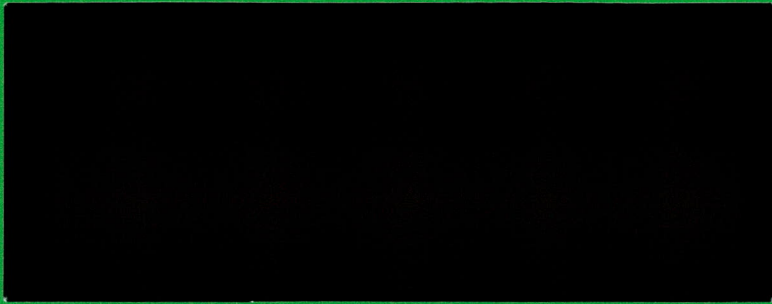


Di: 770701



Multiconsult bv
Business Development

Plantijnweg 32, 4104 BB Culemborg / Postbus 141, 4100 AC Culemborg
Telefoon direct (0345) 47 17 17 / Fax (0345) 47 17 59 / www.multiconsultbv.nl
info@multiconsultbv.nl

Plan van Aanpak Storingen EC-fics (Energiek Wegdek)

Ing. G.Q. Querner (risicomanager)

Ir. M.J. Ypma (projectleider)

Versie 1 (definitief)

VERTROUWELIJK



Inhoud

1	Inleiding en kader	3
2	Het systeem	4
2.1	Het ontwerp	4
2.1.1	EC-fics-elementen	4
2.1.2	Bronnensimulatie	5
2.1.3	Wegenbouwkundig ontwerp	6
2.1.4	Voorzieningen t.b.v. monitoring	6
2.2	De uitvoering	7
3	Theoretische storingsanalyse	8
4	Aanpak storingsonderzoek	9
	Bijlage 1: Tekeningen	12
	B.1.1 Situatie Geulenkamp	12
	B.1.2 Leidingengoot	13
	B.2 FMEA	14

1

Inleiding en kader

Op 4 november 2002 heeft BAM aan Rijkswaterstaat het Energiek Wegdek/EC-fics (administratief) opgeleverd. Vanaf augustus 2003 is vervolgens gestart met de monitoring. Doel van het monitoringstraject is vast te stellen of het EC-fics principe op de in het ontwerp veronderstelde wijze functioneert, en wat de energieprestaties onder praktijkomstandigheden zijn van het energiekwad

Door verschillende oorzaken, die overigens buiten de invloedssfeer van BAM lagen, is pas in augustus 2003 gestart met de monitoring. Tijdens de monitoring gedurende de laatste helft van augustus en in september zijn verschillende problemen met het proefvak naar voren gekomen. Deels lagen deze problemen op het vlak van de monitoringsinstallatie, maar ook zijn er problemen geconstateerd die betrekking hebben op het energie-win-systeem zelf. Gezien de doelstelling van het monitoringstraject is het van belang dat in deze fase van het project wordt vastgesteld welk gedeelte van het systeem functioneert (met of zonder ingrijpen) en welke delen eventueel als verloren moeten worden beschouwd.

In dit plan van aanpak wil de BAM aangeven op welke wijze men de oorzaak van de problemen wil opsporen. Dit analyseplan is gebaseerd op een inventarisatie van de componenten van het systeem, de samenhang tussen de componenten en de mogelijke storingen die zouden kunnen optreden. Tevens zijn oplossingsrichtingen gedefinieerd.

Aan de hand van de uitkomsten van de analyse zal richting Rijkswaterstaat worden gecommuniceerd op welke wijze de storingen zullen worden opgelost. Daarbij geldt vanzelfsprekend dat indien mogelijk eventuele storingen gelijktijdig/aansluitend op de analyse worden verholpen. Hiervan zal achteraf rapportage plaatsvinden.

In het kader van het verlopen van het contract voor de aanleg en onderhoud van het systeem wil de BAM het volgende benadrukken. Tot op heden heeft slechts een administratieve oplevering en een gedeeltelijke technische oplevering plaatsgevonden. Het is onduidelijk of gedurende de tijd dat het systeem in de weg heeft gelegen, maar er geen monitoring heeft plaatsgevonden, veroudering is opgetreden, incidenten zijn voorgevallen of anderszins gebeurtenissen hebben plaatsgevonden die het functioneren van het systeem negatief hebben beïnvloed. In de rapportage van de storingsanalyse zal BAM aangeven welke werkzaamheden zij, ondanks het verlopen van de onderhoudstermijn, zal verhelpen binnen de afspraken van het uitvoeringscontract.

Zoals vastgelegd in de monitoringsafspraken zullen Rijkswaterstaat en BAM voor eventualiteiten die zich voordoen na het verlopen van het uitvoeringscontract in nader overleg treden.

