

Bispebjerg Hospital

ATES-anlæg

Civilingeniør
Stig Niemi Sørensen
www.enopsol.dk

Maj 2021



Indledning

Netop i disse år foretages store investeringer i udbygning med nye, store hospitaler og moderniseringer og ombygninger af mange af de eksisterende hospitaler og sygehuse i Danmark.

For dem alle gælder, at der er både et opvarmnings- og et kølebehov, men ikke nødvendigvis samtidigt. Der er dog altid et minimum varmebehov hele året rundt til opvarmning af varmt brugsvand og et minimum kølebehov året rundt til køling af fx scannere, men disse behov er små set i forhold til de tidspunkter, hvor behovene for opvarmning og køling er størst.

Det største behov for opvarmning er naturligvis på den koldeste vinterdag, og det største behov for køling er naturligvis på den varmeste sommerdag, hvilket ligger

med en tidsforskydning på adskillige måneder. Det meste af den varme, som fjernes ved køling, kan derfor ikke umiddelbart anvendes til opvarmningsformål.

Ved anvendelse af store termiske lagre i de grundvandsførende jordlag i undergrunden, er det muligt at gemme det meste af den varme, der er fjernet ved køling om sommeren, til opvarmning om vinteren. Tabet ved lagringen er typisk 15-20%.

Ved køling om sommeren med grundvand kan der spares over 90% på elregningen sammenlignet med traditionel køling med mekaniske kølekompressorer og op til 60% på varmeregningen til traditionel opvarmning, der typisk sker ved hjælp af naturgas, olie eller fjernvarme.

Mange steder i Danmark findes velegnede, terrænnære grundvandsmagasiner, der kan anvendes til kort- og langtidslagring af lavtemperatur varme og kulde uden at være til gene for indvindingen af grundvand til drikkevand.

Et eksempel er Danmarks største ATES-anlæg på Bispebjerg Hospital.

ATES-anlægget på Bispebjerg Hospital

Med idriftsættelsen af Danmarks hidtil største anlæg for central, grundvandsbaseret egenproduktion af køling og varme i december 2018, tog Bispebjerg Hospital et afgørende skridt mod at minimere det primære energiforbrug til brug for opvarmning og afkøling af Hospitalet. Anlægget vil kunne dække hele hospitalets fremtidige kølebehov og en væsentlig del af varmebehovet. Energibesparelsen er samlet set beregnet til ca. 75% i forhold til fjernvarme og traditionel køling med decentrale kølekompressor-anlæg, som var hospitalets hidtidige måde at køle og opvarme på. Den store energibesparelse fremkommer ved sæsonlagre varme fra køling af hospitalet om sommeren og genanvende varmen om vinteren med varmepumper. Dette giver samtidig en attraktiv kort tilbagebetalingstid for anlægsinvesteringen med en god samfundsøkonomi.

Ved tidspunktet for udlægning af anlægget blev CO₂-besparelsen beregnet til ca. 1.150 tons pr. år. Da anlægget udelukkende anvender elektricitet og fjernvarme, bliver køle- og varmeproduktionen fossilfri i takt med samfundets omstilling til fossilfri el- og varmeproduktion.

Termisk lagring af varme og kulde

Lavtemperatur lagring af varme og kulde i de terrænnære, grundvandsførende jordlag – de såkaldte ATES-systemer er en velegnet teknologi til køling og opvarmning af de

danske hospitaler og sygehuse, idet der normalt er både et køle- og et opvarmningsbehov.

