





Avanserte simuleringer av energiforsyning – praktiske erfaringer

VI/ KRISTIAN H. KLUGE, ERICHSEN & HORGEN AS

- Nytt Nasjonalmuseum skal bygges på Vestbanen i Oslo.
- Byggherre: Statsbygg.
- Areal: 54.400 m²
- Byggestart: Mars 2014
- Åpning: 2020
- Prosjekt Nytt Nasjonalmuseum bruker BIM som et integrert verktøy i prosjekterings- og byggefasen.



Avanserte simuleringer av energiforsyning – praktiske erfaringer

Sideløpende med byggeprosjektet er det utført et FoU prosjekt, hvor formålet er å undersøke og videreutvikle bruken av BIM i energi- og inneklimaberegninger.

- Del 1 av FoU prosjektet: Import av IFC-filer til energi- og inneklimaprogramvarene IDA ICE og IES-VE.
- Del 2 av FoU prosjektet: Detaljert simulering av energisentraler.

Det er ikke vanlig at energiforsyningssystemer simuleres og all prosjektering skjer typisk på basis av forenklete analyser og tommelfingerregler. Muligheten for integrert simulering av energiforsyning og bygg er forholdsvis ny og er implementert i et knippe programmer.

Formålet med del 2 av FoU prosjektet har vært å løfte dynamiske simuleringer av energisentraler frem som en mulig teknikk for optimalisering av energiforsyningsløsningen mht valg av komponenter, systemer, temperaturnivåer med mer.

Benyttet simuleringsverktøy

Simuleringsverktøyet som er benyttet i FoU prosjektet:

- IDA ICE, versjon 4.6.
- Program utviklet av Equa Simulation AB.
- Verktøy for full dynamisk beregning av inneklime og energibruk i bygninger.
- Validert blant annet iht. NS-EN 15255:2007 og NS-EN 15265:2007

Simulering av energisentralen er gjort ved hjelp av IDA Early Stage Building Optimization (ESBO), som er en applikasjon i Expert versjon av IDA ICE.

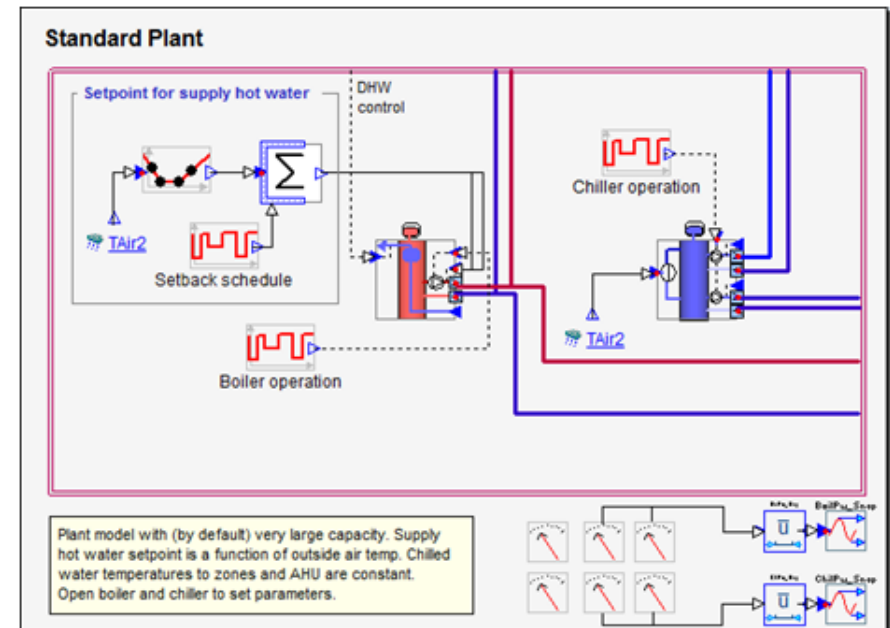
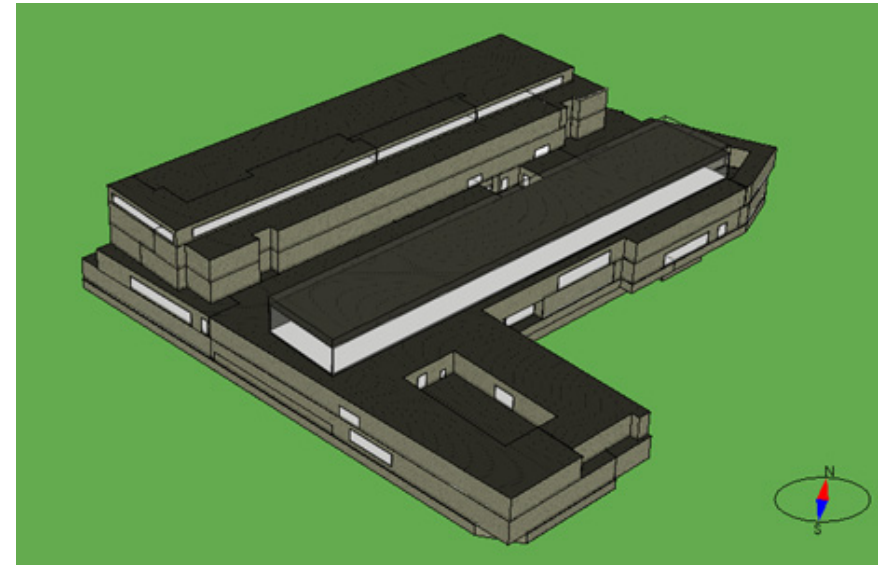
Simuleringsmodell - basis

