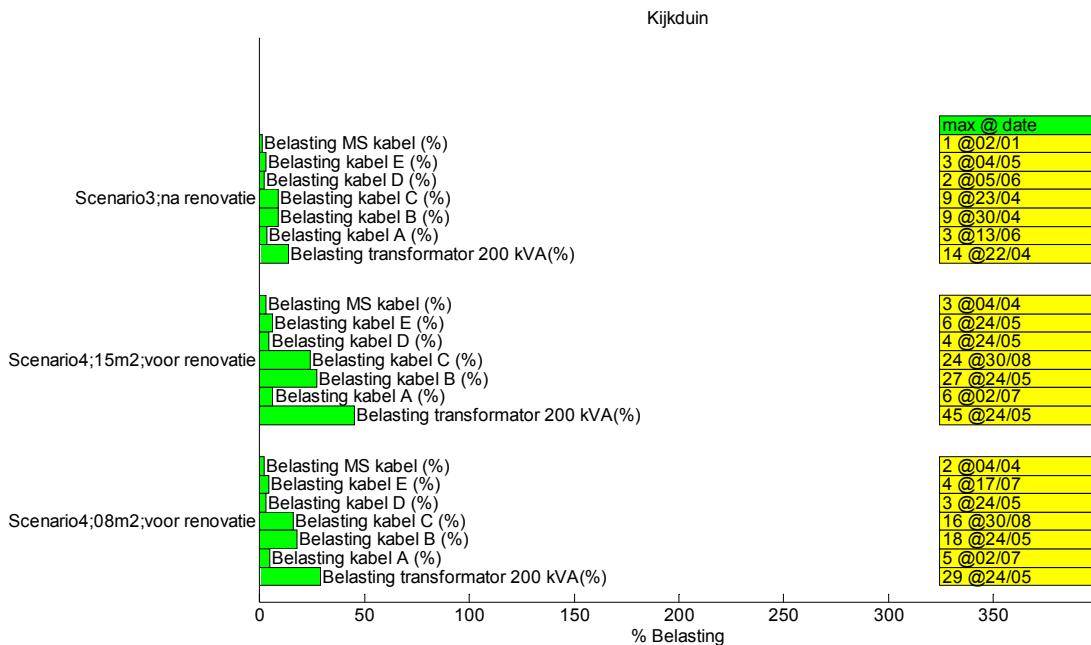
Scenario 7 SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp

Tabel 0-63 Maximale belasting MS/LS transformator en afgaande kabels in Kijkduin in het scenario 'SOFC brandstofcel microwkk + elektrische warmtepomp'

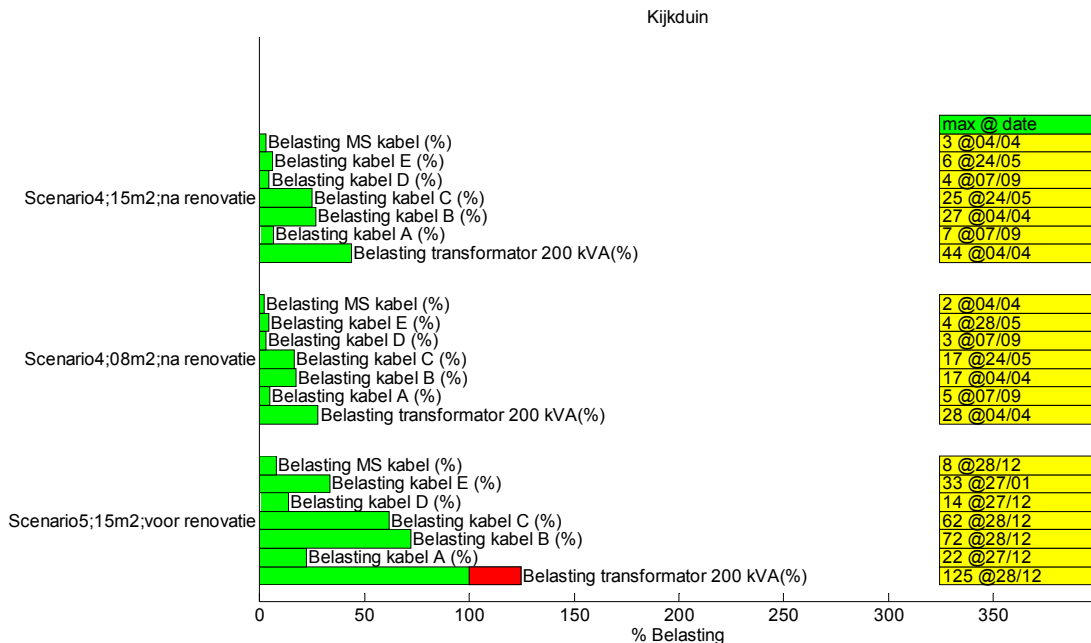
Max belasting:	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
250 kVA transformator	84%	84%	49%	54%	48%	50%	72%	72%
Kabel A	13%	13%	13%	13%	8%	8%	13%	13%
Kabel B	19%	19%	12%	14%	14%	14%	18%	18%
Kabel C	70%	70%	36%	36%	34%	33%	68%	68%
Kabel D	8%	8%	6%	6%	4%	4%	8%	8%
Kabel E	34%	34%	34%	34%	19%	19%	34%	34%



