

STOOMRECOMPRESSIE ECONOMISCH EN ENERGETISCH INTERESSANT MET MDR

VAN RESTPRODUCT NAAR WAARDEVOLLE ENERGIEDRAGER

Stoom is nog steeds een van de belangrijkste energiedragers in alle takken van de Proces Industrie en kan op allerlei drukniveaus opgewekt en gebruikt worden. Hoge druk stoom kan turbines aandrijven terwijl lage druk stoom voor verwarming van processen toegepast wordt. Beneden 5 bar heeft stoom vaak minder of geen waarde omdat die moeilijker te gebruiken is vanwege de lage temperatuur (~150°C). Door deze stoom opnieuw te comprimeren vindt op een efficiënte wijze een opwaardering plaats: een restproduct wordt een waardevolle energiedrager. Deze beproefde techniek is een variant van Mechanische dampcompressie (MDR).

Egbert Klop (Industrial Energy Experts)

HET THERMODYNAMISCH PRINCIPE

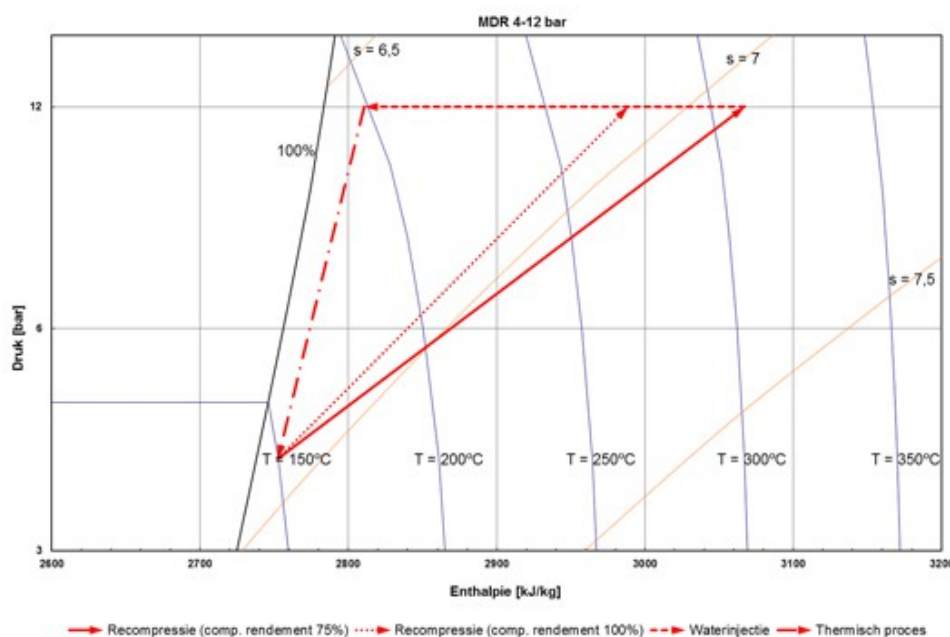
MDR is een open warmtepompstelsel. Door te comprimeren stijgen druk en temperatuur en de bijbehorende verzadigingstemperatuur. Dit vraagt een fractie additioneel vermogen (compressorenergie) in relatie tot de hoeveelheid latente warmte die aanwezig is in de gerecyclede damp (zie **Figuur 1**). Het systeem fungeert als een warmtetransformator die de kwaliteit van de warmte opwaardeert. Door het isentropisch rendement van de compressie ontstaat enige oververhitting van de stoom. Dit lijkt nadelig, maar dat kan eenvoudig worden gecompenseerd door injectie van ketelvoedingwater, zodat de stoom juist die temperatuur krijgt die gewenst is. Op deze wijze wordt de oververhitting van de stoom omgezet in extra stoomproductie. De 'truc' in het hele proces is het voorkomen van condensatie van de stoom en het vasthouden van de latente warmte. In **Figuur 2** is het principe schema getoond van stoomrecompressie met waterinjectie (desuperheating) van een tweetraps compressor.