Beregningsmodellen utviklet i del 1 av FoU prosjektet benyttet som basis.

Energisentralen består her av følgende:

- En ideell enhet for oppvarming.
- En ideell enhet for kjøling.
- Begge med tilstrekkelig kapasitet og med fast effektfaktor i hele simuleringsperioden.

Energisentralen i standardversjonen egner seg derfor kun til simulering av inneklime, energi- og effektbehov i bygget, og ikke til detaljerte simuleringer av energisentralen.



Nødvendige tilpasninger på modellen

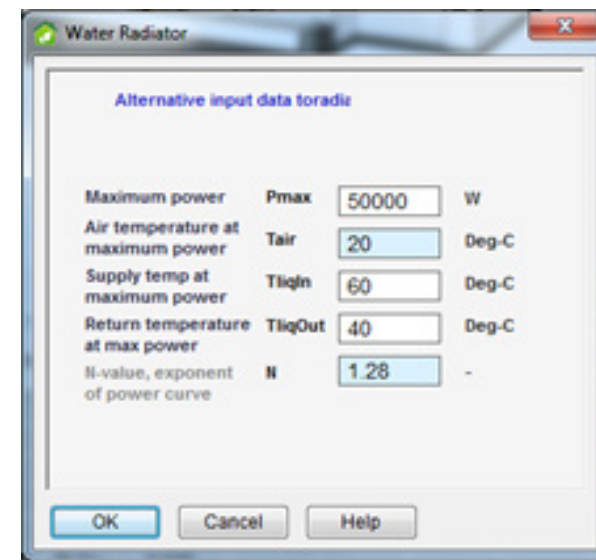
For å kunne utføre simuleringer av energisentralen er det gjort noen tilpasninger på modellen.

For å gjøre modellen noe enklere og redusere simuleringstiden er det gjort følgende:

- Flere soner er slått sammen, slik at antallet er redusert fra 35 til 19.
- Flere ventilasjonsaggregater er også slått sammen.
- Flere interne isolasjonssjikt er fjernet (kjølerom etc.).

For å kunne utføre simuleringer med ESBO sentral er følgende gjort:

- Lagt til behov for tappevannsberedning.
- Byttet ut "ideal heaters" og "ideal coolers" med hhv. vannbårne radiatorer og kjøleenheter.
- Standard energisentral byttet ut med ESBO sentral.



ESBO sentral – oppbygning.