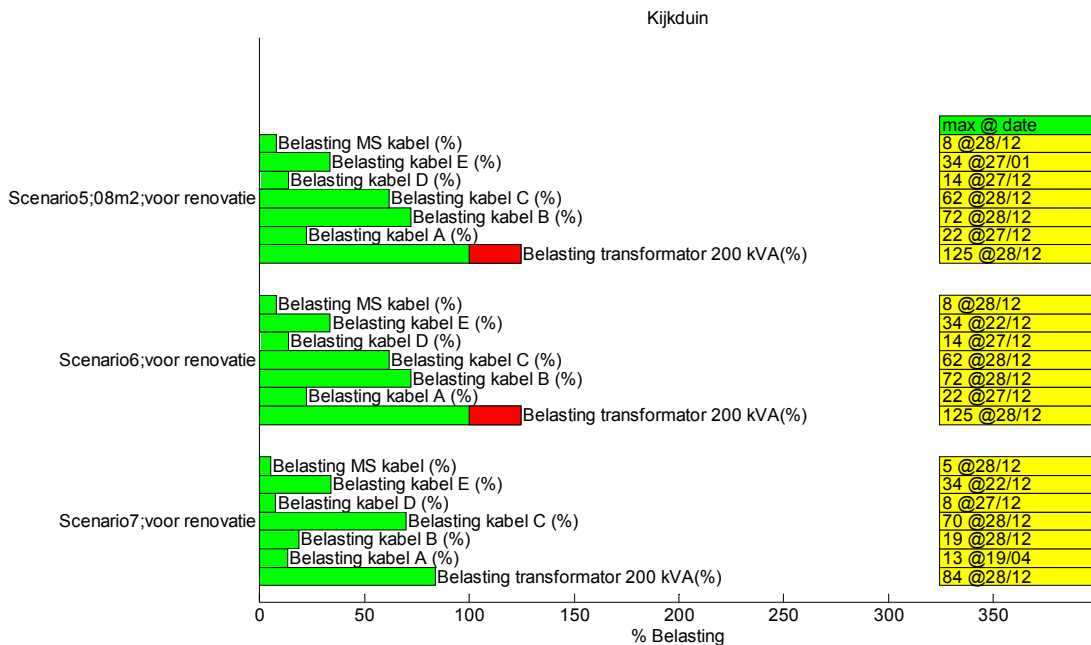
Figuur 0-126 Belasting transformator en kabels Kijkduin