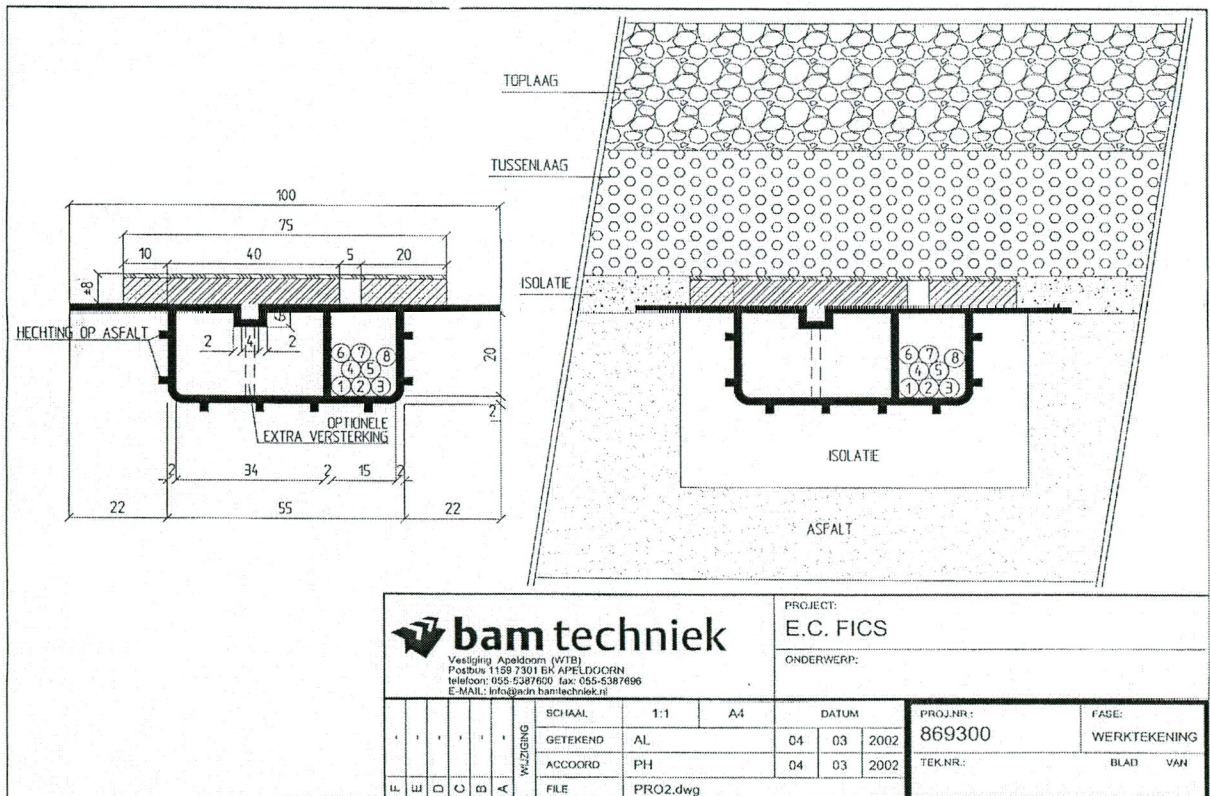
2 Het systeem

2.1 Het ontwerp

Het ontwerp voor EC-fics bestaat uit vier delen, te weten het ontwerp van de eigenlijke EC-fics elementen die in het wegdek zijn gelegd, een ontwerp voor de bronnensimulatie die aansluit op de elementen, een ontwerp voor de wegebouwkundige inpassing en voorziening ten behoeve van monitoring. Deze onderdelen zullen hier achtereenvolgende kort worden toegelicht.

2.1.1 EC-fics-elementen

Het EC-fics principe betreft zoals bekend thermo-elektrische energiewinning. Peltier-elementen in de weg leveren door het temperatuurverschil tussen de bovenkant en de onderkant van het wegdek elektrische energie. Dit temperatuurverschil kan worden beïnvloed door een verwarmt cq. gekoeld medium in een leidingenregister onder de Peltier-elementen te laten doorstromen. Hiervoor wordt de technologie gebruikt die reeds bekend is uit Warmte uit Asphalt toepassingen.



Voor de bescherming van de thermokoppels en de bedrading tegen mechanische invloeden, en het handzaam verwerken van de Peltier-elementen in de weg, zijn prefab elementen in het asfalt verwerkt.

Speciaal voor EC-fics vervaardigde aluminium profielen (lengte ca. 7200 mm) vormen de ondergrond voor 120 Peltier-elementen. Tussen de Peltier-elementen dient circa 1 mm vrije ruimte aanwezig te zijn. De Peltier-elementen zijn afgedekt met een koperen plaat. De randen zijn geseald.

Overigens geldt dat in tegenstelling tot de hierboven afgebeelde tekening, de elementen niet rusten op de randen van het asfalt, maar totaal ingegoten zijn.

De koperen plaat dient te zorgen voor een goede thermische geleiding.

De aluminium profielen bestaan uit twee kamers. De ene kamer is het kanaal voor het medium (leidingregister), het andere kanaal is bedoeld als kabelgoot.

Eén element bestaat uit twee aluminium profielen. De profielen zijn aan de weggkant onderling gekoppeld door een U-buis. Aan de bermkant steken de elementen deels uit de verharding. Daar takken ze aan op een transportleiding naar de aanvoer/retour van de bronnensimulatie in een kabelgoot.

De 120 Peltier-elementen worden verdeeld in 4 secties van 30 stuks. De 30 Peltier-elementen in iedere sectie worden elektrisch in serie met elkaar verbonden. Vervolgens worden de vier ontstane secties elektrisch parallel geschakeld.

De stroomdraad dient bestand te zijn tegen een maximale stroom van 1,68 Ampère. Om leidingverliezen te beperken dient de elektrische weerstand van de draad kleiner te zijn dan 0,01 Ohm/m. De soldeerverbindingen dienen bestand te zijn tegen een kortstondige maximale temperatuur van 180 °C.

Van de ontstane prefab elementen, met elk 120 Peltier elementen, zijn 5 stuks in serie geschakeld. Per 5 prefab-elementen worden deze vervolgens parallel geschakeld. Vervolgens zijn een aantal EC-fics elementen geclusterd en per cluster aangesloten op een weerstand. Tussen het cluster en de weerstand vindt de vermogensmeting plaats.

Technische gegevens van de Peltier-elementen:

- Breedte 50 mm, lengte 50 mm, dikte maximaal 10 mm;
- Maximale drukbelasting, waartegen het Peltier-element bestand dient te zijn, bedraagt 700 kPa.
- De thermokoppels dienen kortstondig bestand te zijn tegen een temperatuur van 180 °C.

2.1.2

Bronnensimulatie

De bronnensimulatie is opgebouwd uit de volgende installatiedelen:

- Een warmtepomp met een gekoeld of verwarmd primair watercircuit;
- Buffervat (primair);
- Platenwisselaar;
- Gekoeld of verwarmd secundair watercircuit met transportpomp;
- Twee handbediende regelkleppen;
- Meet- en regelapparatuur.

Om het wegdek te voorzien van koude en warmte wordt er een warmtepomp toegepast.

