



Innovative energilagringssløsninger til bæredygtig fjernvarme og -køling



www.restore-dhc.eu





“Det banebrydende RESTORE-koncept repræsenterer en ekstraordinær innovativ løsning til at levere bade ren elektricitet og varme, samtidig med at det matcher udbud og efterspørgsel.”

Francisco Cabello Nuñez

Projekt koordinator, Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)



“Med RESTORE-teknologien er det muligt at lagre overskudsvarmen fra sommerhalvåret til vintersæsonen.”

Prof. Franz Winter

TCES ekspert, Technische Universität Wien



“Energilagring er den afgørende teknologi i overgangen til et fuldt vedvarende energimarked, og rORC kan spille en banebrydende rolle i distribuerende energinetværk og industriel energieffektivitet.”

Prof. Marco Astolfi

ORC ekspert, Politecnico di Milano

RESTORE-KONCEPTET

EN LØSNING TIL INTEGRATION AF VEDVARENDE ENERGIKILDER

Den øgede anvendelse af vedvarende energikilder inden for opvarmnings- og kølektoren er af afgørende betydning for at reducere afhængigheden af fossile brændstoffer og de betydelige miljøpåvirkninger, der er forbundet med deres brug. De vedvarende energikilders natur med varierende energiproduktion giver dog en stor udfordring, når det skal matches med efterspørgslen, som ikke altid er i overensstemmelse og derved fører til et grundlæggende misforhold.

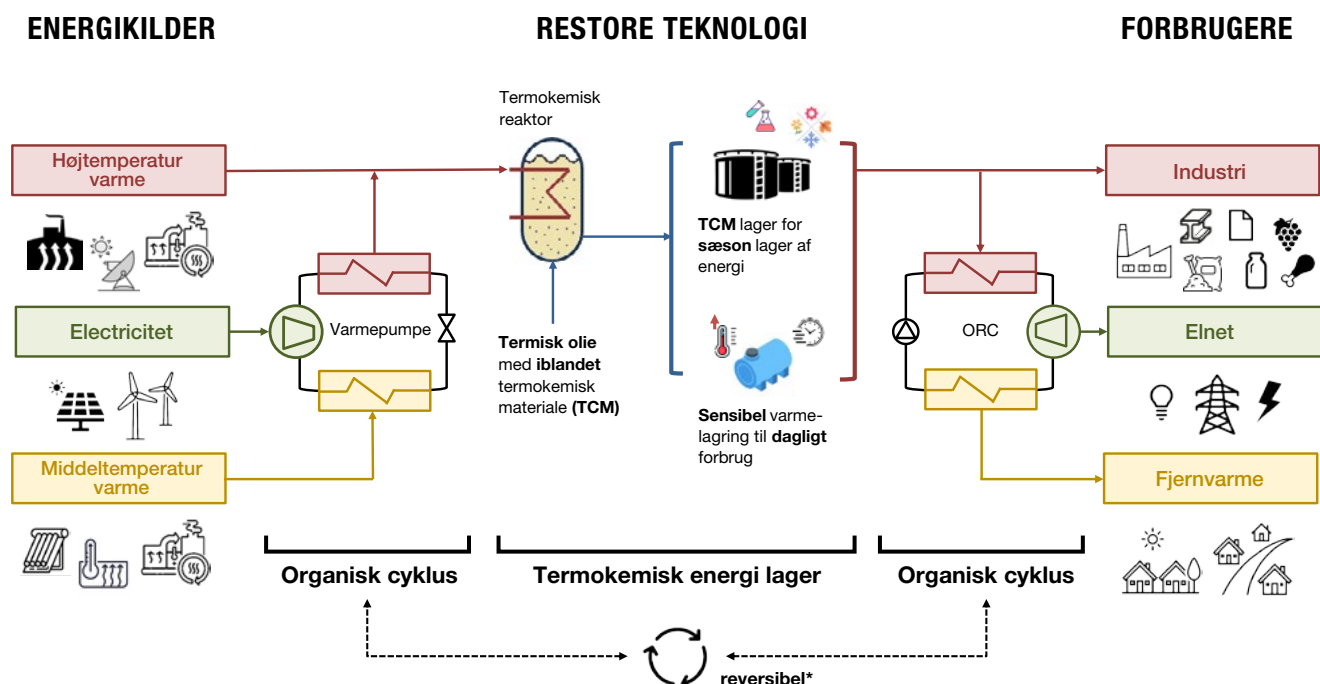
RESTORE-projektet præsenterer et radikalt innovativt koncept, der muliggør integrationen af en bred vifte af bære-

dygtige energikilder, herunder ikke kun vedvarende energikilder (RES) men også affaldsoverskudsvarme (WEH) indenfor bolig- og industrielt fjernvarme- og kølesystemer (DHC) netværk.

Ved at kombinere energikilder med tilhørende energilagringmuligheder, som RESTORE foreslår, er det muligt at håndtere misforholdet mellem energiforsyning og -efterspørgsel, hvilket baner vejen for en reduktion af afhængigheden af fossile brændstoffer og fremmer miljømæssig bæredygtighed. RESTORE-løsningen er baseret på integrationen af to nøgleteknologier: reversibel Organisk Rankine Cycle

(rORC) og termokemiske systemer til energilagring (TCES).

