

NOTAT

OPPDRAAG	Nytt museumsbygg i Brekkeparken	DOKUMENTKODE	814985-RIV-NOT-001
EMNE	Vurdering av termisk energiforsyning	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Telemark Museum	OPPDRAAGSLEDER	Finn Lysnæs-Larsen
KONTAKTPERSON	Bjørn Rudborg, Telemark Museum	SAKSBEHANDLER	Leif Småland
KOPI	Dag Haraldsen, Børve og Borchsenius Arkitekter	ANSVARLIG ENHET	10201122 BVT VVS

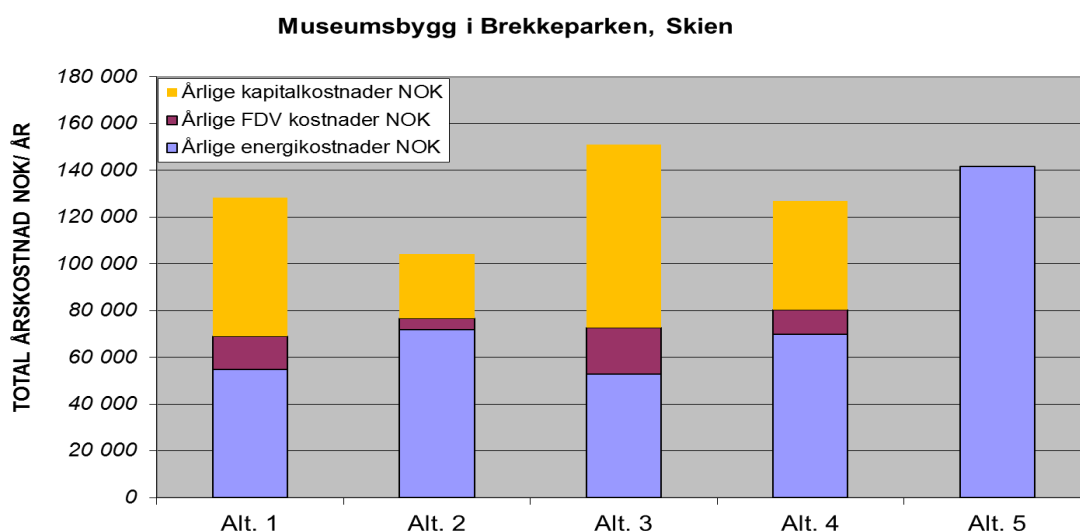
SAMMENDRAG

Dette notatet vurderer hvilken energiforsyningsstrategi man bør vurdere for det nye museet i Brekkeparken, Skien.

Følgende alternativer er vurdert:

1. Væske-vann propan-bergvarmepumpe. (El.kjel som spisslast og integrert kjøling i ventilasjonen + frikjøling)
2. Luft-vann propan-varmepumpe. (El.kjel som spisslast og integrert kjøling i ventilasjonen)
3. Væske-vann ammoniakk-bergvarmepumpe. (El.kjel som spisslast og integrert kjøling i ventilasjonen + frikjøling)
4. Luft-vann ammoniakk-varmepumpe. (El.kjel som spisslast og integrert kjøling i ventilasjonen)
5. Ren el.kjel. (Integrert kjøling i ventilasjonen)

Notatet konkluderer med at alternativ 2, luft-vann propan-varmepumpe er det alternativet som er mest lønnsomt å gå for, og derfor anbefales. Dette er bekreftet gjennom sårbarhetsanalyser der energipris og kalkulasjonsrente er endret fra 1 kr/kWh og 7% til hhv. 80 øre/kWh og 3%.



ALTERNATIVE ENERGISYSTEMER

Figur 1 - Årskostnadssammenligning av de ulike alternativene. Alt. 2 er billigst.

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

1 Vurdering av termisk energiforsyning

Det skal bygges nytt museum i Brekkeparken i Skien. Bygget er et nybygg med et areal på ca. 2 250 m² totalt BRA. Notatet gir en vurdering av termisk energiforsyning, basert på beregninger i SIMIEN-modell laget av bygget. Notatet søker å gi en anbefalt løsning til energiforsyningsstrategi, basert på årskostnads-sammenligning av et utvalg tekniske løsninger.

2 Forskriftskrav

Byggeteknisk forskrift (TEK17) § 14-4 Krav til løsninger for energiforsyning sier følgende:

Det er ikke tillatt å installere varmeinstallasjon for fossilt brensel, og bygning med over 1 000 m² oppvarmet BRA skal

- a) ha energifleksible varmesystemer, og*
- b) tilrettelegges for bruk av lavtemperatur varmeløsninger.*

Lavtemperatur varmeløsninger sikrer energifleksibilitet som åpner for effektiv bruk av flere energikilder, for eksempel spillvarme, solvarme og omgivelsesvarme (i luft, grunnvann, sjøvann, berg, jord mv.).

Bakgrunnen for å gi minimumsareal for byggets varmesentral, er å gi reell fleksibilitet i byggets livsløp. Arealet avsatt til varmesentralen kan ikke være så lite at for eksempel kun el.kjel(er) har tilstrekkelig plass.