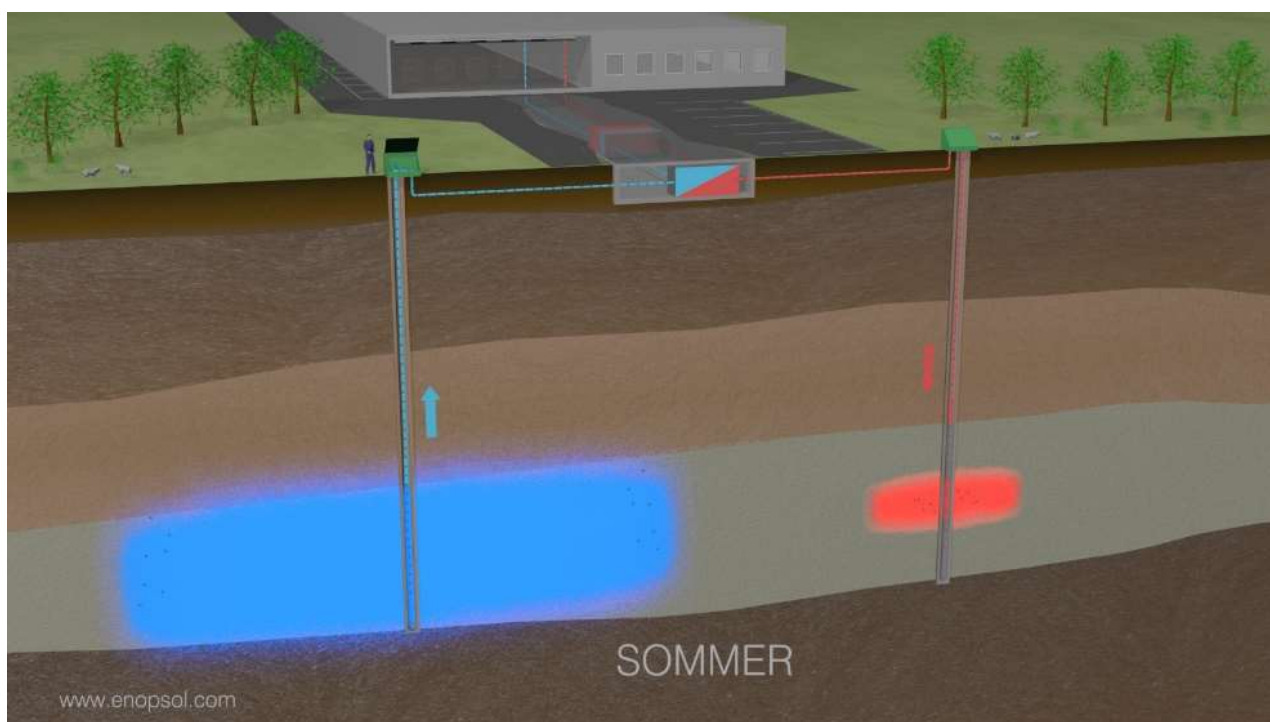
ATES, der står for Aquifer Thermal Energy Storage er en velafprøvet teknologi både i Danmark og i udlandet. Lagringsmediet er de naturlige, vandførende jordlag som sand, grus og kalk. Lageret opbygges ved at udføre en række boringer typisk til en dybde på under 100 meter afhængig af beliggenheden af de vandførende jordlag.

Boringerne skal udføres, så de både kan fungere som indvindingsboringer og som returledningsboringer for grundvand.

Boringerne udpeges hver især enten som "varm" eller "kold" boring.

Når der er behov for køling pumpes grundvandet fra "kold" boring i et lukket rørsystem gennem en varmeveksler og tilbage i grundvandsmagasinet igennem "varm" boring.

Princippet er illustreret på figur 1.