I driftstilstand fanger den organiske cyklus først energi fra forskellige vedvarende energikilder og leverer varme under de nødvendige betingelser til en termokemisk reaktor. Den energi, der leveres til reaktoren, lagres både som reaktionsentalpi og som sensibel varme. Efter behov afgiver systemet den lagrede energi, hvilket giver varme direkte til lokale industrier eller driver en ORC for at generere elektricitet, samtidig med fortsat at kunne imødekomme opvarmningskravene i et boligkvarter.



HØJ ENERGIDENSITET– INGEN VARMETAB

TERMOKEMISK ENERGILAGRING (TCES)



5 kW_{th} TCES kontinuerligt reaktorsystem: Materialetestapparat for forskellige TCES-par, $p_{\max} = 10$ bars, $\theta_{\max} = 200$ °C.

Ved at lagre energi i kemiske reaktorer, også kendt som termokemisk energilagring (TCES), er det muligt at opbevare energi over lange perioder uden tab. Sammenlignet med andre teknologier er energidensiteten betydeligt højere. Desuden kan temperaturniveauet tilpasses kravene ved at vælge et passende termokemisk materiale og justere trykniveauet. For RESTORE-konceptet er TCES derfor den ideelle løsning for både kort- og langvarig energilagring.

Som en del af projektet bliver teknologien væsentligt forbedret gennem udviklingen af prototyper.

TCES-systemet til venstre er en lille skala version af et 30 kW_{th} /150 kWh system, der skal installeres i laboratoriet på TU Wien. Det kan håndtere forskellige TCES-materialer som CuSO₄·5H₂O, CaCl₂·2H₂O eller K₂CO₃·1,5H₂O. For at tilpasse reaktoren til de forskellige TCES-par, kan systemet operere op til $p_{\max} = 10$ bars og $\theta_{\max} = 200$ °C. Reaktoren kan køre både i opladnings- og afladningstilstand.

Opladningstilstand: Det termokemiske materiale inde i reaktoren opdeles i en fast og en gasformig forbindelse. Den gasformige forbindelse (H₂O) kondenseres og opbevares i en vandbeholder. Det uopladede materiale transporteres fra beholderen for uopladet materiale, passerer en forvarmer til reaktoren, hvor nedbrydningen finder sted på grund af opvarmning. Efter afkøling og adskillelse af det faste materiale fra olien, opbevares det opladede materiale.

Afladningstilstand: Det faste materiale bringes i kontakt i reaktoren og reagerer med den gasformige/ flydende komponent, og varme frigives og udvindes via en intern spole.

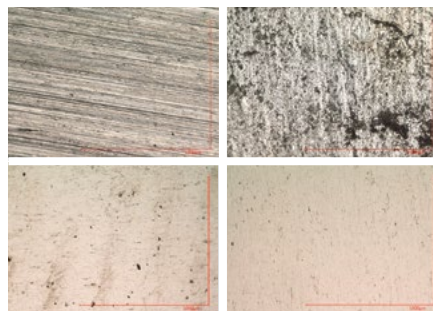
Masseflow, temperaturer og tryk måles for at observere reaktionsforløbet samt for at udarbejde energibalancen.



Materialeplacering

Placeringens betydning for materialet beskrives i forhold til:

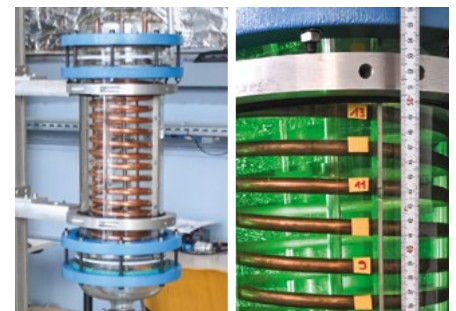
- densitet
- energi-densitet
- viskositet



Korrosionstest

Forskellige typer stål blev undersøgt i henhold til deres korrosionsmodstand

- Lagringseffekter over 5 måneder og for 25 cyklusser blev påvist
- Stål som 1.4301, 1.4404 og 1.4571 blev analyseret.



Flowstruktur og varmeoverførsel

Målinger vedrørende varmeoverførsel, materialeplacering og flowstruktur blev udført.

- Brug af en glasreaktor til observation af flowstruktur ved hjælp af PIV
- Udførelse af varmeoverførselsmålinger.

Stabil kontinuerlig drift med varmeopladnings- og -afladningscyklusser er blevet succesfuldt bevist med kobbersulfat og kaliumcarbonat. Yderligere opskalering til 5 kW og 30 kW er i gang.

RESULTATER

Optimerede TCES materialer

De kemiske og termofysiske egenskaber af adskillige TCES-materialer blev grundigt analyseret, og de mest optimale kandidater blev udvalgt med energidensiteter op til 1,11 GJ/m³ TCES og olie-sammenblanding (eller 2,07 GJ/m³ salt).

