
Resultaten project Flex-TDR

Cosun Beet Company Dinteloord

Openbare eindrapportage

December 2020



Resultaten project Flex-TDR Cosun Beet Company Dinteloord – Openbare eindrapportage

DEI projecttitel:	energiebesparing in industriële productieprocessen door flexibele inzet van thermische damprecompressie
DEI projectnummer:	2160276
Penvoerder:	Royal Cosun
Projectperiode:	november 2016 - oktober 2020
Datum:	December 2020
BlueTerra projectnummer:	16444
Status:	Versie 1.2
Opdrachtgever:	Royal Cosun Postbus 1308 4700 BH ROSENDAAL
Uitgevoerd door:	BlueTerra Energy Experts Lunet 5 3905 NW VEENENDAAL Postbus 1094 3900 BB VEENENDAAL telefoon 088 - 520 04 00 e-mailadres info@blueterra.nl
Auteur:	ir. B.J. Waggeveld, ing. T.R. Hoek
Co-lezer:	M. Van Dijk (Cosun R&D), ing. E.C. Klop (BlueTerra)

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1 Inleiding	4
2 Achtergrond.....	5
2.1 Probleemstelling en doel.....	5
2.2 Theorie	6
2.2.1 Meertraps indamping.....	6
2.2.2 Gebruik van aftapstoom	7
2.2.3 Reductie condensorverlies	8
2.2.4 Verschuiving dampbalans over de indamper	8
2.2.5 Recompressie van damp 3.....	9
3 Flexibele thermische damprecompressie.....	10
3.1 Principe thermische damprecompressie.....	10
3.2 Flexibilisering thermische damprecompressie.....	10
3.3 Inpassing Flex-TDR bij Cosun Beet Company	11
3.3.1 Huidige situatie stoomopwekking en expansie.....	11
3.3.2 Inpassing Flex-TDR in bestaand stoomnet	12
3.3.3 Uitwerking Flex-TDR	12
3.3.4 TDR-ejecteurs.....	13
3.3.5 Voorverwarmer gekalkt sap	14
3.4 Berekenen van de besparing	15
3.4.1 Besparingsberekening Cosun Beet Company Dinteloord	17
4 Uitvoering	19
4.1 Projectorganisatie en planning.....	19
4.2 Realisatie	20
4.3 Kennisdisseminatie	20
5 Resultaten	23
5.1 Campagne 2017 – 2018	23
5.1.1 Gemiddelde inzet Flex-TDR	23
5.1.2 Storingen en afwijkingen	24
5.2 Campagne 2018 - 2019	27
5.2.1 Gemiddelde inzet Flex-TDR	27
5.2.2 Storingen en afwijkingen	28
5.3 Campagne 2019 - 2020	30
5.3.1 Gemiddelde inzet Flex-TDR	30
5.3.2 Storingen en afwijkingen	31
6 Verdiepend onderzoek gedurende pilot	33
6.1 Stoomflowmetingen (campagne 2017 - 2018).....	33
6.2 Discussie stoomflowmetingen (campagne 2017 - 2018).....	34
6.3 Testschakelingen TDR-compressoren (campagne 2017 - 2018).....	35
6.4 Geluidsproductie TDR (campagne 2019 - 2020)	36
7 Evaluatie.....	38
7.1 Inzet TDR en effect op productie	38
7.2 Ontwikkelingen Flex-TDR binnen Royal Cosun.....	41
7.3 Herhalingspotentieel bij andere industrieën.....	41
7.4 Lessons learned.....	43
7.5 Toetsing projectplan.....	44

Samenvatting

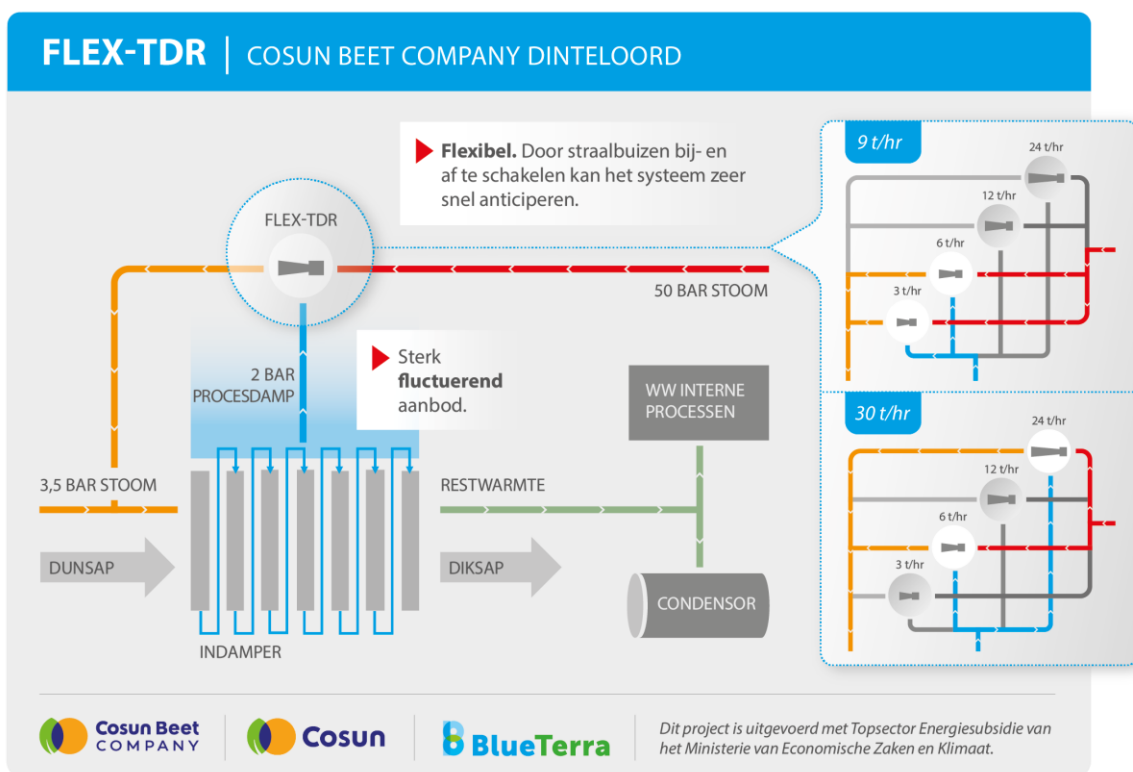
Voor de productie van suiker is veel energie nodig om het dunsap (water met ~17% suiker) in te dikken naar diksap (~70% suiker). Door toepassing van meertraps indamping is dit proces al geoptimaliseerd. Wel ontstaat er een restwarmtestroom die nog niet volledig benut is.

Flexibele thermische damprecompressie (Flex-TDR)

Om de hoeveelheid niet benutte restwarmte te verminderen, heeft Cosun Beet Company voor de locatie Dinteloord de mogelijkheden voor damprecompressie onderzocht. Hierbij worden lagedrukprocesdampen gerecomprimeerd tot nuttige middendrukstoom.

Door het campagnebedrijf en wisselende procescondities moet de gekozen oplossing een hoge mate van flexibiliteit bieden. Na een grondige analyse heeft Cosun Beet Company een nieuwe techniek ontwikkeld die aan deze eisen voldoet: flexibele thermische damprecompressie (hierna Flex-TDR).

Dit concept bestaat uit een viertal parallel geplaatste straalbuizen van variërend debiet. Afhankelijk van de vraag kan een combinatie van straalbuizen worden ingezet. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 0.1.



Figuur 0.1 Schematische voorstelling van het concept Flex-TDR

Resultaten pilot

Het Flex-TDR-concept is uitgewerkt tot een pilotinstallatie op locatie, die sinds 2017 operationeel is. In de eerste drie suikerbietencampagnes heeft de installatie de warmtevraag fors kunnen reduceren, waarmee er tot 3,5 miljoen Nm³ gas per jaar is bespaard.

Conclusie

Tijdens de pilotperiode heeft Flex-TDR zich niet alleen bewezen als betrouwbare technologie, maar is het ook een *enabler* geworden voor verdere energiebesparingen binnen de fabriek. Wel heeft de hoge mate van flexibiliteit geleid tot unieke technische uitdagingen.

1 Inleiding

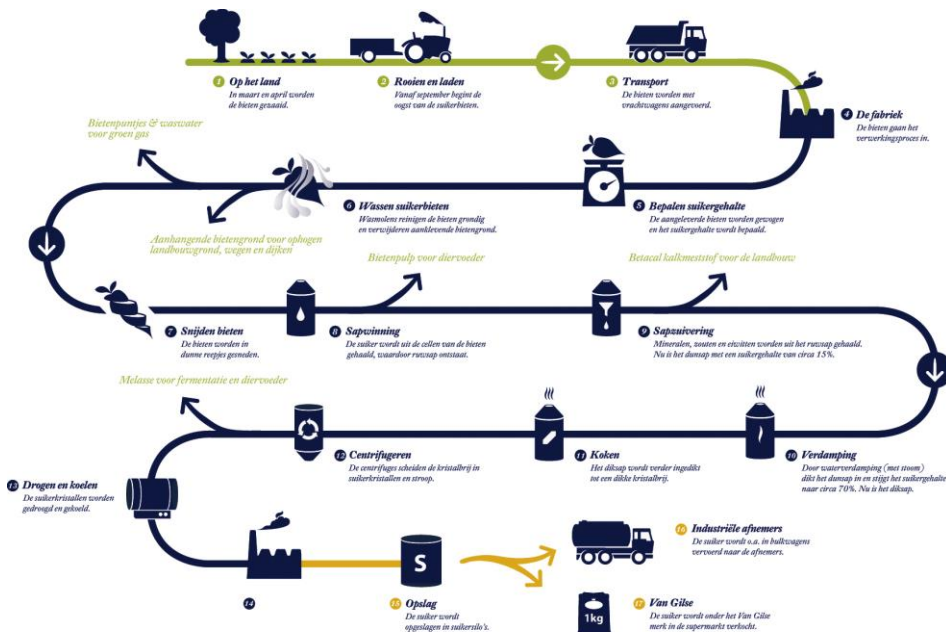
Cosun Beet Company Dinteloord

Al vanaf 1850 wordt er in Nederland suiker geproduceerd uit suikerbieten. Om een betere prijs te krijgen voor hun producten zijn er rond 1900 verschillende coöperaties ontstaan van suikerboeren en fabrikanten. Door fusies en overnames hebben deze geresulteerd in de huidige productielocaties van (voorheen Suiker Unie) Cosun Beet Company in Dinteloord, Vierverlaten, Anklam (D), Roosendaal en Puttershoek. Cosun Beet Company is vanaf juli 2020 de nieuwe naam van Suiker Unie.

Winning van suiker

Het proces van de winning van suiker uit suikerbieten is als volgt.

De bieten worden na de oogst gewassen, gesneden en geëxtraheerd. Het sap wordt vervolgens gezuiverd en ingedamppt. Vervolgens wordt de suiker gewonnen door in meerdere stappen te kristalliseren en centrifugeren, wat de suikerkristallen scheidt van de stroop. Daarnaast ontstaan er verschillende bijproducten, zoals bietenpulp. Een overzicht van dit proces is weergegeven in Figuur 1.1.



Figuur 1.1 Schematische weergave van het suikerwinningsproces

Omdat de suikerbieten een natuurlijke grondstof zijn, zijn deze slechts beschikbaar gedurende een klein deel van het jaar. Deze periode, de zogenaamde bietencampagne, duurt meestal van half september tot eind januari, afhankelijk van de oogst.

Flexibele thermische damprecompressie

Voor de verwerking van biet naar suiker is er veel energie nodig. Sinds de oprichting innoveert Cosun Beet Company haar processen continu om het energiegebruik (en daarmee de kosten) te verlagen. Een van de recente innovaties is de toepassing van flexibele thermische damprecompressie (of Flex-TDR). Met deze techniek kan restwarmte opgewaarderd worden tot nuttige processtoom.

Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de achtergrond en ontwikkeling van het Flex-TDR-concept in hoofdstuk 2 en 3. In hoofdstuk 4 is de realisatie van de pilot beschreven. De operationele ervaringen en hindernissen van de eerste drie campagnes zijn beschreven in hoofdstuk 5, met een extra verdieping in hoofdstuk 6. In het laatste hoofdstuk zijn de pilotresultaten geëvalueerd en vergeleken met het initiële projectplan.

2 Achtergrond

2.1 Probleemstelling en doel

Achtergrond

Om van suikerbieten tot suiker te komen, moet veel water worden verdampt in het productieproces. Na het doorlopen van een reeks processtappen voor het winnen en zuiveren van de suiker uit de suikerbiet wordt suikerbietensap verkregen, dat dunsap wordt genoemd. Dit sap bevat nog relatief veel water en een klein deel droge stof (15 - 17% ds).

Voor verdere verwerking moet het dunsap ingedikt worden tot diksap met een drogestofgehalte van circa 70%. Om tot diksap te komen, wordt een groot deel van het water uit het dunsap verdampt in twee indampstraten met elk zeven effecten (of trappen). In het eerste verdampingslichaam wordt warmte in de vorm van stoom toegevoegd, waarmee de druk stijgt. In de volgende lichamen wordt deze druk verlaagd.

Doordat de procesdrukken in elk volgend lichaam lager zijn, kan vrijkomende waterdamp in een volgend lichaam worden hergebruikt als warmtebron. Hiermee werken de indampstraten als een soort 'transformator' waar, beginnende met een hogere temperatuur stoom en met iedere stap een iets lagere temperatuur stoom, het water wordt verdampt uit het sap. Hierdoor wordt het overtollige proceswater zo efficiënt mogelijk verdampt.

Op verschillende plekken in de verdamping wordt damp afgetapt om de rest van het suikerproces van warmte te voorzien. Een klein deel van de vrijkomende restwarmte uit het indampproces kan niet worden gebruikt in andere processen. Deze overtollige warmte wordt na het laatste lichaam vernietigd in een condensor, het zogenaamde condensorverlies. Het condensorverlies betreft gemiddeld slechts circa 5% van de totale hoeveelheid stoom naar de verdamping.

De benodigde processtoom wordt opgewekt in twee hogedrukstoomketels. Deze stoom levert zowel de proceswarmte alsook de elektriciteit via stoomexpansieturbines. Tijdens de bietencampagne wordt hiervoor gemiddeld 40 miljoen Nm³ aardgas gebruikt op de locatie Dinteloord.

Door de toepassing van de twee zeventraps indampers is de energievraag al fors gereduceerd ten opzichte van vergelijkbare industrieën. Extra indamperstappen kunnen de stoomvraag nog verder reduceren, maar dit is momenteel niet rendabel voor Cosun Beet Company door het lage aantal draaiuren per jaar.

Probleemstelling

Wisselende grondstofkwaliteiten, procesomstandigheden en een wisselende warmtevraag vanuit het proces resulteren in een fluctuerende lagedrukdampproces na de laatste indamperstap. Een groot deel van deze warmte kan worden gebruikt als verwarming van andere processen. Omdat de warmtevraag niet altijd aansluit op het aanbod moet een deel van de stoom worden vernietigd; het zogenaamde condensorverlies.

Het hierboven geschetste probleem is niet uniek voor de productieprocessen van Cosun Beet Company. Veel industriële indampprocessen hebben te maken met fluctuaties in de grondstofkwaliteit en de daaruit voortvloeiende fluctuaties in lagedrukreststoom die niet meer gevaloriseerd kan worden.

Doelstelling

De doelstelling van dit demonstratieproject is drieledig.

- 1 Het energieverlies (condensorverlies) op de locatie Cosun Beet Company Dinteloord minimaliseren tot nul.
- 2 Demonstreren dat de flexibele inzet van TDR de lagedrukreststoom van een sterk fluctuerende kwantiteit en kwaliteit kan omzetten in een hogere druk stoom.
- 3 De Nederlandse industrie een oplossing bieden om condensorverliezen sterk te reduceren door de inzet van een vernieuwend sturingsconcept op basis van flexibele inzet TDR en zodoende een belangrijke bijdrage te leveren aan energie- en CO₂-emissiebesparing op landelijke schaal.

2.2 Theorie

2.2.1 Meertraps indamping

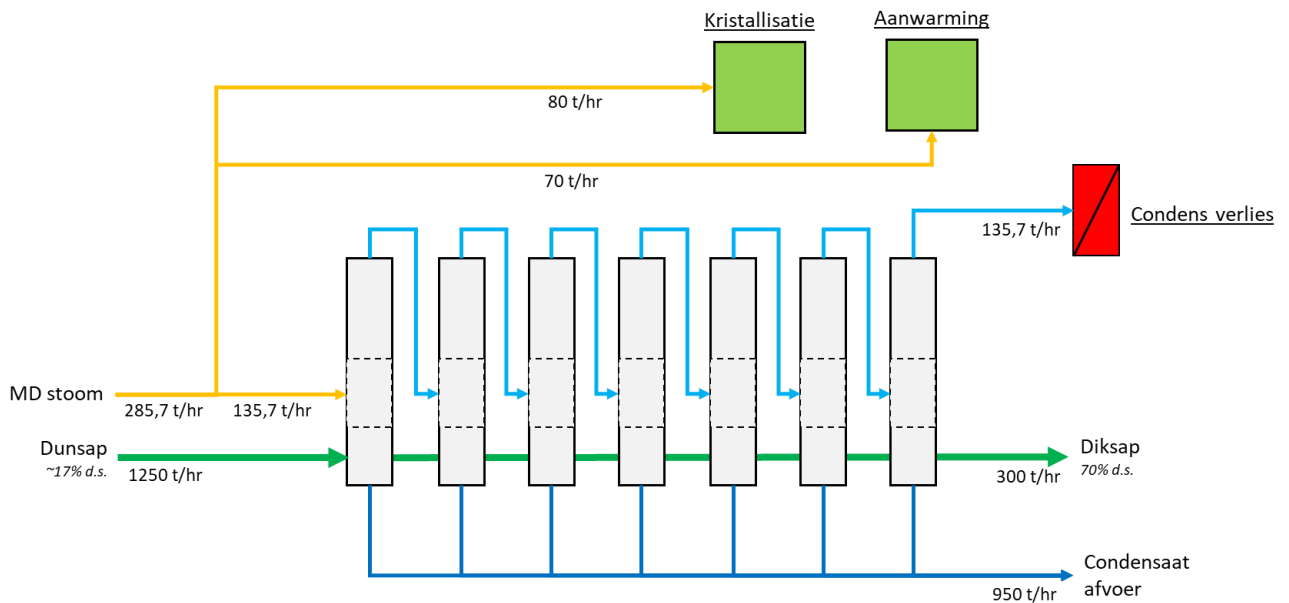
Om van dunsap naar diksap te komen, moet een groot deel van het water in het dunsap worden verdampt. Bij Cosun Beet Company wordt dit water verdampt in twee parallelle, zeventraps indampers. In deze indampers wordt het sap bij verschillende drukken verdampt, waarbij de vrijkomende damp uit de ene trap wordt gebruikt als warmtebron voor de volgende stap. De damp die ontstaat in elke indamper moet worden gebruikt of afgevoerd, want anders neemt de druk toe en stopt het verdampingsproces.

In een meertraps indamper verdampt één kilogram stoom ongeveer evenveel water als het aantal trappen (N) dat de indamper heeft. Als voorbeeld: in een tweetraps indamper verdampt één kilogram stoom twee kilogram water, in een zeventraps indamper verdampt één kilogram stoom zeven kilogram water. Dit wordt het eerste principe van Rillieux genoemd, wat is beschreven in Vergelijking 1.

Vergelijking 1 – Waterverdamping in een meertraps indamper per ton voedingsstoom op basis van Rillieux

$$\varphi_m \text{ verdamping} = N * \varphi_m \text{ stoom} = 7 * 1 = 7 \left[\frac{t}{hr} \right]$$

Het meertraps indampen is schematisch weergegeven in Figuur 2.1. De getallen zijn hierbij indicatief gekozen.



