



Onderspanning

Vervolgonderzoek

Versie 1.2 | mei 2026

RESEARCHING AND TESTING
SMART AND SUSTAINABLE
CHARGING

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	4
1. Inleiding	5
2. Onderzoeksvraag.....	6
3. Methode.....	7
4. Resultaten.....	8
5. Conclusie	9
6. Aanbevelingen	10
Bijlage 1 - Impactmatrix	11
Bijlage 2 - Resultatenmatrix.....	12

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft een vervolgonderzoek naar de impact van onderspanning op warmtepompen, cv-ketels en airconditioningsystemen. Aanleiding voor het onderzoek was de behoefte om eerdere bevindingen over de immuniteit van apparaten voor spanningsdips te verbreden met aanvullende testresultaten. In totaal zijn dertien extra apparaten getest: vier warmtepompen, vijf cv-ketels en vier airconditioningsystemen. Het doel was vast te stellen bij welke spanningsniveaus functionaliteit wordt beïnvloed, of eerdere conclusies worden bevestigd en hoe apparaten zich herstellen na onderspanning.

De testen zijn uitgevoerd met een grid-emulator, waarbij de netspanning stapsgewijs is verlaagd van 230 V naar 180 V in stappen van 10 V. Indien apparaten bij 180 V bleven functioneren, is aanvullend getest bij 175 V en 170 V. Voor warmtepompen en airconditioningsystemen is gebruikgemaakt van een externe power analyzer met stroommeetspoelen om naast spanning en stroom ook mogelijke Power Quality-effecten inzichtelijk te maken. Bij cv-ketels is naast het ontstekingsmechanisme ook de algemene functionaliteit beoordeeld.

Uit de resultaten blijkt dat 11 van de 13 geteste apparaten blijven functioneren bij 180 V. Warmtepompen functioneerden tot 180 V zonder merkbare beïnvloeding; bij 175 V traden bij twee systemen storingen op, waarna herstel plaatsvond bij hogere spanning. Airconditioningsystemen vertoonden grotendeels stabiel gedrag; één systeem schakelde af bij 190 V en herstartte bij 200 V. Apparaten met frequentiegeregelde motoren hielden hun elektrisch vermogen vrijwel constant, wat leidde tot een hogere stroomvraag bij lagere spanning.

Bij cv-ketels bleven vier van de vijf systemen functioneren tot 180 V, maar bij vier ketels werd beïnvloeding van de circulatiepomp waargenomen, waaronder moeilijker draaien en oplopende watertemperaturen. Eén ketel verloor functionaliteit bij 180 V. In de meeste gevallen herstelden apparaten automatisch na spanningsherstel.

Geconcludeerd wordt dat apparaten met frequentiegeregelde motoren over het algemeen robuust zijn bij onderspanning, zij het met een verhoogde stroomvraag. Cv-ketels blijken gevoeliger, met name de circulatiepomp als kritisch onderdeel. Aanbevolen wordt dat fabrikanten van frequentiegeregelde apparatuur rekening houden met verhoogde stroomvraag bij onderspanning en dat fabrikanten van cv-ketels onderspanningsgedrag expliciet meenemen in foutdetectie en monitoring, met specifieke aandacht voor waterflow.

1. INLEIDING

Dit vervolgonderzoek naar de reactie van apparaten op onderspanning omvat een uitbreiding van het aantal geteste apparaten. Er zijn een 13-tal apparaten toegevoegd in de categorieën Warmtepompen, cv-ketels en Airco's, waarbij de laatste een nieuwe categorie vormt.

- 4 warmtepompen
- 5 cv-ketels
- 4 airconditioningsystemen

Belangrijk daarbij om te vermelden is dat in het originele onderzoek de warmtepompen onder de categorie "Frequentie geregelde motor" en de cv-ketels onder de categorie "Ontstekingsystemen" vielen. De airconditioningsystemen vallen ook onder de categorie "Frequentie geregelde motor".

Bij deze nieuwe testreeks is voor de warmtepompen een andere meetmethode toegepast dan in het oorspronkelijke onderzoek. Ook zijn de cv-ketels niet alleen op de werking van het ontstekingsmechanisme bij laag voltage getest, maar ook op beïnvloeding van de functionaliteit. Hierdoor worden de resultaten in dit rapport op een andere wijze gepresenteerd. De nadruk ligt uitsluitend op de onderdelen van de metingen die relevant zijn voor de aanbevelingen en conclusies uit het initiële rapport.