Omfattende materialeundersøgelse

Forskellige typer mineral-, silikone- og planteolier, både individuelt og i kombination med hinanden eller med tilsætningsstoffer, blev evalueret, og de optimale kombinationer til reaktion blev bestemt; således blev over 5-30 opladnings-/afladningscyklusser for 5 kemiske systemer bevist i laboratorieskala batchreaktor.

Innovative termiske spredningssystemer blev designet og anvendt for at forbedre masseoverførslen i reaktorerne.

Optimeret flow dynamik

Forskellige pumpehjuldesign og omrøringsystemer blev evalueret gennem numeriske simuleringer og eksperimentelle studier for at optimere flowdynamikken inden for bestemte reaktorgeometrier og tilhørende udstyr.

Høj varmeoverførsels effektivitet

der førte til forbedrede reaktionskinetik og bedre kontrol af TCES-materialer, blev med succes opnået.

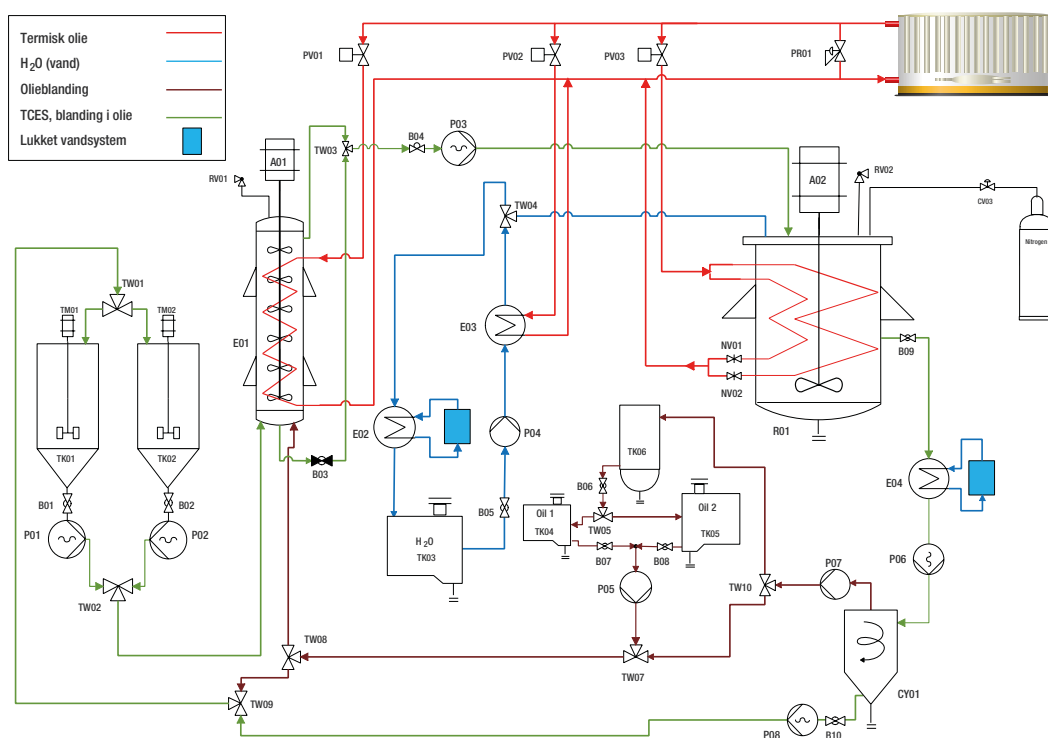
Udvikling af optimerede opbevaringsteknikker Gennem systematisk undersøgelse af opbevaringseffekter på TCES-materialer

Let opskalerbart system

Optimeret procesflow i designet, hvilket muliggør nem opskalering og videre systemopbygning.

5 kW_{th} TCES pilotanlæg

Ved at udnytte indsigt fra tværfaglige undersøgelser og andre småskala testopsætninger, er et 5 kW_{th} TCES pilotanlæg blevet fremstillet som et mellemtrin for RESTORE 30 kW_{th} opskaleringsanlæg til evaluering af TCES materialer under forskellige driftsforhold for at vurdere deres potentiale for temokemisk lagring.



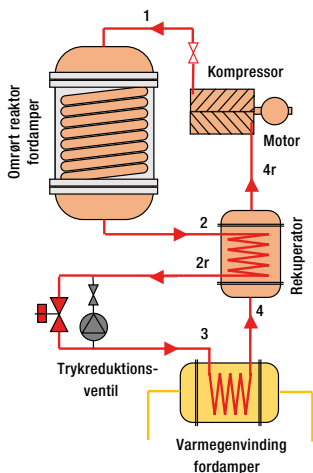
Procesflowdiagram for den designede prototype-reaktor

Procesflowdiagram for prototype-reaktoren bestående af lagertanke, vand- og olie kredsløb, CST-reaktor, varmevekslere og andet hjælpeudstyr.

