

Utnytting av energi i vannforsyning for oppvarming av større bygg

Exploitation of Energy in Water Supply for the Heating of Larger Buildings

Liguo Chen

Masteroppgave i integrert bygningsteknologi

Mai 2017



SHO6261

Mastergradsoppgave i teknologi

**Utnytting av energi i vannforsyning for oppvarming
av større bygg**

(Exploitation of Energy in Water Supply for the Heating of Larger Buildings)

Liguo Chen

Mai, 2017

**Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, energi og materialteknologi**



| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Tittel:</i> Utnyttning av energi i vannforsyning for oppvarming av større bygg Exploitation of Energy in Water Supply for the Heating of Larger Buildings | | <i>Dato:</i> 15.05.2017 |
| | | <i>Gradering:</i> (Åpen/Fortrolig) |
| <i>Forfatter:</i> Liguó Chen | | <i>Antall sider:</i> 43 |
| | | <i>Vedlegg:</i> 7 |
| <i>Fakultet:</i> Ingeniørvitenskap og teknologi | <i>Institutt:</i> Bygg, energi og materialteknologi - Master Integrert bygningsteknologi | |
| <i>Veileder:</i> Førsteamanuensis, Raymond Riise | | |
| <i>Oppdragsgiver:</i> Salangen kommune | <i>Oppdragsgiver kontaktperson:</i> Teknisk sjef, Reidar Berg | |
| <i>Sammendrag:</i> <p>Det anbefales et varmpumpeanlegg med tre sammenkoblede varmpumper som benytter kommunens backup drikkevannsforsyning som varmekilde. Anlegget kan levere 262 kW varmeeffekt til Salangen bo- og eldrecenter og Vasshaug barnehage. Økonomisk vurdering viser at prosjektet har en positiv nåverdi på 3,8 mil. kroner og 2,9 år inntjeningsstid.</p> <p>Emneord: Varmepumpeteknologi, varmesystem, varmekilde, vannforsyning, drikkevannskvalitet, lønnsomhet.</p> | | |
| <i>Abstract:</i> <p>A heat pump station is proposed with three interconnected heat pumps using the municipality's backup drinking water supply as heat source. The heat pump station can provide 262 kW heat output to Salangen Living and Elderly Center and Vasshaug Kindergarten. Economic assessment shows that the project has 3.8 million NOK net present value of and 2.9 years payoff period.</p> <p>Keywords: Heat pump technology, heating system, heat source, water supply, drinking water quality, profitability.</p> | | |

**Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
 Institutt for bygg, energi og materialteknologi**

MASTEROPPGAVE

for

Liguo Chen

(Studentnummer 540673)

Vår 2017

Utnytting av energi i vannforsyning for oppvarming av større bygg

(Exploitation of energy in water supply for the heating of larger buildings)

Bakgrunn

I dag utgjør energiforbruk i bygninger omtrent 40 prosent av Norges totale energiforbruk. Det er dermed et betydelig potensial til energibesparelse ved å bygge energieffektive bygg i kombinasjon med energieffektiv oppvarming. Energi som går med til oppvarming utgjør naturlig nok mesteparten av energiforbruk i eksisterende bygninger. Energiforbruk kan dekkes ved hjelp av ulike teknologier, varmepumper har de senere år fått større oppmerksomhet. Dette da man ønsker reduserte energikostnader samt krav om redusert bruk av ikke fornybar energi. Fortsatt er det ofte standardiserte løsninger som velges når det prosjekteres varmepumpesystemer.

Oppgaven går ut på å analysere/vurdere muligheten for utnytte den energien som finnes i kommunal hovedvannforsyning til oppvarming av større kommunale bygg. Her vil energiberegninger, valg av teknologisk løsning, styresystem samt optimal lokalisering være viktige elementer.

Begrensning av oppgaven

Det skal ikke utføres detaljprosjektering av systemløsninger. Systemskisser, kart etc. bør imidlertid være en del av besvarelsen.