ENERGETISCHE PRESTATIE

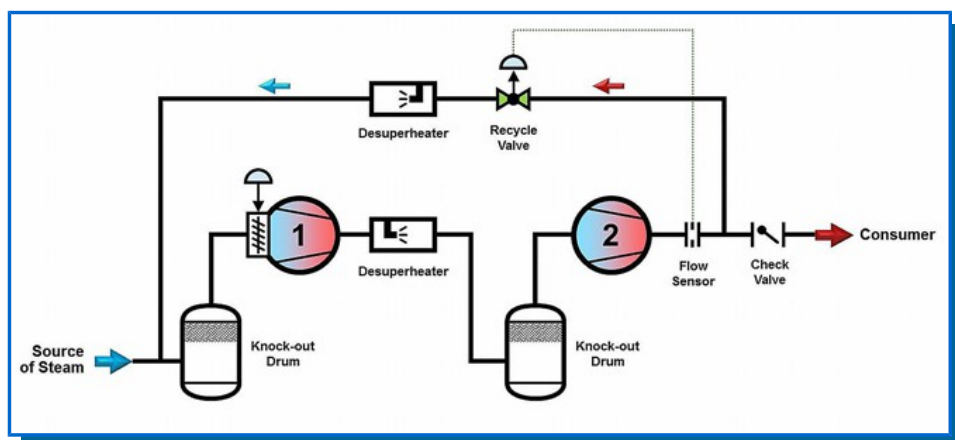
Voor het bepalen van de prestaties van MDR wordt gebruikgemaakt van de COP (Coëfficiënt of Performance). De COP geeft de verhouding weer tussen de toegevoerde compressie-energie en de netto teruggekomen warmte. Energetisch en economisch aantrekkelijke toepassingen hebben een COP van minimaal 3,5. Praktijktoepassingen van MDR laten zien dat COP's van 10 en zelfs meer haalbaar zijn.

Een goed energetisch rendement kan bereikt worden door:

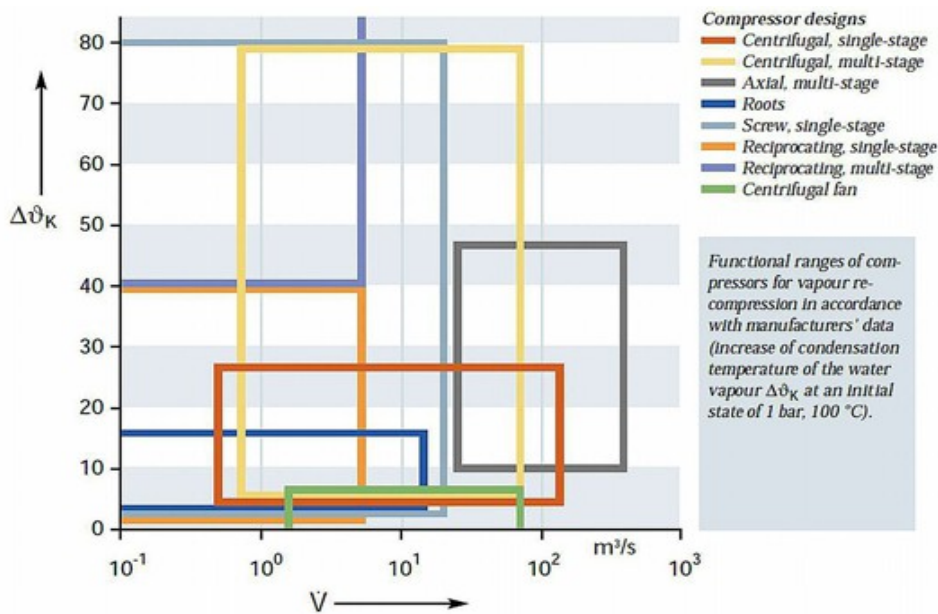
- Een lage verhouding van de absolute drukken; als richtlijn kan een maximum van 1:6, in de praktijk circa 1:3, worden aangehouden,
- een minimale schaalgrootte; als richtlijn kan een ondergrens van 1 ton stoom per uur



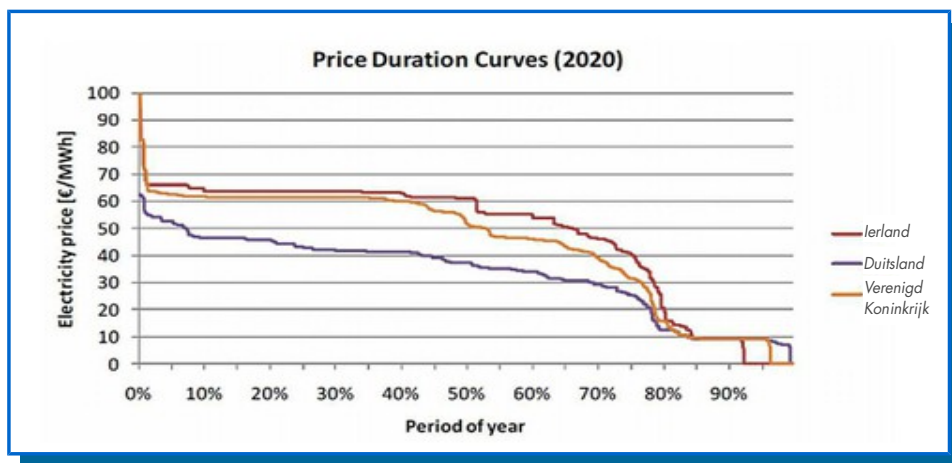
Figuur 1: MDR log P-H diagram



Figuur 2: Principeschema van tweetrapscompressie met de-superheating (waterinjectie). Bron: Atlas Copco