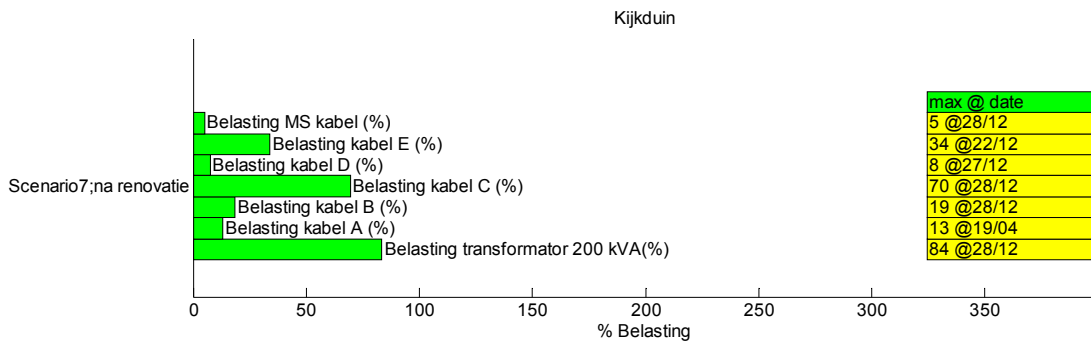
Figuur 0-127 Belasting transformator en kabels Kijkduin



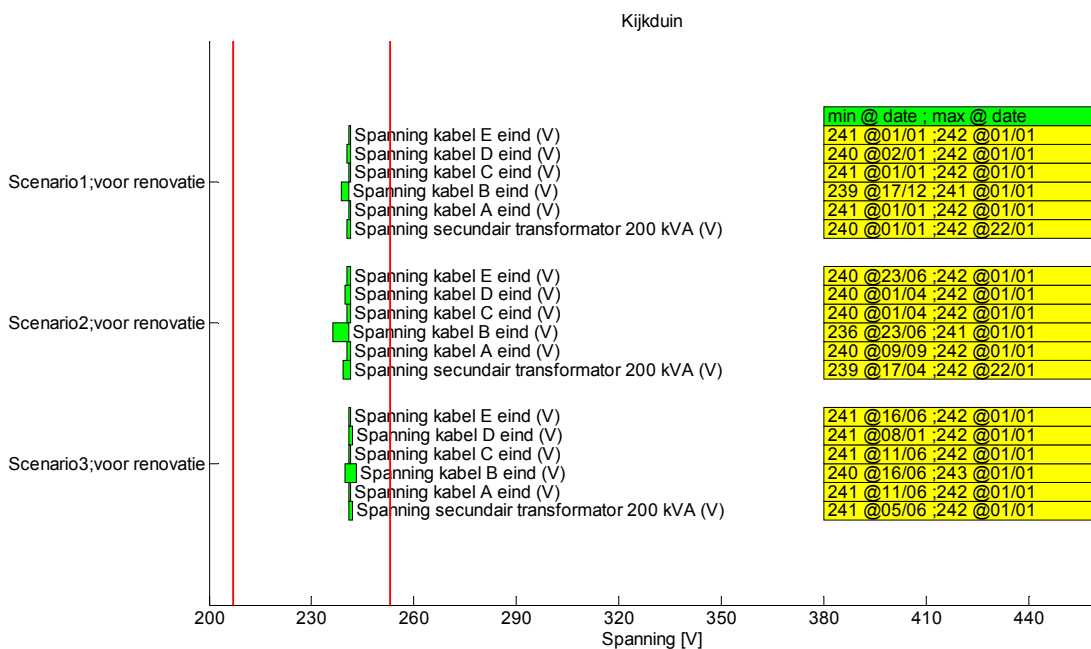
Figuur 0-128 Belasting transformator en kabels Kijkduin