Met dit rapport wordt het bestaande onderzoeksrapport uitgebreid met nieuwe inzichten, die bijdragen aan een vollediger beeld van het gedrag van installaties bij onderspanning. De bevindingen ondersteunen het verder verfijnen van conclusies en aanbevelingen richting fabrikanten, installateurs en netbeheerders. Het totale aantal geteste apparaten blijft echter beperkt in relatie tot het verschillende aantal merken, typen en generaties en dient zodoende als een steekproef te worden beschouwd.

Een deel van de metingen is uitgevoerd bij mensen thuis en praktijkopstellingen bij het ROVC. Het ROVC leidt onder meer storingsmonteurs op en beschikt daarom over volledig functionerende opstellingen van verschillende types en merken verwarmingsapparatuur die zij beschikbaar hebben gesteld voor onze testen. Wij bedanken daarbij iedereen voor het beschikbaar stellen van hun apparatuur, ruimte en tijd.

2. ONDERZOEKSVRAAG

Ter aanvulling op het eerdere onderzoek naar de immuniteit voor spanningsdips van warmtepompen en cv-ketels, heeft Netbeheer Nederland aan ElaadNL gevraagd het aantal geteste apparaten uit te breiden. ElaadNL heeft hier gevolg aan gegeven door meer cv-ketels en warmtepompen te testen, en daarbij ook de op de testlocaties aanwezige airconditioningsystemen toe te voegen. Een airconditioningsysteem is namelijk ook een verwarmingssysteem en gebruikt dezelfde techniek als een warmtepomp.

Dit is uitgewerkt in de volgende hoofdvraag en deelvragen.

Hoofdvraag

- Wat is de impact van verschillende maten van onderspanning?

Deelvragen

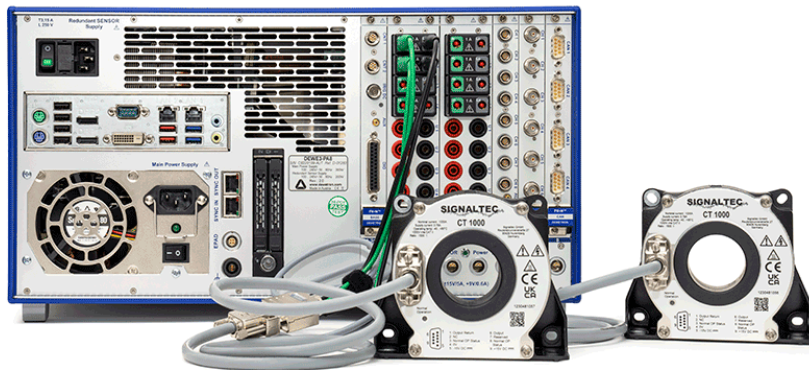
- In hoeverre ondersteunen de nieuwe resultaten de eerdere conclusies?
- Wat is de impact op airconditioningsystemen?
- Als het apparaat blijft werken bij 180V, bij welke onderspanning schakelt deze wel af?
- Wat is het gedrag van apparaten nadat er onderspanning heeft plaatsgevonden; blijven ze in storing of herstellen ze automatisch?
- Welke apparaten zijn het meest gevoelig voor onderspanning en in welke netsituatie schakelen deze uit?
- Is er een rode draad te herkennen en is er een algemeen advies te geven aan fabrikanten en netbeheerders?

In de methode (hoofdstuk 3) wordt toegelicht hoe de testen en analyse zijn uitgevoerd om deze onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. Aan de hand van de resultaten in hoofdstuk 4 worden in hoofdstuk 5 de hoofd- en deelvragen beantwoord.