Om een zo optimaal mogelijke regeling van de totale installatie te realiseren en vooral voor de warmtepomp is er gekozen voor twee watercircuits, gevuld met waterglycol. In het primaire circuit is een buffervat opgenomen ten behoeve van het rustiger laten schakelen van de warmtepomp. Verder worden de twee watercircuits gescheiden door een platenwisselaar wat ook een gunstige invloed heeft op de regeling. In extreme omstandigheden kan het wegdek met deze installatie toch worden voorzien van koude of warmte. Het circuit is voorzien van een flowswitch en temperatuurtransmitters in verband met de visualisatie ten behoeve van de regeling.

Het secundaire watercircuit is het circuit dat in verbinding staat met twee wegdekcollectoren. Een pomp transporteert het water naar de wegdekcollector via een leidingsplitsing. In de retourleiding wordt met behulp van een druktransmitter de druk in het circuit gecontroleerd (grenswaarde is 2 bar).

Elke wegcollector is voorzien van een flowmeter en twee temperatuurtransmitters (toevoer en retour). Door middel van een handbediende regelafsluiter kan de aanvoer per collector worden geregeld zodat een gelijke constante flow te bereiken is.

2.1.3 **Wegenbouwkundig ontwerp**

De EC-fics elementen zijn aangebracht in de bestaande wegconstructie. Daartoe is eerst de toplaag verwijderd, waarna er dwars op de weg sleuven zijn gefreesd waar de elementen in zijn gelegd.

De EC-fics elementen zijn omgoten met zogenaamde geblazen bitumen in verband met de hogere stabiliteit van dit materiaal. Vervolgens is over het gehele proefvak een asfaltwapening aangebracht ter voorkoming van scheurvorming / doorgroei van scheuren door de aanwezigheid van de elementen in de wegconstructie. Vervolgens is het asfalt tussen de profielen afgedekt met een bitumineus membraam (isolatielaag). Hierna is 30mm STAB 0/11 aangebracht (statisch gewalst, dichtheid gem. 98%). Vervolgens is er een deklaag aangebracht (30 mm SMA 0/11 type 2).

2.1.4 **Voorzieningen t.b.v. monitoring**

In het systeem dat voor de proef is gerealiseerd zijn tevens een aantal voorzieningen opgenomen die het mogelijk maken de prestaties van het systeem inzichtelijk te maken.

Allereerst is het proefvak opgedeeld in drie delen. Eén gedeelte is uitgerust met het complete EC-fics systeem incl. meetopnemers. De andere twee delen zijn respectievelijk met een leidingregister en temperatuursensoren, en alleen met temperatuursensoren uitgerust.

De temperatuursensoren zijn onder elkaar op verschillende diepte in het wegdek aangebracht. Door de indeling in vakken en in de verschillende hoogten is het mogelijk een goed beeld te krijgen van het temperatuurverschil door de constructie heen, met en zonder EC-fics. Hierdoor kan een beeld gevormd worden van het verband tussen temperatuurverloop en opbrengsten.

Naast de temperatuursensoren zijn er nog een aantal andere meetopnemers in het systeem opgenomen, te weten:

- Druktransmitter, flowmeter ten temperatuurtransmitters in het leidingensysteem;
- Spanningsmeter.

De voorzieningen voor de monitoring maken een essentieel onderdeel uit van het aangelegde systeem. Het doel van de proef is immers om inzicht te krijgen in de potentie van de energiewinning door thermokoppels in de weg.