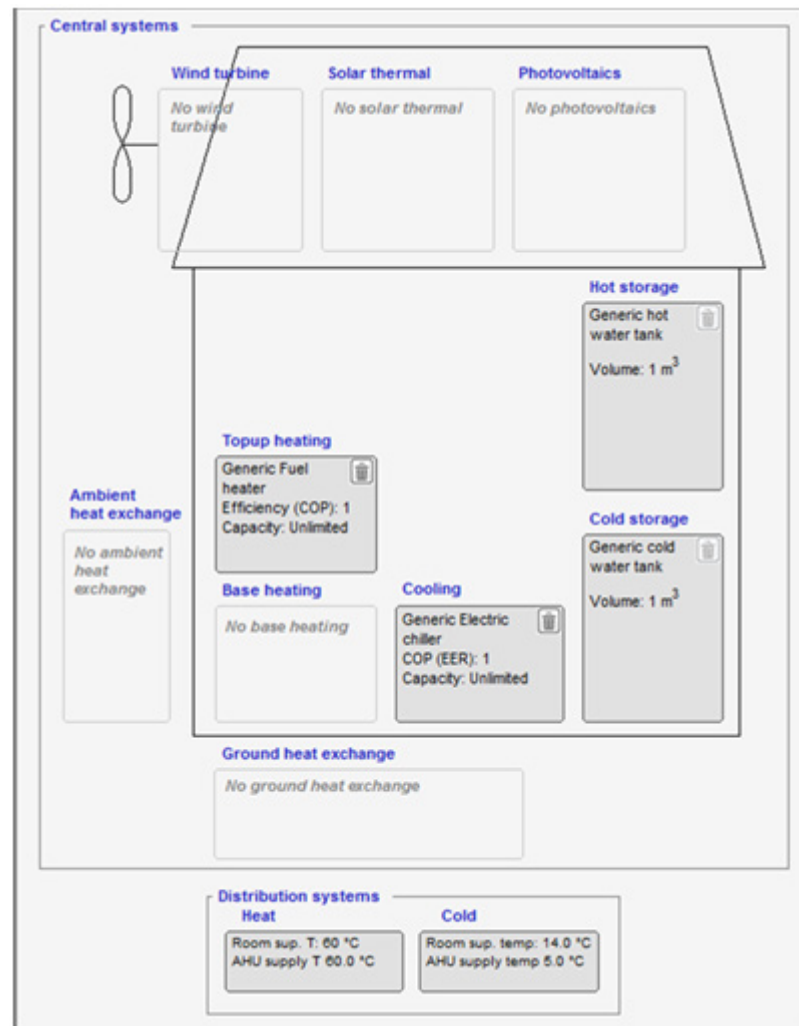
ESBO sentralen baserer seg på ”drag-and-drop”

Mulig å velge mellom en rekke prefabrikkerte energiforsyningsmoduler:

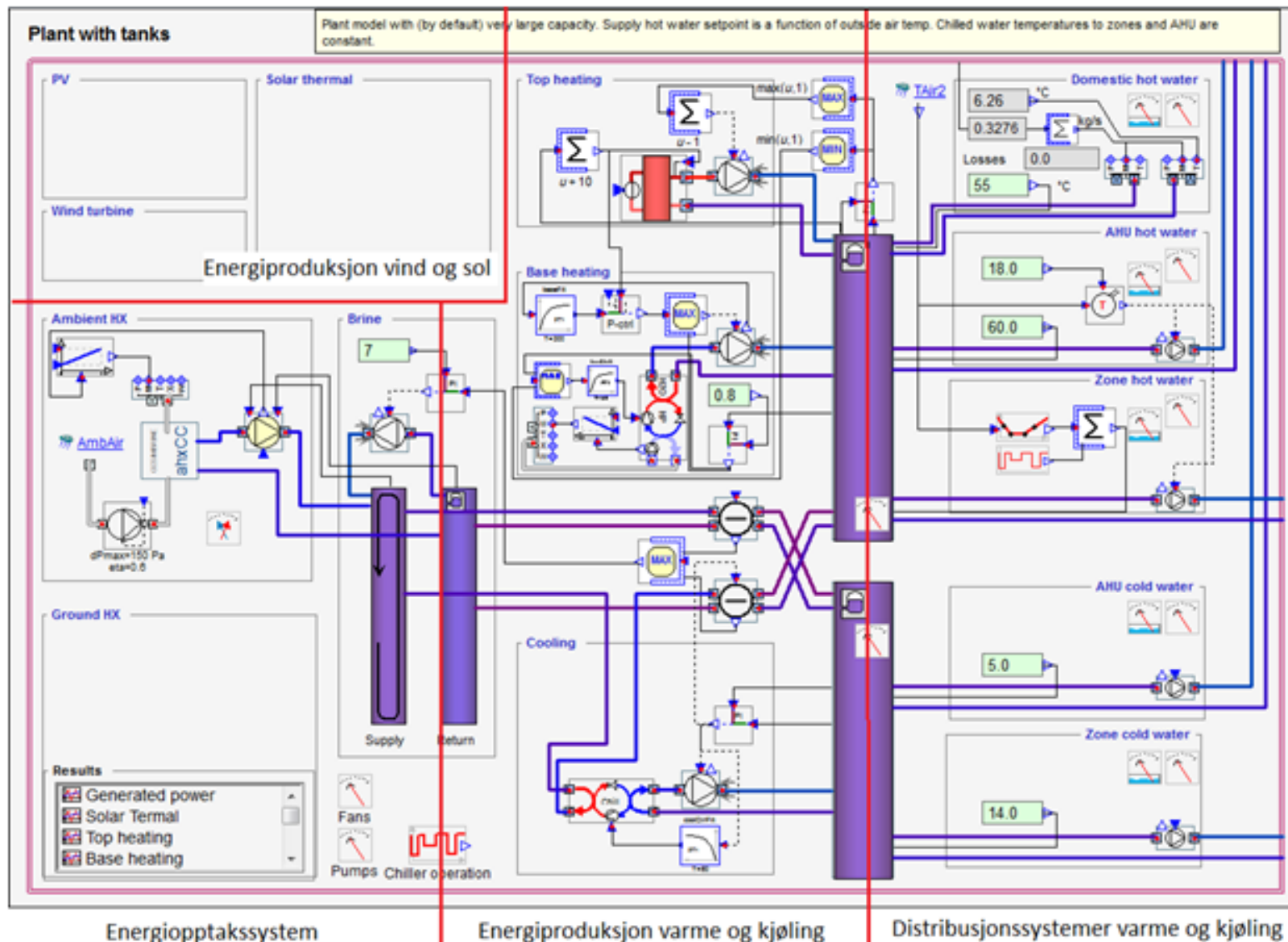
- Forskjellige typer varmepumper og kjølemaskiner.
- Kjelløsninger.
- Energikilder: luft, energibrønner og kilde med egendefinert parametre.
- Solfangere, solceller og vind.