Figuur 3: Indeling compressortypen afhankelijk van het debiet en temperatuurlift (Bron: GEA – Wiegand)



Figuur 4: Elektriteitsprijs duerkromme (Bron: DNV KEMA Energy Sustainability)

kelijk van de volgende factoren:

- Schaalgrootte,
- Stoomprijs (wordt veelal bepaald door de gasprijs),
- Drukverhouding,
- Waarde van de ingaande reststoom,
- Elektriteitsprijs

Uit eerder doorgekende business cases blijkt dat MDR economisch gezien erg robuust is voor stoomhergebruik. Bij een verhouding tussen elektriteitsprijs en gasprijs van 3:1 in combinatie met een goede COP, is MDR nog (erg) rendabel. Voor industriële toepassingen betekent dit dat MDR ongevoelig is voor de elektriteitsprijs, en dat de aardgasprijs het toepassen van MDR bepaalt. Met MDR krijgt de industrie een stuurmechanisme om stoom op verschillende manieren op te wekken: de klassieke weg via ketels en/of warmtekracht, of daarnaast ook stroomstoom met MDR!

MAATSCHAPPELIJK BELANG VAN FLEXIBILISERING

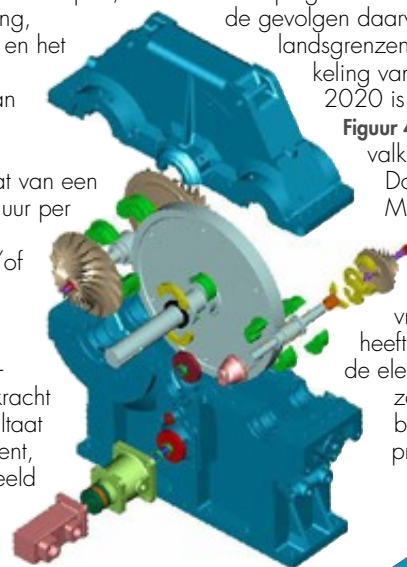
Zoals eerder genoemd heeft de industriële sector direct economisch belang bij MDR. Maar: er zijn ook synergie effecten in de duurzame energiesector, de warmtekrachtsector en bij de netbeheerder.

Duurzame energiesector

De energiesector heeft belang bij een voor spelbare en acceptabele prijs voor de geproduceerde elektriciteit. Door de variabiliteit van het windaanbod neemt de onbalans tussen productie en vraag toe. Aangezien de windsector als onderdeel van het Energieakkoord sterk gaat groeien, wordt verwacht dat de negatieve druk op de elektriteitsprijs verder zal toenemen. Deze ontwikkeling speelt niet alleen in Nederland, maar vooral ook in Duitsland als gevolg van de Energiewende. Door de verknoping van elektriteitsnetten blijven de gevolgen daarvan niet beperkt tot landsgrenzen. De verwachte ontwikkeling van de elektriteitsprijs tot 2020 is weergegeven in

Figuur 4. Dit is een potentiële valkuil voor de windsector.

Door het toepassen van MDR is een stuurbaar gereedschap beschikbaar waardoor de elektriteitsvraag toeneemt. Dit heeft een gunstig effect op de elektriteitsprijs, en legt zodoende een bodem in het prijsprofiel.



Exploded view van een meertraps centrifugaal compressor van het 'bull gear' type. (Bron: Atlas Copco)

worden aangehouden,

- waterinjectie na de compressie.

In vergelijking met andere technieken scoort MDR erg goed op de energetische ladder. Voor bijvoorbeeld 'Power to Heat' (PtH) is de COP 1,0. Eén kW elektrische energie levert 1 kW thermische energie. Voor compressiewarmtepompen wordt veelal een COP van 3 tot 5 bereikt, waarbij aangetekend moet worden dat warmtepompen in het stoombereik nog slechts heel beperkt commercieel beschikbaar zijn. Een interessante ontwikkeling in dit kader is de Radiax compressor van Bronswerk Heat Transfer.

TYPE COMPRESSOREN

Voor MDR is er een breed scala aan compressoren beschikbaar. Het type compressor is onder meer afhankelijk van het medium, de gewenste druk- en temperatuurverhoging, de absolute druk en de volumestroom. Figuur 3 geeft een overzicht van het globale toepassingsgebied per type compressor, uitgaande van atmosferische stoom.