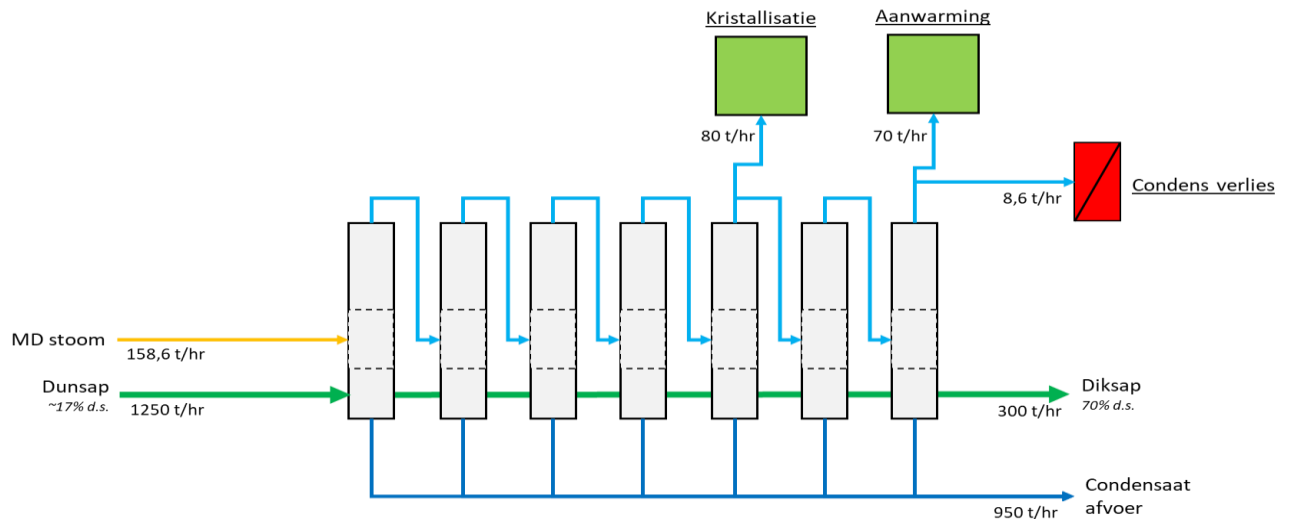
Figuur 2.1 Meertraps indampproces

In de indicatieve procescondities van Figuur 2.1 wordt er 135 t/hr MD-stoom gebruikt om 1.250 t/hr dunsap (circa 17% ds) te verwerken. Deze stoom-/dampflow blijft over alle trappen gelijk. Het indampproces resulteert uiteindelijk in 300 t/hr diksap (>70% ds), 950 t/hr condensaatafvoer en 135,7 t/hr lagedrukstoom. De lagedrukdampp van de laatste indampstap wordt gecondenseerd. Naast de stoomvraag voor het indampen is er nog 150 t/h MD-stoom nodig voor de kristallisatie en aanwarming. De totale stoomvraag komt hiermee op 285,7 t/h.

2.2.2 Gebruik van aftapstoom

Voor het verhogen van de totale procesefficiency kan een deel van de stoom van de laatste trappen, de zogenoemde aftapstoom, worden ingezet bij de kristallisatie en de aanwarming van processtromen. Dit vervangt hier één op één MD-stoom en zorgt voor een forse stoombesparing.

Dit proces is schematisch weergegeven in Figuur 2.2. De getallen zijn indicatief gekozen.



Figuur 2.2 Meertraps indamproces met gebruik van aftapstoom

Het effect van aftapstoom op het stoomgebruik kan als volgt worden bepaald: als damp wordt afgetapt van de i^{de} trap van een meertrapverdamer met N -trappen en deze stoom elders in het proces wordt gebruikt, is de netto stoombesparing i/N maal de aftapstoomhoeveelheid. Dit wordt het 2^{de} principe van Rillieux genoemd.

Vergelijking 2 – Effect van aftapstoom

$$\Delta\varphi_{m \text{ stoom}} = \frac{i}{N} * \varphi_{m \text{ aftapstoom}} = \frac{5}{7} * 80 = 57,1 \left[\frac{t}{hr} \right]$$

Als zoals in Figuur 2.2 80 t/h damp wordt afgetapt van de vijfde trap van de zeventraps indamper is de besparing 57,1 t/h.

Door stoom af te tappen van een bepaalde trap (behalve de laatste trap) moet er meer stoom naar de voorliggende trappen. De extra hoeveelheid stoom naar de voorliggende trappen kan als volgt worden bepaald:

Vergelijking 3 – Extra stoom naar indampers bij toepassing van aftapstoom

$$\Delta\varphi_{m \text{ stoom indamper}} = \frac{N-i}{N} * \varphi_{m \text{ aftapstoom}} = \frac{2}{7} * 80 = 22,9 \left[\frac{t}{hr} \right]$$

Als zoals in Figuur 2.2 80 t/h damp wordt afgetapt van de vijfde trap van de zeventraps indamper is de extra stoomflow naar de indampers 22,9 t/h.

In de indicatieve procescondities van Figuur 2.2 wordt dezelfde hoeveelheid dunsap ingedikt als hiervoor. Een deel van de damp van de vijfde trap wordt echter gebruikt in de kristallisatiesectie. Daarnaast wordt bijna alle damp van de laatste trap gebruikt voor aanwarming van processtromen. De stoomflow naar de eerste trappen is hoger (zie Vergelijking 2 en wel 22,9t/h) om te compenseren voor het gebruik van een deel van de damp vanaf de vijfde trap. Naast de stoomvraag voor het indampen is er op deze manier geen extra stoom nodig voor de kristallisatie en aanwarming. De totale stoomvraag reduceert hiermee met 127 t/h (80 + 70 - 22,9) tot 158 t/h.

Het gebruik van aftapstoom zoals in het voorbeeld van Figuur 2.2 wordt standaard toegepast in het suikerproductieproces.

2.2.3 Reductie condensorverlies

Door veranderingen in de dampafname van onderliggende processen (kristallisatie kookstation en aanwarming in onder andere sapzuivering en extractie) varieert de hoeveelheid dampafname in het proces. Een verminderde dampafname in het proces betekent meer dampoverschot bij de laatste indamptrap, wat naar de condensor gaat en dit zorgt voor een energieverlies. Dit wordt het condensorverlies genoemd. In het voorbeeld van Figuur 2.2 bedraagt dit verlies 8,6 ton/hr.

Een simpele reductie van de hoeveelheid ingaande MD-stoom bij indamptrap 1 zou het condensorverlies wel kunnen reduceren, maar resulteert in een verdunde diksapstroom omdat er minder water is verdampt. Immers elke ton ingaande stoom resulteert in 7 t/hr waterverdamping (zie Vergelijking 1). Vermindering van 5 t/hr stoom zal dus resulteren in 35 t/h minder waterverdamping, waarmee de diksap een te laag drogestofgehalte krijgt. Een te laag drogestofgehalte van diksap resulteert in extra dampvraag (damp 5) vanuit de kristallisatie, waardoor netto het stoomverbruik hoger wordt.

2.2.4 Verschuiving dampbalans over de indamper

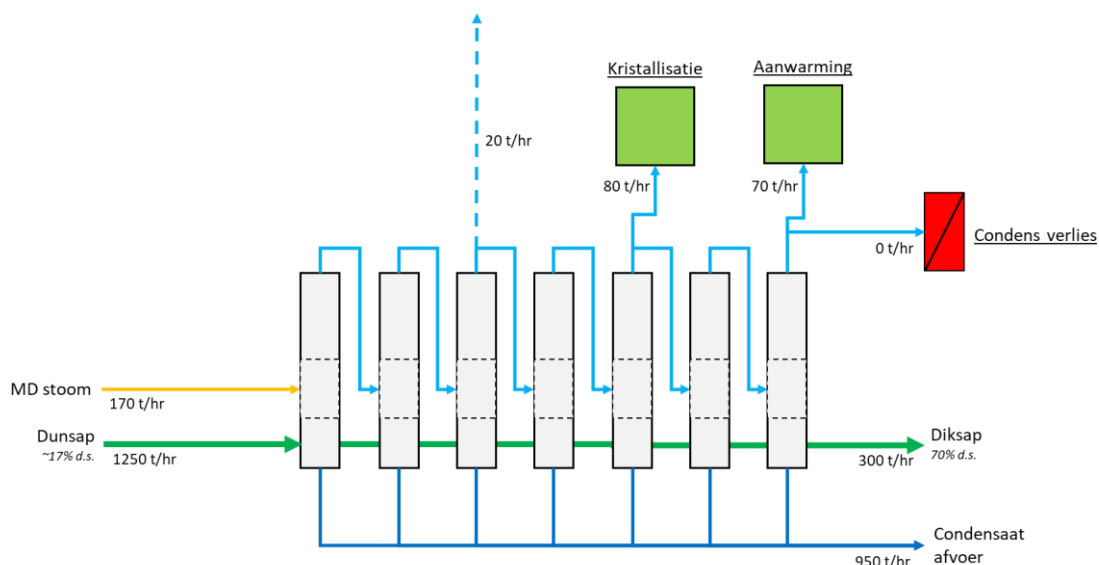
Door het verschuiven van de hoeveelheid verdamping per indamptrap kan de hoeveelheid waterverdamping gelijk worden gehouden met minder uitgaande lagedrukdamp. Dit laatste zal het condensorverlies reduceren en zorgt gelijktijdig voor een reductie van het stoomverbruik.

Voor dit doel wordt de hoeveelheid gemiste waterverdamping bij vermindering van de ingaande damp ($4 \cdot 8,6 \text{ t/hr} = 34,3 \text{ t/hr}$), opgevangen door meer verdamping in de eerste drie indampertrappen. Volgens het Rillieux-principe dient hiervoor 11,4 t/hr meer damp te worden ingezet in de eerste stappen ($3 \cdot 11,4 = 34,3 \text{ t/h}$), zoals beschreven in Vergelijking 3.

Vergelijking 4 - Hoeveelheid extra stoom circulatie eerste stappen

$$Q_{m,rec.} = \frac{Q_{m,cond.verlies} * Q_{m,spec.}}{n_{trappen}} = \frac{8,6 * 7}{3} = 20 \left[\frac{t}{hr} \right]$$

De flow zonder de extra stoomcirculatie over de eerste drie stappen zou 150 t/h zijn. Met de circulatie erbij is de voeding naar de eerste trap van de indamper 170 t/h.



Figuur 2.3 Meertraps indampproces met verschuiving dampbalans

Deze recirculatie wordt bereikt door een deel van de vrijkomende damp in de derde indampertrap af te zuigen (damp 3) en op te waarden naar MD-stoom. Hiervoor moet de damp worden gecomprimeerd van circa 2 bara naar 3 bara.

2.2.5 Recompressie van damp 3

Voor het recomprimeren van dampstromen zijn er twee bewezen technieken beschikbaar, namelijk mechanische damprecompressie (MDR) en thermische damprecompressie (TDR). Beide technieken comprimeren/verdichten de ingaande (lage druk) stoom waarmee een hogere druk wordt gecreëerd. Het verschil zit in de drijvende kracht: MDR wordt mechanisch (elektrisch) aangedreven, TDR met een thermische stroom (stoom).

Dit verschil in drijvende kracht resulteert in een groot verschil in de uiteindelijke investering. De MDR met mechanische aandrijving bestaat uit een groot aantal bewegende (precisie) onderdelen, waar de TDR bestaat uit een ejecteur. Dit vertaalt zich in een vijf tot tien keer hogere investering voor MDR-systemen in vergelijking met TDR-systemen.

Door de gelimiteerde bedrijfstijd van de bietencampagne heeft Cosun Beet Company een kleinere periode per jaar om de investering terug te verdienen. Dit betekent dat een TDR (theoretisch) wel kan worden terugverdiend en een MDR niet. Daarnaast kan MDR tot circa 50% van zijn maximale capaciteit worden teruggeregeld, terwijl een regelbereik van het condensorverlies van 0% tot 100% nodig is.

3 Flexibele thermische damprecompressie

3.1 Principe thermische damprecompressie

Een thermische dampcompressor is een ejecteur waarin hogedrukstoom wordt gemengd met lagedrukstoom, zoals weergegeven in Figuur 3.1. Door het Venturi-effect wordt de lagedrukstoom in de hogedrukstroom gezogen, waardoor er middendrukstoom ontstaat.



Figuur 3.1 Principetekening thermische damprecompressie; bron: Körting

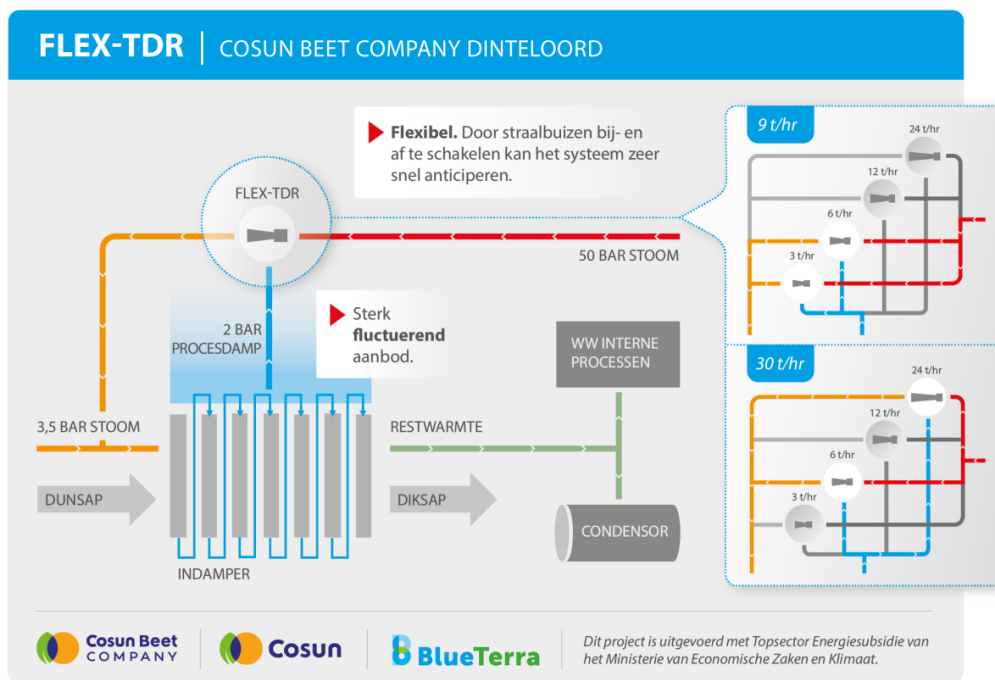
De geproduceerde middendrukstoom is sterk afhankelijk van de verhouding HD- en LD-stoom, die afhankelijk is van de drukken, stoomnozzles en Venturi buisdiameter. Omdat beide onderdelen van de ejecteur niet tijdens bedrijf aangepast kunnen worden, is het niet mogelijk de belasting van een TDR-ejecteur te variëren zonder verandering van de stoomdrukken.

Om een lagere LD-stoomflow te comprimeren, moet de ingaande druk van de HD-stoom worden verlaagd. Hiermee verlaagt de LD-/HD-stoomverhouding bij een lager aanbod LD-stoom en daalt het rendement van de damprecompressie snel. Daarmee is een "individuele" thermocompressor in feite slecht regelbaar op de te comprimeren stoomflow en altijd ten koste van de verhouding LD stoom versus HD stoom.

3.2 Flexibilisering thermische damprecompressie

De damprecompressie heeft als doel te corrigeren voor de fluctuerende LD-reststoom uit de indamper. Dit kan alleen wanneer het systeem (snel) regelbaar is, hetgeen normaal gesproken niet mogelijk is met TDR, behalve door verslechtering van de verhouding LD-/HD-stoom.

Om toch TDR te kunnen toepassen, heeft Cosun het Flex-TDR-concept ontwikkeld waarbij er vier ejecteurs met een variabel debiet parallel worden geschakeld. Omdat elk van de straalbuizen een ander debiet heeft, kan de hoeveelheid gecomprimeerde LD-stoom worden gestuurd door de combinatie van actieve straalbuizen. Dit concept is weergegeven in Figuur 3.2.



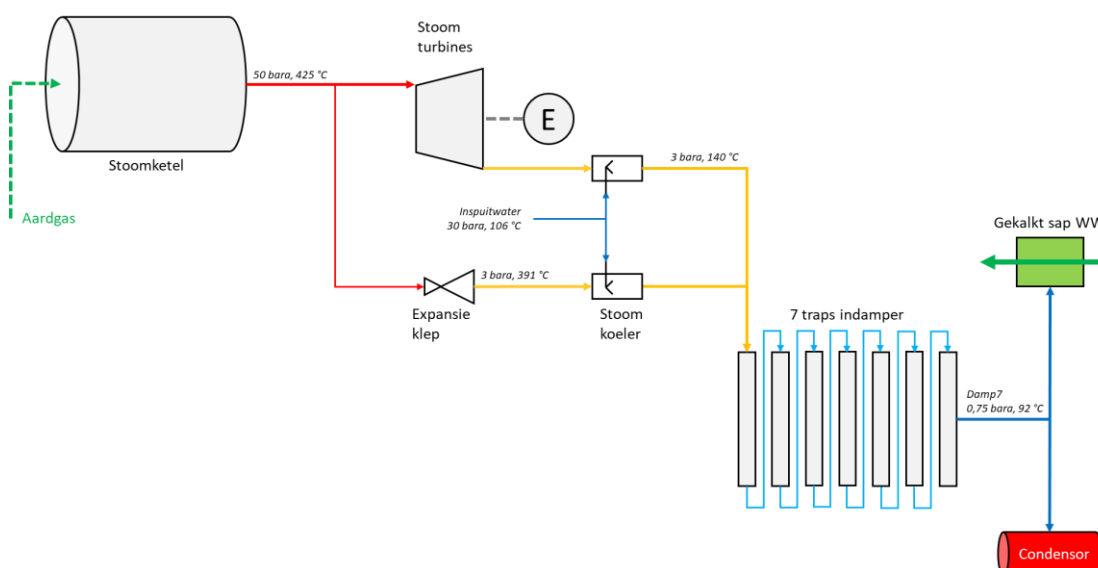
Figuur 3.2 Schematische weergave van de parallel geschakelde thermocompressoren Cosun Beet Company

3.3 Inpassing Flex-TDR bij Cosun Beet Company

3.3.1 Huidige situatie stoomopwekking en expansie

Voor de stoomopwekking heeft Cosun Beet Company twee 50 bar stoomketels met een maximale capaciteit van 240 t/u. De geproduceerde hogedrukstoom (HD) van deze ketels wordt normaliter geëxpandeerd over de stoomturbines tot een druk van 3 bar. Bij deze expansie wordt elektriciteit geproduceerd die als primaire energiebron dient voor de interne elektriciteitsgebruikers. Daarnaast is er een bypass met expansieventiel, wanneer de stoomvraag hoger is dan de turbinecapaciteit.

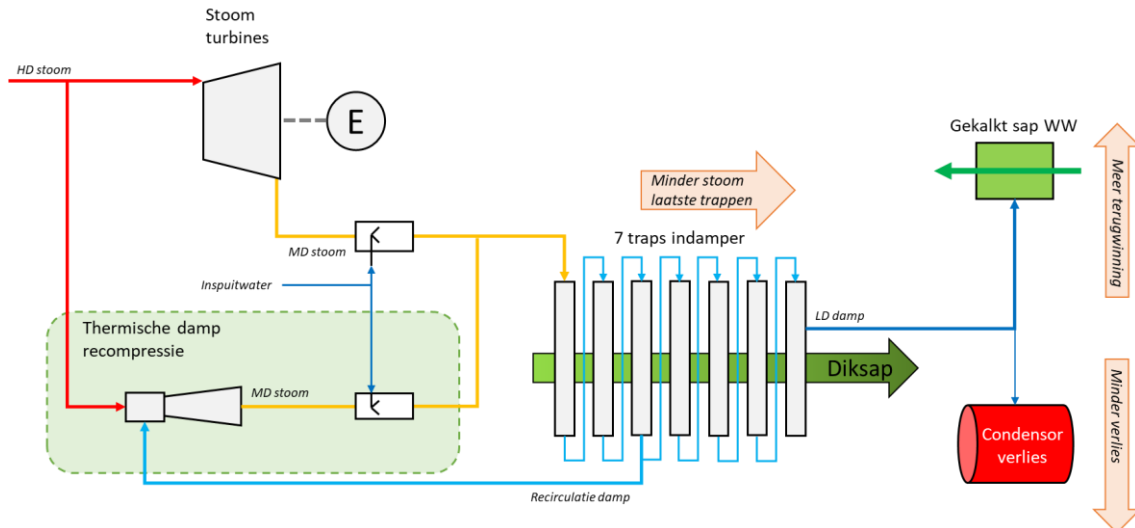
Na expansie wordt de stoom geconditioneerd tot middendrukstoom (MD) van 3 bara en 140°C, waarna het als voeding dient voor het eerste verdampingslichaam van de indamper. De benodigde stoom voor de indamper kan gedurende de campagne fluctueren, afhankelijk van onder andere de capaciteit of grondstofkwaliteit.



Figuur 3.3 Stoomopwekking, expansie en voeding aan de indamper

3.3.2 Inpassing Flex-TDR in bestaand stoomnet

Zoals beschreven in 2.2.4 is het doel van de TDR om de hoeveelheid stoom in de laatste indamptrappen te verlagen, en zo het condensorverlies te reduceren. De uitwerking van dit principe is weergegeven in Figuur 3.4.