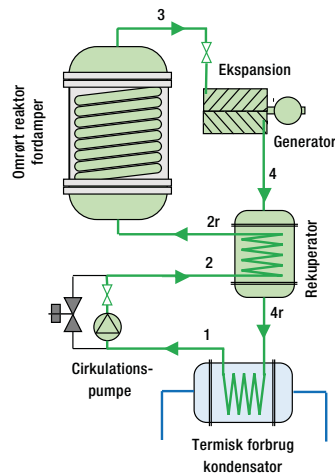
INTEGRERER FORSKELLIGE ENERGIKILDER

REVERSIBEL ORGANISK RANKINE-CYKEL (rORC)

Opladning (varmepumpe) drift



Afladning (kraftcyklus) drift



Termisk integreret Carnot-batteri baseret på reversibel ORC-koncept.

Reversibelt ORC-koncept

Carnot-batteriteknologi udnytter varme og elektricitet ved at lagre varme ved høje temperaturer eller kemisk energi under opladning og konvertere det tilbage til elektricitet og mellemtemperaturvarme under afladning. Dette reversible system fungerer både som en varmepumpe og en kraftcyklus, ved at bruge de samme komponenter. Denne dobbelte funktionalitet minimerer investeringsomkostningerne, maksimerer driftstimerne og forbedrer den overordnede økonomiske levedygtighed af systemet. Dens kernekomponent, en volumetrisk maskine, fungerer både som en kompressor og en ekspander, afhængigt af driftstilstand, og sikrer dermed høj ydeevne, minimale koblingsudfordringer og fleksibel drift. Dette gør det ideelt til små og mellemstore applikationer i distribuerede lagringsanlæg.

Termisk integreret Carnot-batteri koncept

RESTORE-projektet undersøger og optimerer systemer med pumpet, termisk energilagring (PTES), baseret på Carnot-batterier, der arbejder med ORC-motorer. Dette system integrerer problemfrit varme fra vedvarende energikilder og industrielle processer, hvilket muliggør brug af både overskydende elektricitet fra omskiftelig vedvarende energi og spildvarme fra forskellige kilder. Som et resultat forbedrer dette termisk integrerede Carnot-batteri den samlede effektivitet ved at minimere termiske energitab, samtidig med at det tilbyder en yderst effektiv løsning til lagring af elektricitet fra vedvarende kilder.

En yderligere fordel ved dette system er ORC-teknologiens evne til at absorbere og afgive varme ved næsten konstante temperaturer, hvilket gør det ideelt til udnyttelse af mellemtil-lav temperatur varme og den kontrollerede frigivelse af termisk energi til opbevaring i den termokemiske reaktor. Desuden kan dette system nemt integreres i fjernvarmenetværk. Brugen af organiske væsker skaber også stærke synergier med andre industrielle sektorer, såsom højtemperaturvarmepumper og industriel spildvarmegenvinding, hvilket hjælper med at udforske og udnytte stordriftsfordele gennem store produktionsvolumener. large production volumes.

RESULTATER

Effektivitet

Udnyttelse af spildvarme gør det muligt at øge ydeevnen til over 55 % for systemer, der ikke implementerer yderligere sensibel lagring, og nærme sig 100 %, hvis mere komplekse lagringskonfigurationer anvendes.

Fleksibilitet

Evnen til at genvinde lavkvalitetsvarmekilder (<80 °C), opgradere dem til TCES-temperatur (120–130 °C), lagre dem effektivt og derefter bruge dem, når det er nødvendigt, enten i termisk driftstilstand eller i elektrisk driftstilstand.

Skalerbarhed

Det er muligt at udvide anvendelsesområdet, som ikke er begrænset udelukkende til sæsonlagring til fjernvarme, men også til små byer og endda til huse og boligkomplekser.

Carnot-batteri er den teknologi, som energilagringsmarkedet har ventet på.

rORC prototype

rORC-prototypen blev bygget af Enerbasque i samarbejde med Politecnico di Milano. POLIMI optimerede systemet ved hjælp af numerisk modellering og off-design ydeevneanalyse, valg af arbejdsmedie, definition af driftsbetingelser og håndtering af restriktioner. Samtidig håndterede Enerbasque det detaljerede design af systemet, herunder komponentvalg, layoutdefinition og ændringer af den volumetriske maskine, som oprindeligt var designet som en kompressor, men senere blev tilpasset til også at fungere som en ekspansionsmaskine.

Prototypen er udstyret med flere temperatur- og tryksensorer for omfattende overvågning og adskillige automatisk betjente ventiler, hvilket muliggør hurtig og pålidelig skift mellem varmepumpe-

og kraftcyklusdrift. Denne prototype bliver i øjeblikket intensivt testet i laboratorierne på Energidivisionen ved Politecnico di Milano, med det formål at definere systemets operationelle grænser i forhold til effekt og temperatur samt at analysere de transiente forhold, der er nødvendige for at skifte mellem forskellige driftspunkter.

Efter denne eksperimentelle testkampagne vil den blive sendt til laboratorierne på TU Wien, hvor den vil blive tilsluttet den kontinuerlige termokemiske reaktor. Denne sidste fase har til formål at teste den effektive integration af de to innovative systemer, der er udviklet inden for RE-STORE projektet.



Idriftsættelse og ydeevnetestning på POLIMI-faciliteterne.



Konstruktion af rORC prototype på Enerbasque-faciliteten.