2.1.1 Preaksepterte ytelser

Følgende preaksepterte ytelser må minst være oppfylt:

1. Energifleksible systemer må dekke minimum 60 prosent av normert netto varmebehov, beregnet etter NS 3031:2014.
2. Lavtemperatur energifleksible varmeløsninger må ha turtemperatur på 60 °C eller lavere ved dimensjonerende forhold. Dette gjelder ikke for varmt tappevann.
3. Minimumareal avsatt til varmesentral skal beregnes etter formelen: 10 m² + 1 prosent av BRA, opptil 100 m².
4. Takhøyden i rom for varmesentral skal være minimum 2,5 meter. (Bestemmelsen gjelder for boenhet i småhus)
5. Fri bredde for alle dører, i transportveien inn til varmesentralen, skal være minimum 1,0 meter.

2.1.2 Energifleksibilitet

Uttrykket energifleksibilitet knytter seg til en målsetting om at et bygg skal kunne varmes opp ved hjelp av ulike energikilder, eller ved hjelp av ulike energidistribusjonssystemer. Det betyr at man ikke gjøre seg avhengig av én enkelt oppvarmingsløsning. Med oppvarmingsløsning menes her systemer som dekker romoppvarming, samt oppvarming av tappevann og ventilasjonsluft.

Bakgrunnen for en slik målsetting knytter seg til behovet for

- Forsyningssikkerhet
- Kostnadseffektivitet
- Miljøvennlighet, miljøeffektivitet
- Samfunnsøkonomi

Det vises til utgave nr. 2 (2016) av veilederen «Energifleksibilitet i bygg - en studie av konsekvenser av preaksepterte løsninger» utarbeidet av Asplan Viak for Direktoratet for Byggkvalitet.

3 Forutsetninger og antakelser for bygningskroppen

Dette er en forprosjekt-analyse av energiforsyningsstrategi, og tar utgangspunkt i *beregnete* verdier på effekt og energibehov. Følgende er beregnet for bygget:

Total varmeeffekt: 100 kW (ca. 58 kW til romoppvarming og ca. 36 kW for ventilasjon, runder opp til 100kW).
Forventet energibruk til rom- og ventilasjonsoppvarming er forutsatt til: 126.500 kWh (ca. 56 kWh/m ²).
Forventet energibruk til tappevann: 25.000 kWh (ca. 10 kWh/m ²)
Det forutsettes kun kjøling av ventilasjonsluft. Forventet kjøleeffektbehov er beregnet til: 20 kW (ca. 10 kW/m ²).
Forventet energibruk til kjøling av ventilasjonsluft er forutsatt til: 10.900 kWh (ca. 5 kWh/m ²).

4 Termisk energiforsyningsstrategi

Med hensyn på krav fra myndigheter, lokalkunnskap og bygningsforutsetninger er det valgt å se nærmere på og kommentere følgende, hva gjelder energiforsyningsstrategien:

- Valg av varmeavgivelse
- Fjernvarme fra Skien Fjernvarme AS
- Biobrenselanlegg (pellets, flis, 2. generasjons bio-olje)
- Elektrokjel
- Kombinert varmepumpe-/kjølesystem med ulike varmekilder:
 - a) Fjell-/bergvarme – inkl. frikjøling hele året,
 - b) Uteluft – inkl. frikjøling vår/høst/vinter,
- Integrert ventilasjonskjøling

4.1 Valg av varmeavgivelse

For å avgi varme til bygget kan man velge en rekke strategier. Det vanligste er å variere blant ulike strategier for ulike formål og romkategorier. For vannbårne anlegg skiller man hovedsakelig mellom lavtemperatur og høytemperatur varmeavgivelse. For romoppvarming kan dette være høy- og lavtemperatur radiatorvarme, konvektorvarme, gulvvarme etc. og ventilasjonen kan ha høy- og lavtemperatur varmebatteri, evt. el.batteri.

For varmepumper er det mest gunstig med lavtemperatur-varmeavgivelse.

Det velges å ikke gå videre med nøyaktig valg av varmeavgivelse-strategi her, men det fortsettes relativt lave temperaturkrav, 60/40-anlegg med utetemperaturkompensering. Det viktigste er at det forutsettes likt i alle eksempler. Man kan derfor se bort ifra prisforskjeller i videre sammenligninger.

4.2 Fjernvarme

Fjernvarme er ikke tilgjengelig i området, og det foreligger ikke planer som tilsier at det vil bli tilgjengelig i den nærmeste fremtid.

Fjernvarme vurderes derfor ikke videre.

4.3 Biobrenselanlegg

Biovarme er et miljøvennlig alternativ med tanke på global oppvarming, men medfører forurensning lokalt gjennom utslipp av røyk (sot og partikkelforurensning).

Egner seg best som grunnlast opp til 80 % og derfor anbefales det å installere annen energikilde som spisslast. Biovarmeanlegg utgjør relativt høy investeringskostnad.

I Norge er det begrenset produksjon av pellets som også krever store arealer forsyningssystem og tank innendørs eller utendørs. Utendørs tank bør ikke graves ned. Flisfyring vil kreve enda større arealer, men er noe mer tilgjengelig.

Det må i tillegg etableres en kjølemaskin for å dekke kjølebehovet enten som separat kjølemaskin eller som en integrert del av luftbehandlingsaggregatet.

Investeringskostnadene for et slikt anlegg er høy i forhold til de øvrige typer.

Av praktisk-tekniske årsaker vurderes ikke biobrenselanlegg videre.

4.4 Elektrokjel

En elektrokjel er i prinsippet en varmtvannstank som du kobler til røropplegget for sentralvarmeanlegget (el.kjel eller dobbeltmantlet bereder). Moderne el.kjeler er ganske små i forhold til eksempelvis varmepumper. Blir definert som direktevirkende elektrisitet.