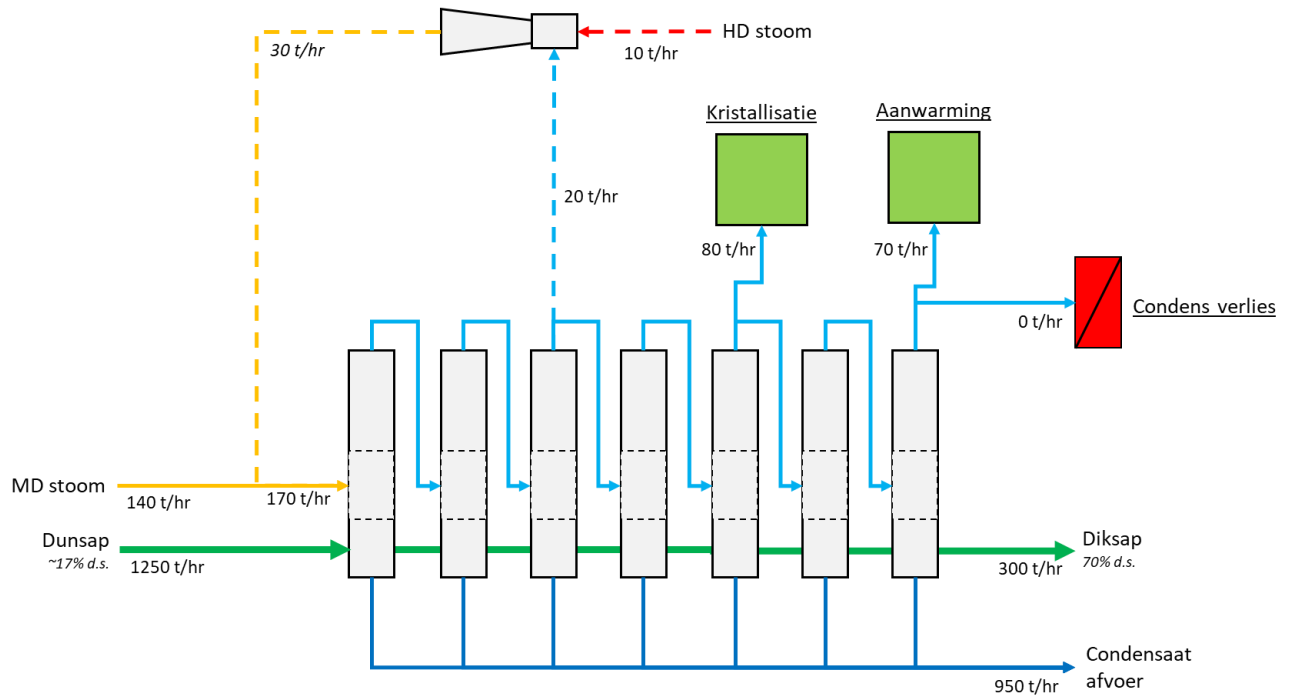
Figuur 3.4 Principe van thermische damprecompressie binnen het indamperproces

Omdat de TDR gedimensioneerd is op de (fluctuerende) uittredereststoom van de indampers zal de geproduceerde MD-stoom slechts een deel van de stoomvraag voor indamping invullen; de TDR is daarom parallel geschakeld aan de bestaande MD-stoomproductie uit de stoomturbines en de geproduceerde stoom van de TDR wordt ingevoegd op het bestaande stoomnet.

3.3.3 Uitwerking Flex-TDR

In het Flex-TDR-ontwerp wordt een deel van de vrijkomende damp van de derde indampertrap aangezogen door de TDR. Deze damp wordt met hogedrukstoom gerecomprimeerd tot middendrukstoom, die als voeding dient voor de eerste indampertrap. Door de inzet van HD-stoom daalt de elektriciteitsproductie van de stoomturbine wel, doordat er minder stoom wordt geëxpandeerd.

Door het aftappen van de vrijkomende damp in de derde indamper wordt er minder water verdampt in de volgende indampertrappen. Hierdoor wordt de aanwezige stoom beter benut en blijft er minder reststoom over na de zevende indamper.



Figuur 3.5 Meertraps indampproces met TDR

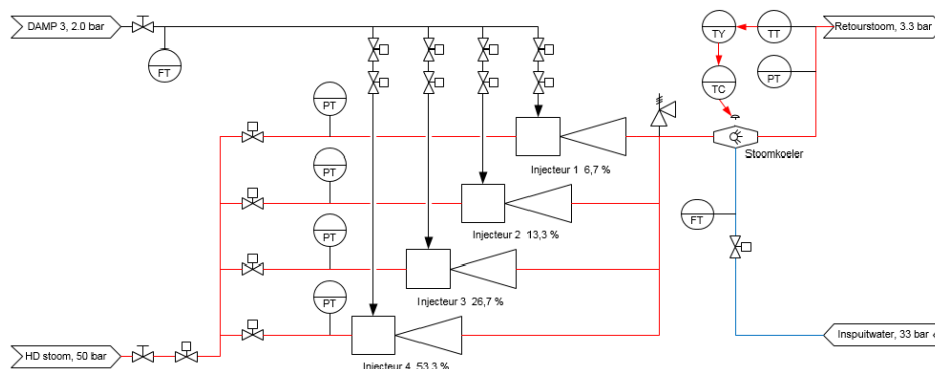
In de indicatieve procescondities van Figuur 3.5 wordt dezelfde hoeveelheid dunsap ingedikt als in het voorbeeld in Figuur 2.2. De totale stoomvraag reduceert hiermee met 8,6 t/h tot 150 t/h (140 t/h MD + 10 t/h HD-stoom).

3.3.4 TDR-ejecteurs

Om de TDR flexibel te maken, is er gekozen voor een systeem met vier parallel geschakelde ejecteurs of thermocompressoren van verschillend vermogen zoals weergegeven in de P&ID van Figuur 3.6. Door de vier parallel geschakelde ejecteurs die individueel geschakeld kunnen worden, ontstaan er zestien schakelmogelijkheden, De technische uitgangspunten voor de ejecteurs zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Technische uitgangspunten TDR-ejecteurs

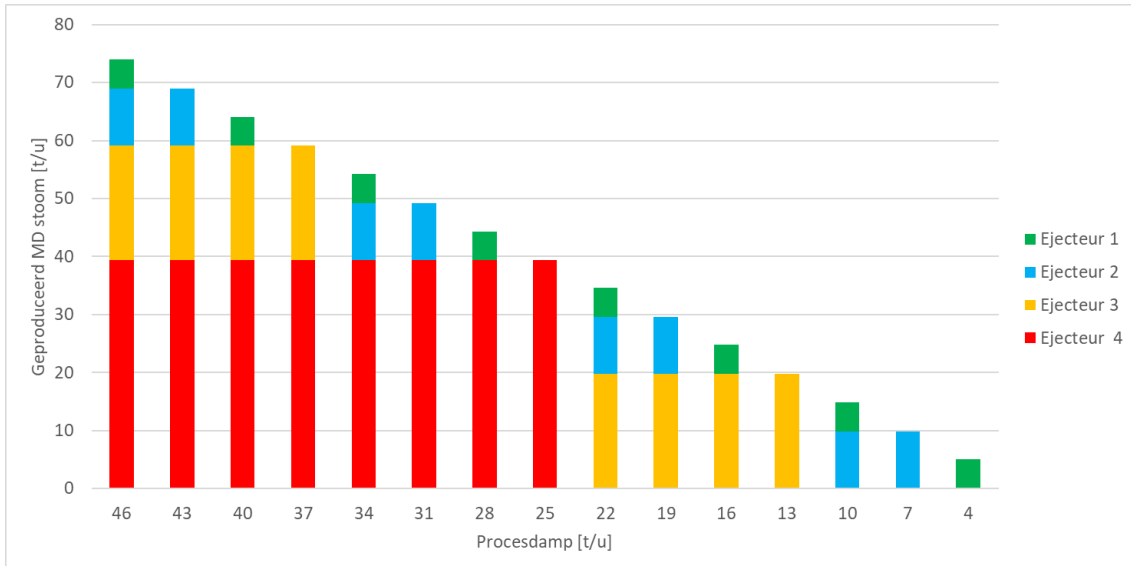
	Load [%]	Damp3 [t/hr]	HD-stoom [t/hr]	MD-stoom [t/hr]
Ejecteur #1	7,2%	3,3	1,7	5,0
Ejecteur #2	13,1 %	6,0	3,8	9,8
Ejecteur #3	26,2 %	12,1	7,7	19,8
Ejecteur #4	52,2 %	24,0	15,3	39,4



Figuur 3.6 P&ID-opstelling Flex-TDR Cosun Beet Company Dinteloord. Bron: Stork

Door de verschillende vermogens van de ejecteurs is het mogelijk flexibel te reageren op de actuele procescondities door middel van I/O-schakelingen. Hiervoor is elke ejecteur voorzien van blokafsluiters in de HD- en LD-stoomleidingen. Door het openen van deze blokafsluiters ontstaat er een zuigende werking op de LD-stoom, waardoor deze stoom gedeeltelijk wordt onttrokken aan het indampproces.

Door het combineren van ejecteurvermogens kan de Flex-TDR worden geregeld in stappen van 3 t/hr, zoals weergegeven in Figuur 3.7.

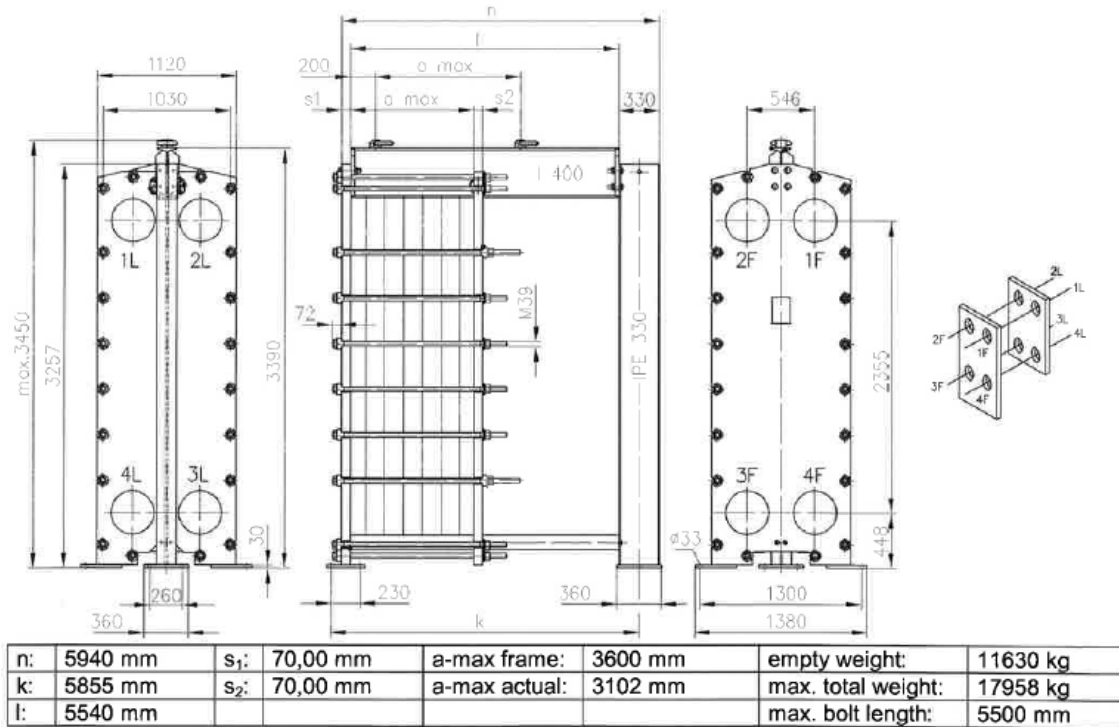


Figuur 3.7 Schakeling van Flex-TDR, afhankelijk van damp-3-debiet

3.3.5 Voorverwarmer gekalkt sap

Voordat de TDR was geïnstalleerd, was het niet zinvol verbeteringen door te voeren in het dampgebruik van de voorverwarming. Dit zou immers alleen leiden tot meer condensatorverlies en niet zorgen voor een reductie in het gebruik van HD-stoom en daarmee ook een reductie van het aardgasgebruik. Gelijktijdig met de installatie van de TDR is er ook een optimalisatie doorgevoerd bij de voorverwarming (extra gekalkt sap warmtewisselaar). Hierdoor is er minder damp nodig bij de voorverwarming, waarmee er meer damp beschikbaar komt om te recomprimeren. Dit resulteert in een verdere daling van het stoomgebruik.

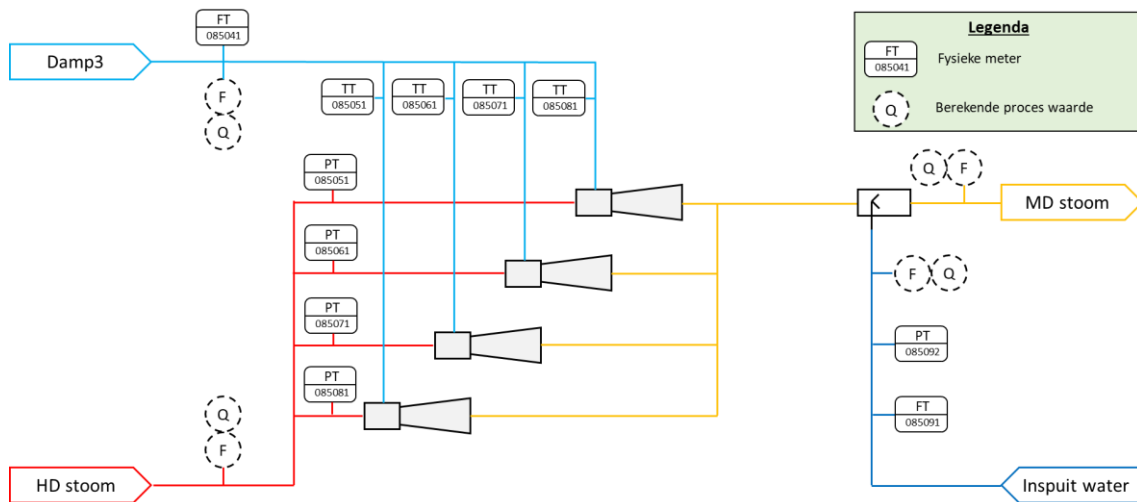
Vanwege de relatief vuile processtromen is er gekozen voor een *free flowing* platenwarmtewisselaar van 25 MWth, zoals weergegeven in Figuur 3.8. Bij *free flowing* platenwarmtewisselaars raken de afzonderlijke platen elkaar niet, wat bij standaard platenwarmtewisselaars of *wide gap* warmtewisselaars wel het geval is.



Figuur 3.8 Installatieschets warmtewisselaar eindcondensaat. Bron: KAPP

3.4 Berekenen van de besparing

De besparing van de Flex-TDR kan worden berekend uit de geproduceerde hoeveelheid MD-stoom. Hiervoor zijn er elf fysieke sensoren geplaatst rondom de installatie: twee flowmeters, vijf drukopnemers en vier temperatuurmeters. De plaatsing van deze sensoren is weergegeven in Figuur 3.9.



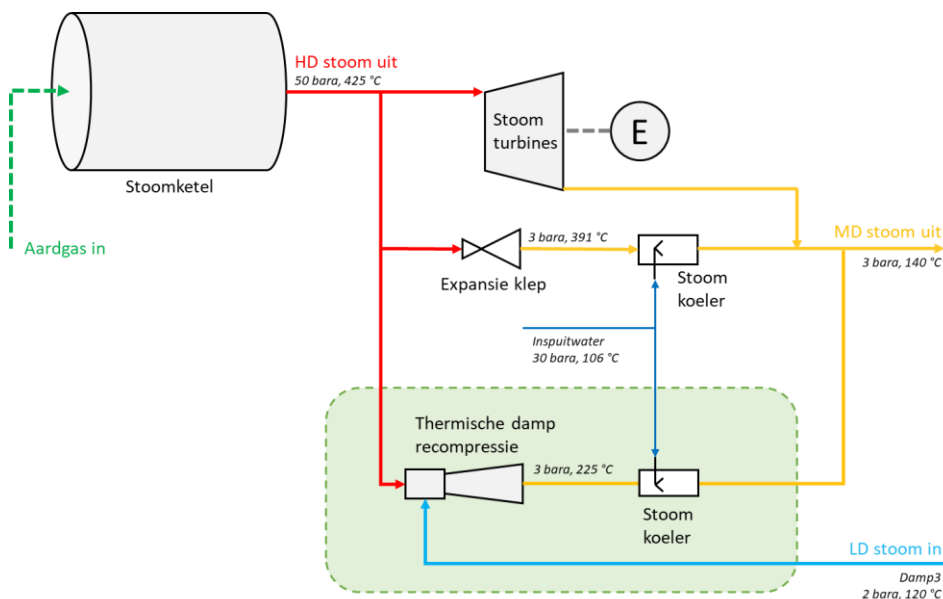
Figuur 3.9 Versimpelde weergave van meetinstrumentatie TDR

Naast fysieke sensoren maakt Cosun Beet Company veel gebruik van berekende proceswaarden. Dit zijn vaak processtromen die lastig meetbaar zijn of dure meetapparatuur behoeven, zoals stoomflows. Deze berekende waarden worden in een schaduwmodel berekend op basis van bekende waarden van de omliggende fysieke sensoren.

Tijdens de eerste campagne bleek een deel van de apparatuur en de fysieke meetinstrumentatie niet naar behoren te functioneren (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is de uiteindelijke besparingsberekening een combinatie geworden van fysieke meetgegevens en afgeleide proceswaarden.

Opbouw berekening

De inzet van Flex-TDR heeft niet alleen effect op de absolute warmtevraag, maar heeft ook (negatieve) effecten op de eigen elektriciteitsproductie van Cosun Beet Company. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3.10.



Figuur 3.10 Schematische weergave van MD-stoomproductie met toepassing van Flex-TDR

Door de koppeling met de stoomturbine is de besparingsberekening opgebouwd uit vier delen.

- | | |
|-------------------------------------|--|
| I. Vermindering warmtelevering | Door de toepassing van TDR wordt een deel van de LD-stoom opgewaardeerd, waarmee de ketel minder energie hoeft te leveren. Deze relatie is niet 1:1 door de verschoven indampersbalans (zie paragraaf 2.2.2). |
| II. Gemiste elektriciteitsproductie | MD-stoom uit de TDR verlaagt de hoeveelheid geëxpandeerde HD-stoom over de turbine. Hierdoor wordt er minder elektriciteit geproduceerd. Deze hoeveelheid is gelimiteerd aan de exportcapaciteit. De ketel hoeft deze energie (verschil tussen HD-stoom en MD-stoom) ook niet te leveren, waarmee dit een extra gasbesparing is. |
| III. Vermindering turbinebypass | Als er een hogere warmtevraag is uit het proces dan vanuit de turbine (met export) geleverd kan worden, wordt een deel geleverd vanuit de expansieklep en stoomkoeler. |
| IV. Inzet HD-stoom TDR | Voor de thermische damprecompressie wordt HD-stoom gebruikt. In deel I wordt dit beschouwd als MD-stoom. In dit deel van de berekening wordt het enthalpieverschil tussen MD- en HD-stoom verrekend. |

3.4.1 Besparingsberekening Cosun Beet Company Dinteloord

Voor een correcte benadering wordt in deel I gerekend met pure MD-stoom en wordt in deel II, III en IV gerekend met het verschil tussen MD- en HD-stoom. De resulterende berekening is in negentien stappen uitgewerkt in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Berekening van de besparing door de inzet van flex-TDR bij Cosun Beet Company Dinteloord

Stap	Benaming	Formule	Toelichting
I. Besparing op warmtelevering ketel			
1	Geproduceerde MD-stoom TDR ($\Phi_{m MD TDR}$)	$\Phi_{m MD TDR} = \Phi_{m HD TDR} + \Phi_{m LD} + \Phi_{m koeler}$	Sommatie van de ingaande stoomflows: $\Phi_{m HD TDR}$: massa flow HD-stoom naar TDR $\Phi_{m LD}$: massaflow aangezogen LD-damp $\Phi_{m koeler}$: massaflow water naar stoomkoeler ¹ . Allen in ton stoom per uur.
2	Delta ² massaflow damp 7 naar condensor ($\Delta\Phi_{m d7 cond}$)	$\Delta\Phi_{m d7 cond} = -\Phi_{m LD} * \frac{3}{7}$	Recompressie van damp uit het derde indampereffect ³ resulteert in minder verdamping in het volgende effect. Deze hoeveelheid wordt berekend volgens het Rillieux-principe.
3	Delta retourstoom naar eerste indamper ($\Delta\Phi_{m MD ret}$)	$\Delta\Phi_{m MD ret} = \Phi_{m LD} + \Delta\Phi_{m d7 cond}$	Delta stoom naar eerste indamper door toepassing van TDR wordt bepaald door de hoeveelheid damp die aangezogen en gerecomprimeerd wordt en de verandering (afname) van de massaflowdamp (damp 7) naar de condensor ($\Delta\Phi_{m d7 cond}$).
4	Delta geëxpandeerde stoom turbine ($\Delta\Phi_{m MD turb}$)	$\Delta\Phi_{m MD turb} = -\Phi_{m MD TDR} + \Delta\Phi_{m MD ret}$	TDR-stoom vermindert de hoeveelheid HD-stoom die over de turbine gaat. De stoomkoeling voor stoom uit de turbine is nihil.
5	Delta HD-stoom productie ($\Delta\Phi_{m HD ket}$)	$\Delta\Phi_{m HD ket} = \Delta\Phi_{m MD turb} + \Phi_{m HD TDR}$	De werkelijke reductie van HD-stoom uit de ketel is de resultante van de reductie over de stoomturbine en de ingezette HD-stoom voor de TDR.