VOORDELEN EN ARGUMENTEN OM STOOMRECOMPRESSIE TOE TE PASSEN

MDR is energetisch en economisch aantrekkelijk en levert technisch en financieel weinig risico. MDR is daarom in de eerste plaats

aantrekkelijk voor bedrijven met een overschot aan lage druk stoom of flash stoom. De voordelen zijn onder andere:

- Terugverdientijden tussen één en drie jaar,
- MDR voorkomt energieverstopping,
- De energie-efficiency verbetert en het energiegebruik daalt,
- Herstel van de stoombalans kan op een flexibele wijze worden vormgegeven,
- De beschikbare capaciteit gaat van een tot tientallen tonnen stoom per uur per unit,
- Voor capaciteitsvergroting en/of flexibiliteit kunnen meerdere eenheden parallel worden geplaatst,
- Actieve sturing van de warmtekracht verhouding bij warmtekracht koppeling (VWKK), met als resultaat een beter economisch rendement,
- Er kan flexibel worden ingespeeld op variërende elektriteitsprijzen,
- De afhankelijkheid van de gasprijs vermindert,
- Bewezen technologie.

ECONOMISCHE ASPECTEN

MDR is altijd maatwerk. De rentabiliteit van investering in MDR is onder meer afhan-

Casus 'opwaarderen van stoom'

Twee situaties zijn hieronder uitgewerkt:

- Het bijna continu (8.000 uur per jaar) opwaarderen van 50 t/h 3,5 baro stoom (verzadigd) naar 12 baro stoom,
- Het opwaarderen van 10 t/h 1,5 baro stoom (verzadigd) naar 9 baro voor 6.000 uur per jaar.

In beide gevallen heeft de stoom momenteel geen nuttige toepassing en dus geen economische waarde. De stoom wordt momenteel gecondenseerd en hiervoor is zelfs koelenergie in de vorm van elektriciteit voor de fans van de condensor nodig. Dit is in de berekening niet meegenomen.

Voor beide situaties wordt de stoom gecomprimeerd naar het laagste stoomniveau waar wel vraag naar is. Hiervoor is een tweetrapscompressie nodig, vanwege de relatief hoge compressieverhouding. Tussen de compressiestappen wordt water geïnjecteerd om de oververhitting te reduceren en zo te zorgen voor een hoger rendement.

OPWAARDEREN LAGE DRUK STOOM: 8.000 DRAAIUREN		
LP-STOOM (3,5 BARG) COMPRIMEREN NAAR 12 BARG		
Stoomflow	50	ton/h
Ingaande stoomdruk	4,5	bara
Uitgaande stoomdruk	13	bara
Compressorenergie	4,4	MWe
COP	9,8	-
Draaiuren	8.000	uur/jaar
Referentie energiekosten	7.600	k€/jaar
Energiekosten MDR	1.760	k€/jaar
Besparing	5.840	k€/jaar
Investing	5.700	k€
Terugverdientijd	1,0	jaar

OPWAARDEREN LAGE DRUK STOOM: 6.000 DRAAIUREN		
LP-STOOM (1,5 BARG) COMPRIMEREN NAAR 9 BARG		
Stoomflow	10	ton/h
Ingaande stoomdruk	2,5	bara
Uitgaande stoomdruk	10	bara
Compressorenergie	1,1	MWe
COP	7,9	-
Draaiuren	6.000	uur/jaar
Referentie energiekosten	1.140	k€/jaar
Energiekosten MDR	330	k€/jaar
Besparing	810	k€/jaar
Investing	2.090	k€
Terugverdientijd	2,6	jaar

Netbeheerder

De netbeheerder heeft als taak 'voldoende transportcapaciteit' beschikbaar te hebben voor alle gewenste energietransporten. Daarnaast is de landelijke netbeheerder de eindverantwoordelijke voor het handhaven van de energiebalans. De veranderende energiemarkt geeft hierin een nieuwe dynamiek: een groeiend aandeel duurzame elektriciteit (wind, zon-PV), een dalend aandeel van gasgestookte warmtekrachtcentrales en een toenemend aandeel van kolengestookte elektriciteitsopwekking maakt dat de benuttingsgraad van het transportnet lager wordt, en dat de beschikbaarheid van regel- en reservevermogen minder wordt, terwijl aan de 'duurzame' zijde het onvoorspelbare vermogen toeneemt. Met name in de kustregio's speelt dit effect sterk.