Arbeidet skal omfatte (men nødvendigvis ikke begrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Beregning av energibehov for de kommunale bygg som det vil være naturlig å la inngå i prosjekt. Optimale systemer for distribusjon av varme i bygg vurderes. Disse varmesystemene må være tilpasset eksisterende bygningsmasse.
3. Logging av alle viktige parametre som vil være av betydning for å kunne foreta nødvendige beregninger.
4. Analysere aktuelle systemløsninger ved hjelp av beregninger evt simuleringer. Dette for å finne den optimale systemløsningen som kan bestå av flere elementer.
5. Økonomisk vurdering av de systemløsninger som vil være aktuelle. Både innsparingspotensial knyttet til energikostnader samt nødvendige investeringskostnader.
6. Anbefaling av løsning basert på en totalvurdering.
7. Det skal utarbeides en vitenskapelig artikkel på maks 6 sider basert på besvarelsen. Denne skal kunne benyttes ovenfor ENOVA og andre aktører med interesse for samme type energiløsning (artikkelen kan sees på som er kortversjon av hele besvarelsen.)

Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Salangen kommune og deres rådgiver Plan-Evo AS.

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

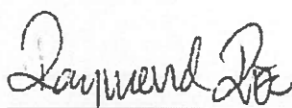
Utgifter til reise mellom studiested og oppdragssted dekkes av oppdragsgiver. Oppdragsgiver kan også stille med bolig i perioder da det måtte være hensiktsmessig at student oppholder seg på oppdragssted. Kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i MUNIN.

| | |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Utleveringsdato: | 09.01.2017 |
| Innleveringsdato: | 15.05.2017 |
| Kontaktperson Salangen kommune: | Teknisk sjef Reidar Berg Telefon: 90 13 12 96 E-post: reidar.berg@salangen.kommune.no |
| Veileder UiT - IVT: | Førstemanuensis Raymond Riise Telefon: 76 96 62 97 E-post: raymond.riise@uit.no |

UiT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Raymond Riise
Faglig ansvarlig/veileder

Forord

Denne rapporten er den avsluttende masteroppgaven for det 2-årige sivilingeniørstudiet i integrert bygningsteknologi ved UiT. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng og gjennomføres i samarbeid med Salangen kommune og deres rådgiver Plan-Evo AS.

For meg har oppgaven vært både interessant og utfordrende. Ettersom temaet er bygget på kombinasjon av faglinjer som passer godt til min utdannings bakgrunn: vannressurs og integrert bygningsteknologi. Men det krever ekstra innsats for meg for å jobbe med et språk som jeg har lært i kun 3 år.

Jeg vil gjerne benytte anledningen til å takke Salangen kommunes teknisk sjef Reidar Berg og formann Børge Lind, sammen med daglig leder av Plan-Evo AS Bård Hammarstrøm. De har vært svært behjelpelig for data samling og befaringer. Salangen var et hyggelig sted å være pga. hjelpe fra dere i forbindelse med arrangering overnattinger og kontorplass for meg.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder, Raymond Riise, som har vært svært ansvarsfull og bidratt til svært mye hjelpe både til masteroppgaven og helt masterprogram. Jeg vil også takke andre lærer og medarbeider i IVT fakultet som hjelper meg å gå gjennom de forelesningene og eksamenene som jeg tok parallelt med denne masteroppgaven. Uten god støtt fra dere det ville være umulig for meg til å bli ferdig med det 2-årige studiet nå siden jeg hadde 6 måneders fravær.

Til slutt vil jeg også takke familie og venner som lyser opp dagene.