Elektrokjeler er karakterisert ved lave investeringskostnader (per installert varmeeffekt) og høye driftskostnader (avhengig av el.prisen). Det er vanlig å kombinere med andre energikilder og løsninger. For eksempel er det vanlig å bruke elektrokjeler til forsyning av topplast og som reservefyring i en varmesentral. I henhold til TEK 17 kan det også vurderes til å dekke varmebehovet alene.

Dette er en oppvarmingsløsning som vil tas med for sammenligning mot andre alternativer.

4.5 Varmepumpeløsninger

En varmepumpe henter energi fra omgivelsene og hever temperaturen til et nivå man kan utnytte til bygningsoppvarming. Man får da igjen typisk 2-4 ganger mer energi enn man putte inn. Investeringskostnaden er ofte høy sammenlignet med mange alternativ, men tanken er at man skal hente det inn ved lave energikostnader. Man ser ofte på årskostnad når man snakker om varmepumpe, altså årlige utgifter for å drifte og tilbakebetale investeringskostnaden.

Det er flere måter å utnytte varmepumpe-teknologi for bygningsoppvarming. Selve varmepumpen fungerer teknisk sett uansett scenario, men karakteristikken endres når man endrer en del parameter. Dette påvirker igjen årskostnad. Det være seg kuldemedium, varme-/energikilde, kompressortechnologi og varmeavgiverstrategi.

4.5.1 Kuldemedier

Det finnes i dag flere aktuelle kuldemedier som egner seg til bygningsklimatisering. Følgende underkapittel tar for seg fordeler og ulemper med aktuelle medier, og gir til slutt en anbefaling for videre vurdering.

HFK

Varmepumpe-bransjen har vært inne i flere skifter gjennom tidene, og nå er vi inne i et nytt. Noen av kuldemediene (HFK – HydroFluorKarboner) skal fases ut. Disse er sterke klimagasser, og bidrar svært negativt til global oppvarming. Etter år 2030 vil det ikke være lovlig å bygge nye slike anlegg, men allerede nå har utfasingen begynt. Det vil sannsynligvis bli svært dyrt å drifte og etterse slike anlegg allerede i nær fremtid. Av disse årsakene utelukkes disse mediene for videre vurdering.

HFO

Produsentene av HFK har kommet opp med noen alternativer på kuldemediene som er på vei ut, HFO. Dette er egentlig også HFK'er, men de er ustabile i atmosfærisk miljø og representerer derfor ikke noen fare som drivhusgass. Dette betyr i midlertid at de er svakt brennbare, noe som krever ekstra sikkerhetstiltak ved oppstilling av varmepumpeinstallasjon. Nedbrytningen av stoffene i atmosfærisk miljø representerer dessuten negative miljøkonsekvenser i nærmiljø. Nedbrytningsstoffene er giftig for mennesker og om de opptas av planter, dyr og fisk akkumuleres de i næringskjeden. For øvrig er det relativt liten erfaring med praktisk bruk av disse stoffene. Av den grunn utelukkes disse mediene for videre vurdering. Det finnes også såkalte «blends», blanding av HFO og HFK, med GWP-nivå som gjør dem lovlige i noen år til. Dette er altså bare et hvileskjær i en uunngåelig utfasing. Av disse årsakene utelukker vi disse mediene for videre vurdering.

Naturlige kuldemedier

Disse har tilnærmet ingen påvirkning som drivhusgass og vil sannsynligvis være med oss langt inn i fremtiden. Blant de naturlige kuldemediene som er aktuell for bygningsklimatisering har vi *ammoniakk*, *propan* og *CO₂*. Alle disse er termodynamisk gode kuldemedier, men også de har utfordringer knyttet til seg.

Ammoniakk - er giftig og lavt brennbart. Det finnes også få «hyllevare-aggregater», og av den grunn er investeringskostnaden relativt høy. For øvrig er det et svært godt termodynamisk kuldemedium, og for større anlegg er det ofte å foretrekke til tross for sine utfordringer med sikkerhet (lar seg løse med de rette tiltakene) og pris.

Propan - er et brennbart og potensielt eksplosivt kuldemedium. For øvrig er de termodynamiske egenskapene relativt like, om noe er det bedre enn, de beste syntetiske mediene. På grunn av utfordringene knyttet til sikkerhet og fyllingsmengde er mediet best egnet til små og mellomstore anlegg (ca. 5-100 kW ytelse), men kan vurderes for større anlegg også.

CO₂ - er et kuldemedium som er ikke-brennbart og ikke-giftig. Det knytter seg derimot noen utfordringer til de termodynamiske egenskapene. Som varmepumpe vil en CO₂-varmepumpe i praksis alltid jobbe transkritisk, det vil si med glidende kondensator-/gasskjøler-temperatur. Det betyr at man må være svært påpasselig på hvordan man styre varmepumpen på vannsiden, og samtidig sørge for lav retur-temperatur tilbake til varmepumpen.

I videre beregninger vil ammoniakk og propan vurderes. CO₂ velges her bort, for å kunne holde oppvarmingsanlegget lik i alle sammenligningene, samt liten erfaring med drift og prosjektering av slike anlegg.

4.5.2 Energikilder for varmepumper

Det er mange ulike energikilder som kan benyttes. Tilgjengelighet og pris er de viktigste parameterne for valg av varmekilde. Generelt kan man si at dess høyere temperatur varmekilden holder gjennom fyringssesongen, dess bedre. Så lite løft i temperatur som mulig mellom varmeopptakssystem og varmedistribusjonssystem er å foretrekke. Det er ikke alltid dette er mulig, og man vil ofte oppleve at på de kaldeste dagene vil varmepumpen ikke kunne levere varme i det hele tatt. Da må spiss-last ta over, vanligvis en el.kjel.