Carnot-batteri opskalering

Det næste skridt er at opskalere RESTORE rORC-prototypen til små-/mellemstore til storskala anvendelser hvor Enerbasque og Turboden arbejder på det detaljerede mekaniske design for de respektive systemer.

Mindre skala

Løsningen for effekt under 500 kW har en fuldt reversibel konfiguration, der minimerer installationsomkostningerne og gør den særligt attraktiv for småskala bolig- eller erhvervsmarkeder. Designet af dette system bygger på den erfaring, der er opnået fra prototypeudviklingen, og sigter mod at give retningslinjer for at skabe yderst fleksible maskiner med et bredt driftsområde. En næste generations olefin er blevet valgt for at sikre meget høj miljømæssig bæredygtighed og minimal brandfare.

Stor skala

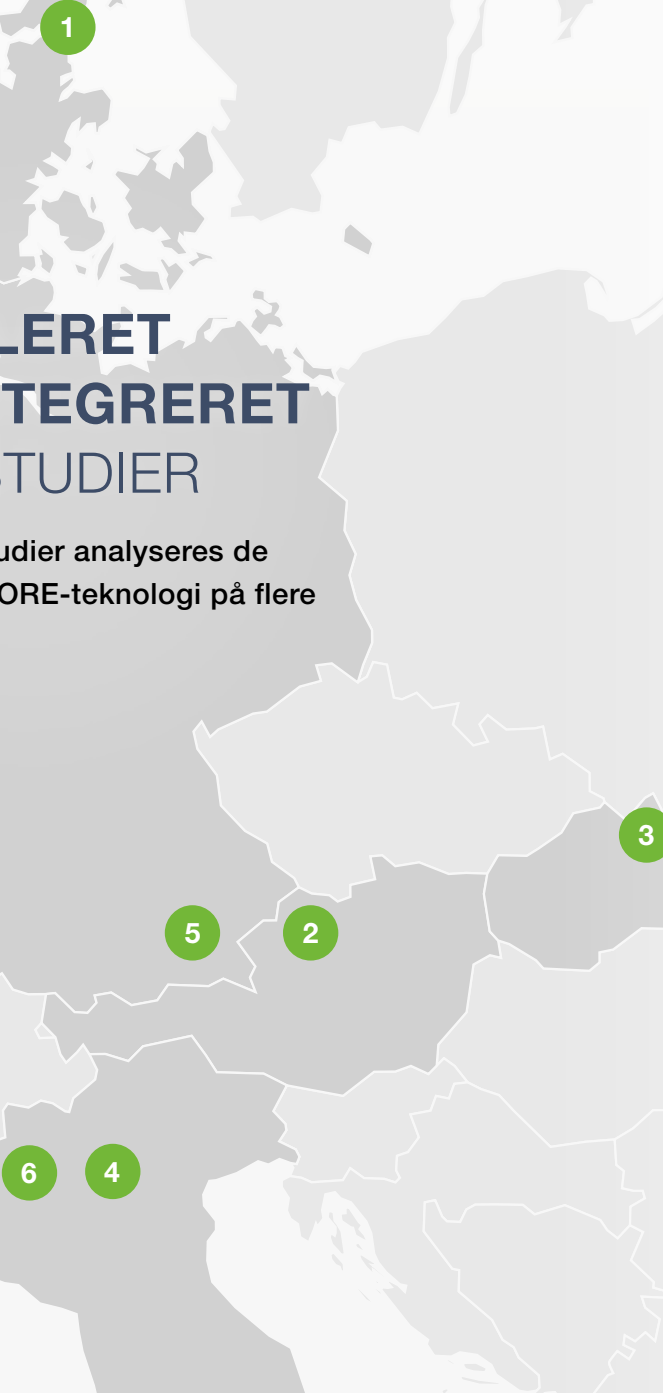
For effekt over 1 MW anvender systemet en anderledes tilgang, hvor der bruges to separate komponenter – en kompressor til opladningsfasen og en turbine til afladningsfasen – for at optimere effektiviteten. Denne konfiguration er designet til at maksimere ydeevnen, samtidig med at den udnytter Turbodens ekspertise inden for turbomaskiner til ORC-motorer og højtemperatur-varmepumper. Derudover er en naturlig arbejdsmedie blevet valgt til denne maskine for at sikre høj effektivitet, samtidig med at der opretholdes fuld overensstemmelse med europæiske regler.



Twin Screw reversibel volumetrisk maskine – Kompressor/ Ekspander

VIRTUELT SIMULERET INTELLIGENT INTEGRERET RESTORE CASESTUDIER

Baseret på seks virtuelle casestudier analyseres de potentielle anvendelser af RESTORE-teknologi på flere steder i Europa:



**Registrer
her!**

Bliv en del af RESTORE's virtuelle fællesskab!

For at opleve det banebrydende potentiale af denne innovation og interagere med dens muligheder, inviterer vi dig til at blive en del af vores fællesskab, som administreres af Prospex Institute!

Som medlem vil du modtage:

- En omfattende introduktion til projektet med et individuelt møde
- Adgang til et gratis webinar
- Medlemskab af en aktiv LinkedIn-gruppe
- Gratis prøveadgang til platformen



Case 1

Anlægget i Brønderslev Danmark

Bolig-/industriel DHC med biomasse og solfangere samt industriel WEH. Øget brug af solvarmeenergi og yderligere produktion af elektricitet.