Liguo Chen

Narvik, 15.05.2017

Innholdsfortegnelse

| | | |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Innledning..... | 1 |
| 2 | Bakgrunn..... | 2 |
| 2.1 | Salangen kommune: Lokale forhold..... | 2 |
| 2.2 | Kommunes klima- og energiplan..... | 3 |
| 3 | Varmepumpeteknologi..... | 4 |
| 3.1 | Prinsipp og virkemåte..... | 4 |
| 3.1.1 | Fordamper..... | 5 |
| 3.1.2 | Kompressor..... | 5 |
| 3.1.3 | Kondensator..... | 5 |
| 3.1.4 | Strupeventil..... | 6 |
| 3.2 | Effektfaktor - årsvarmefaktor - årsenergifaktor..... | 6 |
| 3.3 | Varmekilde..... | 8 |
| 3.3.1 | Avløpsvann/ kloakk/ spillvann..... | 8 |
| 3.3.2 | Ventilasjonsluft..... | 8 |
| 3.3.3 | Sjøvann..... | 9 |
| 3.3.4 | Ferskvann (innsjøer og elver)..... | 10 |
| 3.3.5 | Uteluft..... | 10 |
| 3.3.6 | Grunnvarme..... | 11 |
| 3.3.7 | Sammenligning av tradisjonelle varmekilder..... | 13 |
| 3.4 | Arbeidsmedier..... | 14 |
| 3.4.1 | Syntetiske arbeidsmedier..... | 14 |
| 3.4.2 | Naturlige arbeidsmedier..... | 14 |
| 3.5 | Praktiske eksempler av større varmpumpeanlegg i Norge..... | 16 |
| 4 | Kartlegging av kommunes større bygninger..... | 17 |
| 4.1 | Varmesystem i kommunes større bygg..... | 18 |
| 4.1.1 | Salangen bo- og eldrester..... | 18 |
| 4.1.2 | Vasshaug barnehagen..... | 23 |
| 4.1.3 | Sjøvegan asylmottak og Salangen kirke..... | 24 |
| 4.2 | Energiforbruk..... | 25 |
| 4.3 | Driftstid..... | 26 |
| 5 | Utnytting energi i kommunes vannforsyningssystem..... | 27 |
| 5.1 | Vannforsyningsanlegg i Salangen kommune..... | 27 |
| 5.2 | Varmepumpeanlegg: system anbefaling..... | 30 |
| 5.2.1 | Dimensjonering av varmpumper..... | 30 |
| 5.2.2 | Varmepumper..... | 31 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.3 | Varmepotensial i vann som varmekilde..... | 33 |
| 5.2.4 | Risiko av lekkasje og tiltak for å sikre drikkevannskvalitet..... | 34 |
| 5.2.5 | Systemløsning..... | 36 |
| 5.2.6 | Varmeleveranse..... | 38 |
| 6 | Økonomisk vurdering..... | 39 |
| 6.1 | Lønnsomhet..... | 39 |
| 6.2 | Følsomhet..... | 42 |
| 6.3 | Enovas støtte..... | 42 |
| 7 | Konklusjon og diskusjon..... | 43 |
| 7.1 | Konklusjon..... | 43 |
| 7.2 | Diskusjon og forslag til videre arbeid..... | 43 |
| 8 | Referanser..... | 44 |
| 9 | Vedlegg..... | 46 |
| | Vedlegg A: Tekniske Tegninger- Salangen bo- og eldresenter..... | 46 |
| | Vedlegg B: Tekniske Tegninger –Vasshaug barnehage..... | 51 |
| | Vedlegg C: Energiforbruk ved SABE og Vasshaug barnehage..... | 56 |
| | Vedlegg D: Teknisk beskrivelse– Thermia Varmepumper: Mega (brukte sider)..... | 57 |
| | Vedlegg E: Teknisk beskrivelse – Pumpe for varmeleveranse..... | 65 |
| | Vedlegg F: Uponor Wehotharm fjernvarmerøret Produktkatalog..... | 67 |
| | Vedlegg G: Pris på Thermia Mega XL varmpumpe..... | 68 |

Tabell liste

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 3-1: Månedsmiddeltemperatur i Sjøvegan mars/2016 - mars/2017 (YR, 2017). | 11 |
| Tabell 3-2: Oversikt over temperaturnivå, egenskaper, utnyttelsesmuligheter osv. for ulike varmekilder (Stene, 2000) | 13 |
| Tabell 3-3: Oversikt over mest aktuelle arbeids medium (SINTEF Byggforsk, 2009) | 15 |
| Tabell 4-1: Temperatur i varmedistribusjonsnett i SABE | 22 |
| Tabell 4-2: Driftstider for barnehage og sykehjem etter Norsk Standard NS 3031:201426 | |
| Tabell 5-1: Varmeeffekt med 55 °C turledningstemperatur ved forskjellig kuldebærer temperatur og 6000 o/minutt kompressor hastighet..... | 32 |
| Tabell 6-1: Kostnadsoverslag for varmepumpestasjon ved Salangen vannforsyningsanlegg | 40 |
| Tabell 6-2: Estimert årlig inntjening..... | 40 |