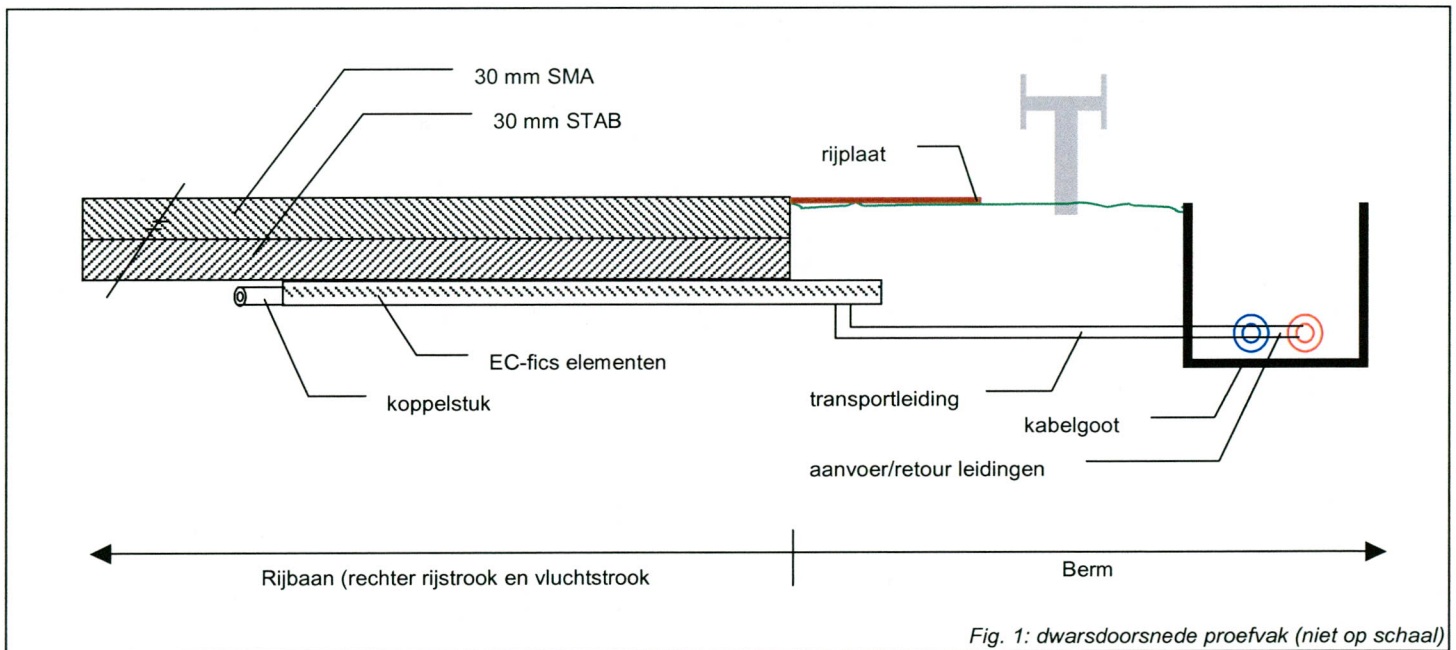
2.2

De uitvoering

Het proefvak is onderverdeeld in een drietal subvakken van elk 25 meter. Het eerste vak is ingericht als referentievak voor de temperatuurmetingen en bevat derhalve alleen een aantal sensoren. Het tweede vak bevat de EC-fics elementen die zijn aangesloten op de bronnensimulatie. Het derde vak is ook een referentievak en bevat alleen een leidingenregister dat eveneens is aangesloten op de bronnensimulatie.

Leidingen en kabels vanuit de elementen komen samen in een kabelgoot in de berm. Van hieruit gaan ze naar een container alwaar voor de bronnensimulatie de warmtepomp, platenwisselaar e.d. staan opgesteld. Het elektrische systeem is in de container gekoppeld met de monitoringsinstallatie. Rijplaten in de berm beschermen bij incidentele overrijding de koppeling tussen de elementen en de transportleiding.

Hieronder is een dwarsdoorsnede door de weg en de berm opgenomen. In de bijlagen zijn diverse tekeningen terug te vinden van de diverse installatiedelen.



3 Theoretische storingsanalyse

Gezien het belang van dit plan van aanpak, is door BAM geïnvesteerd in het opzetten van een zogenaamde Failure Mode Effect Analysis (FMEA). Deze FMEA is bijgevoegd als bijlage B.2.

De basis van de FMEA is een overzicht van de subsystemen en de elementen waaruit deze subsystemen bestaan. Per element zijn de functie, faalmode, faaloorzaak en mogelijke gevolgen weergegeven. De preventieve maatregelen die in de FMEA genoemd zijn, zijn reeds uitgevoerd in de ontwerp en realisatie fase.

Het overzicht van faalmodi, weergegeven in bijlage B.2, betreft de grootste risicofactoren, maar is zeker niet uitputtend te noemen.

Ten aanzien van de interpretatie van de tekst in de kolom 'faaldetectie' geldt dat melding kan worden gemaakt door KEMA en RWS dat er iets gebeurt, dat er "iets aan de hand is". Het betreft zaken die ofwel fysiek waarneembaar zijn of via het monitoringssysteem. Oorzaak van de gebeurtenis is niet altijd aanwijsbaar, zeker niet als dit in of onder het wegdek gebeurt.

4 Aanpak storingsonderzoek

Op basis van de in de FMEA besproken mogelijke storingen, zijn een aantal stappen te nemen bij het opsporen van de oorza(a)k(en).

Allereerst moet worden geconstateerd dat het totale systeem slechts kan worden doorgelicht voor zover dit plaatsvindt door middel van metingen (bijv. debiet of spanning). Deels kan het systeem zelf ook daadwerkelijk worden nagelopen. In principe betreft dit echter alleen het gedeelte dat buiten de weg ligt. Aangenomen wordt dat het geen optie is het systeem in de weg bloot te leggen in verband met kosten en verkeersoverlast. Indien Rijkswaterstaat dit wenselijk acht, zal hier separaat naar moeten worden gekeken.

Ten tweede moet gewezen worden de invloed van **veroudering** op het functioneren van het systeem. Met name wordt hier gedacht aan de invloed van verkeersbelasting op de constructieve integriteit (vervormingen) van het systeem. Maar ook aan de kwaliteit van aansluitingen (losraken door trillingen), seal etc.

Verder wordt niet uitgesloten dat de veroudering van het systeem onder invloed van de **extreme zomer** in 2003 een verdere vlucht heeft genomen.

Helaas is doordat de monitoring pas in augustus 2003 is gestart (oplevering najaar 2002), hier nauwelijks inzicht in te krijgen.

Genoemde overwegingen in ogenschouw nemend, is het echter toch waardevol te trachten meer inzicht te krijgen in de huidige staat van de systemen. Daartoe worden de volgende acties gedefinieerd:

Controle primair leidingencircuit	
Waarneming	Het leidingencircuit blijft niet op druk
Mogelijke oorzaak	Lekkage in het primaire circuit (gezien geringe drukverlies niet omvangrijk)
Opsporen	Het totale circuit bestaat uit twee delen (primair / secundair). Het primaire circuit (warmtepomp gedeelte) bevindt zich in de container. Door dit circuit op druk te zetten is evt. lekkage snel waar te nemen.
Mogelijke oplossing	Reparatie leiding (of –aansluiting)
<i>Opmerking</i>	<i>Lucht in het primaire circuit lijkt geen oorzaak/ het circuit is afgeperst en ontlucht bij aanleg</i>

Controle secundair leidingencircuit	
Waarneming	Het leidingencircuit blijft niet op druk
Mogelijke oorzaak	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lekkage in het secundaire circuit (gezien geringe drukverlies niet omvangrijk) 2. Lucht in het secundaire circuit, m.n. in de lussen. Lucht in de lussen is een aannemelijke oorzaak gezien de beperkte omvang van de drukverliezen. Tevens werkt het ontwerp luchtinsluiting in de hand¹.

¹ Aansluiting van de leidingen op de EC-fics elementen vindt om constructieve redenen plaats aan de onderkant van de EC-fics elementen. Hierdoor is ontluchting echter erg lastig.