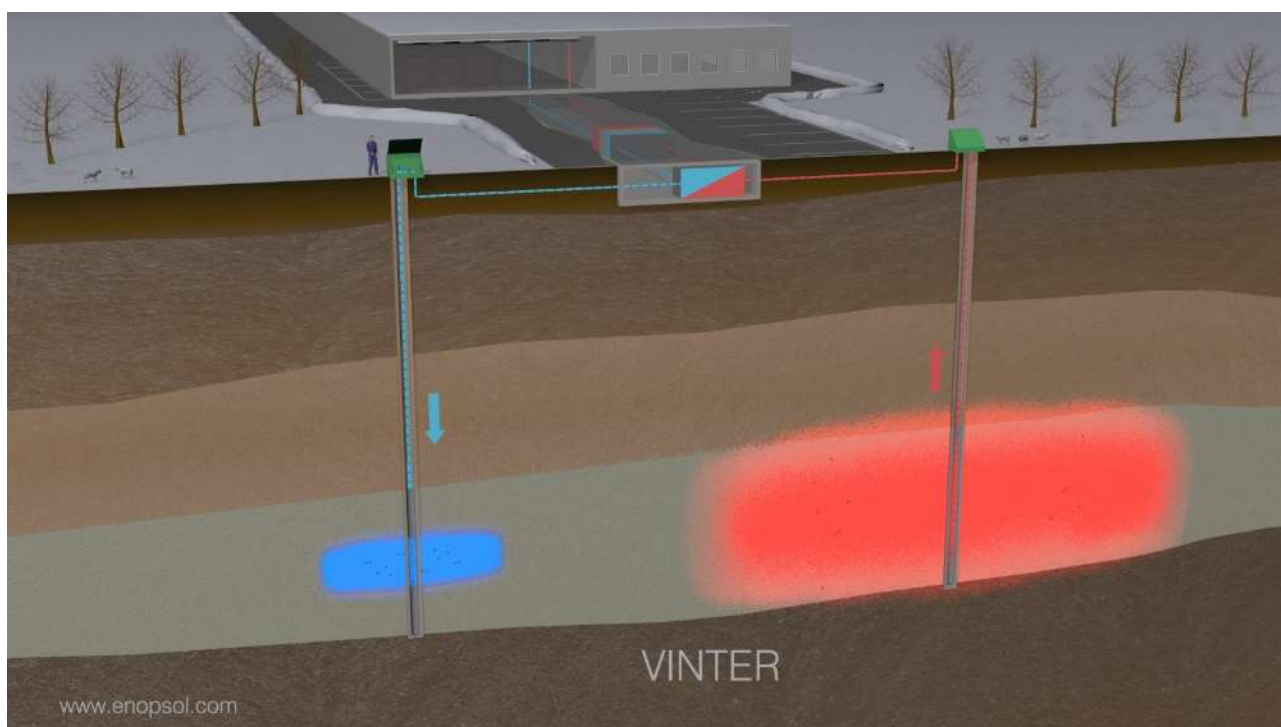


Figur 1. Køling i sommertiden. Koldt grundvand pumpes fra "kold" brønd via rør i jord igennem en varmeveksler, hvor grundvandet opvarmes ved varmeveksling med internt kølevand inden det tilbageledes opvarmet gennem "varm" brønd. Kuldageret opbygget omkring "kold" brønd i grundvandsmagasinet i vintertiden tømmes samtidig med at et varmelager opbygges i grundvandsmagasinet omkring "varm" brønd. Kilde: Enopsol.

Når der er behov for opvarmning pumpes grundvandet den modsatte vej fra "varm" boring i det lukkede rørsystem gennem varmeveksleren og tilbage i grundvandsmagasinet igennem "kold" boring.

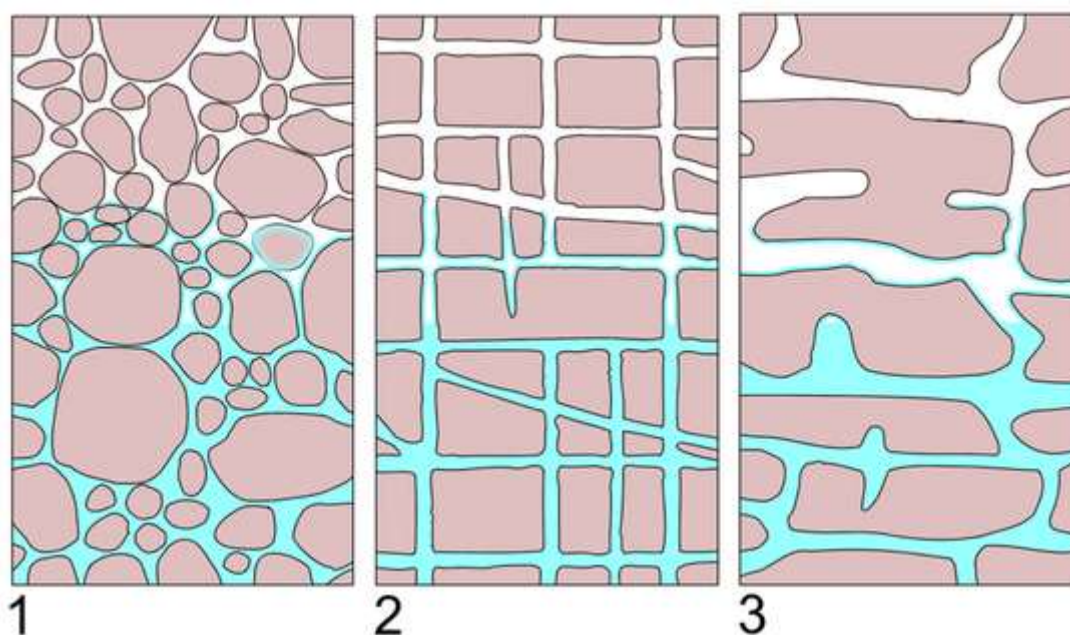
Princippet er illustreret på figur 2.