Grunnlast og topplast defineres.

Temperaturnivåer på distribusjonssystemene defineres.



ESBO sentral – oppbygning.



Energisentralen for Nytt Nasjonalmuseum

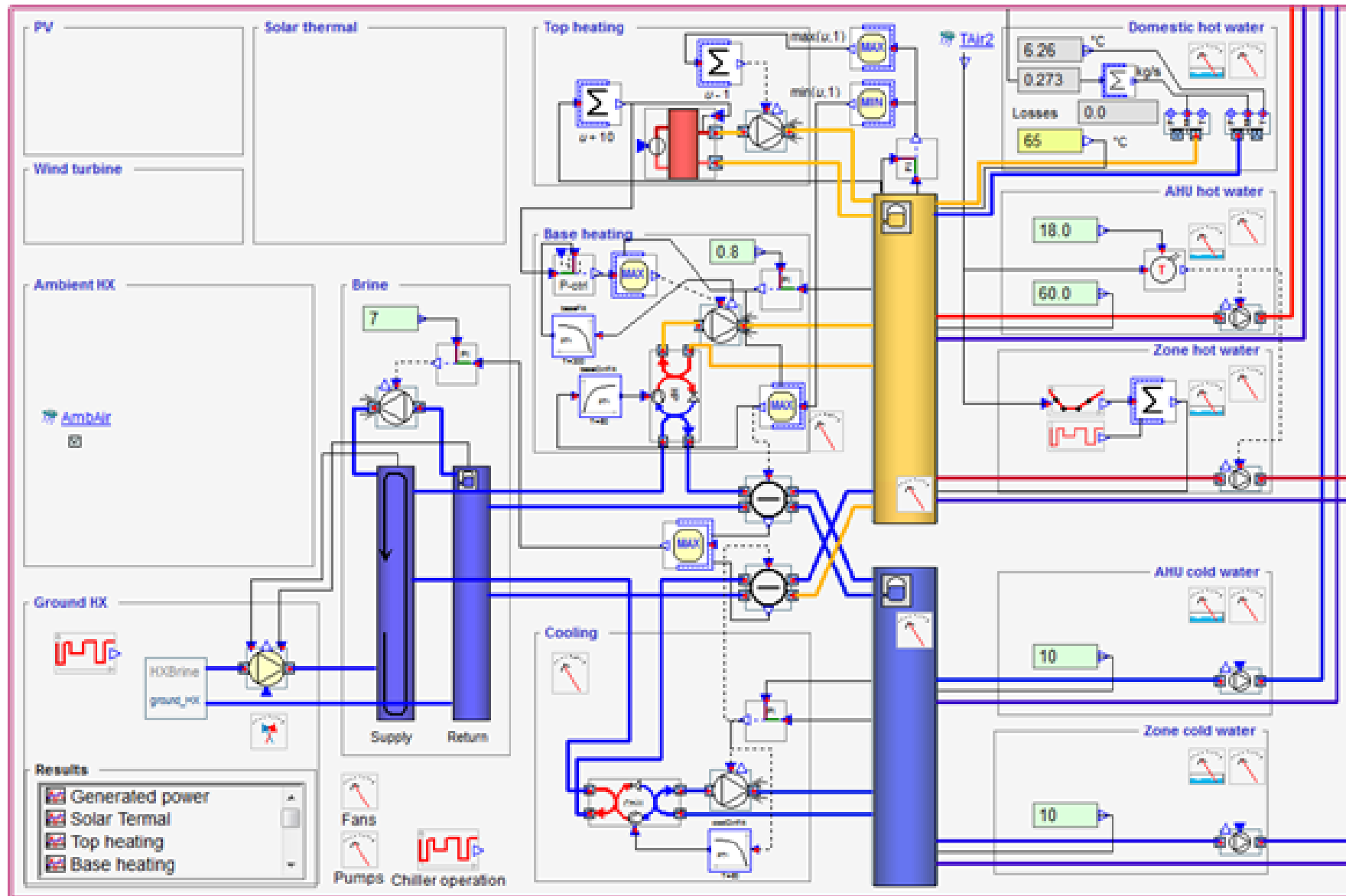
Det er i FoU prosjektet valgt å benytte de prefabrikerte energiforsyningsmodulene for å bygge opp en energisentral som lignende den som benyttes i prosjektet. Modulene virker gode og det går raskt å bygge opp energisentralen.