Opsporen	<p>1. Het secundaire circuit bevindt zich deels in de container en deels ondergronds. Dit ondergrondse gedeelte splitst zich in twee collectoren die beide te bedienen zijn.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Door beide collectoren af te sluiten kan het gedeelte van het secundaire circuit in de container worden gecontroleerd op lekkage (op druk zetten) • Door collector 1 en 2 achter elkaar af te sluiten kan worden geconstateerd in welk gedeelte een lek aanwezig is. In verband met afpersen tijdens aanleg wordt het onwaarschijnlijk geacht dat een lekkage in het ondergrondse leidingwerk zit. Mocht er een lekkage in één van de collectoren zitten, dan kan deze zich bevinden t.h. van de aansluitingen in de leidinggoot, dit is t.p. te zien. Als het lek daar niet geconstateerd wordt, dan kan de koppeling met de EC-fics elementen in de berm worden blootgelegd en gecontroleerd. • De meest waarschijnlijke locatie van een lek is in (één van) de lussen in het asfalt (zie opmerking over veroudering). Alleen afpersen per lus (hoge kosten) kan het lek naar boven brengen. <p>2. Opsporen is lastig. Enige mogelijkheid is de aansluitingen bloot te leggen en aan de bovenkant van de koppeling een gat boren zodat eventueel ingesloten lucht kan ontsnappen.</p>
Mogelijke oplossing	<p>1. Reparatie leiding (of –aansluiting)</p> <p>2. Zie opsporing. Let op afdichting. Oplossing kostbaar.</p>

Controle pomp leidingensysteem	
Waarneming	Aansturing pomp werkt niet.
Mogelijke oorzaak	Na vervanging van een vermoedelijke defecte kaart is het probleem nog niet opgelost. Andere oorzaken zijn vrij divers
Opsporen	<p>1. Meting analoge signaal naar de pomp op de uitgangskaart</p> <p>2. Controle van de elektronica en instellingen van de pomp</p> <p>3. Controle van de aansturing door het plc-programma</p>
Mogelijke oplossing	Afhankelijk van de oorzaak, uiteenlopend van reparatie, vervanging en ander programma.

Controle Peltier-elementen (1)	
Waarneming	Enkele Peltier-elementen geven minder spanning af dan verwacht
Mogelijke oorzaak	<p>1. Leidingregister functioneert niet goed waardoor er onvoldoende groot temperatuursverschil bereikt wordt, zie opmerkingen hierboven.</p> <p>2. Andere oorzaak zit in het principe van energieopwekking zelf: door een te grote warmtegeleidingsweerstand van het asfalt zou het principe minder goed kunnen werken dan verwacht.</p>
Opsporen	<p>1. Zie hierboven</p> <p>2. Moet blijken uit monitoring & analyse, onderdeel van het monitoringsprogramma en onderzoekspunt van de proef als geheel</p>
Mogelijke oplossing	<p>1. Zie hierboven</p> <p>2. Geen, verwerken in rapportage na afsluiting proef.</p>

Controle Peltier-elementen (2)	
Waarneming	Enkele Peltier-elementen geven geen spanning af
Mogelijke oorzaak	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elementen zijn defect geraakt tijdens aanleg door druk machines of warmte asfalt (elementen voldeden niet aan specs!; in verband met eerste toepassing ontbrak controlemethode); 2. Kortsluiting door vocht; vochtindringing kan plaatsvinden door lekkage (zie hierboven), condensatie op wand leidingkoker en vervorming door verkeersbelasting en door een combinatie van deze factoren 3. Elementen zijn beschadigd door trilling en vervorming als gevolg van verkeersbelasting; in verband met eerste toepassing is de impact van de verkeersbelasting op de elementen zeer lastig in te schatten;
Opsporen	Doormeten per element
Mogelijke oplossing	Geen oplossing, elementen moeten als verloren worden beschouwd

Inzicht in veroudering	
Waarneming	Door het ontbreken van monitoringsmateriaal over de eerste ca. 9 maanden is geen inzicht verkregen in het verouderingsproces en de consequenties daarvan voor het functioneren van het systeem
Mogelijke oorzaak	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatuurswisselingen 2. Verkeersbelasting (vervorming, trilling)
Opsporen	Vergelijken resultaten doormeten per element met nulmeting (destijds is vastgesteld dat ca. 70% van de elementen zou moeten functioneren, dit is ingetekend)