Case 2

Gmunden cement fabrik Gmunden, Austria

Integration af forskellige varmekilder fra cementindustrien i DHC. Integration af RESTORE-teknologi i cementproduktionsanlægget for at levere varme til nærliggende varmemeforbrugere.



Case 3

Mondi SCP Anlæg Ružomberok, Slovakia

Integration af forskellige varmekilder i DHC for papirfabriksindustrien. Maksimering af RES-integration og optimal udnyttelse af WEH fra fabrikken til højeffektiv sæsonlagring af varme.



Case 4

Alfa Acciai stål fabrik Brescia, Italy

Integration af forskellige varmekilder i DHC for stålindustrien. Forbedring af varmepumpeudnyttelsen i sommersæsonen for at øge dens andel i forsyning af lokal fjernvarme.



Case 5

Holzkirchen Geotermianlæg Holzkirchen, Germany

Fjernvarme med geotermisk teknologi. Maksimering af udnyttelsen af geotermisk varme og optimal anvendelse af WEH til højeffektiv sæsonlagring af varme.



Case 6

POLIMI Campus Milan, Italy

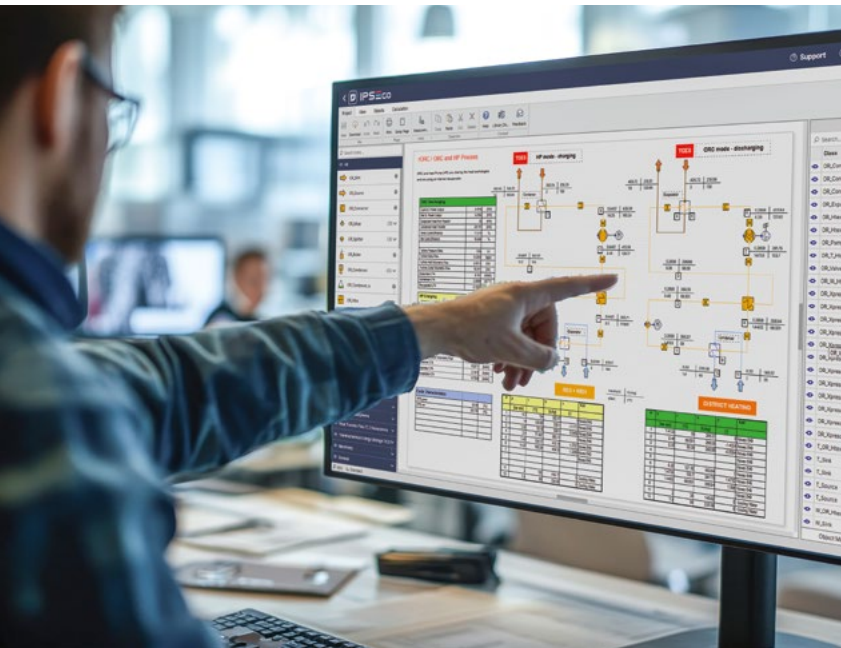
Småskala DHC-netværk. Anvend RESTORE-konceptet til små, decentrale løsninger og reducer forbruget af naturgas.

Legend:



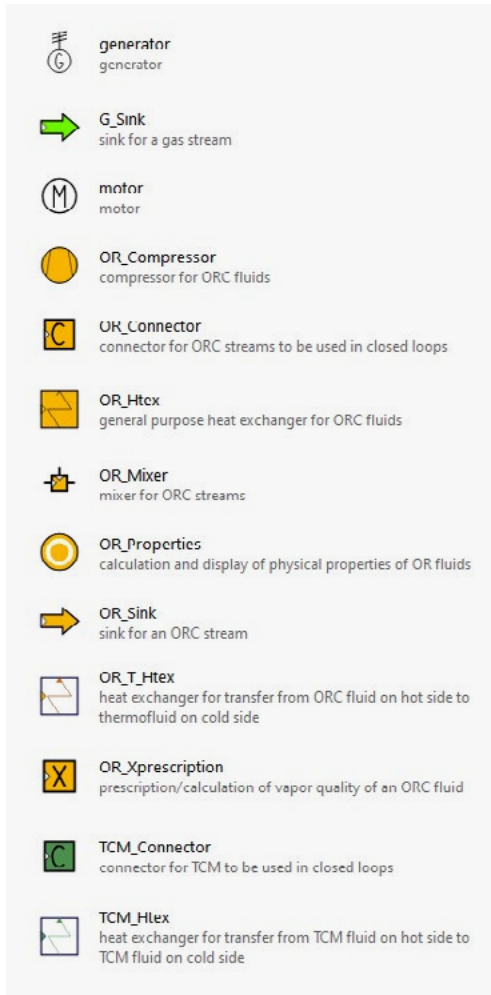
RESTORE I OPSKALEREDE SCENARIER

PROCESSIMULERING MED VIRTUELT VÆRKTØJ



Det virtuelle værktøj inkluderer et bibliotek med over 80 komponentmodeller, der kan arrangeres grafisk for at skabe procesmodeller for systemer baseret på RESTORE-konceptet.