Generelle krav til varmekilden er:

- Varmekilden bør ligge så nær varmepumpen som mulig

Termisk varmforsyning

- Varmekilden må være tilgjengelig og med tilfredsstillende høy temperatur gjennom en så stor del av fyringssesongen som mulig
- Varmekilden bør være minst mulig korrosiv og forurensset
- Varmekilden ha håndterbare frost-/rimutfordringer

De varmekildene som er som er vurdert videre i dette notatet er bergvarme/energibrønn og uteluft.

Bergvarme/energibrønner

Generelt kan man si at bergvarme/energibrønn gir en høy investeringskostnad, men den holder samtidig stabilt høyere temperatur og gir typisk bedre SCOP (års-COP) enn uteluft. Temperaturen i uberørt grunn ligger typisk i snitt på årsmiddeltemperaturen for stedet, med små endringer over sesongen. Den utnyttbare varmen ligger typisk 3-4 grader lavere enn dette igjen, og fordampertemperatur ligger mellom 6-10 grader lavere enn årsmiddeltemperaturen. Den største kostnaden ved energi-brønner er knyttet til boring av brønner og legging av kollektorslanger.

For å unngå frysing av kollektorvæske benyttes som oftest en blanding av vann/etanol eller vann/glykol. Man bør utrede konsekvenser ved bruk og evt. lekkasje av kollektorvæske til grunnen.

Typisk varmeeffektuttak fra brønner i fjell er fra 20 til 80 W/m, men energiuttak bør ikke oversi fra 70 til 150 kWh/m. Varmeeffektuttaket, og følgelig nødvendig borehullsdybde, er avhengig av blant annet berggrunnens sammensetning og oppsprekking, terrengets helning, grunnvannsnivået og brønnenes innbyrdes plassering i forhold til grunnvannsstrømmen. Det største varmeuttaket får en i områder med oppsprukket fjell og godt grunnvannstilslutning. I tørre brønner fylles borehullet med vann, borkaks eller en blanding av bentonitt og kvartssand for å forbedre varmeoverføringen mellom fjellet og kollektorslangen. For energiuttak spiller i tillegg innbyrdes plassering inn. Tommelfingerregler sier 70 kWh/m i varmeopptak for brønner i rekke, 100 kWh/m for enkeltstående hull og opp til 150 kWh/m for brønner plassert tett, hvor varme tilbakeføres om sommeren. Det som gir høyest antall brønner av W/m eller kWh/m bestemmer antallet brønner.

I dette notatet er det antatt at det kan bores 200 meter dype brønner med diameter på 13 til 16 cm. Det antas 30 W/m og 100 kWh/m. Det vil tilbakeføres noe energi, så energiopptaket vil være noe bedre enn om hullene står på rekke, uten tilbakeføring av energi. Det som gir flest antall brønner av effekt- eller energiuttak er dimensjonerende.

For anlegg hvor det skal bores et større antall energi-brønner, anbefales det å benytte en spesiell testtrigg for måling av termisk motstand og mulig varmeuttak i en testbrønn (termisk responstest). Testen, som tar ca. 60 til 70 timer, gir et godt grunnlag for optimalisering av total borehullsdybde for anlegget. Som en tommelfingerregel sier man at dette er aktuelt dersom man finner behov for mellom 12-20 borehull eller mer.

Brønnparken bør plasseres relativt nær bygget. Brønnparken vil da kunne planlegges med varme og kalde brønner som forsyningsanlegg for termisk energiforsyning.

Et bergvarmebasert system hvor borehullene (energi-brønner) er plassert med en avstand på 5-7 m, må termisk energi tilbakeføres til borehullene for å opprettholde effektiviteten til systemet. Med en avstand mellom borehullene på 15-20 m, lades grunnen opp naturlig. De angitte plasseringer, nr. 1 til 4 på oversiktskartet under kan vurderes brukt.



Dersom områdene ikke er store nok hver for seg, kan man vurdere å legge flere arealer sammen for å få nok plass. Da må man samtidig se på energiuttakspotensialet til brønnparken, som påvirkes dersom de står lengere fra hverandre.

Uteluft

Uteluft er en lett tilgjengelig varmekilde. Det krevers normalt relativt små investeringskostnader for å etablere installasjonen. Hovedutfordringen med bruk av uteluft som varmekilde er at temperaturen jobber i motfase med varmebehovet til bygget, noe som gjør at vi har minst tilgjengelig varme når vi trenger det mest. Man oppnår ofte relativt høy energidekning til tross for dette, da det bare er de aller kaldeste dagene bidraget faller bort. Det er primært to måter å utnytte uteluft på, hvor den ene er direktefordampning og den andre er å veksle via en vannkrets til en tørrkjøler. Dess flere varmeveksler-ledd, dess lavere COP og SCOP. Det forutsettes likevel tørrkjøler for videre beregninger, da det er ukjent om det er teknisk løsbart med direkte fordampning.

Det må forøvrig nevnes at utedelen til varmepumpen kan gi støy og et arkitektonisk negativt inntrykk.