Energisentralen ved Nytt Nasjonalmuseum består av følgende:

- Sjøvann som energikilde for varmepumper, kjølemaskiner og frikjøling.
- Væske-vann kjølemaskin, 1600 kW.
- Grunnlast: Væske-vann varmepumpe, 650 kW.
- Spisslast: fjernvarme, 1600 kW.
- Varmedistribusjonssystem, 60/40 °C.
- Isvannsanlegg, 10/16 °C.

Måned	Middeltemperatur målt på sjøvannsinntak ved Aker brygge (1933-1992) [°C]
Januar	7,0
Februar	6,5
Mars	6,5
April	5,0
Mai	6,0
Juni	5,5
Juli	7,5
August	7,0
September	7,5
Oktober	8,5
November	8,5
Desember	8,0

Energisentralen for Nytt Nasjonalmuseum



Hvilke simuleringer er utført?

Det er i FoU prosjektet valgt å utføre simuleringer av typiske problemstillinger man står ovenfor ved prosjektering av energisentraler og tekniske installasjoner:

- Forskjellig effekt på varmepumpa.
- Forskjellig effekt på sjøvannsveksler.
- Temperaturnivå på varme og kjøleanlegg, hvordan påvirkes virkningsgrader av dette?
- Temperaturnivå på sjøvannet, hvordan påvirkes virkningsgrader ved høyere/lavere temperaturer enn normalen?
- Alternativ systemløsning med uteluft som energikilde.

Simulering med forskjellig effekt på varmepumpa

Det er utført simuleringer med forskjellig varmeytelse på varmepumpa for å se hvordan dette påvirker energidekningsgraden og systemfaktoren for anlegget:

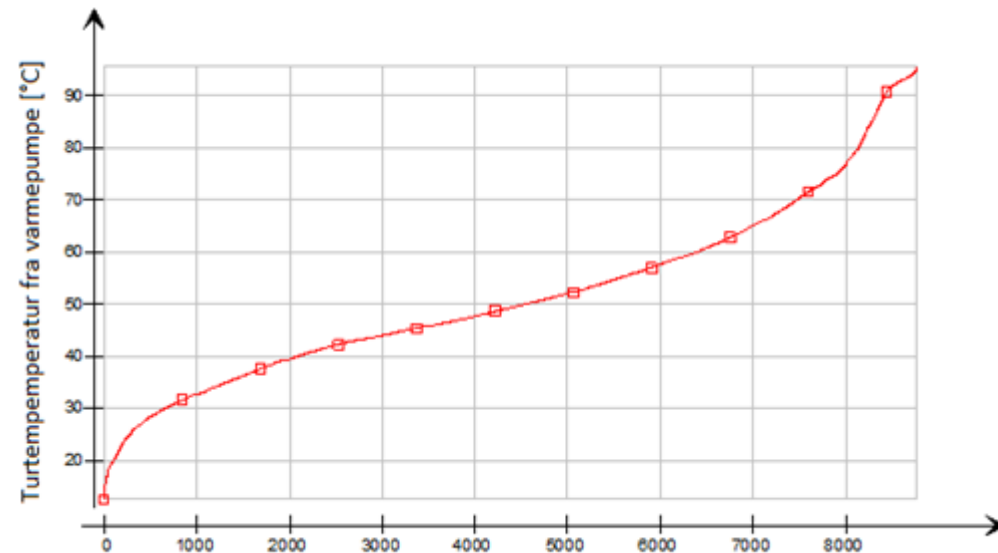
Effekt Varme- pumpe	Kjøling (el)	Fjernvarme	Varmepumpe (el)	Effekt- dekningsgrad varmepumpe	Energi- dekningsgrad varmepumpe
[kW]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[-]	[-]
200	0,6	21,2	7,0	13 %	50 %
400	0,6	12,7	11,1	25 %	70 %
500	0,6	10,3	12,4	31 %	76 %
650	0,6	7,5	13,9	40 %	82 %
800	0,6	5,1	15,2	50 %	88 %
1200	0,6	1,5	17,7	75 %	96 %
1600	0,5	0,6	18,8	≈100 %	99 %

- Varmepumpa får svært høy energidekningsgrad allerede ved moderat effektdekningsgrad.
- Dette er ikke nytt, men svært nyttig å få dokumentert energiforbruk og dekningsgrader med beregning.
- Ved å knytte resultatene opp mot bygge- og driftskostnader, kan man designe anlegget som er optimalt mht kostnader i hele byggets levetid, samt dokumentere at det oppnår ønskede målsetninger.

Simulering med forskjellig effekt på varmepumpa

Evaluering av simuleringresultatene:

- Ved høye effektdekningsgrader dekker varmepumpa noe større andel av energibehovet enn forventet.
- Utgående vanntemperatur fra varmepumpas kondensator er i store deler av året over 50 °C.
- På sommerhalvåret vil varmepumpa da kunne dekke hele effektbehovet inkl. tappevann.
- Ved høye effektdekningsgrader vil varmepumpa dekke mesteparten av effektbehovet, selv ved høye turtemperaturer på varmeanlegget.
- Beregningsresultatene vil derfor kunne gi noe høyere energidekningsgrad for varmepumpe enn det som forventes ved reelle forhold.
- **Det må derfor gjøres uavhengige vurderinger ift. temperaturbegrensninger på aktuelle varmepumper, særlig ved høye effektdekningsgrader.**



Simulering med høye og lave sjøvannstemperaturer

Det er utført simuleringer for år med lave og ugunstige sjøvannstemperaturer for å se hvordan dette påvirker andel frikjøling og systemfaktoren for anlegget:

- Ugunstige kildetemperaturer: lave om vinteren og høye om sommeren.
- Lave temperaturer: lave om vinteren og sommeren.

Modell	Kjøling (el)	Fjern- varme	Varmepumpe (el)	Produksjons- effektfaktor kjøleanlegg	Produksjons- effektfaktor varmeanlegg
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[-]	[-]
Basismodell kapittel 3.1	0,6	7,5	13,9	9,0	1,96
Ugunstige kildetemperaturer	1,1	8,8	13,7	4,9	1,86
Lave kildetemperaturer	0,4	7,9	13,9	13,5	1,92

- Sjøvannstemperaturen påvirker i stor grad andel frikjøling og i mindre grad effektfaktoren for varmeanlegget.
- Simuleringene viser godt hvilket området anleggets systemfaktorer vil ligge innenfor. Viktig med tanke på hvilke forventninger man skal ha til anlegget når det settes i drift, spesielt med tanke på at det kan forekomme større variasjoner på kildetemperaturen fra år til år.
- Resultater kan knyttes opp mot bygge- og driftskostnader for optimalisering av komponenter i energisentralen.

Simulering med forskjellig temperaturer på varme- og kjøleanlegg.