Figur liste

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 2-1: Geografisk beliggenhet av Salangen kommune (kartgrunnlag: Googlemap)..... | 2 |
| Figur 3-1: Prinsipp for varmepumper (SINTEF Byggforsk, 2009)..... | 4 |
| Figur 3-2: Hovedkomponenter og virkemåte av varmepumper (SINTEF Byggforsk, 2009) | 5 |
| Figur 3-3: Varmepumpens effektfaktor (COP) som funksjon av temperaturdifferanse (Stene, 2000) | 7 |
| Figur 3-4: Midlere maksimum og minimum temperatur i overflaten og i dypene 25m, 50m og 75m for noen steder langs kysten (Steen et al., 1981; Smebye et al., 2011)..... | 9 |
| Figur3-5: Temperaturen til grunnvann som funksjon av dybde under jordskorpe i ulike månedet av året (Bonin, 2015) | 12 |
| Figur 4-1: Plassering og prioritering av kommunes større bygg..... | 17 |
| Figur 4-2: Flyfoto over Salangen bo- og eldrecenter | 18 |
| Figur 4-4: Prinsippskisse av fyrkjeler i SABE | 21 |
| Figur 4-5: Fordeling av varmeeffekt i SABE..... | 22 |
| Figur 4-6: Flyfoto over Vasshaug barnehagen | 23 |
| Figur 4-7: Flyfoto over Sjøvegan asylmottak (venstre) og Salangen kirke (høyre) | 24 |
| Figur 4-8: Målt energiforbruk ved SABE i 2016 | 25 |
| Figur 4-9: Målt energiforbruk ved Vasshaug barnehagen i 2016..... | 26 |
| Figur 5-1: Prinsippskisse ved Salangen vannforsyningsanlegg | 28 |
| Figur 5-2: Hoved vannforsyningsrør i Vasshaug..... | 29 |
| Figur 5-3: Prinsipiell framstilling av varmepumpens effekt- og energidekning (Stene, 2000)..... | 30 |
| Figur 5-4: Driftstemperaturs kurv for R410A hentes fra Thermia Mega varmepumpe teknisk beskrivelse..... | 31 |
| Figur 5-5: Diagram for varmeeffekt med 55 °C turlledningstemperatur ved forskjellig kompressorhastighet og kuldebærertemperatur | 32 |
| Figur 5-6: Risikoanalyse for varmekilder | 34 |
| Figur 5-7: Prinsippskisse av system anbefaling for varmepumpeanlegg ved Salangen vannforsyningsanlegg | 37 |
| Figur 5-8: Varmeleveranse ledningstrase..... | 38 |

Nomenklatur

| | |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Q_k | Varmeleveranse |
| Q_f | Varme fra varmekilde |
| W | Tilført elektrisitet |
| COP | Effektfaktor (Coefficient of Performance) |
| SPF/SPF_{tot} | Årsenergifaktor (Seasonal Performance Factor) |
| SPF_{netto} | Netto årsvarmefaktor |
| SPF_{brutto} | Brutto årsvarmefaktor |
| T_{dim} | Temperatur ved dimensjonerende forhold |
| T_{var} | Temperaturvariasjon i fyringssesongen |
| FV | Fjernvarmeanlegg |
| GWP | Global Warming Potential |
| SABE | Salangen bo- og eldresenter |
| P_{JAN-SABE} | Gjennomsnittlig effektbehov i januar 2016 ved SABE |
| P_{JUL-SABE} | Gjennomsnittlig effektbehov i juli 2016 ved SABE |
| Q_{JAN-SABE} | Energiforbruk i januar 2016 ved SABE |
| Q_{JUL-SABE} | Energiforbruk i juli 2016 ved SABE |
| P_{JAN-VB} | Gjennomsnittlig effektbehov i januar 2016 ved Vasshaug barnehage |
| P_{JUL-VB} | Gjennomsnittlig effektbehov i juli 2016 ved Vasshaug barnehage |
| Q_{JAN-VB} | Energiforbruk i januar 2016 ved Vasshaug barnehage |
| Q_{JUL-VB} | Energiforbruk i juli 2016 ved Vasshaug barnehage |
| m | Mass |
| C_p | Spesifikk varmekapasitet |
| ΔT | Temperatur differanse |
| NV | Nåverdi |
| I₀ | Investering |
| B | Årlig netto inntjening |
| r | Rente |
| IT | Inntjeningstid |
| STI | Største tillatte investering |
| MB | Minste årlig netto inntjening |