Udtæk fra
RESTORE
Modelbibliotek



RESTORE Virtuel Værktøj

For at demonstrere RESTORE-konceptet og give interessenter samt slutbrugere nem adgang til resultaterne fra casestudierne, er RESTORE Virtuel Værktøj blevet udviklet som en interaktiv web-plattform, der kan tilgås via enhver webbrowser.

Alle casestudier er tilgængelige gennem det virtuelle værktøj og kan udforskes i detaljer. Registrerede brugere kan ændre de eksisterende casestudiers procesmodeller og skabe egne nye testcases for RESTORE-teknologien. RESTORE Virtuel Værktøj kombinerer muligheder via generisk processimuleringsramme med et bibliotek af komponenter, der specifikt er udviklet til at repræsentere RESTORE-konceptet. Procesmodeller konstrueres ved hjælp af de individuelle komponentmodeller i biblioteket.

Simuleringsplatform IPSE GO

Det virtuelle værktøj er baseret på proces-simuleringsplatformen IPSE GO, en generisk og cloud-baseret processimuleringsramme. IPSE GO kan tilpasses til forskellige anvendelser gennem brug af specifikke modelbiblioteker. For udvikling af nye modelbiblioteker benyttes det Model Development Kit fra IPSEpro proces-simuleringspakken.

IPSE GO har en grafisk brugergrænseflade til at oprette procesmodeller, løse dem og vise resultater. Derudover muliggøres integration af procesmodeller i websites, hvilket sikrer formidling og bredere tilgængelighed. Platformen understøtter også omfattende projektdeling og samarbejdsfunktioner.

For at tilpasse det, giver IPSE GO en scripting-grænseflade, der muliggør integration med andre beregningsmoduler som Google Docs, en funktion der bruges til at implementere den økonomiske vurdering af RESTORE-konceptet.

EFFEKTIV KOMBINERING AF TEKNOLOGIER

BRØNDERSLEV FORSYNING A/S

Case 1: Anlægget i Brønderslev

Brønderslev hybridanlæg er verdens første koncentrerede solenergi (CSP) og bi-masseanlæg, der udnytter spildvarme. Det kombinerede varme- og kraftanlæg består af et 16,6 MW solfelt med paraboliske trug, to 10 MW biomassekedler og et Organic Rankine Cycle (ORC)-system med et elektrisk output på 4 MW. Solfangerfeltet og biomassekedlerne er hydraulisk forbundet og leverer varme parallelt til ORC-systemet. En flertrins varmegenvindingsproces sikrer, at spildvarmen leveres til det lokale fjernvarmenet. Solfeltet kan også betjenes uafhængigt af biomasseanlægget og levere varme direkte til fjernvarmenettet. Hybridanlægget har fungeret pålideligt og har succesfuldt demonstreret potentialet for CSP-biomasse-kombinationen. I det virtuelle casestudie er RESTORE-løsningen tilpasset for at imødekomme disse specifikke krav.

Systemet udnytter overskydende termisk energi fra det eksisterende solfangerfelt med parabolske trug til direkte at oplade den termokemiske reaktor og producere dehydreret termokemisk lagermateriale. På denne måde kræves der ikke en varmepumpe til opladningsoperationen, da temperaturen på den termiske olie fra anlæggets solkredsløb er tilstrækkeligt høj.

Under afladningscyklussen bliver det termokemiske materiale ført til reaktoren på gunstige tidspunkter for at drive en ORC-kraftturbine. Ved at bruge det virtuelle værktøj er det muligt at tilpasse proceskonfigurationen af RESTORE-teknologien til disse forhold og evaluere dens ydeevne i et sådant scenario.

Yderligere information

Adgang til resultaterne fra RESTORE
Virtuelt Værktøj vil være tilgængelig
via følgende link: [about.ipsego.app/
embed/ RESTORE_Lib](https://about.ipsego.app/embed/RESTORE_Lib)