Stap	Benaming	Formule	Toelichting
6	Delta ketel output – warmte (ΔQ_{th})	$\Delta Q_{th} = \Delta\Phi_{m HD ket} * \frac{H_{md st} - H_{cond}}{1000}$	Delta thermische vermogensoutput van de ketel bestemd voor de warmtevoorziening (elektra wordt apart verrekend) in GJ/hr. $H_{MD st} - H_{cond}$ is het enthalpieverschil tussen MD-stoom en ketelvoedingswater.
7	Delta aardgas flow - warmtedeel ($\Delta\Phi_{V NG th}$)	$\Delta\Phi_{V NG th} = \frac{\Delta Q_{th}}{\eta_{th} * 0,03165}$	Omrekening van de benodigde warmteoutput naar aardgasinput. η_{th} is het ketelrendement en 0,03165 de onderste verbrandingswaarde van aardgas in GJ/Nm ³ .
II. Reductie van geleverde elektriciteit met de stoomturbine:			
8	Delta theoretische reductie E productie ($\Delta P_{el theo}$) in MW	$\Delta P_{el theo} = \Delta\Phi_{m MD turb} * \frac{(h_{hd st} - h_{md st}) * \eta_{tur}}{3600}$	De specifieke elektriciteitsopwekking van de stoomturbine is gebaseerd op het energetisch rendement (95%)
9	Fictieve export elektra zonder TDR ($P_{el exp fict}$)	$P_{el exp fict} = -\Delta P_{el theo} + P_{el exp}$	Zonder TDR zou Cosun Beet Company de huidige E-export ($P_{el exp}$) verhogen met de theoretische E-productie.

¹ De koeler had in de praktijk te veel debiet, waardoor het water niet volledig werd opgenomen (zie paragraaf 5.1.2). Deze waarde is in de besparingsberekening berekend op basis van de enthalpie verschillen van TDR-stoom en MD-stoom.

² Als er gesproken wordt over een delta (Δ) is het getal positief bij een toename door gebruik van thermocompressie en negatief bij een afname door gebruik van thermocompressie.

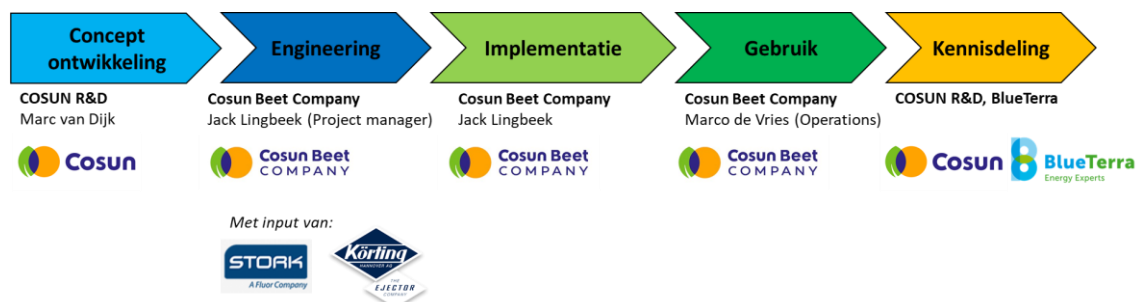
³ Indampereffect naar het gebruik van de stoom, ook wel indampertap genoemd.

10	Werkelijk delta E-opwekking c.q. - export (ΔP_{el})	$\Delta P_{el} = \Delta P_{el\ theo} + \text{MAX}(0; P_{el\ exp\ fict} - 5)$	De huidige exportcapaciteit bedraagt 5 MWe. Bij dreigende overschrijding hiervan wordt de elektriciteitsopwekking teruggeregeld door stoom te expanderen. Dit mag niet worden meegeteld als gemiste E-export.
11	Delta ketel output – elektriciteitsdeel (ΔQ_{el})	$\Delta Q_{el} = \frac{-P_{el} * 3,6}{\eta_{turb} / \eta_{ketel}}$	Delta vermogensoutput van de ketel, bestemd voor de elektriciteitsopwekking in GJ/hr.
12	Delta aardgas - elektriciteitsdeel ($\Delta \Phi_{V\ NG\ el}$)	$\Delta \Phi_{V\ NG\ el} = \frac{\Delta Q_{el}}{0,03165}$	Omrekening van de benodigde warmte-output naar aardgas-input.
III. Reductie van turbine bypass			
13	Werkelijke export elektra zonder TDR ($P_{el\ exp}$)	$P_{el\ exp} = \text{MIN}(5; P_{el\ exp\ fict})$	De exportcapaciteit is gelimiteerd tot 5 MWe.
14	Stoomflow bypass ($\Delta \Phi_{m\ bypass}$)	$\Delta \Phi_{m\ bypass} = \frac{(P_{el\ exp\ fict} - P_{el\ exp}) * 3600}{(h_{hd\ st} - h_{md\ st}) * \eta_{turbine}}$	In de referentiesituatie wordt het deel boven de 5 MWe geleverd vanuit de bypass.
15	Bypass koeler ($\Delta Q_{th\ bypass}$) in GJ	$\Delta Q_{th\ bypass} = \Delta \Phi_{m\ bypass} * \frac{(h_{hd\ st} - h_{md\ st})}{1000}$	Bij expansie naar een lagere druk blijft de energie-inhoud behouden. Dit zorgt voor een hogere temperatuur van het MD-stoom die wordt 'weggekoeld' door inspuiting van condensaat.
16	Aardgasontsparring koeler ($\Delta \Phi_{V\ NG\ bp}$)	$\Delta \Phi_{V\ NG\ bp} = \frac{\Delta Q_{th\ bypass}}{\eta_{th} * 0,03165}$	Door het inspuiten van condensaat in de bypass stoom hoeft er minder stoom in de ketel te worden geproduceerd.
IV. Inzet HD-stoom TDR			
17	Energieverschil MD-/HD-stoom TDR ($\Delta Q_{cor\ TDR}$)	$\Delta Q_{cor\ TDR} = -\Phi_{m\ HD\ TDR} * \frac{(h_{hd\ st} - h_{md\ st})}{1000}$	Correctie voor het gebruik van HD-stoom in plaats van MD-stoom.
18	Aardgas HD-stoom TDR ($\Delta \Phi_{V\ NG\ th}$)	$\Delta \Phi_{V\ NG\ cor\ TDR} = \frac{\Delta Q_{cor\ TDR}}{\eta_{th} * 0,03165}$	Omrekening naar equivalente energie-input ketel.
Sommatie van de aardgasbesparing			
19	Delta aardgasgebruik ($\Delta \Phi_{V\ NG}$)	$\Delta \Phi_{V\ NG} = \Delta \Phi_{V\ NG\ th} + \Delta \Phi_{V\ NG\ el} + \Delta \Phi_{V\ NG\ bp} + \Delta \Phi_{V\ NG\ cor\ TDR}$	Opsomming van de aardgasbesparing.

4 Uitvoering

4.1 Projectorganisatie en planning

Bij de uitwerking van het Flex-TDR-concept zijn verschillende partijen betrokken, elk met haar eigen specialiteit. De organisatie van deze partijen is schematisch weergegeven in Figuur 4.1. De namen in onderstaand schema waren de projectleiders c.q. eindverantwoordelijken.



Figuur 4.1 Schematische weergave van de projectorganisatie

In de jaren voorafgaand aan dit demonstratieproject is de optimalisatie van het suikerproductieproces bij Cosun Beet Company en van het TDR-concept veelvuldig geanalyseerd en bestudeerd. Deze studies hebben geresulteerd in een DEI-subsidieaanvraag, die op 28 februari 2017 positief is beschiedt.

Vooruitlopend op de DEI-subsidieaanvraag is het project intern gestart met een projectplan. Het hieruit volgende werk is onderverdeeld in acht werkpakketten, met elk een uitvoerder en subresultaat. Deze werkpakketten zijn benoemd in Tabel 4.1.

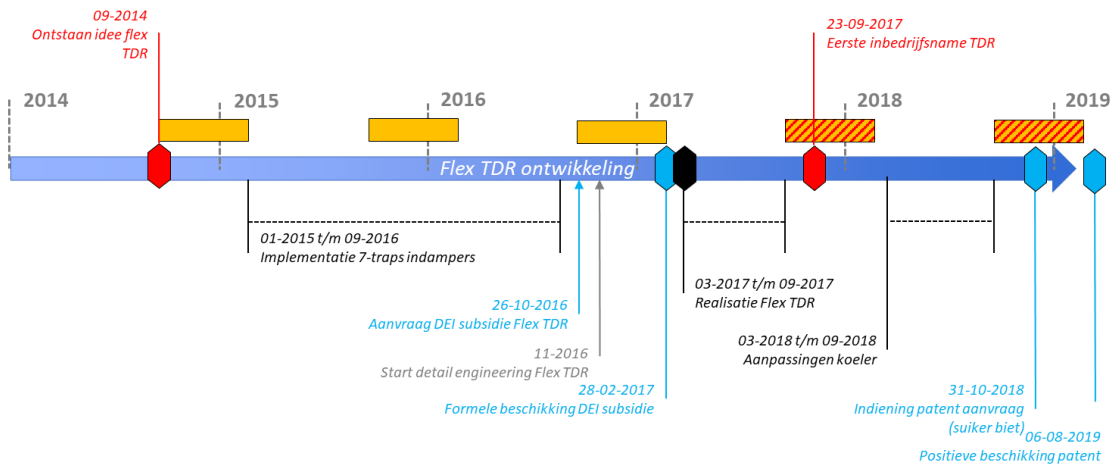
Tabel 4.1 Beschrijving van de werkpakketten

WP	Onderdeel	Uitvoerders	Resultaat	Geplande begin- en einddatum
1	Detailengineering	Cosun Beet Company Cosun R&D	Projectplan	November 2016 - februari 2017
2	Aanschaf en levering thermocompressoren en warmtewisselaar	Cosun Beet Company Cosun R&D Körting KAPP	Leveringscontracten	Februari - april 2017
3	Uitvoeren van civiele werkzaamheden (fabrieksinrichting)	Cosun Beet Company Cosun R&D	Aangepaste fabriek Cosun Beet Company Dinteloord	Maart - april 2017
4	Installatie thermocompressoren en warmtewisselaar	Cosun Beet Company Cosun R&D Stork	Gerealiseerd TDR-systeem (2017) en warmtewisselaar (2018)	April - september 2017
5	Testen en finetunen van het TDR-systeem en productieproces	Cosun Beet Company Cosun R&D	Inregeling en testuitkomsten Aanpassingen installatie (onder andere geluidsisolatie en druppelvanger)	September 2017 - oktober 2018
6	Analyse en evaluatie werking TDR-systeem	Cosun Beet Company Cosun R&D BlueTerra	Rapportages over de werking, energiebesparing en toepassing systeem	Oktober 2017 - februari 2020
7	Kennisdisseminatie en demonstratie	Cosun Beet Company Cosun R&D BlueTerra	Organisatie van rondleidingen, seminars, publicaties en (deelname aan) kennissessies	Februari 2018 - februari 2020
8	Projectmanagement	Cosun R&D Cosun Beet Company	Planning, coördinatie intern en met derden en voorbereiden van projectrapportage	November 2016 - november 2020

Na plaatsing van de installatie worden de operationele prestaties van de Flex-TDR specifiek gemonitord gedurende de eerste drie bietencampagnes (2017 - 2020). De behaalde resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 5 en worden in het kader van de DEI-subsidie gedeeld met geïnteresseerde partijen.

4.2 Realisatie

Tussen het idee en de daadwerkelijke ingebruikname heeft drie jaar gezeten, zoals weergegeven in Figuur 4.2. Deze stap is mede mogelijk gemaakt door de implementatie van de 7-traps verdamping, maar kwam te laat om nog mee te kunnen nemen bij de implementatie van de 7-traps verdamping. Hierna was er nog een intercampagneperiode nodig om het systeem volledig te laten functioneren.



Figuur 4.2 Werkelijke realisatie Flex-TDR Cosun Beet Company Dinteloord

4.3 Kennisdisseminatie

Met het Flex-TDR-concept introduceert Cosun Beet Company een innovatief en flexibel middel om het warmtegebruik in het productieproces van suiker te reduceren, door lagedrukstoom op te waarden en de condensorverliezen tot nul te reduceren. Dit concept heeft de potentie ook in andere industriële processen te kunnen worden toegepast.

Na realisatie heeft het systeem zich bewezen bij Cosun Beet Company. Om ook andere bedrijven en bedrijfstakken te enthousiasmeren, wordt uitgebreid over dit project gecommuniceerd en krijgen andere partijen de kans om de installatie werkend te zien en de ins en outs hiervan te horen.

Om een breed publiek aan te spreken, zijn er elf activiteiten gepland. Deze activiteiten zijn verdeeld in twee groepen; artikelen en documentatie en seminars, lezingen en bezoeken. Tabel 4.2 en Tabel 4.3 geven een opsomming van de geplande activiteiten.

Tabel 4.2 Kennisdeling door artikelen en documentatie

No.	Activiteit en kanaal	Beschrijving	Doelgroep
1.1	Factsheet Flex-TDR. Website BlueTerra, Cosun Beet Company, Cosun.	Korte systeembeschrijving van de toepassing van Flex-TDR voor indamperprocessen. Overzicht van praktische punten voor potentiële gebruikers.	Bestaande contacten, ISPT cluster warmte-integratie. Brancheverenigingen (VNCI, KCPK, NZO).
1.2	Lessons learned by Flex-TV.R. Vaktijdschriften en/of hand-out bij lezingen.	Informatief artikel over de inpassing van Flex-TDR bij Cosun Beet Company en de operationele obstakels in de realisatie.	ISPT cluster warmte-integratie, Industrial Heat program (TNO-ECN), brancheverenigingen.

1.3	Eerste artikel vaktijdschrift NPT.	Actief benaderen van de redactie. Inhoud en publicatiedatum afstemmen met redactie en/of Cosun.	Procestechnologen, branchevereniging VNCI. (Petro-) chemie, zuivelindustrie, biochemie.
1.4	Tweede artikel vaktijdschrift Utilities, Chemie of VMT.	Actief benaderen van de redactie. Inhoud en publicatiedatum afstemmen met redactie en/of Cosun.	Installatiebeheerders. (Petro-) chemie, voedselindustrie, zoutproductie.

Tabel 4.3 Kennisdeling door seminars, lezingen en bezoeken

No.	Activiteit en kanaal	Beschrijving	Doelgroep
2.1	Sectordag thermische of mechanische recompressie. Platform industriële warmte.	Organisatie van een sectordag rondom damprecompressie. Compleet programma in samenwerking met DOW Terneuzen en een bezoek aan de TDR-installatie van Cosun Beet Company te Dinteloord. Planning intercampagne 2019/2020.	(Grootschalige) stoom- en warmtegebruikers. Chemie, voedingsmiddelen, utilities.
2.2	Inhoudelijke lezing voor een procestechnologie-event.	Gecombineerde lezing van Cosun Beet Company en BlueTerra over de achtergrond, realisatie en resultaten van Flex-TDR. Voorbereiding door BlueTerra en Cosun Beet Company.	Procestechnologen. (Petro-) chemie, raffinage, voeding, zout.
2.3	Lezing tijdens een beurs (bijvoorbeeld Industrial Heat & Power).	Aantrekkelijke gezamenlijke presentatie voor bijvoorbeeld de energiebeurs of VNP, waarin het Flex-TDR in hoofdlijnen wordt beschreven. Voorbereiding door BlueTerra, presentatie door Cosun, BlueTerra.	Installatiebeheerders. (Petro-) chemie, raffinage, voeding, zout.
2.4	Leveren van een inhoudelijke bijdrage aan interne/externe kennisoverdracht.	Aanschuiven bij een externe (gebruikersgroep-) bijeenkomst over de toepassing van Flex-TDR buiten Cosun.	Procestechnologen (branche)-verenigingen, zoals KCPK, VNCI, NZO. Chemie, suiker/zout winning, raffinage.
2.5	Deelname aan Projectenschouw TKI.	Delen van ervaring en kennis van Flex-TDR met partners uit het onderzoeksprogramma TKI.	Industrie en kennisinstellingen. Chemie, suiker/zout winning, raffinage.
2.6	Masterclass voor lokale hogescholen/ universiteiten.	Het organiseren van een (half-) dagprogramma over meertraps indampen en de toepassing van Flex-TDR bij Cosun Beet Company, locatie Dinteloord. Doelgroep zijn de regionale proces- of industrie-gerelateerde opleidingen van Avans Hogeschool Zeeland of Hogeschool Rotterdam.	Studenten. Procestechnologie, werktuigbouw, (toegepaste-) chemie.
2.7	Contactpunt.	Als aanspreekpunt fungeren voor geïnteresseerde partijen. Filteren van relevante contacten voor Cosun.	Divers.

Gerealiseerde kennisdeling tot op heden

Tabel 4.4 Geplaatste thema-artikelen

Datum	Titel	Medium
2019	Flexibele thermische damprecompressie Cosun Beet Company	Website BlueTerra
11 september 2019	'Groene' suiker dankzij thermische damprecompressie	Utilities
2020	Cosun Beet Company loopt voor op de landelijke klimaatdoelstellingen	RVO
2020	Flex-TDR: het concept	Utilities
2020	Cosun Beet Company Dinteloord bespaart 3,4 miljoen m3 aardgas door hergebruik stoom	Website Topsector Energie
2020	Forse aardgasbesparing Cosun Beet Company	Chemie Magazine & VNCI website

2020	Energiebesparing door Thermische damprecompressie bij Cosun Beet Company	VMT
2020	Whitepaper thermische damprecompressie bij Cosun Beet Company	Website Blue Terra

Tabel 4.5 Verzorgde lezingen en presentaties

Datum	Titel	Bijeenkomst	Doelgroep
22 mei 2019	Flex TVR	ISPT Platform Warmte-integratie	Industriële warmtegebruikers Nederland
9 oktober 2019	Flexibele TDR - stoombesparing door flexibele inzet thermocompressie bij Suiker Unie	Heat and Power beurs	Stoomgebruikers Nederland
26 november 2019	Stoombesparing met thermocompressie	Brabantse Energie Leiders	Industriële energie gebruikers Brabant
29 november 2019	Innovatieve procesmaatregelen CO ₂ reductie	Inspiratietour Zuidwest Nederland NVDE/VEMW	Industriële energie gebruikers
(gepland 2021)	Masterclass inzet Flex-TDR bij Cosun Beet Company Dinteloord	(speciaal dagprogramma Cosun-Avans)	Studenten procestechniek, Avans

5 Resultaten

De thermocompressor is geïnstalleerd in de periode tussen de campagne van 2016 - 2017 en 2017 - 2018. Tijdens deze periode is het stoomsysteem niet in werking en kan er niet live worden getest of de thermocompressor, de metingen en de registratie daarvan correct werken.

Tijdens de campagne kan alles daadwerkelijk worden getest, maar zijn aanpassingen beperkt mogelijk, daar de bietencampagne niet onderbroken kan worden. Als blijkt dat er aanpassingen gedaan moeten worden waarvoor het stoomsysteem buiten werking moet zijn of als grootschalige aanpassingen aan de thermocompressoren nodig zijn, kan dat pas in de periode tussen de twee campagnes (maart tot en met augustus).