MDR kan hierin de rol vervullen van stuurbaar opnamevermogen van elektriciteit. Hierdoor krijgt de netbeheerder een gereedschap in handen, waarmee het mogelijk is om energiestromen te beïnvloeden en daarmee geografisch en in de tijd vraag en aanbod met elkaar in balans te brengen. Investerings in een transportnetwerk met genoeg capaciteit voor alle pieken, kunnen hiermee worden voorkomen of uitgesteld.

Ook kan het portfolio van aanbieders van regel- en reservevermogen worden uitgebreid door de flexibiliteit in energieverbruik die het MDR-proces biedt.

Warmtekracht sector

Door de hoge gasprijzen en de dalende elektriciteitsprijzen, staat de warmtekrachtsector de laatste jaren sterk onder druk. Dit effect zal eerder toe- dan afnemen. Een van de gevolgen is dat warmtekrachtinstallaties stilgezet worden, of terug-geregeld worden.

Voor procesgekoppelde warmtekrachtinstallaties is vaak sprake van een 'must run' conditie: de energievraag vanuit de productieprocessen staat het stoppen van de warmtekrachtinstallatie niet toe. Hierdoor heeft de exploitant van de warmtekrachtinstallatie beperkte mogelijkheden voor economische optimalisatie, en heeft een verlies draaiende installatie weinig speelruimte om het verlies te beperken.

Net als de duurzame energiesector heeft de warmtekrachtsector belang bij een acceptabele, lees: hogere elektriciteitsprijs. Door het toepassen van MDR treedt een stuurbare verschuiving op van warmte- naar elektriciteitsvraag, met een stijging van de elektriciteitsprijs. Dit is gunstig voor de exploitatie van de warmtekracht installatie en levert effectief een besparing op van het fossiele energiegebruik.

Synergie, samenwerkingsmodel en perspectief

MDR is een gereedschap dat voor alle partijen voordeel brengt: de procesindustrie, de duurzame energiesector, de warmtekrachtsector en de netbeheerder. Deze partijen hebben elkaar nodig; juist hierdoor ontstaan de synergetische effecten. Het samenwerkings-

model is de sleutel naar verdere verduurzaming: de industriële sector maakt gebruik van 'goedkope' elektriciteit die ontstaat door het groeiende aanbod en de duurzame sector krijgt een stabielere prijs voor elektriciteit. Verduurzaming verbindt sectoren, in plaats van dat ze uit elkaar gedreven worden. Het resultaat van MDR is dat – mits op grote schaal toegepast – de fossiele brandstof (aardgas) blijft waar het zit: in de bodem. Hierdoor is MDR een indirecte manier van hoogwaardige energieopslag. Door ECN wordt het perspectief van MDR in combinatie met warmtepompen ingeschat op 2.000 MWe, wat correspondeert met een thermisch vermogen van circa 20 GW.

MDR EN HET SMART DELTA RESOURCES PROJECT

In het kader van het Smart Delta Resources project (Zeeland, West Brabant, Kanaalzone Terneuzen-Gent) hebben Zeeuwind, DOW Benelux (locatie Terneuzen) en DELTA Netwerkbedrijf (DNWB) - gefaciliteerd door de Zeeuwse ontwikkelingsmaatschappij Impuls - de handen ineen geslagen.

Eén van de resultaten van dit project is het initiatief om een pilot MDR installatie voor DOW uit te werken als onderdeel van een breder project onder de titel 'Power to Products'. DOW heeft in Terneuzen substantiële overschotten lage druk stoom. In samenwerking met Zeeuwind, DELTA Netwerkbedrijf en de Elsta warmtekrachtcentrale die DOW van stroom en stoom voorziet, wordt dit mooie initiatief vlotgetrokken!



Casus 'flash stoom'

Hier wordt gebruikgemaakt van de energie die nog aanwezig is in midden- of hogedrukcondensaat. Door de druk af te laten, flasht een gedeelte van het condensaat tot stoom. In het voorbeeld hieronder wordt condensaat van 8 bar geflasht bij een druk van 2,5 bar en daarna wordt met MDR de druk verhoogd naar 6 bar.

Stoomwinning uit condensaat MP-condensaat flashen naar LP-stoom LP-stoom comprimeren tot bruikbaar niveau

Condensaat flow (8 bar)	50	ton/h
Flash druk	2,5	bara
Flow flash stoom	3,2	ton/h
Compressortenergie	257	kWe
COP	10,3	-
Draaiuren	8.000	uur/jaar
Referentie energiekosten	486	k€/jaar
Energiekosten MDR	103	k€/jaar
Besparing	383	k€/jaar
Investing	800	k€
Terugverdientijd	2,1	jaar