4.5.3 Kompressortechnologi

En varmepumpe utnytter de termodynamiske egenskapene til et arbeidsmedium ved å endre fasetemperaturen for væske-gass. Dette gjøres ved at man endrer trykket på arbeidsmediet i varmepumpekretsen. Når man vil hente energi senkes trykket for å senke koketemperatur, og man kan oppta energi ved en fast temperatur (helt til alt er kokt av til gass). Gassen komprimeres gjennom en kompressor, slik at gassen kondenser ved en høyere, fast, temperatur. Det er her vi henter energien til bygningsoppvarming. Så senkes trykket gjennom en ekspansjonsventil og det hele gjentas.

Det er flere kompressordesign som kan utføre kompresjonsarbeidet, men de ulike designene har ulike kvaliteter. For enkelhetsskyld vil vi her bare skille mellom fast-kompresjonsforhold og flytende kompresjonsforhold. Generelt kan man si at kompressorer med fast kompresjonsforhold har lavere investeringskostnad enn en med flytende kompresjonsforhold. Fordelen med flytende kompresjonsforhold er derimot at man får betydelig høyere COP ved dellast. En varmepumpe går hovedsakelig på dellast, så der det er mulig bør man velge kompressorer med flytende kompresjonsforhold. Dette gir høyest SCOP, og er spesielt gjeldende ved varierende temperatur fra varmekilde (f.eks uteluft). Den vanligste kompressortypen med flytende kompresjonsforhold er stempelkompressor. Også skrue-kompressor med V_i-regulator kan programmeres til tilnærmet flytende kompresjonsforhold. Skrue-kompressorer brukes normalt for større anlegg (3-400 kW og oppover).

Det velges videre kun sammenligning av stempelkompressorer i videre beregninger.

4.6 Integrert ventilasjonskjøling

For å oppnå tilfredsstillende innetemperatur i sommerhalvåret må man i moderne bygg forvente å installere kjøling av ventilasjonsluften.

En måte å løse dette på er ved å integrere en kjølemaskin direkte i ventilasjonsaggregatet. Det er små variasjoner i teknisk løsning, men som oftest setter man en kjølemaskin med fordamperen på tilluften og kondensatoren på avkastluften. Dette er en plassbesparende og grei løsning for mange bygg. I midlertid er det i dag vanlig å produsere disse kjøleenhetene med HFK-medier, og det må nevnes at det kan by på utfordringer med anskaffelse av etterfyllingsmedium for slike anlegg.

For enkelhetsskyld antas det her at alle alternativene for videre sammenligning kun benytter integrert kjøling for å dekke kjøleeffektbehovet. Derimot antas det at enkelte alternativ dekker inn deler av energibehovet gjennom andre kilder.

PS: Det kan være fornuftig å forsøke og redusere kjølebehovet slik at man reduserer eller eliminerer behovet. Først bør man benytte seg av passive tiltak. Det kan være å installere solskjerming eller ved eksponering av tunge bygningskomponenter som betong. Et annet tiltak kan være å installere adiabatisk forkjøling av luften, og på den måten redusere effekt og energibehov til ventilasjonskjøling. Dette vil typisk kutte effektbehovet til ventilasjon med 40% og energibehovet med 50%. Det er derimot en installasjon som krever noe ettersyn og kan i så måte ikke kalles passivt, men bør vurderes alle steder det er større ventilasjonskjølebehov.

5 Sammenligning av ulike strategier

Basert på de tidligere kapitler er det valg å se på følgende alternative energiforsyningsstrategier for sammenligning:

1. Væske-vann propan-bergvarmepumpe.
 - Propanvemapumpe dekker mesteparten av oppvarmingsbehovet, bergvame som energikilde.
 - El.kjel som back-up og spisslast.

Termisk varmforsyning

- Fri-kjøling dekker mesteparten av kjølebeenergihovet og halvparten effektbehovet, integrert kjøling i ventilasjonsaggregatene dekker øvrig effektbehov.
- 2. Luft-vann propanvarmepumpe.
 - Propanvarmepumpe dekker mesteparten av oppvarmingsbehovet, uteluft via tørrkjøler som energikilde.
 - El.kjel som back-up og spisslast.
 - Integrert ventilasjonskjøling dekker hele kjølebehovet.
- 3. Væske-vann ammoniakk-bergvarmepumpe.
 - Ammoniakkvarmepumpe dekker mesteparten av oppvarmingsbehovet, bergvarme som energikilde.
 - El.kjel som back-up og spisslast.
 - Fri-kjøling dekker mesteparten av kjølebehovet og halvparten effektbehovet, integrert kjøling i ventilasjonsaggregatene dekker øvrig behov.
- 4. Luft-vann ammoniakkvarmepumpe.
 - Amoniakkvarmepumpe dekker mesteparten av oppvarmingsbehovet, uteluft via tørrkjøler som energikilde.
 - El.kjel som back-up os spisslast.
 - Integrert ventilasjonskjøling dekker hele kjølebehovet.
- 5. Ren el.kjel med integrert ventilasjonskjøling.
 - El.kjel dekker hele oppvarmingsbehovet.
 - Integrert ventilasjonskjøling dekker hele kjølebehovet.

5.1 Forutsetninger og beregningstall for sammenligning av årskostnad

For å kunne sammenligne de ulike alternativene opp mot hverandre må man legge en del forutsetninger og beregninger til grunn. Noen av parameterne er erfaringstall og andre er beregnet.

Følgende forutsetninger er felles for alle beregningene:

- Kalkulasjonsrente settes til 7%.
- El.pris settes til 1 kr/kWh (stømpris pluss nettleie).
- Årlige vedlikeholdskostnader settes til 2% av investeringskostnaden.
- El.kjel installeres, og investeringskostnad kan derfor trekkes ut av beregningene.
- Virkningsgrad for el.kjel er satt til 100%.
- 60/40 varmeanlegg, utetemperaturkompensert
- SCOP integrert kjølemaskin settes til 4
- Det er samme varmeavgivelsestrategi, og invisterinskostnad for dette kan trekkes ut av beregningene.