Da hele den oppumpede grundvandsmængde tilbageledes i grundvandsmagasinet, sker der ikke noget forbrug af grundvandsressourcen.



Figur 2. Opvarmning i vintertiden. Varmt grundvand pumpes fra "varm" brønd via rør i jord igennem en varmeveksler, hvor grundvandet afkøles ved varmeveksling med internt kølevand inden det tilbageledes afkølet gennem "kold" brønd. En varmepumpe hæver temperaturen af kølevandet til en temperatur, der kan anvendes til opvarmningsformål. Varmelageret opbygget omkring "varm" brønd i grundvandsmagasinet i sommertiden tømmes samtidig med at et kuldager opbygges i grundvandsmagasinet omkring "kold" brønd. Kilde: Enopsol.

Ved tilbageledning af varmere eller koldere grundvand i grundvandsmagasinet, afgives varmen eller kulden til grundvandsmagasinet sand-, grus- eller kalkstruktur, idet grundvandet strømmer igennem strukturen og herved afgiver varme eller kulde til denne. Vandindholdet i et egnet grundvandsmagasin er mellem 15 og 35% -resten er struktur som illustreret på figur 1.



Figur 3. Eksempler på porøse strukturer. 1: sand og grus. 2 og 3: spalter og sprækker i kalk. Kilde: GEUS.

Når opvarmet eller afkølet grundvand ledes ud i grundvandsmagasinet gennem returledningsboringen er der en væsentlig forskel på, hvor hurtigt vandet udbreder sig væk fra boringen, og hvor hurtigt varmen eller kulden udbreder sig væk fra boringen, idet varme- eller kuldeudbredelsen forsinkes af, at der skal bruges energi til enten at opvarme eller afkøle strukturen i grundvandsmagasinet. Ved et vandindhold på fx 30% i et sandmagasin, når varmemfronten kun ca. 70% så langt væk fra boringen som vandfronten i samme tidsperiode ved tilbageledning af varme eller kulde.

Ved genindvinding af den lagrede varme eller kulde vendes pumperetningen og strukturen afgiver sit varme- eller kuldeindhold til det grundvand, som gennemstrømmer den opvarmede eller afkølede struktur.

Da afstanden mellem en "varm" og en "kold" boring skal afpasset efter en lang række parametre, skal der udføres en grundig forundersøgelse af de grundvandsmæssige forhold på den aktuelle lokalitet.

Det vil normalt ikke kunne betale sig at udføre så stort et grundvandsanlæg, at det kan klare det maksimale køleeffektbehov, der optræder på den varmeste sommerdag. Ligeledes vil det normalt heller ikke kunne betale sig at etablere et grundvandsanlæg der kan klare det maksimale varmeeffektbehov på den koldste vinterdag.

For hvert hospital eller sygehus ligger der imidlertid et optimum, der er styret af de lokale forhold. Hvis hospitalet eller sygehuset er tilsluttet fjernvarmen, kan kølebehovet være dimensionerende for grundvandsanlægget. Hvor hospitalet eller sygehuset ikke forsynes med fjernvarme, kan det være varmebehovet, der er dimensionerende for grundvandsanlægget.

Normalt vil der ikke være energibalance mellem bygningers behov for køling og opvarmning, hvilket får betydning for design af det samlede energisystem.