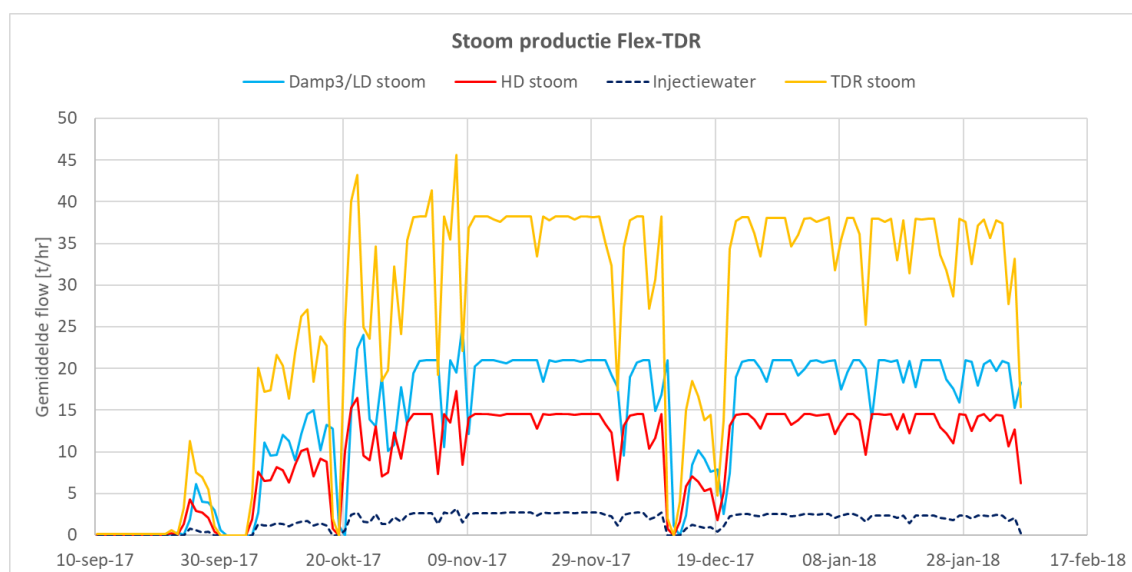
5.1 Campagne 2017 – 2018

Tabel 5.1 Inzet en besparing Flex-TDR gedurende campagne 2017 - 2018

Parameter		Eenheid
TDR in bedrijf	126	Dagen
Damp3 recompressie	51.700	Ton
MD-stoomproductie uit TDR	93.500	Ton
Reductie condenserverlies	22.100	Ton LD-stoom
Aardgasbesparing	2.400.800 76.000	Nm ³ GJ

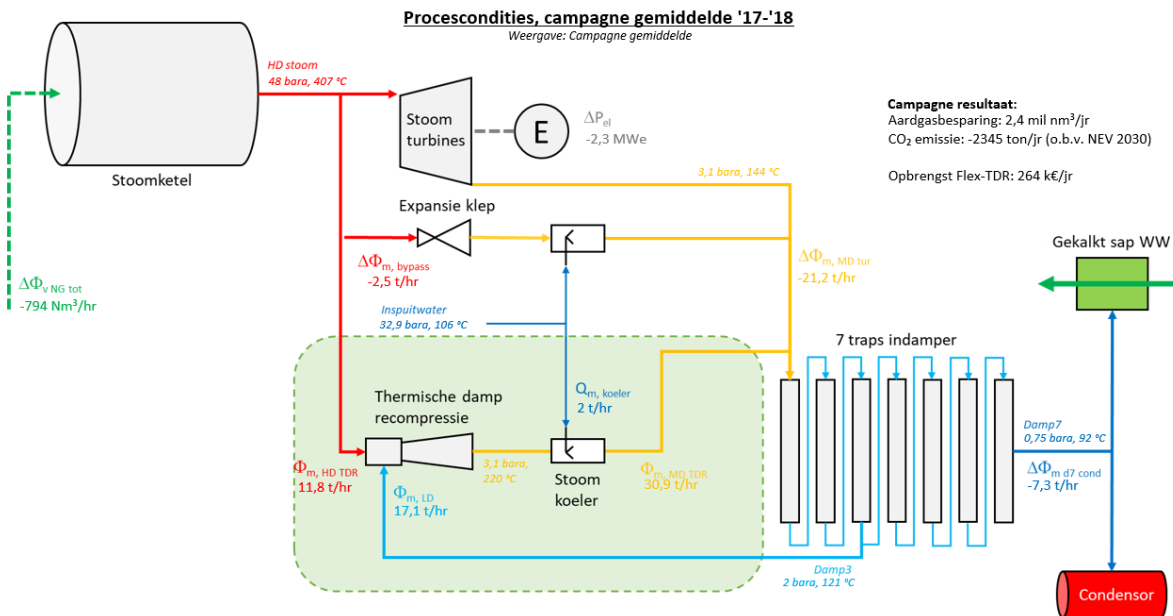
5.1.1 Gemiddelde inzet Flex-TDR

De campagne van 2017 – 2018 was de eerste campagne waarbij de TDR is ingezet. De inzet van TDR is geleidelijk opgebouwd in de eerste drie maanden, zoals weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Inzet TDR gedurende campagne 2017 - 2018

Tijdens de testen bleek er sprake van suikerdoorslag bij een flow van > 40 t/hr. Om dit effect zo klein mogelijk te houden, is de overall inzet van TDR gelimiteerd gebleven tot 50%. Mede hierdoor is de gemiddelde TDR-stoomproductie in deze campagne beperkt gebleven tot 33,8 t/hr, zoals weergegeven in Figuur 5.3.

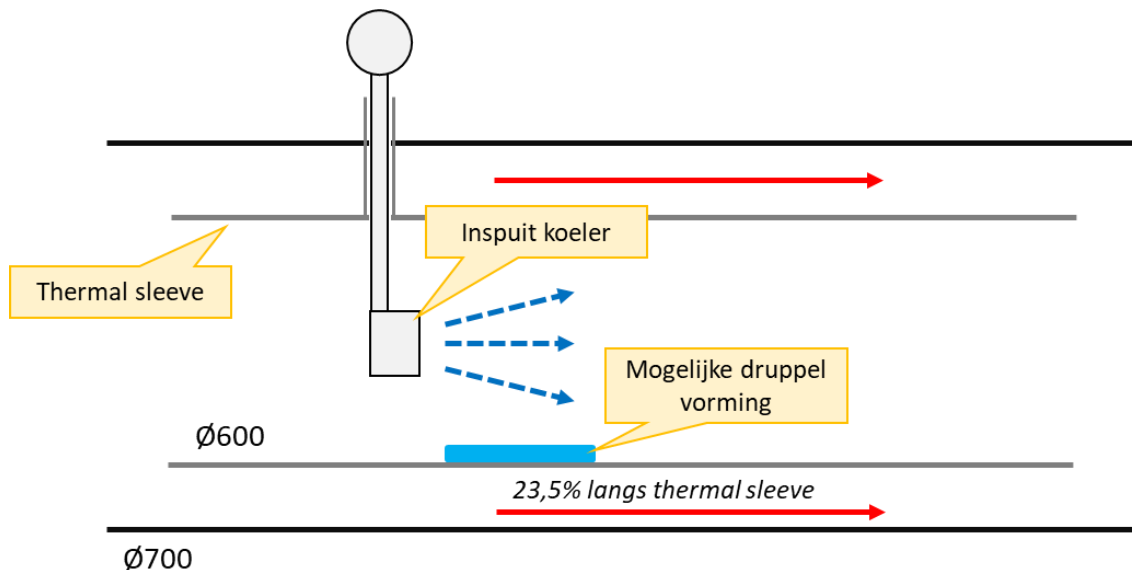


Figuur 5.2 Gemiddelde procescondities gedurende campagne 2017 - 2018

5.1.2 Stringen en afwijkingen

Damplekkage langs thermal sleeve

Na de TDR-ejecteurs is er een inspuitkoeler (desuperheater) geplaatst om de geproduceerde MD-stoom te temperen met condensaat. Eventuele druppelvorming onder deze inspuitkoeler zou tot thermische stress kunnen leiden in het leidingwerk. Voor dit doel is de koeler uitgerust met een thermal sleeve, zoals weergegeven in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 - Schematische weergave van de thermal sleeve

Met deze thermal sleeve worden eventuele druppels opgevangen in een open binnenbuis, waardoor de primaire leiding geen thermische stress ondervindt. In de praktijk bleek echter een substantieel deel (23,5%) van de gevormde MD-stoom langs de tussenliggende ruimte te lopen.

Deze lekstroom verstoort de algehele werking van de inspuitskoeler, waardoor de processtoom te warm bleef. Om verdere problemen te voorkomen, is besloten de thermal sleeve te verwijderen. Monitoring van de leidingstress en slijtage is opgenomen als vervolgactie.

Koeling bij lage stroomflows

De TDR is specifiek ontworpen om flexibel te reageren op veranderende procescondities. Hierdoor kan de uitgaande MD-stroomflow variëren tussen de 5 en 74 t/hr, een zeer groot bereik. De geïnstalleerde stroomkoeler moet in alle condities de stroom kunnen koelen tot reguliere MD-stroomcondities.

Hoewel er vooraf is gekozen voor een koeler met een breed bereik bleek dit in de praktijk moeilijk te realiseren. De menging van injectiewater en stoom was met name bij lage stroomflows niet voldoende, waardoor een deel van het inspuitswater niet werd opgenomen in de MD-stroom. Omdat de gemeten stroomcondities na de inspuitskoeler te warm bleven, stuurde de regeling aan op een verdere verhoging van het injectiewaterdebiet.

Door de toepassing van nieuwe nozzles en de verwijdering van de thermal sleeve is dit probleem uiteindelijk opgelost. In retrospectief zou het beter zijn de stroom na elke TDR-injecteur te koelen, waarmee de koeler beter afgestemd kan worden op de processtroom.

Kleptiming

De hoeveelheid stoom die wordt opgevaardeerd met de TDR wordt geregeld door het in-/uitschakelen van de verschillende ejecteurs. Dit gebeurt door middel van vier HD-stoomafsluiters die de drijvende stroom per ejecteur regelen. Tijdens het schakelen tussen productiestanden werden deze kleppen na elkaar aangestuurd, waardoor de HD-stoomafname en damp3-aanzuiging schokkerig verliepen. Dit resulteerde in ongewenste schommelingen van de omliggende ketel- en indampprocessen.

Deze processchommelingen zijn fors gereduceerd door de schakeling van de kleppen gelijktijdig (één open en één dicht) en snel te doen. De regelbaarheid en daarmee ook de processtabiliteit is verder verbeterd door parabolische kleppen toe te passen.

Condensorregeling

De hoeveelheid stoom die wordt afgevoerd naar de condensor is door toepassing van de TDR sterk gereduceerd of zelfs helemaal nihil. Hierdoor wordt er meer gevraagd van de condensorregeling en de bijbehorende regelkleppen, met als gevolg dat er vaker geschakeld wordt met de verschillende kleppen. In eerste instantie werd eerst één klep volledig opengestuurd en daarna werd een tweede klep bijgenomen. Doordat het regelbereik van de klep boven de 50% beperkt is heeft het volledig opensturen weinig invloed op de doorzet. Op het moment dat pas bij volledige opensturing van de eerste klep een volgende klep deels wordt opengestuurd treden er sterke schommelingen op in de flow. Dit kan worden voorkomen door een tweede klep al bij te nemen voordat de eerste klep volledig opengestuurd is. Dit is nog niet geëffectueerd.

Suikerdoorslag naar condensaat

In het geval de TDR op meer dan 50% van de maximale flow werd ingezet, bleek de aanzuigkracht dusdanig groot dat er processappen (zogenoemde suikerdoorslag) uit de indamper werden meegezogen naar de TDR. Anders dan de reguliere waterdamp bevatten deze processappen suikers die buiten het stroomcircuit moeten blijven, om schade aan de stoomketel te voorkomen.

Tijdens de campagne is deze suikerdoorslag voorkomen door de TDR op maximaal 50% te bedienen. In de daaropvolgende intercampagneperiode is er een druppelvanger (demister) geplaatst in de damp3-leiding, waarmee eventuele water- en sapresten worden opgevangen vóór de TDR. Deze afgevangen sappen worden hergebruikt in de processen of direct afgevoerd naar de waterzuivering.

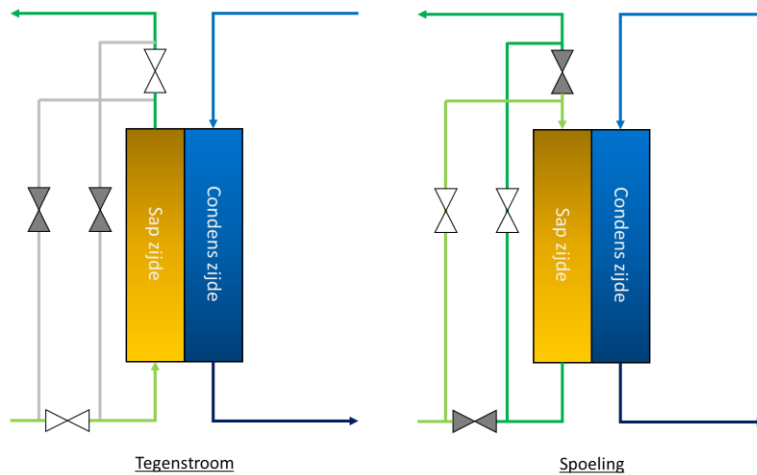
Aanpassen reiniging warmtewisselaar

De geplaatste warmtewisselaar in de condensstroom verwarmt het gekalkte sap, waarmee de uitgaande damp van de indampers verder gereduceerd kan worden. Door tegenstroom van de sap- en condensstroom wordt de maximale hoeveelheid energie overgedragen.

De sapstroom heeft echter een vervuilend effect op de warmtewisselaar, waardoor deze zijde regelmatig gereinigd moet worden. Dit wordt bereikt door de sapstroom binnen de warmtewisselaar

om te draaien, zoals weergegeven in Figuur 5.4. Hiermee staat de warmtewisselaar tijdens het spoelen in meestroom, waardoor er minder warmte wordt overgedragen.

In de originele regeling werd de stromingsrichting om de acht uur veranderd, om zo de opbouw van residu te voorkomen. Om de overdracht te maximaliseren, is de meestroomperiode verkort tot drie minuten. Hiermee wordt het meestroomverlies geminimaliseerd.



Figuur 5.4 Schematische weergave van sapzijdige spoeling

Inconsistente metingen

Op basis van de eerste metingen en berekeningen is gebleken dat een aantal metingen of systemen minder betrouwbaar zijn of minder goed functioneren en wel de volgende.

- De meting van de hoeveelheid lagedrukstoom (damp3) die wordt gecompriëerd. Deze zou normaliter (bij de juiste verhouding van de druk van de motive-stoom en de te leveren stoomdruk) alleen of voornamelijk bepaald worden door het aantal stoomrecompressoren dat in bedrijf is. In de praktijk blijkt dat de gemeten hoeveelheid damp3 vaak, maar niet altijd, veel lager ligt dan verwacht mag worden.
- De meting van de hoeveelheid water die geïnjecteerd wordt in de stoomkoeler om de vereiste uitgangstemperatuur van de stoom te realiseren. De gemeten hoeveelheid water is veel hoger dan theoretisch nodig is. Uit verder onderzoek blijkt dat er meer water wordt geïnjecteerd dan nodig is. Dit wordt veroorzaakt door onvoldoende menging van het water met de oververhitte stoom, waardoor de lokaal gemeten stoomtemperatuur te hoog is en het systeem meer water injecteert. In de loop van de campagne zijn hier in samenspraak met de fabrikant verbeteringen in aangebracht, maar dit heeft er nog niet toe geleid dat de gemeten waarde nu overeenkomt met de verwachte waarde. De verwachting is dat dit probleem vooral bij een lage capaciteit van de stoomkoeler optreedt, daar de menging dan niet voldoende/volledig is.

Door deze geconstateerde afwijkingen tijdens de campagne kan de performance van de thermocompressor niet direct worden afgeleid uit de metingen. Wel is uit de energiecijfers van de managementrapportages een duidelijke daling van het energiegebruik te zien. Welk deel voor rekening komt van de thermocompressoren is hier niet direct uit af te leiden. De performance van de thermocompressor zal indirect worden bepaald uit een combinatie van metingen, thermische berekeningen en gefundeerde aannames.

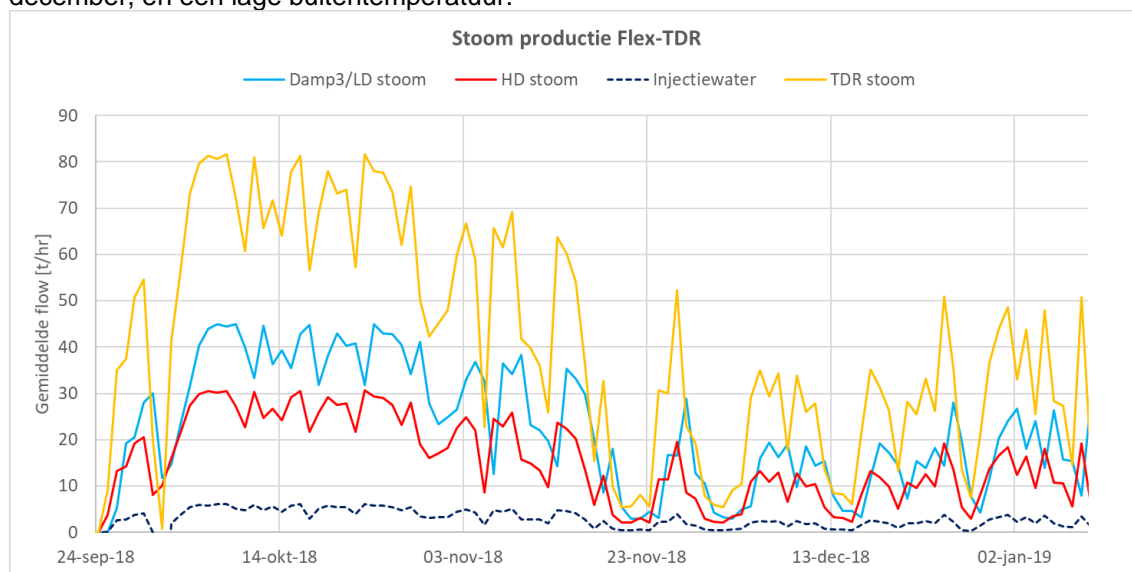
5.2 Campagne 2018 - 2019

Door de warme zomer zijn er minder suikerbieten beschikbaar, maar wel met een hoger suikerpercentage. Dit resulteert in een kortere bietencampagne, die begin januari al afgelopen was. Het tekort aan suikerbieten wordt (gedeeltelijk) aangevuld met ingekochte rietsuiker.

Parameter		Eenheid
TDR in bedrijf	108	Dagen
Damp3-recompressie	58.800	Ton
MD-stoomproductie uit TDR	105.800	Ton
Reductie condensorverlies	25.200	Ton LD-stoom
Aardgasbesparing	2.234.000 70,700	Nm ³ GJ

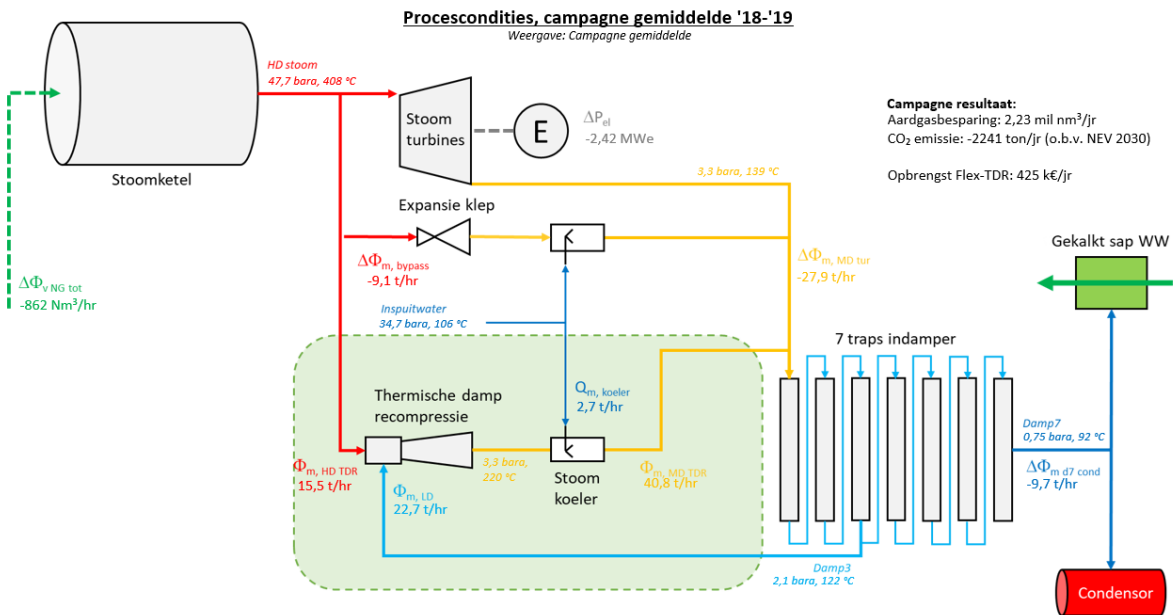
5.2.1 Gemiddelde inzet Flex-TDR

Voor een korte periode is de Flex-TDR volledig belast geweest, maar na november is de inzet geleidelijk verlaagd tot circa 30 t/hr zoals weergegeven in Figuur 5.5. Dit is mede het gevolg van een kapotte sapwarmtewisselaar de bijmenging van rietsuiker in de periode van 8 november tot eind december, en een lage buitentemperatuur.



Figuur 5.5 Inzet TDR gedurende campagne 2018 - 2019

Door deze en andere condities is de inzet van TDR beperkt gebleven, waardoor er globaal hetzelfde resultaat behaald is als bij de eerste campagne. De gemiddelde proceswaarden zijn weergegeven in Figuur 5.6.



Figuur 5.6 Gemiddelde procescondities gedurende campagne 2018 - 2019

5.2.2 Stringen en afwijkingen

Werkzaamheden tijdens de intercampagneperiode

Nieuwe afloop demister

Afgevangen water uit de demister lijkt niet optimaal naar de indamper te lopen. De aansluiting op de indamper is in de ontwerpfase verschillende keren aangepast. De uiteindelijke leiding lijkt bij stilstand van de TDR het opgevangen water slecht af te voeren, maar dit levert geen serieuze problemen op.