Følgende forutsetninger gjelder for hver av de ulike alternativene:

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Spesifikasjoner					
VP-effekt	35 kW	35 kW	35 kW	35 kW	N/A
VP-dekn.grad	Ca. 93.6%	Ca. 82 %	Ca. 93.5%	Ca. 82%	N/A
SCOP _(VP, varme)	Ca. 4.06	Ca. 3.62	Ca. 4.33	Ca. 3.86	N/A
Tappevann dekket av VP	50%	50%	50%	50%	0%
Dekn.grad fri-kjøl.	50%	N/A	50%	N/A	N/A
Investeringskostnader					
Varmepumpe	Ca. 160.000,-	Ca. 160.000,-	Ca. 160.000,-	Ca. 320.000,-	N/A
Varmekilde (5 hull)	Ca. 500.000,- (5 hull)	Ca. 40.000,-	Ca. 500.000,- (5 hull)	Ca. 40.000,-	N/A
Levetid					
Varmepumpe	15 år	15 år	25 år	25 år	N/A
Varmekilde	15 år	50 år	15 år	50 år	N/A

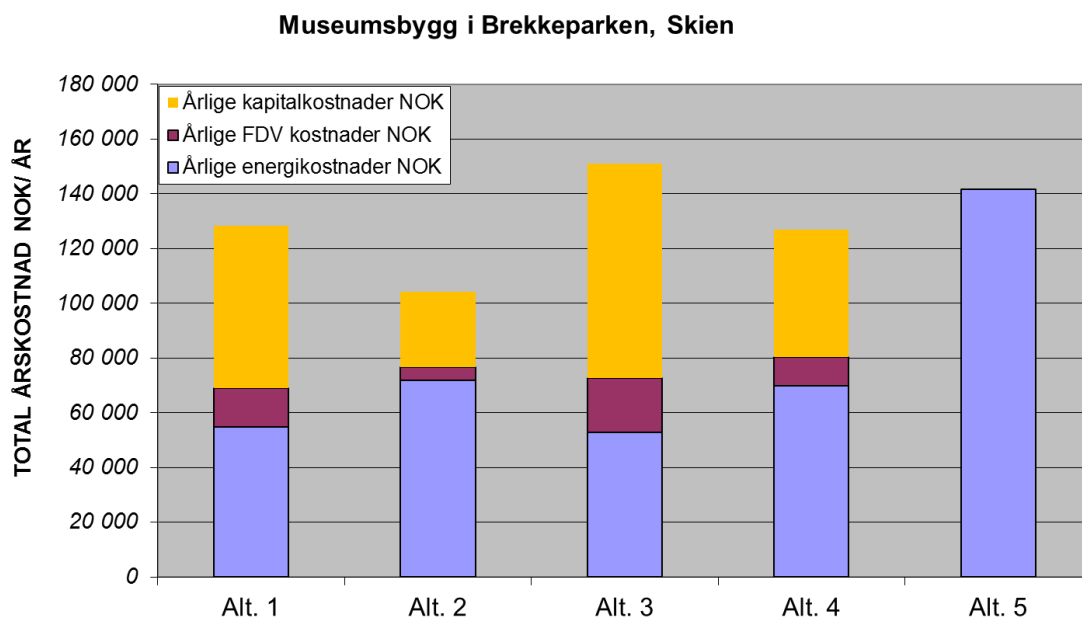
Det er benyttet et eget regneark for å finne VP-dekningsgrad og SCOP for varmpumpe.

Da det er flere av investeringskostnadene som er de samme for alle alternativene, er disse trukket ut av sammenligningen. De vil ikke være med å skille alternativene fra hverandre. Det er også valgt å se bort ifra kostnadsdifferanser for sikkerhetstiltak og tilleggs rørinstallasjoner for de ulike løsningene. Det er tidkrevende å hente inn disse, men de vil slå noen lunde likt ut for de ulike varmepumpeløsningene, og neglisjeres internt dem imellom i dette notatet. Det vil slå noe negativt ut for bruk av direkte el., men for å forenkle beregningene blir dette sett bort ifra. Kostnadene er ikke av en slik karakter at de vil endre konklusjonen.

6 Årskostnadsberegninger

I dette kapittelet er de ulike løsningene satt opp mot hverandre for sammenligning. I dette notatet er det ikke tatt hensyn til om løsningen er praktisk gjennomførbar. Dette må evt. undersøkes videre. Tallene kommer fra de forutsetningene som er satt tidligere i notatet, og de skjønnsmessige vurderingene gjort der. Det er viktig å merke seg at årskostnaden fra dette notatet kun må brukes til å sammenligne de ulike alternativene mot hverandre.

Kostnadene er presentert i søylediagram, hvor de ulike alternativene kan sammenlignes mot hverandre. For en slik beregning er det kostnadene relativt sett opp mot hverandre som er viktig å fokusere på, ikke selve årskostnaden.