Hvordan påvirkes energidekningsgraden og systemfaktoren ved høyere eller lavere temperaturer på varme- og kjøleanlegget?

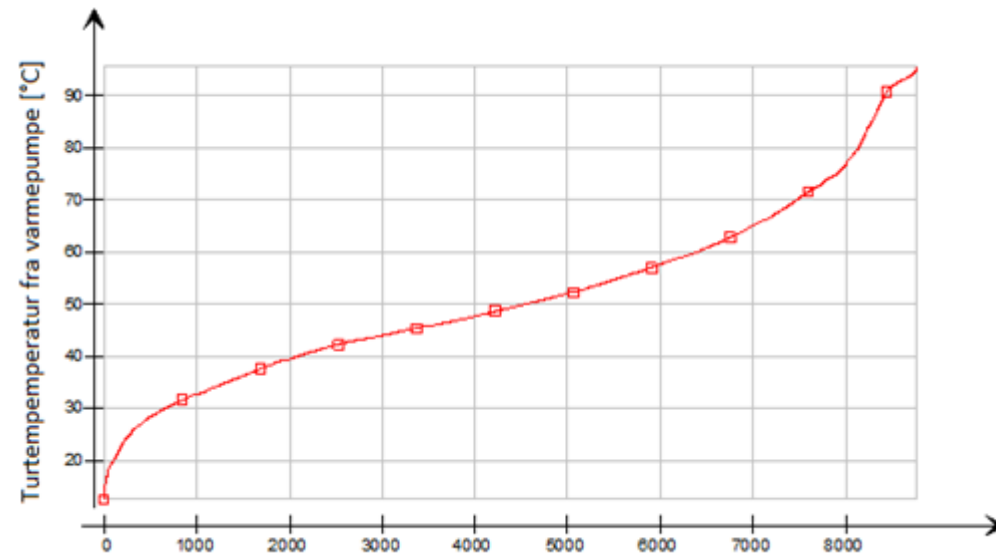
Temperatur varmeanlegg	Temperatur kjøleanlegg	Energi- dekninggrad varmepumpe	Produksjons- effektfaktor varmepumpe	Produksjons- effektfaktor kjøling
[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]
60/40	10/16	82 %	2,48	9,0
70/50	10/16	81 %	2,26	9,0
55/40	10/16	83 %	2,53	9,0
60/40	8/14	83 %	2,49	6,8
60/40	12/18	83 %	2,49	18,0

- Andel frikjøling og effektfaktoren for kjøleanlegget påvirkes i stor grad av temperaturen på isvannsanlegget.
- Kan sees i sammenheng med simulering med forskjellige sjøvannstemperaturer. Hvor ofte er det så høye sjøvannstemperaturer at høyere isvannstemperatur lønner seg?
- Ved å knytte resultatene opp mot bygge- og driftskostnader, kan komponentene designes optimalt mht kostnader og energiforbruk.

Simulering med forskjellig temperaturer på varme- og kjøleanlegg

Evaluering av simuleringsresultatene:

- For kjøleanlegget virker simuleringsresultatene gode.
- Ved høye temperaturer på varmeanlegget dekker varmepumpa noe større andel av energibehovet enn forventet.
- Ser at utgående vanntemperatur fra varmepumpas kondensator i store deler av året er over 50 °C.
- Selv ved høye temperaturer på varmeanlegget vil varmepumpa dekke varmebehovet, så lenge den har nok effekt tilgjengelig.
- Beregningsresultatene vil derfor kunne gi noe høyere energidekningsgrad for varmepumpe enn det som forventes ved reelle forhold.
- **Det må derfor gjøres uavhengige vurderinger ift temperaturbegrensninger på aktuelle varmepumper, særlig ved høye temperaturer på varmeanlegget.**