3. METHODE

Zoals in de introductie aangegeven is de testmethode aangepast voor de warmtepompen/airconditioningsystemen en voor de cv-ketels. De onderspanningsmeting aan warmtepompen en airconditioningsystemen zijn uitgevoerd met behulp van dezelfde iTech grid-emulator. Echter, waar bij het initiële rapport meetdata is gebruikt uit de interne meting van de grid-emulator, is bij deze tests gebruik gemaakt van een Dewetron DEWE3-PA8-RM Power Analyzer met Signaltec stroom meetspoelen, zie figuur 1 ter illustratie, voorzien van het Dewetron Oxygen softwarepakket voor visualisatie en analyse van de data. Het voordeel van deze meetmethode is dat deze ook inzicht geeft in mogelijke Power Quality effecten. De meetwaarden via deze methode zijn op dezelfde wijze te gebruiken als de meetwaarden in het initiële rapport.

Bij het testen van de cv-ketels heeft een uitbreiding van de testen plaatsgevonden, waarbij niet alleen naar het gedrag van het ontstekingsmechanisme op lage voltages is gekeken, maar ook naar beïnvloeding van de algemene functionaliteit van de cv-ketel.



Figuur 1: Dewetron met meetspoelen

Test methode warmtepompen en airconditioningsystemen

Tijdens de test is de spanning afgebouwd van 230V tot 180V in stappen van 10 volt. Als het apparaat in kwestie bij een hoger voltage dan 180V in storing is gegaan, zijn de lagere voltages niet meer getest. Bij goed functioneren op 180 V is doorgetest op 175 V en, bij uitblijven van problemen, op 170 V.

4. RESULTATEN

In dit hoofdstuk is een uiteenzetting van de resultaten te vinden. Per geteste categorie wordt aangegeven welke observaties er tijdens de test zijn gedaan. In bijlage 1 en 2 vindt u de impactmatrix en resultatenmatrix.

Warmtepompen

Tijdens deze tweede testronde zijn 4 extra warmtepompen getest tot een onderspanning van 175V. Tot aan 180V werd geen beïnvloeding van functionaliteit waargenomen. Bij 175 Volt traden bij twee warmtepompen problemen op. Eén warmtepomp gaf een foutmelding, waarna de compressor uitging. Bij het geleidelijk omhoog brengen van de spanning sloeg de warmtepomp bij 197 V weer aan. Hierna functioneerde hij normaal. De tweede warmtepomp sloeg af bij 175V, waarna deze een “omvormer storing” aangaf en in een lock-out modus ging van 20 minuten. Na deze 20 minuten was de spanning teruggezet naar 180V en functioneerde de warmtepomp weer normaal. De geteste warmtepompen hebben bouwjaren tussen 2021 en 2024.

Alle geteste warmtepompen houden het opgenomen elektrisch vermogen tijdens onderspanningssituaties vrijwel constant, met een hogere stroomvraag tot gevolg.

Cv-ketels

Er zijn 5 cv-ketels aan de test toegevoegd met leeftijden tussen de 15 en 5 jaar. Van de 5 geteste cv-ketels in de tweede testronde bleven er 4 tot de onderspanningsgrens van 180V functioneren. Bij één cv-ketel startte de circulatiepomp niet bij 180V. Bij 4 van de 5 ketels werd wel beïnvloeding van het gedrag geobserveerd in de vorm van een moeilijk lopende circulatiepomp en oplopende watertemperaturen. In 1 geval trad dit al op vanaf 210V netspanning, bij de andere 3 pas bij voltages lager dan 190V. Bij het terug omhoog brengen van het voltage functioneerden de cv-ketels weer normaal.

Het meten van het elektrische vermogen was geen onderdeel van deze tests in verband met het zeer beperkte elektrisch verbruik van cv-ketels.

Airconditioningsystemen

Bij 3 van de 4 geteste airconditioningsystemen was geen opvallend gedrag zichtbaar bij onderspanning tot 175 V. Eén aircosysteem sloeg echter wel af bij 190V, waarbij van tevoren het geluid van de unit hoorbaar toenam. Ook hier lijkt de compressiepomp beïnvloed te worden door het lagere voltage. Toen het voltage terug werd gezet op 200V sloeg de airconditioner weer aan. De geteste airconditioningsystemen hebben bouwjaren tussen 2017 en 2019.

Alle geteste airconditioningsystemen houden het opgenomen elektrisch vermogen tijdens onderspanningssituaties vrijwel constant, met een hogere stroomvraag tot gevolg.