Bijlage 1: Tekeningen

B.1.1 Situatie Geulenkamp

DIDAM

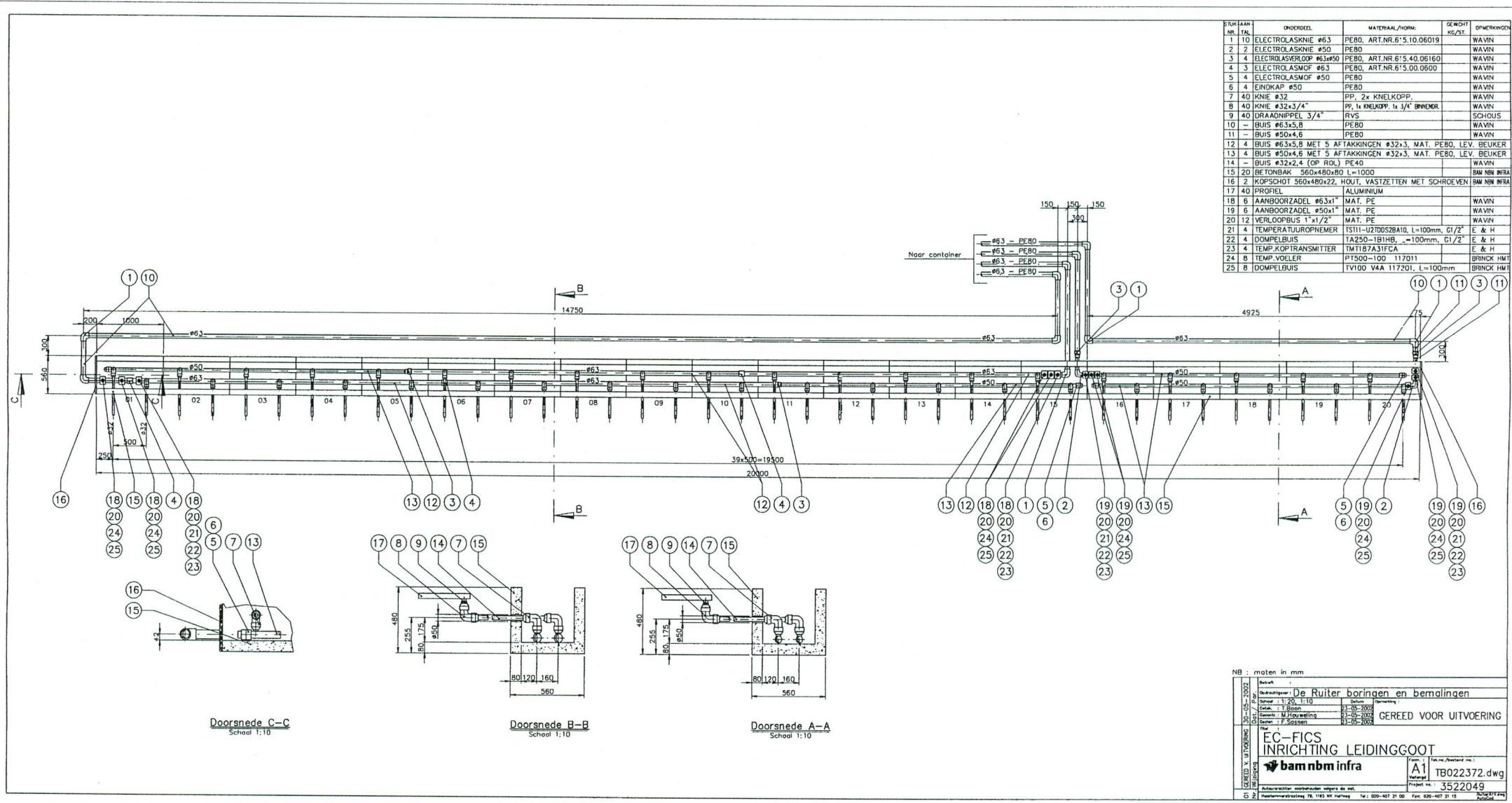


SYMBOL	OMSCHRIJVING
	LICHTMAST ALUMINIUM
	LICHTMAST DOUBBEL ALUMINIUM
	OV kabel
	Laagspanningskabel
	Middenspanningskabel
	OV-KAST
	MANTEL BUIS

Rijkswaterstaat		DAS PLANKEN WAMBUIS	
		afdeling Onderhoud + Verbetering	
A18 GEULENKAMP / STILLE WALD		BESTEK	
km. 192.900 - km. 193.600		ON-???	
getekend	28-01-2002 R. Courbold	schaal 1 : 1000	
gecontroleerd		in 1 bladen, blad nr.	
schoord		A 1 ONIX-2002-??????	
gewijzigd			



B.1.2 Leidingengoot



SURJAAN NR.	TAAL	ONDERDEEL	MATERIAAL / NORM	GEWICHT KG/ST.	OPMERKINGEN
1	110	ELECTROLASKKNE #6.3	PE80, ART.NR.6'5.10.06019		WAVIN
2	2	ELECTROLASKKNE #50	PE80		WAVIN
3	4	ELECTROLASVERLOOP #6.3x50	PE80, ART.NR.6'5.40.06160		WAVIN
4	3	ELECTROLASMOF #6.3	PE80, ART.NR.6'5.00.06000		WAVIN
5	4	ELECTROLASMOF #50	PE80		WAVIN
6	4	EINHOOP #50	PE80		WAVIN
7	40	KNEE #32	PP, 2x KNEELKOPP.		WAVIN
8	40	KNEE #32x3/4"	PP, 1x KNEELKOPP, 1x 1/4" BRINCKER		WAVIN
9	40	DRAADNIPPPEL 3/4"	RVS		SCHOUS
10	-	BUIS #6.3x5.8	PE80		WAVIN
11	-	BUIS #50x4.6	PE80		WAVIN
12	4	BUIS #6.3x5.8 MET 5 AFTAKKINGEN #32x3, MAT. PE80, LEV. BEUKER			
13	4	BUIS #50x4.6 MET 5 AFTAKKINGEN #32x3, MAT. PE80, LEV. BEUKER			
14	-	BUIS #32x2.4 (OP ROL)	PE40		WAVIN
15	20	BETONBAK 560x480x80 L=1000			BAM NBN INFRA
16	2	KOPPSCHOT 560x480x22, HOUT, VASTZETTEN MET SCHROEVEN			BAM NBN INFRA
17	40	PROFIEL	ALUMINIUM		
18	6	AANBOORZADEL #6.3x1"	MAT. PE		WAVIN
19	6	AANBOORZADEL #50x1"	MAT. PE		WAVIN
20	12	VERLOOPBUS 1"x1/2"	MAT. PE		WAVIN
21	4	TEMPERATUROPNEMER	TS111-UZTD052BA10, L=100mm, G1/2"		E & H
22	4	DOMPELBUIS	TA250-181HB, L=100mm, G1/2"		E & H
23	4	TEMP.KOP TRANSMITTER	TMT187A31FCA		E & H
24	8	TEMP.VOELER	PTS00-100 117011		BRINCK HMT
25	8	DOMPELBUIS	TV100 V4A 117201, L=100mm		BRINCK HMT

Doornede C-C
Schaal 1:10

Doornede B-B
Schaal 1:10

Doornede A-A
Schaal 1:10

NB : maten in mm

Bestuur	
Ontwerp	De Ruiter boringen en bemalingen
Schaal	1:20, 1:10
Datum	21-05-2002
Gegevens	M. Hoopwelling
Gegevens	J.F. Schreier

GEREED VOOR UITVOERING

EC-FICS
INRICHTING LEIDINGGOOT

bam nbn infra

Tek. no./bestand no.:
A1 TB022372.dwg

Project no.: 3522049

Adres: Postbus 11111, 1100 BA Amsterdam
Telefoon: 020-467 21 00 Fax: 020-467 21 15

B.2 FMEA

FMEA Failure Modes & Effects Analysis - Storingsanalyse

Opgesteld	G. Q. Querner	Systeem	Ec-fics (Energiek wegdek)
Revisie	A	Oprichtgever	Multiconsult BV
Revisiedatum	24-10-2003	Projectleider	M.J. Ypma