Wanddikte TDR

Tijdens de intercampagne is er een straalbuis geopend vanuit de zorgplicht die Cosun Beet Company heeft voor de installatie. Elk jaar wordt er één thermocompressor geopend en wanneer de vierde thermocompressor aan de beurt is voert een erkende keuringsorganisatie de inspectie uit.

Geluidsproductie TDR

Zoals verwacht, produceert de TDR veel geluid. Tijdens de bouw zijn hier verschillende maatregelen voor getroffen, zoals een geluidsomkasting van de ejecteurs en thermo-akoestische isolatie van het leidingwerk. Toch blijkt er nog te veel geluid te worden geproduceerd, met name in het leidingwerk.

Voorafgaand aan deze campagne is er meer massa toegevoegd aan het leidingwerk om zo de vibraties te verminderen. Helaas heeft dit nog niet het gewenste effect gehad. Met een geluidsmeting in december wil Cosun Beet Company meer inzicht krijgen in de geluidsbronnen en hier passende maatregelen voor nemen. Deze meting is toegelicht in 6.4.

Meer vertrouwen in regeling

In de tweede campagne is er door de operators meer gebruikgemaakt van de automatische TDR-regeling. Deze regeling stuurt de hoeveelheid aangezogen damp3 op basis van verschillende procesparameters, zoals de condensorklep en het suikergehalte van het diksap (BRIX-meter).

Hoewel de eerste ervaringen goed zijn, blijken er een paar fouten in de software te zitten.

- De regeling reageert (te) snel op veranderingen van het stoomcircuit binnen de indamper. Sapcondities blijven achter, waardoor de TDR-regeling soms overcompenseert. Hiervoor is een vertraging ingebouwd om dit te corrigeren.
- Bij een te lage damp3-flow wordt de TDR vaak op de hand in de laagste stand gehouden om het systeem op temperatuur te houden. Hiervoor is een warmhoudstand toegevoegd aan de software.
- Onder de operators leeft het onderbuikgevoel dat de laatste indampertrappen minder functioneren wanneer de TDR actief is. Dit is niet gemeten dus moeilijk te onderbouwen.

Flowmeting damp3 wijkt nog af

Net zoals de stoomkoeler heeft ook de geplaatste stoomflowmeter in de damp3-leiding problemen met de grote fluctuaties in de aangeboden stoomflow. Hierdoor is de stoommeting niet betrouwbaar genoeg om de prestaties van de TDR uit af te leiden.

Dit is in de vorige campagne opgelost door de flow te berekenen op basis van andere procesmetingen. Ook in deze campagne kan het effectieve rendement van de TDR alleen worden bepaald wanneer de aangezogen damp3-flow bekend is.

Net als bij de inspuikoeleer had er achteraf gezien beter gekozen kunnen worden voor vier losse flowmeters (voor elke ejecteur één), in plaats van één centrale flowmeter, die een erg groot bereik moet hebben.

Daadwerkelijke energiebesparing

Door een lekke ruwsapwarmtewisselaar die hierdoor gedurende langere tijd buiten bedrijf was en daarnaast vervuiling van de gekalktsap-warmtewisselaars was de aanwarming met restwarmte verslechterd waardoor er meer stoom uit de indampers ingezet moest worden. Hierdoor was de inzet van thermocompressie minder dan gewenst.

Stoomkoeler nog niet optimaal

Hoewel er gedurende de vorige campagne al verbeteringen zijn doorgevoerd, is de stoomkoeling ook deze campagne nog niet optimaal. Vooral bij lage flows zorgt dit voor een overschot aan ingespoten water.

TDR in bedrijf met rietsuiker

Door de lage opbrengst van de suikerbieten oogst heeft Cosun Beet Company tijdens deze campagne meer rietsuiker verwerkt dan gepland en meer dan in 2017 (2018: 34.000 t; 2017: 0 t). Dit vermindert met name ook het "beschikbare" condensatorverlies om door thermocompressie te verminderen. Door dat de TDR stoomzijdig sneller dan verwacht kon reageren, kon het condensatorverlies gedurende de campagne tot een minimum worden beperkt.

Aanvraag patent Flex-TDR

Na realisatie van de demonstratie-installatie bij Cosun Beet Company Dinteloord, heeft Cosun patent aan gevraagd voor de flexibele thermische damprecompressie. In augustus 2019 is dit patent positief beschikt, waarna promotieactiviteiten kunnen worden ontplooid.

Onder dit patent is de toepassing van Flex-TDR binnen de Nederlandse en Europese suikerindustrie beperkt tot Royal Cosun (moederbedrijf Cosun Beet Company). Hiermee beschermt Royal Cosun zich tegen het gebruik van deze techniek door nieuwe spelers op de suikermarkt. Gebruikers uit andere sectoren kunnen de opgedane kennis van Flex-TDR wel implementeren in hun eigen processen.

5.3 Campagne 2019 - 2020

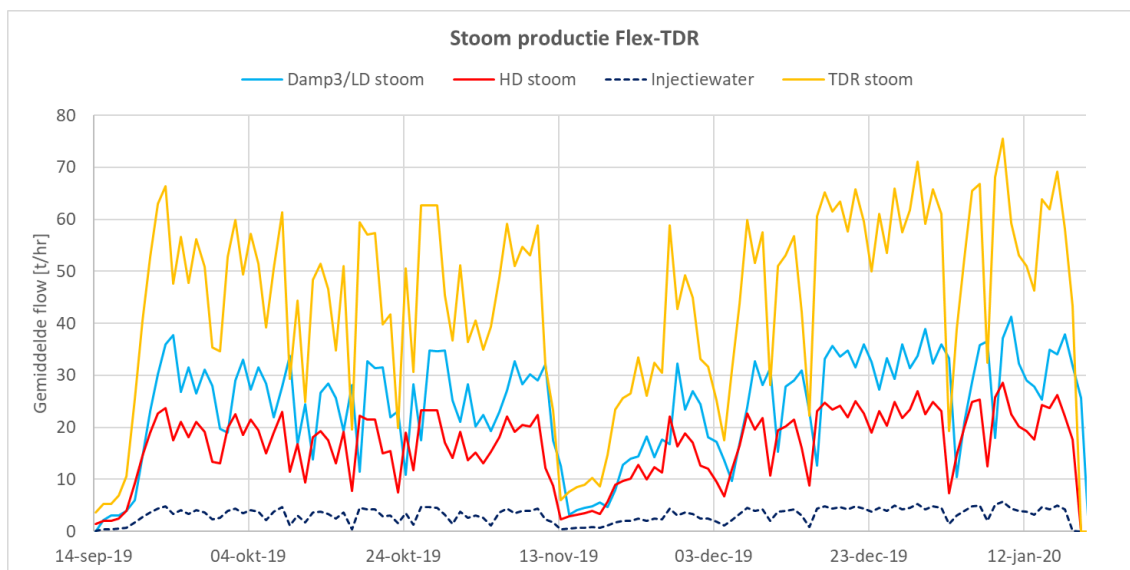
Op 6 september 2019 is de bietencampagne 2019 - 2020 gestart. De bieten hebben deze campagne een relatief laag suikergehalte, waardoor er meer water wordt verdampt. Daarnaast zijn er relatief veel storingen geweest in de fabriek, waardoor de dagproductie vaak lager was dan gepland.

Tabel 5.2 Inzet en besparing flex TDR gedurende campagne '19-'20

Parameter		Eenheid
TDR in bedrijf	127	Dagen
Damp3-recompressie	74.300	Ton
MD-stoomproductie uit TDR	134.900	Ton
Reductie condensorverlies	31.900	Ton LD-stoom
Aardgasbesparing	3.563.600 112.800	Nm ³ GJ

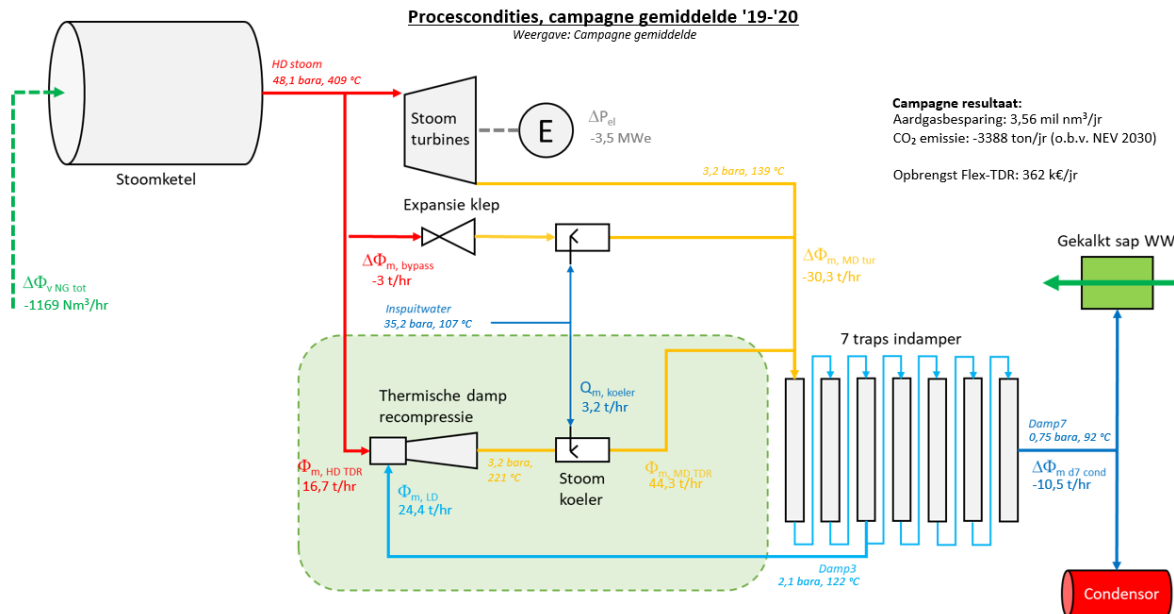
5.3.1 Gemiddelde inzet Flex-TDR

De TDR heeft tijdens lang (maar met onderbrekingen in november en december) op maximale capaciteit gedraaid. Dit door een relatief laag suikergehalte in de biet in 2019 waardoor extra behoefte was aan de werking van de thermocompressoren. De hoge inzet van de thermocompressie is zichtbaar in de daggemiddelde proceswaarden in Figuur 5.7.



Figuur 5.7 Inzet TDR gedurende campagne 2019 - 2020

Op 9 januari 2020 heeft de TDR een bijna maximale dagproductie gehaald door de recompressie van 988 ton damp3 (94% van het maximale debiet). Het campagnegemiddelde lag iets later met een gemiddelde recompressie van 24,4 ton/hr, zoals weergegeven in Figuur 5.8.



Figuur 5.8 Gemiddelde procescondities gedurende campagne 2019 - 2020

5.3.2 Stringen en afwijkingen

Werkzaamheden tijdens de intercampagneperiode

Schoonmaak	Demister is geopend voor een inspectie. De rest van de installatie is niet schoongemaakt of geïnspecteerd. De koeler zou wel geïnspecteerd en schoongemaakt moeten zijn; opnemen in onderhoudsschema.
Vervuiling koeler	Er lijkt een verstopping te zijn in de stoomkoeler, mogelijk door (eerdere) suikerdoorslag. Hierdoor is er een onderbreking in het regelbereik.
Ruwsap WW	De warmtewisselaar heeft gelekt in de campagne. Tijdens intercampagne is deze geïnspecteerd en voorzien van nieuwe pakkingen.

Aanpassingen automatische regeling aantal straalbuizen in operatie

In eerdere campagnes bleek dat de operators de automatische regeling uitschakelden, om zo langzamer te schakelen of straalbuizen warm te houden bij een lage doorzet. Deels was dit een vertrouwenskwestie, deels een (te grote) vertraging in het regelsysteem. Dit laatste is aangepast, waardoor de operators de TDR veelal op de automatische stand laten staan.

Overmaat water na stoomkoeler

Door het grote bereik van het stoomdebiet is de regeling voor stoomkoeling bij een lage doorzet niet nauwkeurig, waardoor er te veel water wordt geïnjecteerd, wat in de knock-out drum weer wordt verwijderd. In eerdere campagnes is dit probleem onderzocht met Emerson. In de huidige situatie wordt er nog wel te veel geïnjecteerd, maar is de situatie acceptabel. Er zijn geen verdere acties gepland.

Bij een nieuwe installatie zou dit probleem anders aangepakt kunnen worden, bijvoorbeeld door koelers direct na elke straalbuis te plaatsen (minder groot bereik per koeler nodig). Als alternatief zou de koeler ook verticaal gebouwd kunnen worden. In deze opstelling zou koelwater een langere verblijftijd krijgen door de zwaartekracht en uiteindelijk onderin opgevangen kunnen worden.

Overige observaties tijdens campagne

Schoonmaakprogramma	Door TDR is de rol van warmteterugwinning toegenomen. Er is een strikt reinigingsprogramma gestart om de optimale werking van de warmtewisselaars te borgen.
Ruwsap WW	De warmwater-bypass was gesloten tijdens de campagne. Hierdoor is de druk te ver toegenomen, waardoor er een pakking is uitgeblazen. Na het vervangen van de pakking is de bypass iets geopend waardoor de WW-druk afneemt, maar de WW ook minder warmte afneemt. Dit is een tijdelijk probleem; in de nabije toekomst wordt de WW verplaatst naar de begane grond waarmee het drukverschil tussen ruwsap en warm water afneemt.
Effect van schakelingen	Het schakelen heeft een minimaal effect op de ketelprestaties. Alleen het vertraagd schakelen wordt gemerkt in de ketels. Dit wordt voorkomen door de regelsnelheid te verhogen.
Inspuitwater	Het aangevoerde ketelwater naar de inspuitkoeler is niet zuiver. Hierdoor verstopten de filters vaak.
Koppeling van regelingen	De link met de kookstationregeling is niet optimaal. Er zijn problemen met de communicatie in de PID-regelaars van de verschillende processen. De procesfluctuaties zijn te hoog en het systeem reageert te langzaam waardoor de operators zelf ingrijpen.
Maximale TDR-capaciteit	De TDR heeft regelmatig op volle capaciteit gewerkt, zonder noemenswaardige suikerdoorslag.
Lekkage HD-klep 3	De HD-klep voor straalbuis 3 lekt, waardoor de straalbuis te warm wordt. Dit moet worden opgelost in de intercampagne.
Keteldruk	De keteldruk wordt door operators soms verlaagd voor meer processtabiliteit en een hoger ketelrendement. Bij een druk onder de 48 bar is meer HD-stoom nodig voor compressie, waarmee het totale rendement daalt. Dit is onder de aandacht bij operations.

6 Verdiepend onderzoek gedurende pilot

Naast de dag-tot-dag-ontwikkelingen die zijn beschreven in hoofdstuk 5 zijn er tijdens de pilot ook verdiepende onderzoeken geweest rondom de Flex-TDR-installatie. Deze zijn veelal bedoeld om hardnekkige operationele problemen te kunnen verhelpen of om een beter beeld te krijgen van de werking en performance van de TDR.

6.1 Stoomflowmetingen (campagne 2017 - 2018)

Door afwijkingen van de metingen van zowel de injectiewaterflow als de damp3-flow en het feit dat de HD-stoomflow naar de thermocompressoren niet wordt gemeten, is op dit moment geen sluitende energie- of massabalans van de thermocompressor te maken. Er zijn een aantal mogelijke benaderingen om de performance vast te stellen en wel de volgende.

- Mogelijkheid #1: baseren op het aantal thermocompressoren dat in bedrijf is; de (theoretische) hoeveelheid aangezogen damp3 is hiermee bekend. De benodigde hoeveelheid HD-stoom wordt berekend op basis van de theoretische hoeveelheid stoom die voor thermocompressie nodig is. De besparing HD-stoom bestaat uit $3/7$ *hoeveelheid damp3 die wordt hergebruikt. Opgemerkt wordt dat in deze berekening/benadering de gemeten hoeveelheid injectiewater niet klopt met de enthalpie van de damp na de koeler.
- Mogelijkheid #2: baseren op gemeten flow van damp3 en injectiewater. De hoeveelheid damp3 die wordt aangezogen, wordt gemeten. Ook de hoeveelheid injectiewater voor de koeling wordt gemeten. Uit de energie- en massabalans wordt hiermee de benodigde hoeveelheid HD-stoom bepaald.
- Mogelijkheid #3: baseren op het aantal thermocompressoren dat in bedrijf is en het gemeten debiet van injectiewater. De (theoretische) benodigde hoeveelheid HD-stoom is hiermee bekend. De hoeveelheid aangezogen damp3 kan worden bepaald uit het kloppend maken van de massa- en energiebalans.
- Mogelijkheid #4: variant op mogelijkheid #1. De hoeveelheid damp3 en HD-stoom naar de thermocompressor worden bepaald op basis van het aantal thermocompressoren dat in bedrijf is. De hoeveelheid injectiewater wordt bepaald uit de energiebalans.
- Mogelijkheid #5: injectiewater baseren op het aantal thermocompressoren dat in bedrijf is en verder uitgaan van het gemeten debiet van damp3. De benodigde hoeveelheid HD-stoom kan worden bepaald uit het kloppend maken van de massa- en energiebalans.

Tabel 6.1 Berekeningen thermocompressie: gemiddelde waarden van de campagne op uurbasis

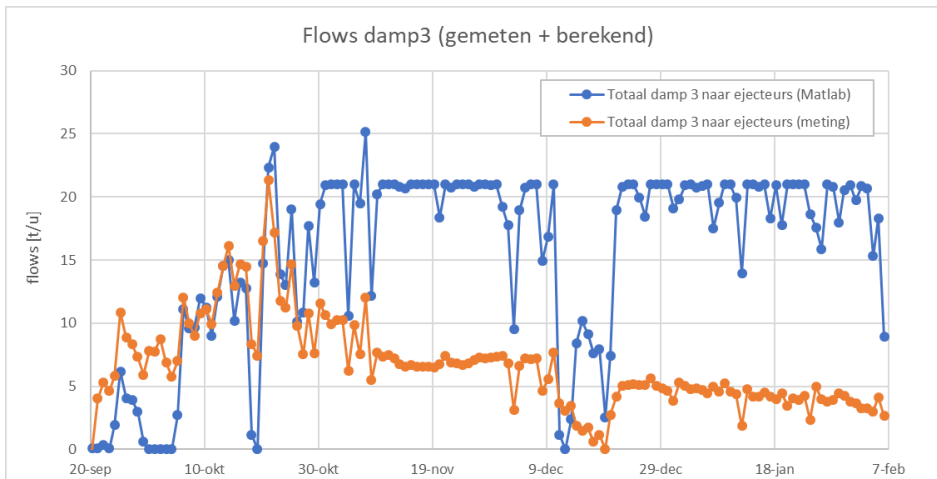
Gemiddelde op uurbasis campagne 2017 - 2018		#1	#2	#3	#4	#5
Hoeveelheid damp3	Ton/uur	14,5	6,3	-112,3	14,5	6,3
Hoeveelheid HD-stoom	Ton/uur	10,0	21,0	10,0	10,0	9,2
Hoeveelheid injectiewater	Ton/uur	4,1	4,1	4,1	1,8	1,8
Hoeveelheid damp na koeler	Ton/uur	28,6	31,4	-98,1	26,2	17,2

Uit de resultaten van de bovenstaande berekeningen blijkt dat mogelijkheid 3 geen reële resultaten oplevert omdat de gemeten flow van injectiewater blijkbaar zoveel hoger is dat dit gemiddeld over de campagne resulteert in een berekende flow van aangezogen damp3 die negatief is.

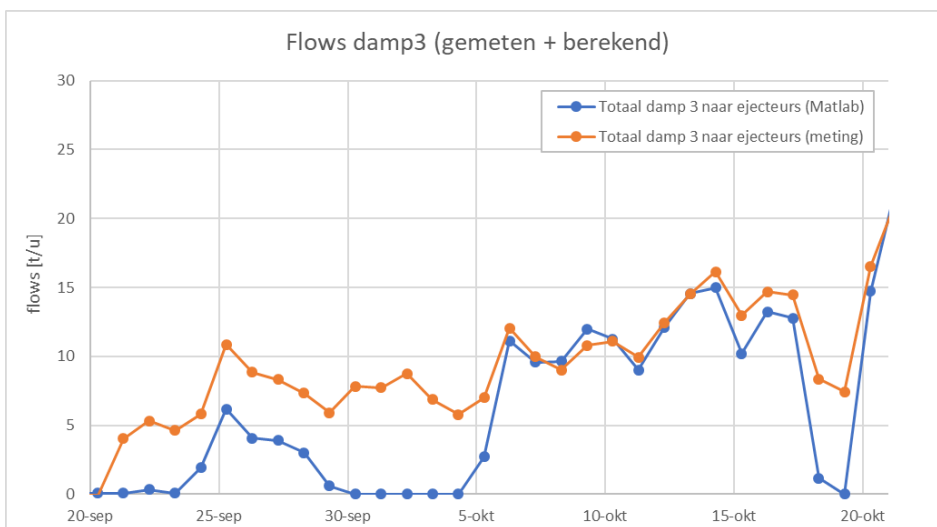
De andere rekenmethodes zijn verder onderzocht in de paragrafen 6.2 en 6.3.