ALTERNATIVE ENERGISYSTEMER

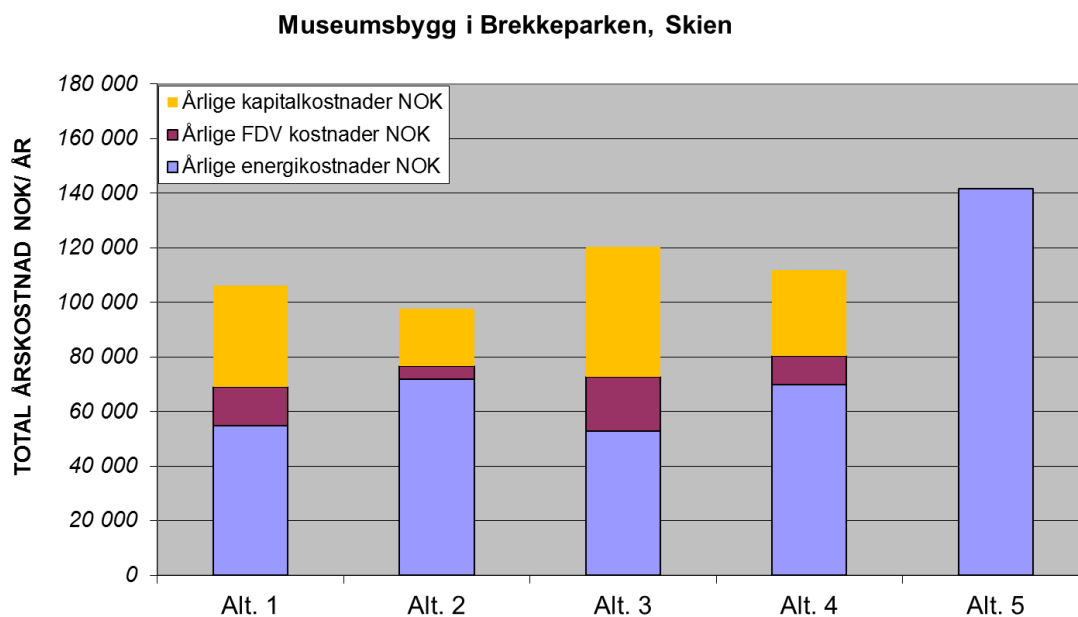
Figur 2 - Sammenligning av de ulike energiforsyningsstrategiene mhp årskostnad. Alternativ 2 kommer best ut.

I årlig kapitalkostnad ligger alle merinvesteringer den aktuelle løsningen krever. Årlige FDV-kostnader representerer driftskostnader knyttet til installasjonene. Det kan diskuteres om denne er reell, men som vi ser vil det ikke få noe å si for rekkefølgen av løsningene. Under årlige energikostnader ligger kostnader for elektrisitet til direkte oppvarming, varmepumpe, kjøling, evt. friskjøling og tappevann.

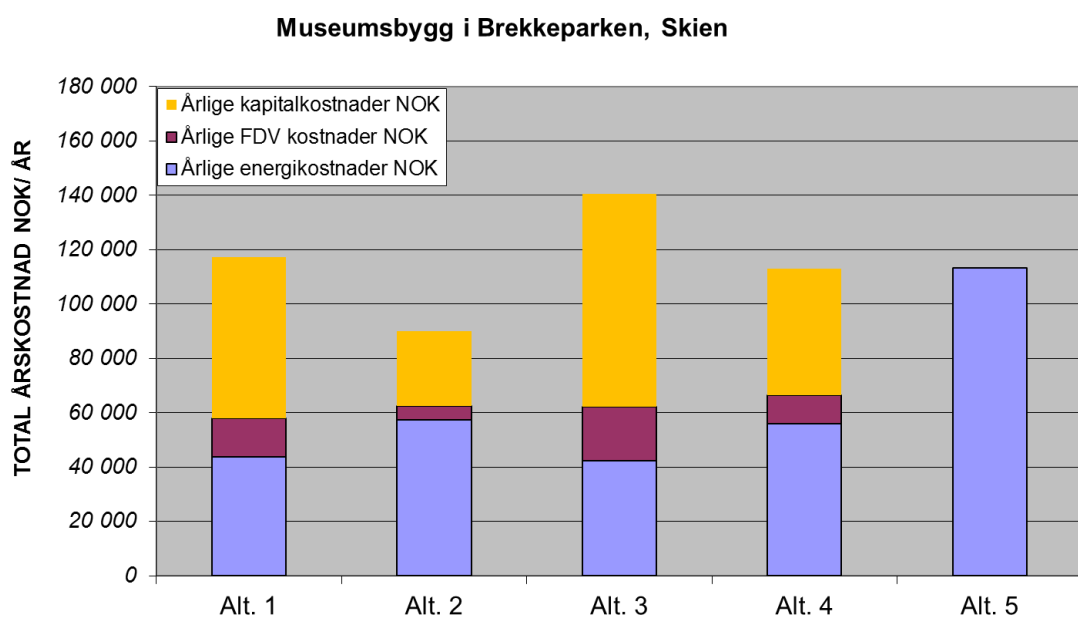
Som det kommer frem av resultatene er alternativ 2, Luft-vann propan-varmepumpe, det alternativet som gir lavest årskostnad. Dette er alternativet med lavest investeringskostnad, foruten om bruk av direkte elektrisitet, men det med høyest energikostnad varmepumpe-alternativene imellom. Den høye investeringskostnaden ved å etablere energibrønner, gjør at i et bygg med såpass lavt energibehov, at det ikke vil lønne seg rent økonomisk å gå for en slik løsning. For alternativ 3, Væske-vann ammoniakkvarmepumpe er kostnaden faktisk den høyeste av alle alternativene. Ammoniakk-varmepumpene kommer lite gunstig ut da disse har høy investeringskostnad per installert kW for såpass små maskiner.