Hvor behovet for køling er dominerende, kan der være behov for supplerende køling fra det varmepumpeanlæg, der producerer varmen om vinteren.

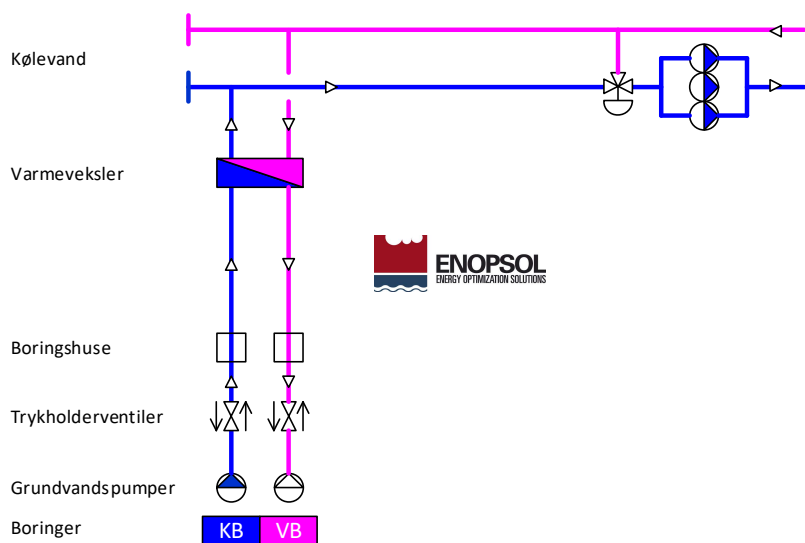
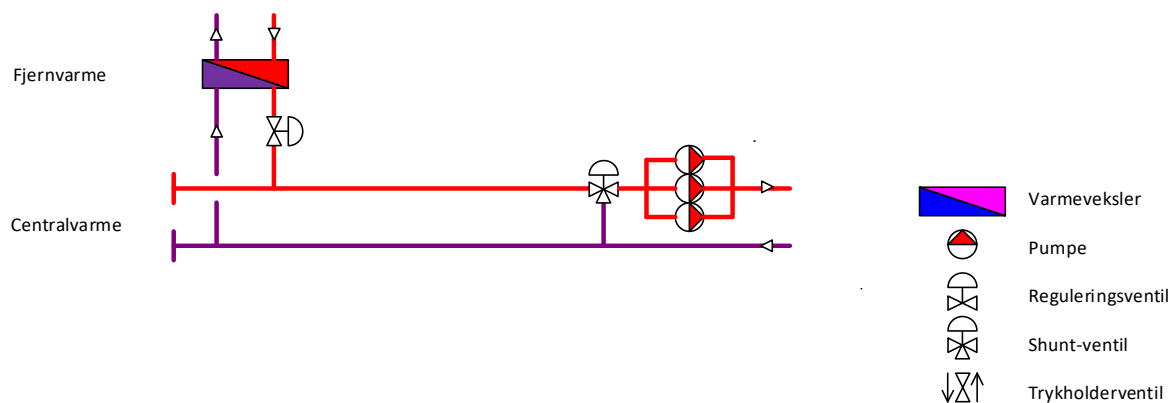
Hvor behovet for opvarmning er dominerende, kan der være behov for supplerende varme lagret fra fx solvarme eller overskudsvarme om sommeren.