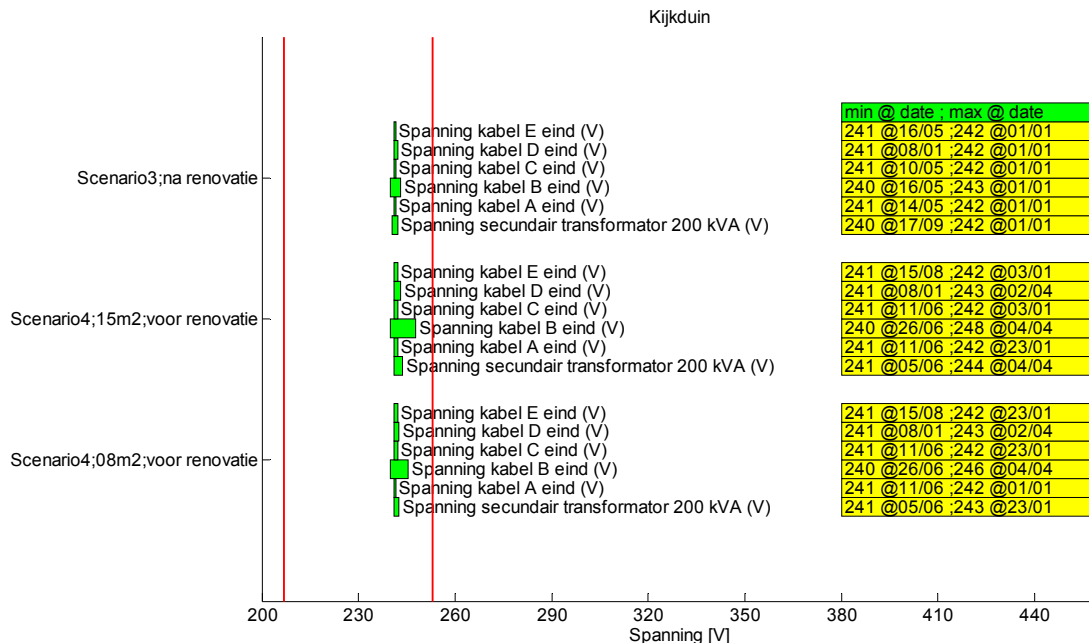
Figuur 0-129 Belasting transformator en kabels Kijkduin



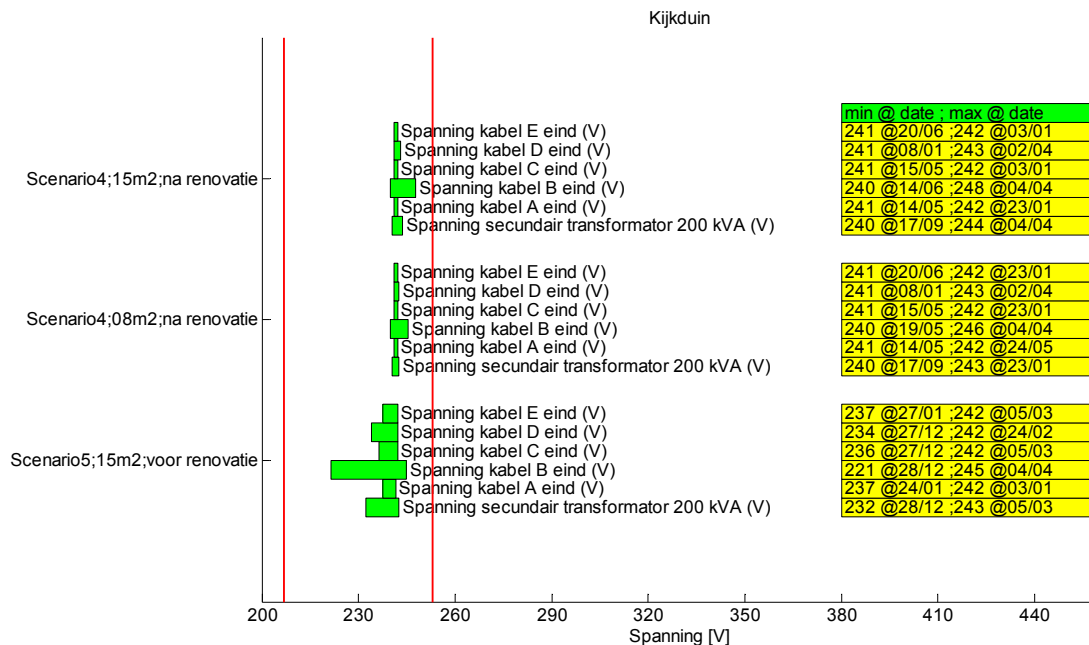
Figuur 0-130 Belasting transformator en kabels Kijkduin