6.1 Sårbarhetsanalyse

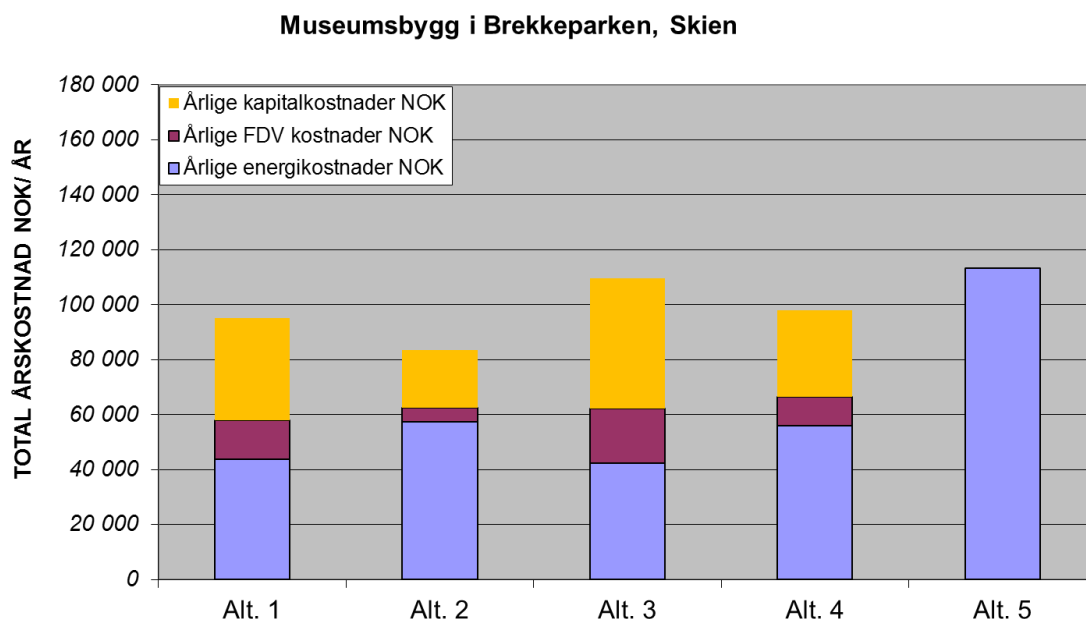
Det er gjort tre sårbarhetsanalyser av resultatene. Investeringsrenten og energiprisen er satt ned, til henholdsvis 3% investeringsrente, 80 øre/kWh i elektrisitetspris og en kombinasjon av de to foregående.

**ALTERNATIVE ENERGISYSTEMER**

Figur 3- Sårbarhetsanalyse, kalkulasjonsrente satt til 3%. Alt. 2 fortsatt best. Alle VP-løsninger betydelig rimeligere enn direkte bruk av elektrisitet.

**ALTERNATIVE ENERGISYSTEMER**

Figur 4 - Sårbarhetsanalyse, elektrisitetspris satt til 80 øre/kWh. Alt. 2 fortsatt best. Bruk av elektrisitet er lavere eller helt på linje med de øvrige alternativene.



ALTERNATIVE ENERGISYSTEMER

Figur 5 - Sårbarhetsanalyse, kalkulasjonsrente satt til 3% og elektrisitetspris satt til 80 øre/kWh. Alt. 2 fortatt best. Gir nesten samme resultat som før sårbarhetsanalysen.

Sårbarhetsanalysene endrer bildet noe, men fremdeles vil alternativ 2 være den beste løsningen. Det å senke energiprisen gjør at bruk av direkte elektrisitet er mer lønnsomt. Det å senke investeringsrenten gjør varmepumpeløsningene mer lønnsomme. Dersom man fortsatt er usikker på resultatet kan man utføre ytterligere analyser hvor man endre andre parameter, enten hver for seg eller i kombinasjon.

7 Konklusjon

Det anbefales å gå videre med løsning med luft-vann propan-varmepumpe med uteluft via tørrkjøler som varmekilde, og el.kjel som spisslast.

Dette er alternativet, foruten om ren el.oppvarming, som har lavest investeringskostnad. Det å bruke uteluft som varmekilde får noe negative konsekvenser for SCOP, men ikke så veldig mye. Hovedtyngden av dager med oppvarmingsbehov ligger rundt 0°C, ± 5°, og da har varmepumpen greie driftsvilkår. Det blir derimot en del lavere energidekning med utetemperatur, kontra energibrønn, som varmekilde. Likevel kommer det bedre ut, da det tar for lang tid å ta inn merinvesteringen for brønnene.

I dette notatet er det valg å sette integrert kjøling i ventilasjonen, men dette er en løsning som kanskje bør revurderes. Det kan bli problematisk å etterfylle og drifte disse anleggene innen levetiden er omme. De benytter miljøskadelige/drivhusdrivende kuldemedium, noe som vil fordyre ettersynet etter hvert som disse mediene fases ut.

Det bør vurderes å utføre passive kjøletiltak og adiabatisk kjøling. Da kan man kanskje redusere kjølebehovet til et nivå der man vurderer at man ikke behøver kjølemaskiner. Man kan evt. vurdere å installere reversibel varmepumpe (enten internt eller eksternt), som kan dekke det resterende kjølebehovet. Det er valg å se bort ifra disse mulighetene i dette notatet, da økonomien i prosjektet i utgangspunktet er vurdert til å ikke tillate dette.