6.2 Discussie stoomflowmetingen (campagne 2017 - 2018)

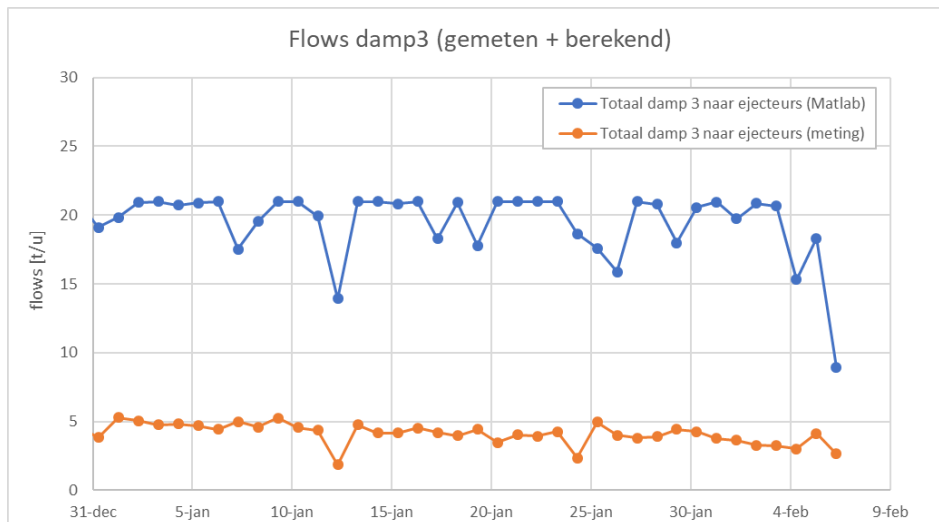
In onderstaande diagrammen worden de metingen van damp3 vergeleken met de berekende waarden van damp3. In het eerste deel van de campagne (zie Figuur 6.2) was er nog een redelijke overeenkomst tussen deze twee waarden. Vanaf eind oktober is te zien dat de gemeten hoeveelheid tot een factor 4 lager is dan de berekende hoeveelheid damp3 die wordt gecomprimeerd (zie Figuur 6.3).



Figuur 6.1 Gemeten en berekende damp3 flow gedurende de campagne 2017 - 2018



Figuur 6.2 Detail gemeten en berekende damp3-flow - begin van de campagne 2017 - 2018



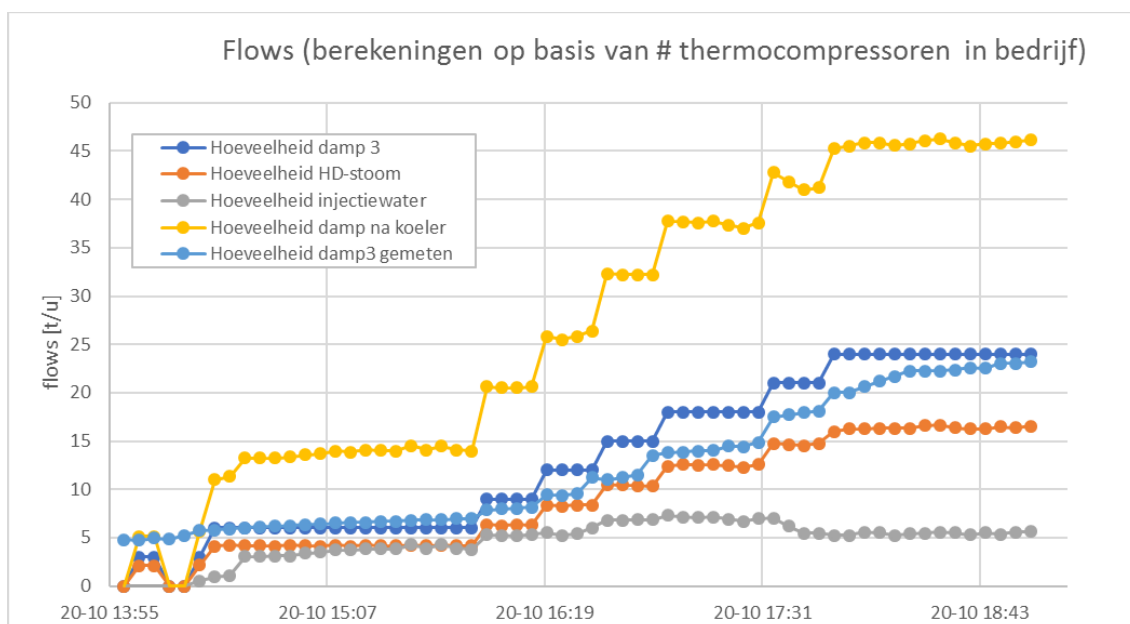
Figuur 6.3 Detail gemeten en berekende damp3-flow - eind van de campagne 2017 - 2018

Hieruit is te concluderen dat de meting van damp3 niet voldoende betrouwbaar is om de bepaling van de performance van de TDR op te baseren. Om vast te stellen wat wel een goede en betrouwbare combinatie van metingen en berekeningen is, zijn testschakelingen uitgevoerd, zoals beschreven in de volgende paragraaf.

6.3 Testschakelingen TDR-compressoren (campagne 2017 - 2018)

Zoals aangegeven in paragraaf 3.4 worden sommige proceswaarden afgeleid uit andere metingen. Om de performance van de TDR te kunnen vaststellen moet worden bepaald welke proceswaarden gemeten en welke berekend dienen te worden. Hiervoor is op 20 oktober 2017 een schakeltest uitgevoerd. Gedurende deze test was het indampproces vrij constant, wat interferentie van de TDR met de onderliggende processen gedurende de test minimaliseert.

Door de combinatie van actieve TDR-ejecteurs te variëren, is de aangezogen hoeveelheid damp3 gevarieerd in stappen van 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 en 24 t/h. Dit is weergegeven in Figuur 6.4.



Figuur 6.4 Procesflows gedurende de schakeltest op 20 oktober 2017

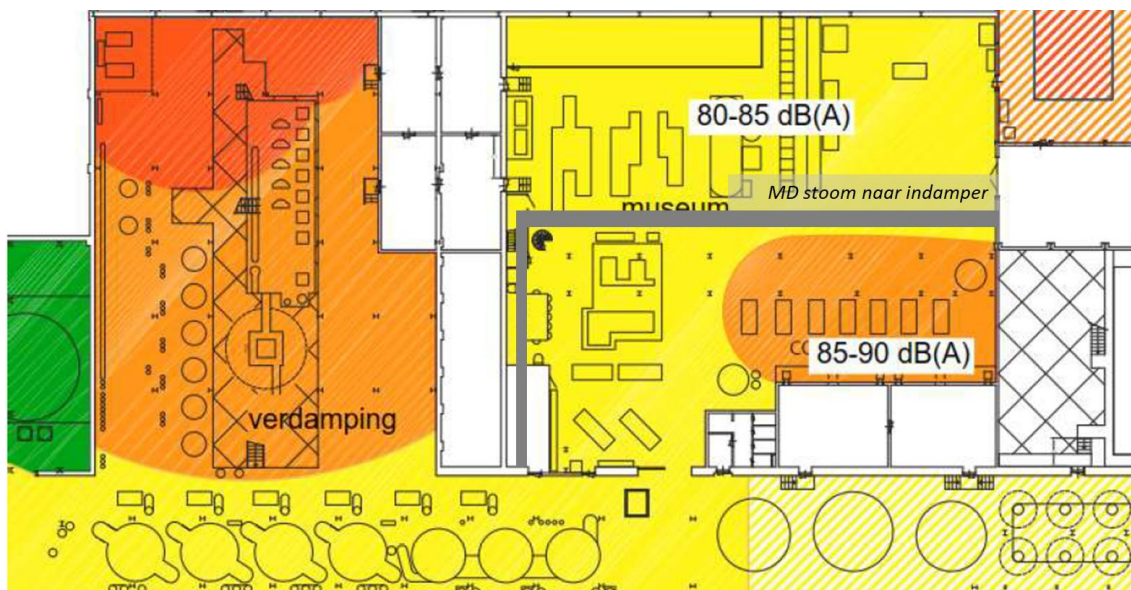
De doorzet van de ejecteur wordt primair bepaald door de diameter van de venturibus en secundair door de HD-stoomdruk. De HD-stoomdruk is constant gehouden tijdens de test, zodat de aangezogen hoeveelheid damp3 (donkerblauwe lijn) ook daadwerkelijk overeenkomt met de ontwerpwaarden van de ejecteurs. De lichtblauwe lijn geeft de gemeten hoeveelheid damp3 weer. Deze wijkt na elke schakeling significant af van de ingestelde waarde. Na verloop van tijd benadert deze de ingestelde waarde. De gemeten hoeveelheid damp3 kan in de praktijk situatie, waarin veel schommelingen van de aangezogen damp3 plaatsvinden, daarom niet worden gebruikt. In de figuur is ook de gemeten hoeveelheid injectiewater, die wordt gebruikt om de stoom te koelen, weergegeven. Als de hoeveelheid aangezogen en geproduceerde damp stijgt, moet ook de hoeveelheid injectiewater evenredig stijgen. Dit is echter tijdens de test niet het geval, waardoor de gemeten hoeveelheid injectiewater geen betrouwbare meting is om de performance mee vast te kunnen stellen⁴.

De berekeningsmethode die overblijft, is uitgaan van het aantal thermocompressoren dat in bedrijf is (berekeningsmethode 4, zie paragraaf 6.1). Hiermee kan de benodigde hoeveelheid HD-stoom, het aangezogen debiet van damp3 en de benodigde hoeveelheid injectiewater worden bepaald.

6.4 Geluidsproductie TDR (campagne 2019 - 2020)

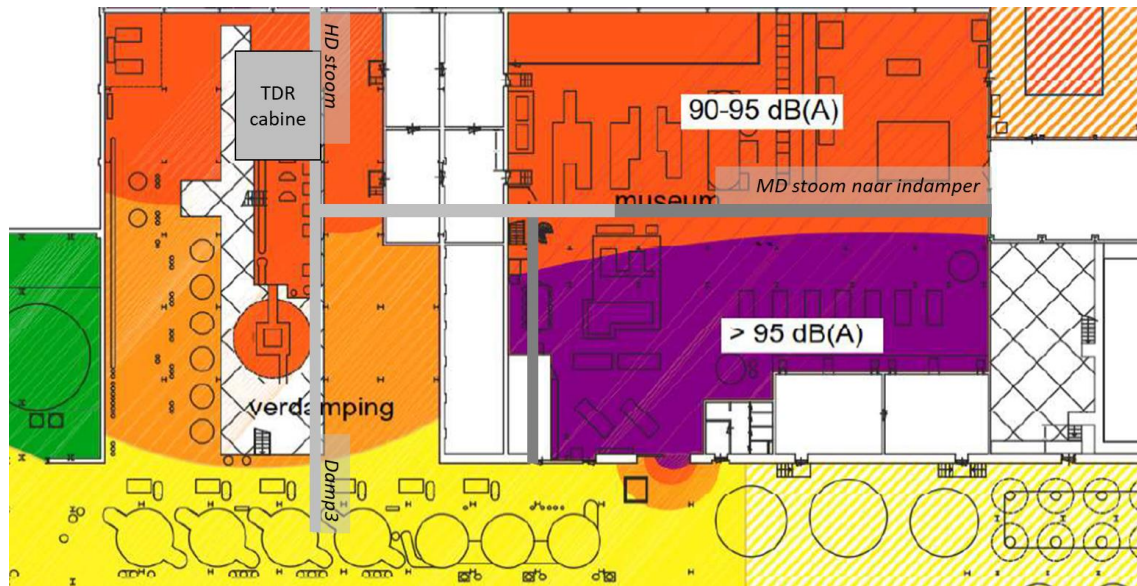
Tijdens de eerste campagnes bleek de TDR meer geluid te produceren dan verwacht. Deze geluidsproductie is vooral merkbaar rondom het MD-leidingwerk en minder in de directe omgeving van de straalbuizen. Deze geluidsoverlast wordt stukje bij beetje opgelost, maar is nog steeds te hoog bij hoge TDR-doorzet.

Aan het begin van de campagne 2019 - 2020 is er een geluidsmeting uitgevoerd door Peutz. Tijdens deze test zijn er geluidsmetingen uitgevoerd op verschillende plekken in de fabriek, waaronder het gebied rondom de stoomkoeler en het leidingwerk richting de indampers (museumgebied). Tijdens deze meting is met de TDR geschakeld om het effect van een hogere TDR-doorzet te meten. De meetresultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 6.5 en Figuur 6.6.



Figuur 6.5 Geluidsniveau voor plaatsing Flex-TDR (2017). Bron: Peutz

⁴ Later bleek dat de meting van de hoeveelheid injectiewater waarschijnlijk wel juist is, maar dat er te veel water geïnjecteerd werd, wat in de waterafscheider weer verwijderd werd, zie hiervoor ook paragraaf 5.1.2.



Figuur 6.6 Geluidsdruk na plaatsing TDR bij maximale capaciteit (2019). Bron: Peutz

Uit deze metingen blijkt er een duidelijke toename te zijn van de geluidsdruk binnen de fabriek. Deze stijging is echter vooral merkbaar rondom het MD-leidingwerk in het museumdeel en minder in de directe omgeving van de straalbuizen. Daarnaast blijkt vooral de ondersteunende staalconstructie geluid te produceren, zoals weergegeven in Figuur 6.7.



Figuur 6.7 - Detail meting rondom museumleiding. Bron: Peutz

Omdat geluidsbelasting zich stapelt, is de aanwezige geluidsdruk van de compressoren in het museum (Figuur 6.5, rechts onder) versterkt. Bij maximale capaciteit van de TDR is hierdoor de gemiddelde geluidsdruk in dit deel > 95 dB(a). Omdat de stoomleidingen en draagconstructies gekeurd zijn, is het lastig deze geluidsbron achteraf te dempen.

Een oplossing kan zijn om de leiding en constructie als geheel af te schermen door een omkasting of verlaagd plafond. Een alternatief is het plaatsen van geluidsabsorberend materiaal in de ruimte. In navolging van dit onderzoek maakt Cosun Beet Company een plan om de geluidsdruk te verlagen. Bij werkzaamheden in deze area wordt voorsnag de TDR teruggestuurd in capaciteit om de geluidsdruk te verlagen.

7 Evaluatie

Begin 2020 is de Flex-TDR-pilot afgesloten en zijn de resultaten gebundeld in deze rapportage. Hieruit is de balans opgemaakt; wat heeft Flex-TDR opgeleverd voor Cosun Beet Company en wat zou er in het vervolg beter kunnen?

7.1 Inzet TDR en effect op productie

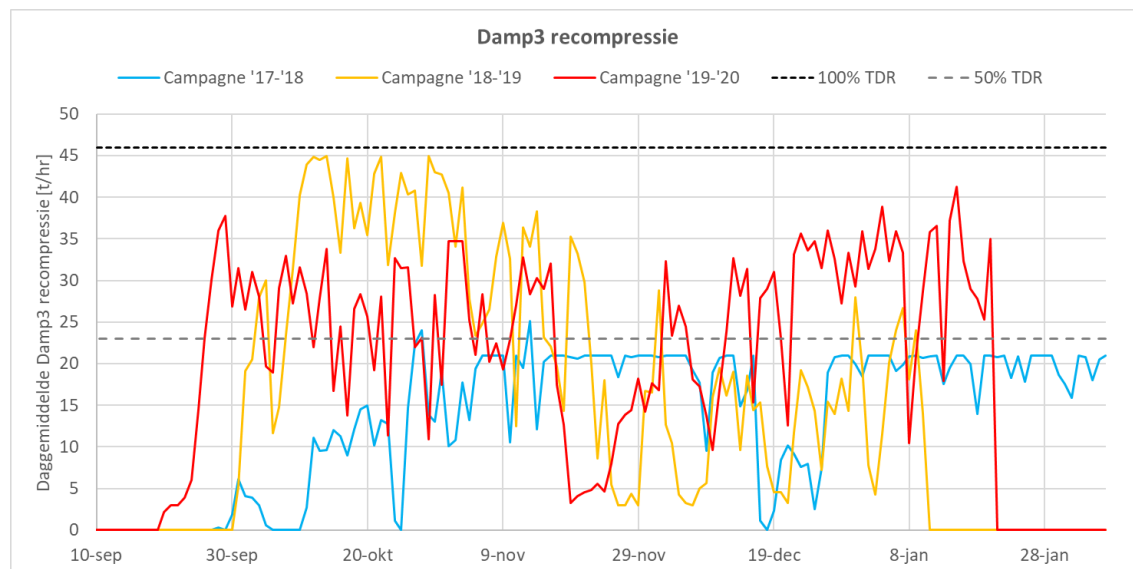
In Tabel 7.1 wordt een overzicht gegeven van de Flex-TDR-inzet tijdens de pilot. Deze kentallen worden verder toegelicht in onderstaande alinea's.

Tabel 7.1 Kerncijfers inzet Flex-TDR-pilot

		Campagne 2017 - 2018	Campagne 2018 - 2019	Campagne 2019 - 2020	Totaal
Damp3-recompressie	[ton]	51.700	58.800	74.300	184.800
Reductie condensorverlies	[ton]	22.100	25.200	31.900	79.200
Aardgasbesparing	[nm ³]	2.401.000	2.234.000	3.564.000	8.198.000
Werkelijk gemiste E-productie	[MWh]	6.960	6.270	10.660	23.900
CO ₂ -emissiereductie Op basis van MEE-kentallen	[ton CO ₂]	62	-73	301	290
Op basis van NEV 2030 ⁵	[ton]	2.345	2.241	3.388	7.973

Inzet van TDR tijdens de campagnes

Tijdens de eerste twee campagnes waren er wat technische problemen met de installatie, waardoor het niet altijd mogelijk was het maximale potentieel te benutten. In het derde jaar waren deze problemen opgelost, waardoor de TDR maximaal kon worden ingezet zoals weergegeven in Figuur 7.1.



Figuur 7.1 Inzet van Flex-TDR op basis van de gecomprimeerde hoeveelheid damp3

⁵ De Nationale Energie Verkenning 2030 (of NEV 2030) geeft een beeld van het verwachte energielandschap in 2030. De CO₂-emissiefactoren voor elektriciteit die hierin genoemd worden zijn gebaseerd op het voorgenomen beleid voor de verduurzaming van de elektriciteitsproductie.

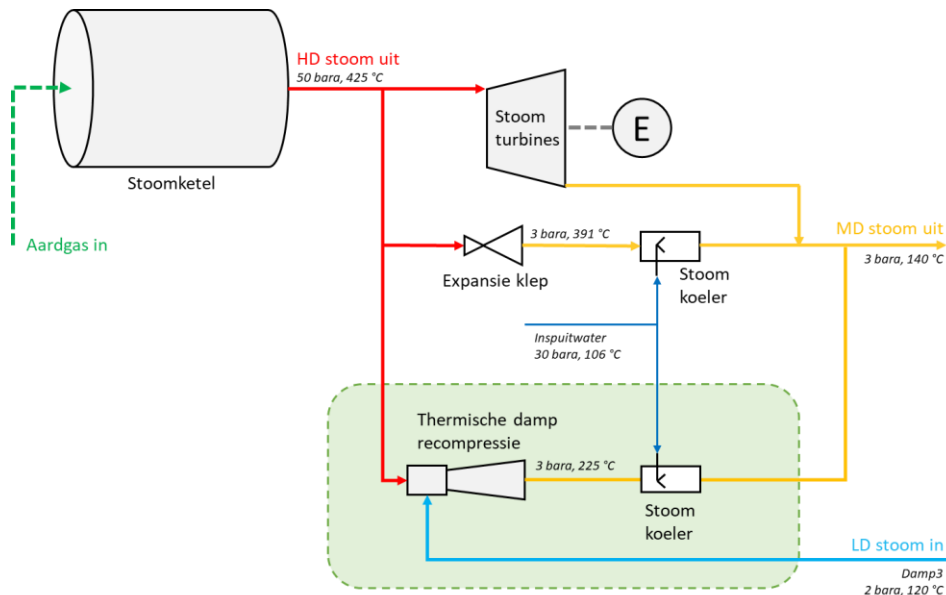
Effect op bedrijfsvoering

Op basis van de pilot kan worden geconcludeerd dat de Flex-TDR robuuster in gebruik is dan vooraf gedacht. Daarnaast heeft de Flex-TDR geresulteerd in een betere controle over het indampproces, waarmee storingen in de fabriek beter konden worden opgevangen. Geconstateerd kan worden dat de installatie is gebouwd als een pilot voor Cosun Beet Company Dinteloord, maar dat deze inmiddels volwaardig meedraait in de productieprocessen.