5. CONCLUSIE

Aan de hand van de resultaten kan geconcludeerd worden dat 11 van de 13 geteste apparaten blijven functioneren op 180V. Van de 2 apparaten waarvan de functionaliteit wordt aangetast, treedt dat op bij één airconditioningsysteem op 190V en één cv-ketel bij 180V. Daarnaast is er bij 4 van de 5 cv-ketels beïnvloeding van het gedrag geobserveerd, in de vorm van moeilijk lopende circulatiepompen en oplopende watertemperaturen. In één geval al bij 210V.

De nieuwe resultaten van de warmtepompen onderbouwen de eerdere positieve conclusies. Idem de airconditioningsystemen, welke onder dezelfde categorie “Frequentie geregelde motor” vallen. Van de 6 systemen, is er slechts 1 welke op 190V problemen vertoont. De rest, 5 stuks, blijft functioneren op 180V, 5 daar zelfs onder.

De aanvullende metingen aan cv-ketels laten zien dat bij vier van de vijf ketels de circulatiepomp wordt beïnvloed door onderspanning. Dit is waarneembaar aan het zwaarder lopen van de circulatiepomp en aan watertemperaturen die hoger uitkomen dan de ingestelde waarde. Bij één van de vijf ketels leidt onderspanning bovendien tot (gedeeltelijk) verlies van functionaliteit. In tegenstelling tot het eerdere onderzoek—waarin het ontstekingsmechanisme als gevoelig punt naar voren kwam—wijst dit vervolgonderzoek de circulatiepomp aan als het meest kritische onderdeel.

Het zelfherstellende vermogen van de apparaten die problemen vertoonden was goed te noemen. Een enkele warmtepomp ging in een 20-minuten durende lock-out bij 175V, maar functioneerde daarna ook weer op 180V. Verder herstelde de functionaliteit zich direct bij een hogere spanning.

Qua impact op de stroomvraag is een toename zichtbaar voor de “Frequentie geregelde motor” apparaten.

Algemeen gezien kan de conclusie worden getrokken dat;

- De frequentie geregelde motoren qua functionaliteit weinig problemen ondervinden van onderspanning. Wel is bij deze apparaten een toename van de stroomvraag zichtbaar. Bij een vrijwel gelijkblijvend vermogen stijgt de stroom in verhouding om de spanningsdaling te compenseren.
- 4 van de 5 geteste cv-ketels in bepaalde mate gevoelig zijn voor onderspanning waarbij de temperaturen van het water kunnen oplopen.
- 1 van de 5 geteste cv-ketels zijn functionaliteit verliest bij 180V onderspanning.

De conclusie van de testen kan in meer en mindere mate worden doorgetrokken naar het gedrag op onderspanning in het veld. Het relatief beperkte op de markt beschikbare aantal merken en modellen warmtepompen en airconditioningsystemen maakt de steekproef van deze redelijk representatief. Het in deze steekproef bekeken aantal cv-ketels is echter slechts in beperkte mate representatief voor de installed-base. Cv-ketels hebben een lange levensduur en er zijn veel fabrikanten met verschillende modellen/generaties waardoor het lastig is een representatieve populatie te testen. Daarnaast kan mogelijk de bedrijfsduur en onderhoudsgeschiedenis van invloed zijn. Om de steekproef wel zo representatief mogelijk te laten zijn, is een selectie gemaakt op basis van de gangbare merken in Nederland. De geteste ketels varieerden ook sterk in bouwjaar; de oudste geteste cv-ketel komt uit 2010, twee uit 2014 en twee uit 2020. Desondanks geeft deze steekproef, simpelweg door de grote variatie in het veld, een beperkte basis om uitspraken te doen over de gevoeligheid van cv-ketels in het algemeen.

6. AANBEVELINGEN

De volgende aanvullende aanbevelingen richting fabrikanten komen voort uit dit vervolgonderzoek:

- **Borg onderspanningsrobuustheid bij frequentie geregelde motoren**

Zorg dat de stroomvraag van apparaten met een frequentieregelde motor, zoals warmtepompen en airconditioningsystemen, onder de aansluitwaarde blijft bij onderspanning.

- **Laat net intensieve apparatuur testen**

Test net intensieve apparaten in overleg in het Powerlab van ElaadNL en de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen om zowel het gedrag bij onderspanning als de invloed van het apparaat op de spanningskwaliteit inzichtelijk te maken.