Subsysteem	Component	Functie	Faalmode / Storing	Ref no	Faaloorzaak	Gevolgen	Faaldetectie (Melding)	Maatregelen		Actie	Prioriteit
								Preventief	Correctief		
Storingsanalyse											
	Peltier element	Omzetten van warmteverschil in spanning	Geen/minder omzetting van warmteverschil in spanning	1.1	- Vocht indringing - Vermoeing / veroudering - Kapot gedrukt door externe belasting (verkeer)	Minder elektrische stroom	KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Bij schade verlies systeem		
	Bedrading	Doorgeven van elektrische spanning	Geen/minder doorgifte van opgewekte spanning	1.2	- Kabelbreuk (door externe belasting) - Corrosie door condens agv koude vloeistof in aangrenzende compartiment in het aluminium profiel (geen waterdichte moffen rond kabels)	Minder elektrische stroom	KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Bij schade verlies systeem		
	Soldeerverbindingen	Verbinden bedrading	Geen/minder doorgifte van opgewekte spanning	1.3	- Loslaten door externe belasting (verkeer) - Ondeugdelijke bedrading of verbinding - Vermoeing / veroudering - Loslaten door extreme zomer temperaturen	Minder elektrische stroom	KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Bij schade verlies systeem		
	Aluminium profiel (2 kamers)	Bescherming peltier elementen Kabelgoot Leidingenregister	- Schade aan peltier elementen - Schade aan kabels en leidingen	1.4	- Vervorming aluminium profiel door verkeersbelasting of verkeersongeval	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Rijks Water Staat, KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Uitgifte van signaal aan kantonnier bij drukvermindering, bij schade verlies systeem		
	U-buis	Koppeling aluminium profielen, transportmedium voor vloeistof	- Loslaten aluminium profielen - Peltier elementen niet meer in afgesloten ruimte - Geen / minder transport vloeistof	1.5	- Vervorming U-buis - Vermoeing - Lucht in het systeem	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom, vervuiling ondergrond	Rijks Water Staat, KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen, bij constructie systeem	Uitgifte van signaal aan kantonnier bij drukvermindering, bij schade verlies systeem		
	Kunststof las	Aanhechting aluminium profiel en u-buis	Loslaten verbinding aluminium profiel en u-buis	1.6	- Verschil in stijfheid aluminium profiel en u-buis - Externe belasting	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Rijks Water Staat, KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Uitgifte van signaal aan kantonnier bij drukvermindering, bij schade verlies systeem		
	Koperen plaat	Thermische geleiding	Onvoldoende / geen temperatuurverschil op peltier elementen	1.7	- Loslaten door verkeersbelasting - Vervorming	Minder elektrische stroom	KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Bij schade verlies systeem		
	Seal	Afsluiting ruimte tussen aluminium profiel en koperen plaat	Peltier elementen niet meer in afgesloten ruimte	1.8	- Loslaten door verkeersbelasting - Ondeugdelijke verbinding - Veroudering / uitdroging	Schade aan peltier elementen / minder elektrische stroom	KEMA	Test systeem in parkeervak, met maquette en computer simulatie, redundantie inbouwen	Bij schade verlies systeem		
Storingsanalyse (afhankelijk van de constructie)											
	Leidingen	Transportmedium voor vloeistof	Geen / minder transport vloeistof door lekkage	2.1	- Loslaten verbindingen - Verkeersongeval / voertuig naast het wegdek	Minder koeling, minder elektrische stroom, vervuiling ondergrond	Rijks Water Staat (kantonnier)	Rijplaten leggen, redundantie inbouwen, wijzigen ontwerp (koppeling aan onderkant wegdek collector)	Uitgifte van signaal aan kantonnier bij drukvermindering, herstel leidingen, aansluiting leidingen op wegdek collector, controle op lekkage is mogelijk		
	Warmtepomp met primair watercircuit	Voortstuwen van vloeistof	Geen / minder transport van vloeistof	2.2	- Blokkering in toevoer - Blokkering in afvoer - Blokkering in rotor - Lagering loopt vast - Lekkage in flenzen - Onvoldoende stroomtoevoer	Minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle	Herstel / vervanging pomp		
	Transportpomp met secundair watercircuit	Voortstuwen van vloeistof	Geen / minder transport van vloeistof	2.6	- Blokkering in toevoer - Blokkering in afvoer - Blokkering in rotor - Lagering loopt vast - Lekkage in flenzen - Onvoldoende stroomtoevoer	Minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle	Herstel / vervanging pomp		
	Waterglycol	Transportmedium warmte / koude	Geen / minder temperatuurverschil	2.3	- Veroudering - Foutieve samenstelling	Minder elektrische stroom	Geen	Samenstelling waterglycol voorschrijven in werkplan (30% glycol)	Geen		
	Buffervat	Opslag van vloeistof tbv een constante vloeistofstroom	Geen constante vloeistofstroom	2.4	- Onvoldoende groot buffervat - Openingen verstopt - Lucht in het systeem	Minder elektrische stroom, schade aan pomp	KEMA	Periodieke controle, bij constructie systeem voldoende ontluften (in werkplan)	Doorspoelen systeem, ontluften		
	Platenwisselaar	Scheiding tussen de twee vloeistofcircuits en overbrenging van temperatuur van het ene circuit naar het andere	Onvoldoende doorstroming en overbrenging van temperatuur	2.5	- Veroudering / vermoeing - Lekkage	Minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle	Herstel platenwisselaar		
	Wegdek collector (1 en 2)	Transportmedium voor vloeistof	Geen / minder transport van vloeistof, lekkage	2.7	- Vervorming aluminium elementen - Lucht in het systeem	Minder koeling, minder elektrische stroom, vervuiling ondergrond	Rijks Water Staat (kantonnier)	Bij constructie systeem voldoende ontluften (in werkplan), redundantie inbouwen	Uitgifte van signaal aan kantonnier bij drukvermindering, controle op lekkage is mogelijk (herstel), ontluften		
	Handbediende regelklep	Gecontroleerde toe-/afvoer van vloeistof	Gaat niet meer open / dicht	2.8	- Corrosie - Vervuiling	Minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle	Vervangen handbediende regelklep		
	PLC besturing	Aansturing pompen	Geen (tijdige) aansturing van de pompen	2.9	- Doorgebrand - Veroudering - Geen voeding	Minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle	Vervangen PLC		
Wegdekconstructie inpassing											
	Gefreesde sleuven	Het creëren van ruimte voor en opsluiting van het ec-fics systeem in het wegdek	Brokkelen van de randen, schade aan het wegdek en aan het ec-fics systeem	3.1	- Brokkelen randen, losraken asfalt	Schade aan het wegdek, onveilige situatie, mogelijk schade aan ec-fics systeem, geen / minder elektrische stroom	Rijks Water Staat (kantonnier)	Asfaltwapening opnemen in ontwerp	Herstel, uitvullen		
	Geblagen bitumen	Bevestiging van Ec-fics systeem in sleuven in wegdek	Los geraken van de verbinding tussen het Ec-fics systeem en het wegdek	3.2	- Foutief aanbrengen (natte ondergrond onvoldoende gevloeid) - Oplossen door waterglycol lekkage - Verweking door extreme zomer temperaturen	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Rijks Water Staat (kantonnier)	Duidelijke omschrijving mbt het aanbrengen in werkplan	Herstel, uitvullen		
	Asfaltwapening (glasvezel)	Voorkoming van scheurvorming / doorgroei van scheuren	Beschadigingen aan het Ec-fics systeem	3.3	- Onvoldoende wapening - Ondeugdelijk ontwerp - Onvoldoende dekking - Isolerende werking	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Rijks Water Staat (kantonnier)	Computer simulatie en ontwerpwijziging	Herstel, ontwerpwijziging		
	Bitumineus membraan	Isolatie en waterdichte afsluiting	Geen / minder isolatie / waterdichting tbv Ec-fics systeem	3.4	- Foutief aanbrengen (natte ondergrond, luchtbellens etc) - Oplossen door waterglycol lekkage	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Geen	Duidelijke omschrijving mbt het aanbrengen in werkplan	Geen		
	Onderlaag (30 mm STAB 0/11)	Bevestiging van Ec-fics systeem in wegdek Bescherming van Ec-fics systeem	Beschadigingen aan het Ec-fics systeem	3.5	- Scheurvorming - Loslaten - Oplossen door waterglycol lekkage - Verweking door extreme zomer temperaturen	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Rijks Water Staat (kantonnier)	Instructie aan asfaltploeg	Herstel, uitvullen		
	Deklaag (30 mm SMA 0/11 type 2)	Bescherming van Ec-fics systeem Voorzien in een glad wegdek	Beschadigingen aan het Ec-fics systeem Vlakheid wegdek voldoet niet meer aan de eisen	3.6	- Scheurvorming - Loslaten - Verweking door extreme zomer temperaturen	Schade aan ec-fics systeem / leidingen register, minder / geen elektrische stroom	Rijks Water Staat (kantonnier)	Instructie aan asfaltploeg	Herstel, uitvullen		