Aandachtspunten zijn wel het ruime bereik van de stoomdebieten in combinatie met de gekozen stoomkoeling en de betrouwbaarheid van de stroomflowmetingen.

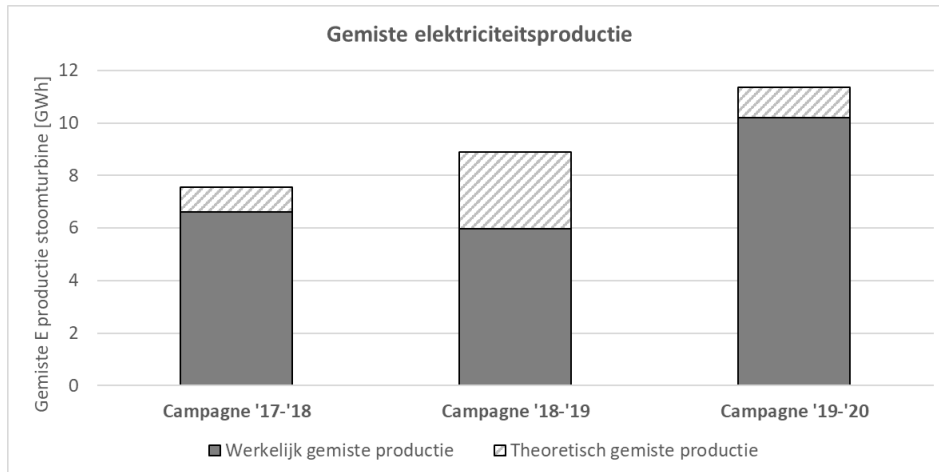
Gemiste elektriciteitsproductie

Zonder TDR wordt de benodigde MD-stoom geproduceerd als 50 barg HD-stoom. Deze stoom wordt geëxpandeerd over een turbine, waarbij de benodigde elektriciteit voor de processen wordt geproduceerd. Daarnaast kan er maximaal 5 MWe worden geleverd aan het openbare net. Als de stoomvraag uit het proces zo hoog is dat zowel de interne elektriciteitsvraag als de maximale exportcapaciteit worden benut door het afdalen van de stoom over de turbine, wordt het resterende deel van de MD-stoom geproduceerd door de HD-stoom via een expansieklep en een stoomkoeler te leiden, zoals weergegeven in Figuur 7.2.



Figuur 7.2 Schematische weergave van de MD-stoomproductie voor de processen

Door het gebruik van HD-stoom bij de recompressie en door een afname van de MD-stoomvraag wordt er minder stoom geëxpandeerd over de stoomturbine, waardoor de elektriciteitsproductie ten opzichte van de referentiesituatie zonder TDR lager is. Deze hoeveelheid is echter niet gelijk aan de volledige daling van de HD-stoom die beschikbaar is voor de turbine, omdat een deel van de MD-stoom in de referentiesituatie door middel van directe expansie zou worden geleverd door de exportbeperkingen van elektriciteit. In Figuur 7.3 is per campagnejaar de gemiste elektriciteitsproductie door de inzet van Flex-TDR weergegeven.



Figuur 7.3 Werkelijke en fictief gemiste elektriciteitsopwekking. De theoretische productie is gebaseerd op de gebruikte HD-stoom, zonder limitatie in de exportcapaciteit (5 MWe)

CO₂-emissiereductie

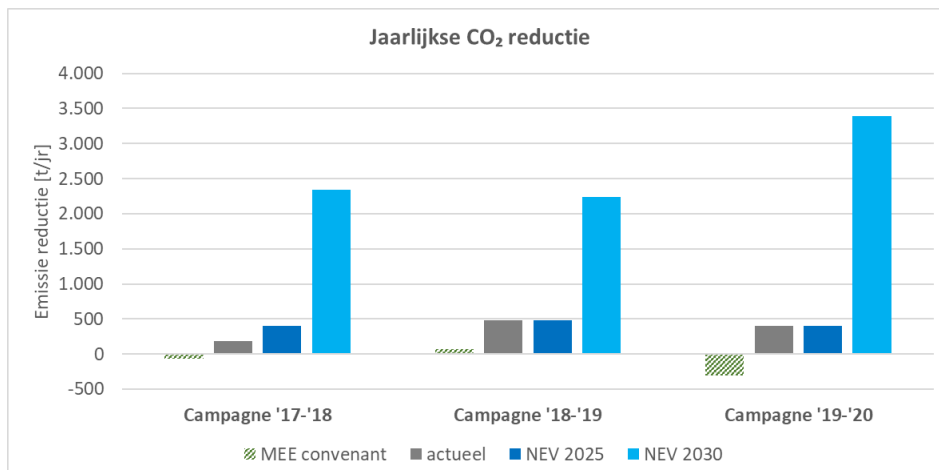
Flex-TDR heeft geresulteerd in een forse aardgasbesparing, maar heeft als bijeffect de reductie van de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit. De netto CO₂-emissiereductie is een som van deze twee effecten (aardgasbesparing is positief, gemiste elektriciteitsproductie is negatief), waarbij de CO₂-emissie van elektriciteit op dit moment zwaar meetelt met 0,63 ton/MWh.

Naar de toekomst toe zal de CO₂-emissie van elektriciteit afnemen door de toenemende productie uit duurzame bronnen. Zo wordt er in 2030 een emissiefactor van 0,09 ton/MWh verwacht op basis van de Nationale Energie Verkenning (NEV). Een overzicht van de gehanteerde factoren is weergegeven in Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Overzicht gebruikte emissiefactoren

CO ₂ emissie gemiste export [t/MWh]			
Campagne	'17-'18	'18-'19	'19-'20
Start jaar	2017	2018	2019
Intergraal			
MEE convenant	0,63	0,63	0,63
actueel	0,45	0,43	0,43
NEV 2020	0,30	0,30	0,30
NEV 2025	0,21	0,21	0,21
NEV 2030	0,09	0,09	0,09

Op basis van de berekende hoeveelheid gemiste elektriciteit (Tabel 7.1) zal het netto CO₂-effect zakken van een ontsparring van 300 ton tot een besparing van circa 3.500 ton CO₂ per jaar. Dit effect is per campagnejaar weergegeven in Figuur 7.4.



Figuur 7.4 Behaalde CO₂-emissiereductie bij verschillende CO₂-factoren voor gemiste elektriciteit

7.2 Ontwikkelingen Flex-TDR binnen Royal Cosun

Cosun Beet Company Dinteloord

Door de Flex-TDR levert reductie van de warmtevraag binnen de fabriek altijd een aardgasbesparing op. Dit betekent meer aandacht voor het efficiënt gebruik van restwarmte. Door het succes van de TDR wordt het restwarmtegebruik in de fabriek verder uitgebreid door twee nieuwe warmtewisselaars en wordt de ruwsap-warmtewisselaar verplaatst voor een verbeterde inzet van restwarmte.

Parallel is Cosun Beet Company in Dinteloord voornemens een gaswasser plaatsen in de dampafvoer van de carbonatie- en blustrommel. Hiermee wordt er meer (rest-)warmte teruggewonnen, wat zorgt voor een verlaging van het gebruik van lagedrukstoom. Hierdoor zal de capaciteit van de thermocompressoren nog verder worden benut.

Toepassing op andere locaties Cosun Beet Company

Op de locatie Viervelaten heeft Cosun Beet Company een fabriek met soortgelijke processen. Deze wordt de komende tijd aangepast, maar hier is niet gekozen voor TDR maar voor een achtste indampertap. De situatie in Viervelaten is minder gunstig voor het toepassen van TDR doordat de druk van de aandrijfstoom lager is, waardoor naar verhouding meer aandrijfstoom nodig is dan in Dinteloord. Bovendien zijn de eerste verdampingslichamen hier nog niet verbeterd met meer oppervlak, waardoor de temperatuurverschillen hier te hoog worden. Door de twee genoemde zaken is er veel meer HD-stoom nodig dan in Dinteloord, waardoor de stoomturbine grotendeels gebypassed wordt, wat zal resulteren in een substantiële elektriciteitsinkoop.

Op de locatie Anklam (Dld) is er bijna geen condenserverlies door koppeling met een ander proces; er is hierdoor voorsnog geen noodzaak voor TDR. Door verdere besparingsplannen zou thermocompressie in de toekomst mogelijk wel een oplossing kunnen bieden

7.3 Herhalingspotentieel bij andere industrieën

Bij diverse sectoren is er een herhalingspotentieel voor het toepassen van Flex-TDR. In deze paragraaf wordt dit voor verschillende sectoren beschreven.

Petrochemie

In de petrochemie wordt veel gebruikgemaakt van (hogedruk) stoom, die (groten)deels wordt opgewekt met restproducten uit de kraakgassen of LPG. Ook wordt door sommige bedrijven gebruikgemaakt van een proces-geïntegreerde WKC. Stoom wordt gebruikt op een aantal drukniveaus, variërend van 80 barg of soms zelfs hoger, tot 3 barg, zowel voor verwarming als voor aandrijving (pompen, compressoren). Als regel ontstaat op de lagere drukniveaus een stoomoverschot dat wordt afgeblazen of gecondenseerd. Opgemerkt wordt dat de benodigde drukverhoging in de petrochemie meestal wel groter is dan bij Cosun Beet Company. Hierdoor is relatief meer hogedruk-aandrijfstoom nodig voor het comprimeren. Daarnaast liggen er mogelijkheden voor hybride uitvoeringen van pomp- en compressoraandrijving.

Chemie

Bij bedrijven in de (basis) chemie wordt stoom als warmtedrager op een groot aantal drukniveaus gebruikt, variërend van circa 2 barg tot 80 barg. Een deel van de stoom wordt opgewekt met (rest)warmte van krakers en exotherme processen, het andere deel wordt als utility opgewekt door ketels en WKC's. De brandstof voor de stoomketels en WKC's bestaat uit fossiele brandstoffen (meestal aardgas) en/of bijproducten van de kraakprocessen. De stoom wordt grotendeels gebruikt voor verwarming en (in afnemende mate) voor de aandrijving van pompen en compressoren.

Er is een groeiende behoefte aan flexibilisering van wkk's en de stoomvoorziening in haar geheel. In de chemische industrie is vaak sprake van batchprocessen waardoor een schommelend gebruik en beschikbaarheid van stoom en flashstoom bestaat. Omdat de stoombalans sterk fluctueert, is er behoefte aan middelen om op de wisselende vraag in te spelen. Om de reststoom te kunnen opwaarderen tot een bruikbare druk en temperatuur zijn er diverse mogelijkheden: HT-warmtepomp, chemische warmtepomp, mechanische damprecompressie (MDR) en thermische damprecompressie (TDR). MDR (hoge CAPEX) en TDR kunnen naast elkaar bestaan. Bij bedrijven met een sterk

wisselend aanbod van reststoom geeft Flex-TDR een schaalbare en betaalbare oplossing voor het opwaarderen en hergebruiken van deze energie.

Voedingsmiddelenindustrie

Kenmerkend voor de warmtevraag in de voedselindustrie is dat deze grotendeels op een lager temperatuurniveau ligt. Temperaturen zijn maximaal circa 250°C (voor droogprocessen); de warmte wordt veelal door stoom of hete lucht geleverd. Bij een aantal van de grotere bedrijven is een WKC aanwezig, meestal op basis van een gasturbine met afgassenketel. Bij andere bedrijven staan gasmotoren met warm-water uitkoppeling, omdat een groot deel van de warmte wordt ingezet voor pasteurisatie en CIP. Soms is een gasturbine WKC met afgassenketel tevens voorzien van een tegendrukstoomturbine (zoals bij Cosun Beet Company in Dinteloord), die gelijktijdig als stoomexpander en als opwekker van elektriciteit fungeert. De tegendrukturbine geeft tevens flexibiliteit om de bedrijfsvoering economisch gezien te optimaliseren bij een variërende warmtevraag en fluctuaties in de gas- en elektraprijs.

In de voedingsmiddelenindustrie is er herhalingspotentieel voor het Flex-TDR-concept van Cosun Beet Company. Als eerste is dit het geval omdat er sprake is van indamp- en indikprocessen, waarbij reststoom van een lage temperatuur en druk overblijft. De tweede reden is de mogelijkheid van het opwaarderen van 'gewone' lagedrukstoom. In de laatste situatie is MDR het alternatief van TDR; de keuze zal vooral worden bepaald door de variaties in het aanbod van lagedrukstoom en de benodigde investering voor TDR of MDR.

Hieronder is een korte opsomming gegeven van de sectoren binnen de voedingsmiddelenindustrie met hun herhalingspotentieel.

- Zuivel: meertraps indampers/indikprocessen. Toepassing vergelijkbaar met Cosun Beet Company.
- Frisdranken en sappen: opwaarderen van reststoom.
- Brouwerijen: bij het koken komt damp vrij die na compressie uitstekend voor andere doeleinden kan worden hergebruikt.
- Groente- en fruitsector: vooral in de conservenindustrie, verwarmen en pasteuriseren. Sterke seizoenseffecten.
- Gelatineproductie met indampers zoals Trobas, Gebroeders Smilde.
- Zetmeelindustrie: toepassing bij voor indampers zoals Avebe en Cargill (toepassing vergelijkbaar met Cosun Beet Company).
- Suiker: analoog aan het proces bij Cosun Beet Company in Dinteloord: suikerfabriek in Vierverlaten, Sensus in Roosendaal en andere dochterondernemingen van Cosun.
- Andere droog- en indampprocessen, zoals bij de productie van calciumlactaat (Purac).

Papier en karton

De papier- en kartonsector maakt – net als de voedingsmiddelenindustrie – gebruik van lage en middelhoge stoomdrukken en temperaturen. Bij de grotere fabrieken is veelal sprake van een WKC voor de gecombineerde opwekking van warmte (stoom) en kracht. De stoom wordt in een aantal gevallen geëxpandeerd over een tegendrukturbine, waarbij tevens elektriciteit wordt opgewekt. Qua energiehuishouding heeft deze sector sterke parallellen met de zuivelindustrie en de aardappelverwerkende industrie.

In het productieproces is er geen sprake van indamping of indikking, maar wordt de papierpulp zowel mechanisch ontwaterd als thermisch gedroogd. Voor het droogproces worden de rollen waarover de papierbaan loopt, verwarmd met stoom. Dit proces verloopt in stappen, waarbij de stoomdruk en -temperatuur dalen. Het aanbod en de druk/temperatuur van de reststoom varieert met het soort papier dat wordt geproduceerd.

TDR kan bij de papier- en kartonindustrie de warmtehuishouding verbeteren en biedt de mogelijkheid om het wisselend aanbod van reststoom op te waarderen. TDR wordt bijvoorbeeld ingezet bij Papierfabriek Doetinchem om de reststoom uit de papierwalsen op te waarderen tot bruikbare stoom. In deze sector is MDR zeker de concurrent van (Flex-)TDR.

7.4 Lessons learned

Terugkijkend op de pilot zijn er verschillende verbetermogelijkheden gevonden bij de realisatie van de installatie. Deze punten zijn veelal opgelost gedurende de pilot.

Inspuitkoeling van MD-stoom

In het ontwerp van de Flex-TDR is er gekozen voor een centrale inspuitkoeler. Door het grote bereik van het stoomdebiet was het inspuitwaterdebiet, vooral bij lage stoomdebieten te hoog, waardoor een deel van het water niet opgenomen werd. Dit is uiteindelijk opgelost door te experimenteren met nozzles, maar is nooit helemaal opgelost (zie ook paragraaf 5.2.2 en 5.3.2).

Lesson learned: Plaats inspuitkoelers na elke straalbuis. Deze koelers kunnen worden geoptimaliseerd voor het debiet van de straalbuis.

Flowmeters

Voor de monitoring is uitgegaan van twee flowmeters; één in de damp3-leiding en één in de leiding van het inspuitwater. Door middel van computersimulaties zouden de overige proceswaarden kunnen worden berekend. Na realisatie bleek de damp3-meting niet betrouwbaar te zijn, mogelijk door het grote meetbereik dat gevraagd werd. Ook de meting van de hoeveelheid inspuitwater kon niet gebruikt worden (zie hiervoor bij Inspuitkoeling van MD-stoom). Door het ontbreken van andere meetpunten was het alleen met een omweg mogelijk de Flex-TDR-inzet te berekenen (zie paragraaf 6.2).

Lesson learned: Zorg voor minimaal één extra meetpunt, bovenop het theoretisch benodigde aantal meetpunten, zodat de uitkomsten gevalideerd kunnen worden. Dit zou bijvoorbeeld in de MD-stoomleiding of eventueel de HD-stoomleiding kunnen zijn. Deze meting geeft ook beter zicht op de werkelijke verhouding tussen MD- en HD-stoom van de Flex-TDR.

Geluidsproductie

Tijdens de realisatie is er rekening gehouden met de geluidsproductie van de straalbuizen. Hiervoor zijn de staalbuizen onder andere in een geluidsdichte cabine geplaatst. Na realisatie bleken vooral de stoomleidingen van/naar de fabriek (te) veel geluid te produceren, zie ook paragraaf 6.4.

Lesson learned: verzwaar ook de transportleidingen en voorzie de ondersteunende constructies van geluidsisolatie. Als alternatief of aanvullend kan geluidsabsorberend materiaal in de ruimte worden geplaatst.

7.5 Toetsing projectplan

In de DEI-aanvraag 'Realiseren van energiebesparing in industriële productieprocessen door flexibele inzet van thermische damprecompressie' (Cosun, ref 15945JBOG1319148) zijn er doelstellingen geformuleerd voor de pilot. Deze zijn in onderstaande tabellen geëvalueerd.

Tabel 7.3 Toetsing doelstellingen projectplan

Doelstelling	Resultaat pilot
1 Het energieverlies (condensorverlies) op de locatie Cosun Beet Company Dinteloord minimaliseren tot nul.	Grotendeels gelukt. Met Flex-TDR kan de uitgaande damp ⁷ worden afgestemd op de warmtevraag van omliggende processen, waarmee condensorverlies wordt vermeden. Echter niet onder alle omstandigheden kan dit worden gerealiseerd.
2 Demonstreren dat de flexibele inzet van TDR de lagedrukreststoom van een sterk fluctuerende kwantiteit en kwaliteit kan omzetten in een hogere druk stoom.	Gelukt. Flex-TDR blijkt een robuuste opwekker te zijn van nuttige stoom voor de processen.
3 De Nederlandse industrie een oplossing bieden om condensorverliezen sterk te reduceren door de inzet van een vernieuwend sturingsconcept op basis van flexibele inzet van TDR en zodoende een belangrijke bijdrage te leveren aan energie- en CO ₂ -emissiebesparing op landelijke schaal.	Gelukt. De succesvolle pilot heeft al geleid tot verkennende gesprekken in andere sectoren.

Verwacht resultaat	Resultaat pilot
<i>Directe resultaten</i>	
Een werkend systeem van vier thermocompressoren van verschillende capaciteit (7%, 13%, 27%, 53% van de maximale capaciteit) in de fabriek van Cosun Beet Company te Dinteloord per september 2017.	Gelukt, wel is het originele ontwerp uitgebreid met een demister door problemen met de stoomkoeler.
Reduceren van het condensorverlies uit het meertraps indampingsproces naar nul.	Grotendeels gelukt.
Absolute besparing van het totale aardgasverbruik voor de locatie Dinteloord van 4,3 miljoen Nm ³ per jaar.	Grotendeels; door technische problemen kon de TDR niet volledig worden ingezet in de eerste campagnes. Hierdoor is de besparing tot 3,6 mln Nm ³ per campagne gekomen.
Absolute besparing 88 TJ/jaar en 21 TJ/jaar primaire energie ten opzichte van 2015 door Cosun Beet Company te Dinteloord.	Deels gelukt, besparing was 57,8 TJ/jaar secundair en 14,8 TJ/jaar primaire energie.
Inzicht in de technische (systeem performance), maatschappelijke (CO ₂ -reductie) en economische (reductie exploitatiekosten) impact van vier parallel geschakelde thermocompressoren op het productieproces van Cosun Beet Company.	Gelukt. Er is een model gemaakt voor de verwerking van meetgegevens. Een deel van de metingen is afgeleid.
<i>Indirecte resultaten</i>	
Bij een succesvolle demonstratie van het flexibele TDR-concept volgt ook de toepassing bij de suikerfabrieken Vierverlaten en Anklam (Duitsland) voor 2020.	Niet van toepassing. Nadere studie wijst uit dat het andere bedrijfssituaties zijn, waarbij Flex-TDR niet de best passende oplossing is. Dit is toegelicht.
Bij een succesvolle demonstratie van het flexibele TDR-concept volgt ook de toepassing in twee andere productieprocessen van Cosuns dochterondernemingen zoals Sensus (verwerking van cichorei) en SVZ (verwerking van kleinfruit) voor 2021	[Sensus heeft TDR en gaat naar MDR, voor SVZ wordt eerst gekeken naar de haalbaarheid van MDR.