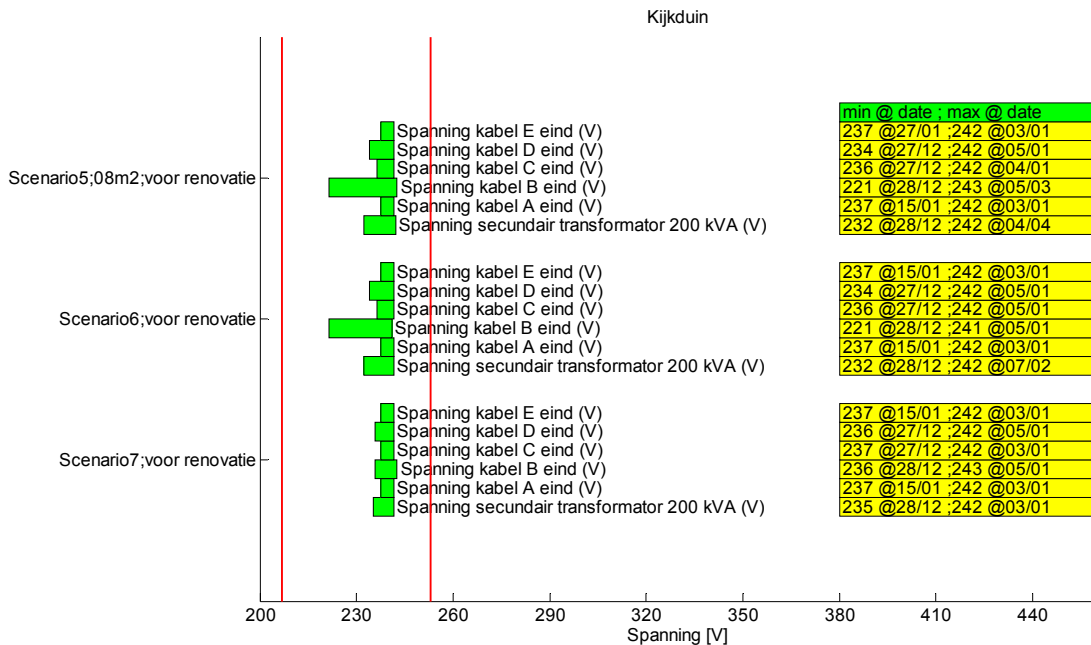
Figuur 0-131 Spanningshuishouding LS- net Kijkduin



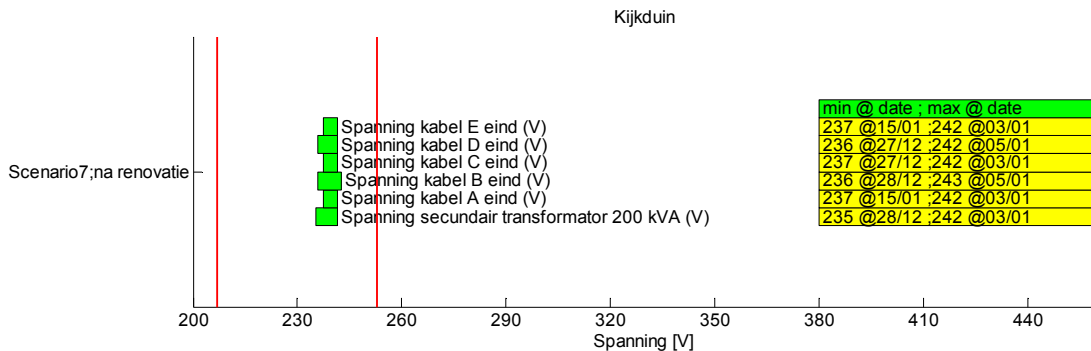
Figuur 0-132 Spanningshuishouding LS- net Kijkduin



Figuur 0-133 Spanningshuishouding LS- net Kijkduin



Figuur 0-134 Spanningshuishouding LS- net Kijkduin



Figuur 0-135 Spanningshuishouding LS- net Kijkduin