FMEA Failure Modes & Effects Analysis - Storingsanalyse

Opgesteld	G. Q. Querner	Systeem	Ec-fics (Energiek wegdek)
Revisie	A	Opdrachtgever	Multiconsult BV
Revisiedatum	24-10-2003	Projectleider	M.J. Ypma



Subsysteem	Component	Functie	Faalmode / Storing	Ref no	Faaloorzaak	Gevolgen	Faaldetectie (Melding)	Maatregelen		Actie	Prioriteit
								Preventief	Correctief		
	Druktransmitter	Metten / zenden van informatie mbt de druk in het systeem	Geen / foutieve informatie mbt de druk in het systeem	4.1	- Vermoeiing / veroudering - Overspanning - Vervuiling	Geen / foutieve monitoring, meer / minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle en kalibratie vooraf	Vervangen druktransmitter		
	Flowmeter	Metten van het debiet	Geen / foutieve informatie mbt de doorstroming	4.2	- Vermoeiing / veroudering - Overspanning - Vervuiling	Geen / foutieve monitoring, meer / minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle en kalibratie vooraf	Vervangen flowmeter		
	Temperatuur transmitters (toevoer en retour)	Metten / zenden van informatie mbt temperatuur	Geen / foutieve informatie mbt de temperatuur	4.3	- Vermoeiing / veroudering - Overspanning - Vervuiling	Geen / foutieve monitoring, meer / minder koeling, minder elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle en kalibratie vooraf	Vervangen temperatuur transmitters		
	Spanningsmeter	Metten van het elektrische spanningsverschil	Onbekend elektrisch spanningsverschil / foutieve weergave elektrisch spanningsverschil	4.4	- Vocht indringing - Vermoeiing / veroudering	Geen / foutieve monitoring	KEMA	Periodieke controle en kalibratie vooraf	Vervangen spanningsmeter		
	Weerstand	Het omzetten van een spanningsverschil in elektrische stroom en het reguleren van elektrische stroom	Geen elektrische stroom als gevolg van het opgewekte spanningsverschil	4.5	- Doorbranden - Oververhitting systeem	Geen elektrische stroom	KEMA	Periodieke controle en kalibratie vooraf	Vervangen weerstand		
	Temperatuur sensoren	Metten van temperatuur	Geen / onjuiste informatie mbt temperatuur in wegdek en rond peltier elementen	4.6	- Foutieve aansluiting op monitoringssysteem (andere partij) - Veroudering - Kapot gedrukt door externe belasting (verkeer) - Reactie thermometer op druk (bij passeren verkeer)	Geen goede interpretatie van de werking van het Ec-fics systeem	KEMA	Coderen kabels uit thermometers tbv aansluiting op monitoringssysteem, visuele check aansluiting, redundantie inbouwen	Nalopen bedrading systeem, wissen extreme waarden		