- **Neem onderspanningsgedrag expliciet op in detectie en foutafhandeling van cv-ketels**

Implementeer foutdetectie gerelateerd aan het gevonden onderspanningsgedrag met specifieke monitoring van waterflow, om afwijkingen tijdig te signaleren.

BIJLAGE 1 - IMPACTMATRIX

	VERLICHTING 50% tot 75% van marktaandeel getest	WARMTEPOMPEN 50% tot 75% van marktaandeel getest	AIRCONDITIONERS <25% van marktaandeel getest	EV/EVSE 50% tot 75% van marktaandeel getest	CV-Ketels 0% tot 25% van marktaandeel getest	SCHAKELENDE VOEDING RESISTIEVE BELASTING ASYNCHRONE MOTOR <10% van marktaandeel getest
230 volt						
200 volt						1/146 auto's stopt met laden bij 6A, deze start automatisch bij 230 volt.
210 volt						1 toestel vertoonde wisselende temperaturen bij tapwater.
200 volt	Piek in flikkeren bij de standaardlamp Uitval bij gedimde lampen met laag vermogen			Klein deel van EV's en EVSE's stopt met laden, een deel herstart niet automatisch bij 230 volt		
190 volt	Standaardlamp geeft minder dan 50% van nominale lichtsterkte	1 van de 6 geteste warmtepompen geeft een foutmelding, deze is door de gebruiker zelf op te lossen	1 van de 4 airconditioners stopte met koelen. herstel zonder tussenkomst gebruiker	Gevoeligste laadpaal / EV's stoppen met laden	bij 4/5 waarneembare vermindering van werking circulatiepomp en hogere water temperatuur. Dit geeft mogelijk uitval bij langere onderspanningsperiodes*	
180 volt	Uitval van lampen met laag vermogen. Uitval bij gedimde lampen Sterke afname in lichtsterkte bij andere lampen			Klein deel van EV's en EVSE's stopt met laden, een deel herstart niet automatisch bij 230 volt	Bij 1 toestel startte de pomp niet	
170 volt	uitval bij een groot deel van de lampen	Niet getest				
160 volt	uitval bij een groot deel van de lampen	Niet getest				

Geen hinder

Geen hinder.

Lichte hinder

Voorbeelden zijn flikkerende lampen of afname in lichtsterkte. Of gedrag uit de volgende categorieën maar in zeer beperkte mate.

Gematigde hinder

Voorbeelden zijn sterke vermindering van functie, foutmeldingen die niet zonder ingreep van de gebruiker worden verholpen.

Ernstige hinder

Voorbeelden zijn uitval of schade. Wanneer er uitval plaatsvindt zonder dat het apparaat automatisch herstelt bij 230 volt wordt dit expliciet vermeld.

* Tijdens de relatief korte testperiode heeft deze verminderde werking van de circulatiepomp niet direct effect gehad op het functioneren van de CV ketel. Echter is de verwachting dat bij langere perioden dit kan leiden tot uitval waarbij mogelijk gebruikersinteractie nodig is.

BIJLAGE 2 - RESULTATENMATRIX

Apparaat onder test	Spanning						
	230 V	220 V	210 V	200 V	190 V	180 V	175 V
Warmtepomp 1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NOK
Warmtepomp 2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Warmtepomp 3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NOK
Warmtepomp 4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CV Ketel 1	OK	OK	Instabiel	Instabiel	Instabiel	Instabiel	Instabiel
CV Ketel 2	OK	OK	OK	OK	OK	OK ^{*1}	Instabiel
CV Ketel 3	OK	OK	OK	OK	OK	OK ^{*1}	Niet getest
CV Ketel 4	OK	OK	OK	OK	OK	OK ^{*1}	OK ^{*1}
CV Ketel 5	OK	OK	OK	OK	OK	NOK	Niet getest
Airconditioner 1	OK	OK	OK	OK	NOK	Niet getest	Niet getest
Airconditioner 2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Airconditioner 3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Instabiel
Airconditioner 4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

^{*1} Veranderingen in watertemperatuur en pompsnelheid waargenomen, echter zonder waargenomen impact op comfort.



Elaadnl