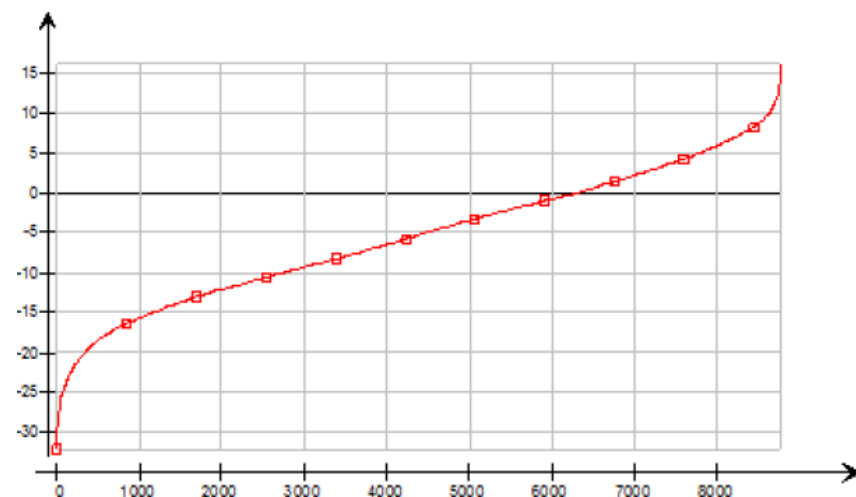


Simulering med alternativ systemløsning

Det er utført simuleringer med sentral med uteluft som energikilde, for å se hvordan dette påvirker andel frikjøling og systemfaktoren for anlegget:

- Effektfaktor for kjøleanlegget påvirkes i stor grad.
- Gunstig å se hvordan systemløsning med lavere investeringskostnader vil yte ift sjøvannsbasert sentral. Knyttes opp mot investerings- og driftskostnader.
- Energidekningsgrad for luft-vann varmepumpa noe høyere enn forventet.
- Fordampningstemperaturen for varmepumpa er i perioder under $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Varmepumpa leverer maksimal varmeytelse på kaldeste dager.
- I praksis ville varmepumpa da gått med hyppige stans for avising, svært lav COP og ville hatt problemer med å levere vann på $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ til varmeanlegget.

Modell	Installert effekt varmepumpe	Energi-dekningsgrad varmepumpe	Produksjons-effektfaktor varmeanlegg	Produksjons-effektfaktor kjøleanlegg
	[kW]	[-]	[-]	[-]
Energisentral for PNN med sjøvann	650	82 %	2,0	9,0
Energisentral med tørrkjølere	650	78 %	1,9	2,3



Erfaringer - oppsummering

Oppsett av modell for energisentral:

- Valgt å benytte prefabrikkerte energiforsyningsmoduler.
- Lite tidkrevende å bygge sentral som er svært lik tenkt energisentral. Godt egnet for bruk i prosjekter.

Simuleringstid:

- Basismodellen: ca 40 min.
- Energisentral i ESBO: 1,5 - 2 timer.
- I praksis noe lang simuleringstid, men kan løses ved å benytte versjonshåndtering og klargjøre flere versjoner som kjøres på natten.

Styringssekvenser:

- Styringssekvensene i ESBO ved prefabrikkerte moduler virker svært lovende, men med noen svakheter.
- Dette er særlig knyttet opp mot at det ikke ligger inne temperaturbegrensninger på varmepumper og kjølemaskiner.
- Det må derfor gjøres egne vurderinger ift begrensninger på temperatur og effekt på aktuelle komponenter.

Erfaringer - oppsummering

Ønskelig om følgende ble implementert i IDA ESBO:

- Mulighet for å legge inn temperaturbegrensning på varmepumper og kjølemaskiner, da enten manuelt eller ved å velge type kuldemedium og type maskin (ett- eller totrinns varmepumpe).
- Alternativ systemoppbygning hvor bare grunnlastkilden jobber mot akkumulatortanker og spisslast kobles direkte mot distribusjonssystemene.

Generelt:

- IDA ICE virker som godt verktøy for å simulere alle deler av energisentralen opp mot byggets energi- og effektbehov.
- Ved å knytte resultatene opp mot kostnader for forskjellige alternativer, kan energisentralen dimensjoneres riktigst mulig i forhold til både byggekostnader og kostnader ved kjøp av energi i driftsfasen.
- Resultatene er viktig for å vurdere om energimål i prosjektet oppnås.
- Ser også muligheten for å benytte IDA ICE for å dokumentere egne systemvirkningsgrader etter metodikk i NS-EN 15316, til bruk i blant annet energimerkeberegninger. Fremgangsmåten for slike arbeider vil trenge en egen utredning.
- Den store mengden informasjon som ligger inne i modellen, samt svært godt forståelse av prosessene for tekniske anlegg i bygg, gir beregningene stor grad av nøyaktighet sammenlignet med bruk av tommelfingerregler og varighetskurver for typiske bygg.

Avanserte simuleringer av energiforsyning – praktiske erfaringer

SPØRSMÅL?