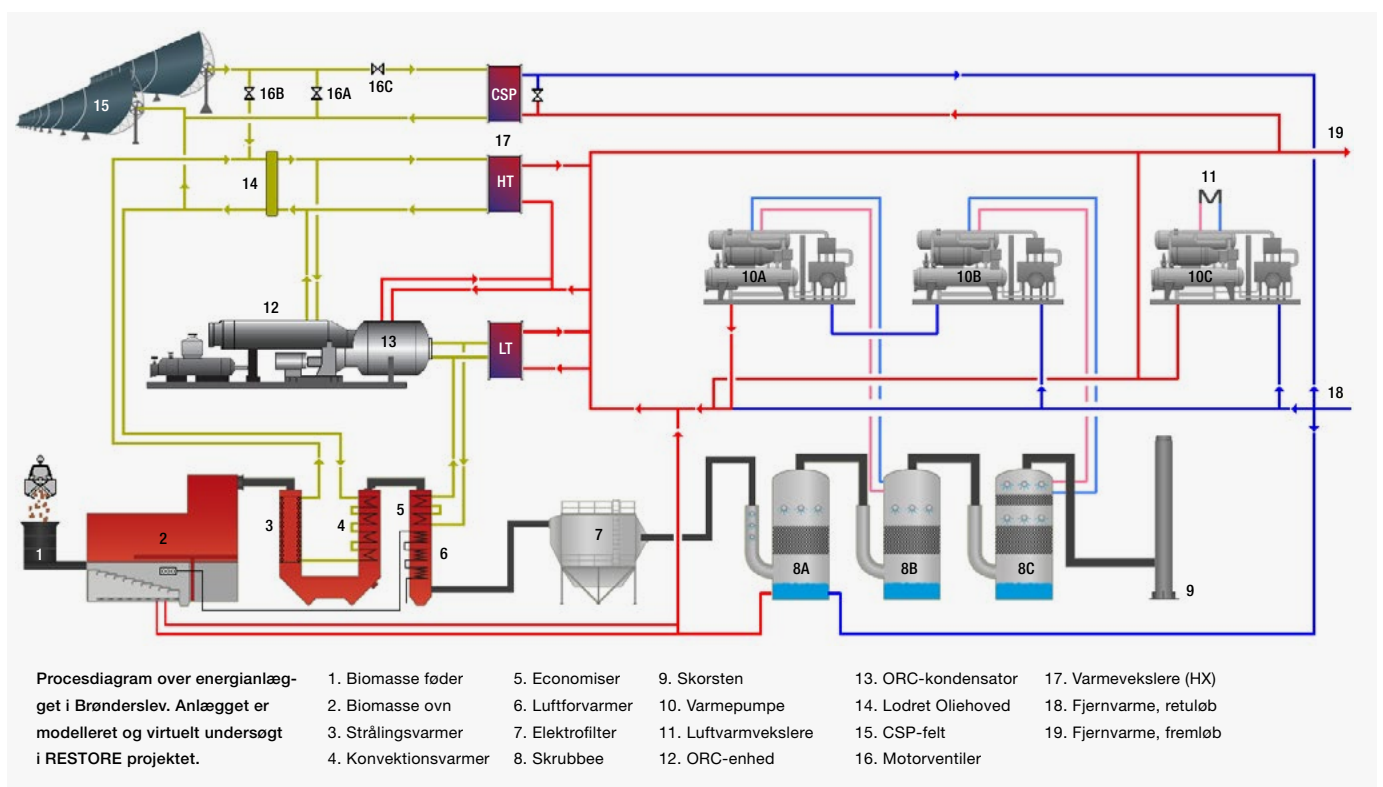
RESULTATER

Øget brug af solvarmeenergi

Den virtuelle løsning sigter mod at maksimere integrationen af vedvarende energi i fjernvarmenettet.

Yderligere produktion af elektricitet

I perioder med høje elpriser kan RESTORE-løsningen levere elektrisk strøm ved at køre en ORC-turbine via anvendelse af det termokemiske materiale i reaktoren





Renewable Energy based seasonal Storage Technology in Order to Raise Economic and environmental sustainability of DHC.

RESTORE-projektet, der startede i oktober 2021 og afsluttes i 2025, involverer 12 partnere spredt over 7 forskellige lande i EU. Fundación CENER, med stor erfaring inden for vedvarende energi og energilagring samt koordinering af H2020-projekter, leder konsortiet. Konsortiet omfatter en tværfaglig gruppe; universiteter med lang erfaring inden for de foreslåede koncepter og virksomheder, der er specialiseret i industrialiseringen af disse udviklede teknologier.

Derudover sikrer SMV'er, der er specialiseret i simuleringssværktøjer, pålideligheden af den virtuelle Use-Case-analyse, som understøttes af industrivirksomheder med stor erfaring inden for sektorkobling i DHC-netværk. Desuden involverer konsortiet erfarne virksomheder som udfører vurderingen af den foreslåede teknologi inden for forskellige områder samt formidlingen og udnyttelsen af projektets resultater.



www.restore-dhc.eu

www.linkedin.com/company/restore-dhc-project

Date of Publication

31 March 2025

Edited by

Solites - Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems

Meitnerstr. 8, 70563 Stuttgart, Germany

info@solites.de, www.solites.de

With support of the RESTORE project partners.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No. 101036766. The sole responsibility for the content of this publication lies with the authors. It does not necessarily reflect the views by the institutions of the European Union. Neither the European Commission nor the authors are responsible for any use that may be made of the information contained therein.

Image sources: Page 1: Solar thermal © Aalborg CSP, ORC © Dennis Rein/@reinspire.d, thermochemical reactor © TU Wien, Department of Energy of POLIMI © Dennis Rein/@reinspire.d; Page 4: TCES © TU Wien; Page 7: rORC © Enerbasque, volumetric machine © Dennis Rein/@reinspire.d; Page 9: Brønderslev © Aalborg CSP, Gmunden © Rohrdorfer Zement, Mondi SCP © Mondi, Brescia © Alfa Acciai, Holzkirchen © Geothermie Holzkirchen Plant, POLIMI Campus © Politecnico di Milano; Page 10: Virtual tool © SimTech; Page 11: Brønderslev © Aalborg CSP