Anlægsopbygning – eksempel

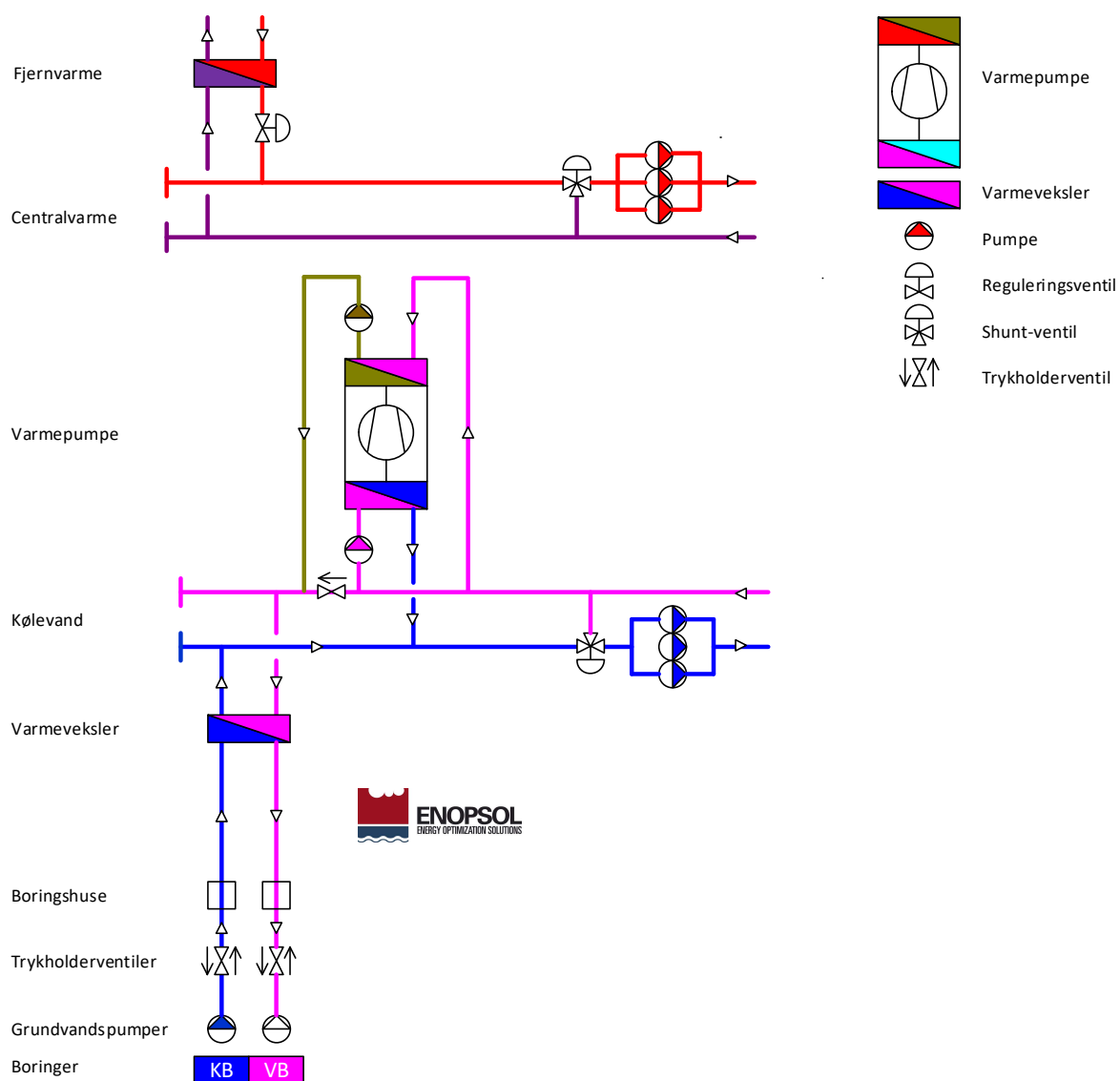
I figur 4 er vist et af Enopsol designet modulært energisystem til en driftssituation med et samtidigt stort kølebehov og et lille varmebehov (sommer).

Grundvandet pumpes fra "kold" brønd gennem en varmeveksler. I varmeveksleren overføres kulde fra grundvandet til det interne kølevandssystem. Temperaturen af grundvand før det passerer varmeveksleren er noget koldere end i naturtilstanden, idet der i vintertiden er lagret afkølet grundvand i "kold" brønd fx ved 3-5°C. Ved varmevekslingen i varmeveksleren opvarmes grundvandet til fx 16°C. Opvarmes grundvandet eksempelvis fra 5 til 16°C vil et boringspar kunne levere en køleeffekt på 640 kW, hvis der cirkuleres 50 m³ pr. time grundvand mellem de to borer. På kølevandssiden kan der leveres kølevand med en fremløbstemperatur ned til ca. 6°C. Varmeforsyningen leveres som fjernvarme.

Hvis der er brug for supplerende køling, startes en varmepumpe som vist på figur 5. Kondensatorvarmen fra varmepumpen varmeveksles med i grundvandet. Herved opvarmes grundvandet yderligere til maksimalt 25°C og i gennemsnit 20°C efter gældende bestemmelser. Herved kan et boringspar levere en samlet køleeffekt på op til 1160 kW, hvis der cirkuleres 50 m³ pr. time grundvand mellem de to borer. Varmeforsyningen leveres som fjernvarme.



Figur 4. Sommertid. Modulært energisystem med køling fra grundvand og varmelagring i grundvandsmagasinet samt opvarmning med fjernvarme. Eksempel: Bispebjerg Hospital.



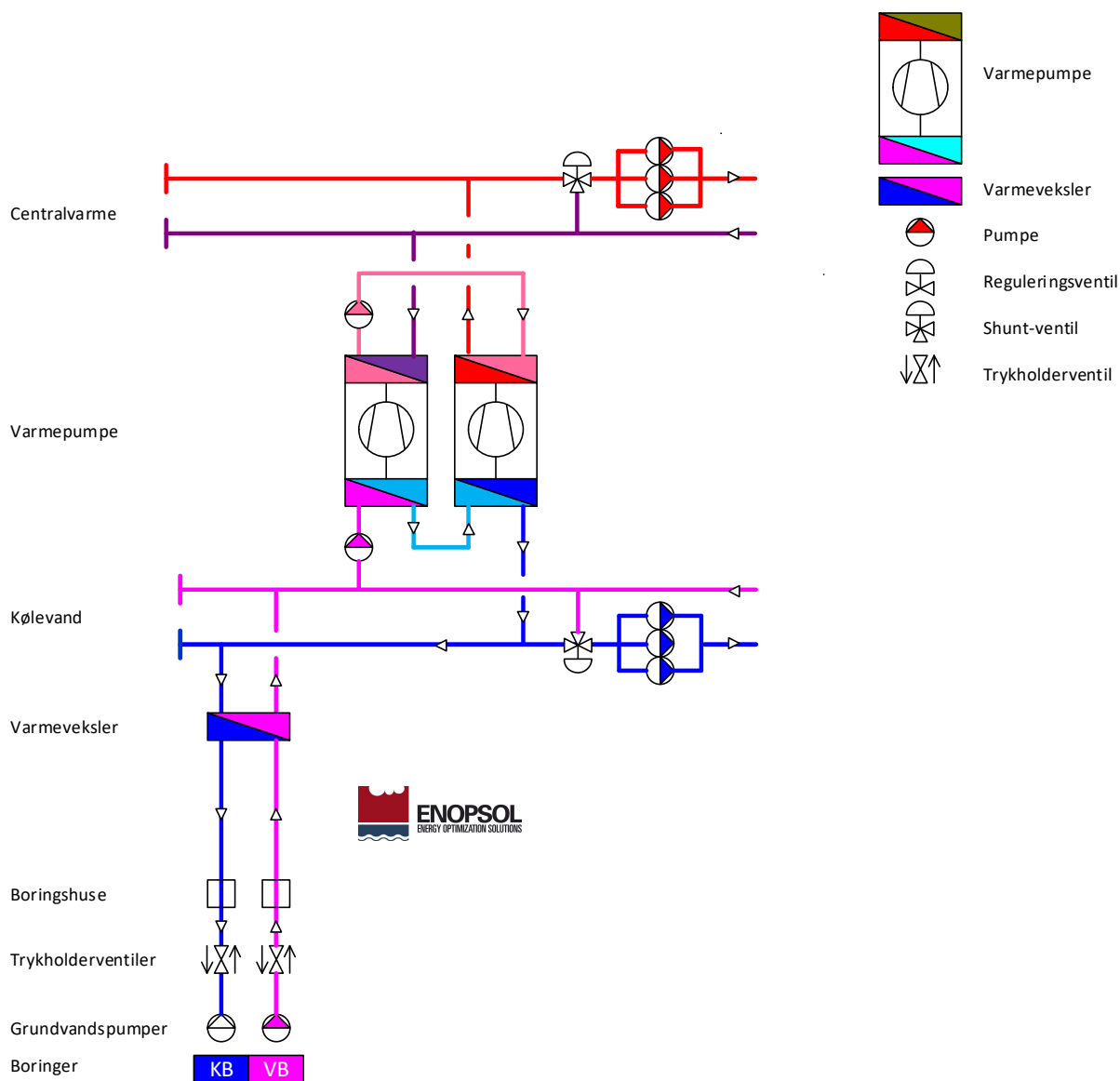
Figur 5. Sommertid. Modulært energisystem med køling fra grundvand suppleret med køling fra varmepumpe med varmelagring i grundvandsmagasinet samt opvarmning med fjernvarme. Eksempel: Bispebjerg Hospital.



I figur 6 er vist et af Enopsol designet modulært energisystem til en driftssituation med et samtidigt stort varmebehov og et lille kølebehov (vinter).

Grundvandet pumpes fra "varm" brønd gennem en varmeveksler. I varmeveksleren overføres varme fra grundvand til det interne kølevandssystem. Temperaturen af grundvand før det passerer varmeveksleren er noget varmere end i naturtilstanden, idet der i sommertiden er lagret opvarmet grundvand i "varm" brønd fx ved 16-25°C. Ved varmevekslingen i varmeveksleren afkøles grundvandet ned til fx 4°C. Afkøles grundvandet fra 16 til 4°C vil hvert boringspar kunne levere en varmeeffekt på 700 kW, hvis der cirkuleres 50 m³ pr. time grundvand mellem de to borer. På kølevandssiden produceres kølevand af varmepumperne ned til fx 3°C.

Varmepumperne leverer varme ved ca. 65°C. Hvis der er brug for supplerende varme, leveres denne som fjernvarme.



Figur 6. Vintertid. Modulært energisystem med køling og opvarmning med 2-trins varmepumpe, suppleret med varme fra fjernvarme. Kuldelagring i grundvandsmagasinet. Eksempel: Bispebjerg Hospital.

Anlæggets udlægning

Anlægget er udlagt til dækning af Bispebjerg Hospitals forventede behov for køling, når Bispebjerg Hospital er fuldt udbygget, herunder dækning af behovet til ny akutmodtagelse og Nyt Psykiatrisk Hospital.

ATES-anlægget består af i alt 12 borer med 6 grundvandsmoduler med en samlet grundvandsydelse på 360 m³/h.

Varmepumpeanlægget består af 3 Dual Pack Sabroe stempelkompressorer med ammoniak som arbejdsmedium.

Det fremtidige, forventede køleeffektbehov er op til 5,4 MW med et årligt kølebehov på 7250 MWh. På baggrund af disse behov, og 41 øvrige forudsætninger, har Enopsol opstillet et beregningsprogram til økonomisk optimering af det samlede energisystem

På baggrund af parameteranalyser med programmet blev grundvandssystemet udlagt til en termisk køleydelse på 3,8 MW og en årlig køleproduktion på 6350 MWh, svarende til 71% af køleeffektbehovet og 88% af det årlige kølebehov.

Varmepumperne er udlagt til en varmeydelse på 4,7 MW med en varmeproduktion på 8250 MWh/år.

Varmepumperne er p.t. begrænset til kun at levere varme til hospitalet i perioden 1. december til 31. marts.

Enopsol er markedsledende i Danmark og turn-key leverandør af energisystemer med grundvandskøling og ATES. Firmaet har indenfor hospitalsbranchen assisteret en række hospitaler og sygehuse med forundersøgelser, herunder tilladelser til prøveboringer, miljøansøgninger og samfundsøkonomiske analyser.

Gentofte Hospital er det første hospital i Danmark, der har etableret et ATES-anlæg. Anlægget er leveret af Enopsol og idriftsat i 2016.

ATES-projektet på Bispebjerg Hospital har Enopsol udført som underleverandør til Multikøl & Energi A/S, der har leveret det samlede anlæg til Region Hovedstaden. Multikøl og Energi A/S har bl.a. udlagt, leveret og installeret varmpumper og stærkstrømsinstallationer til projektet.