1 Innledning

Bygningssektoren er nøkkelen forbruker av energi over hele verden. I Norge, utgjør det omtrent 40 prosent av totalt energiforbruket. Det er dermed behov for energieffektive bygninger. I de senere årene har varmepumpeteknologi fått oppmerksomhet om å tilbyr løsning av effektiv og miljøvennlig energiutnyttelse.

Hensikten med oppgaven er å vurdere mulighet og potensial av utnytting den energien som finnes i kommunal hovedvannforsyning ved bruk av varmepumper. Slik energien kan benyttes til oppvarming av større bygg i Salangen kommune. Det kan også bidra til bruk av miljøvennlige energiløsninger som gir samfunnsøkonomiske resultater på både kort og langsikt.

Rapportens første del omhandler generell informasjon om Salangen kommune og kommunes klima- og energiplan. Foreløpig er elektrisitet den hoved energikilden som benyttes til oppvarming av kommunens bygningsmasse, men kommune ønsker å finne løsninger for utnyttelse av andre miljøvennlige energikilder. Derfor har kommune foreslått en plan og budsjett for et varmepumpeanlegg som denne oppgave bygger på.

Kapittel 3 utgjør litteraturstudiet om varmepumpeteknologi. Det omfatter prinsipp og virkemåte om hvordan varmepumpe danner energi ved utnyttning energi fra omgivelse. De meste brukte varmekildene er introdusert i forbindelse med lokale forhold i Salangen, sammen med oversikt på arbeidsmedium og viktige faktorer for varmepumpes drift og ytelse. Dessuten blir noen praktiske eksempler av større varmepumpeanlegg i Norge diskuteres i denne kapittel.

Kapittel 4 tar for seg vurdering av de aktuelle bygningene som kan forsynes av varmepumpeanlegg. Det inneholder informasjon om bygningene med fokus på varmesystem og energiforbruk. Kapittel 5 inneholder beskrivelse av kommunes vannforsyningsanlegg, sammen med en system anbefaling av varmepumpeanlegg som benytter drikkevann som varmekilde. Økonomisk vurdering blir gjennomføres med betraktning av lønnsomhet, følsomhet og Enovas støtte i kapittel 6.

Rapporten konkluderes i siste kapittel og det også angir diskusjoner sammen med forslag til videre arbeid.

Begrensinger av rapport:

- Det skal ikke gjøres inngående vurdering av byggenes eksisterende varmeanlegg, det vil si bruksmønster, temperatur variasjoner etc. er ikke inkludert.
- Oppgaven går ut på å vurdere vannforsyning som vannkilde. Det er derfor ikke gjort noen sammenlignende analyse mot alternativ varmekilde.

2 Bakgrunn

2.1 Salangen kommune: Lokale forhold

Salangen kommune har ca. 2200 innbyggere og 458 km² totalt areal (439,6 km² land og 18,3 km² vann). Kommune ligger mellom de tre byene: Harstad, Narvik og Tromsø. Sjøvegan er kommunes administrasjonssenter som ligger innerst i Sagfjorden i indre Sør-Troms. Øvre-Salangen (Salangensdalen) går fra fjorden til grensen mot Bardu. Bosettingen i Salangen er relativt spredt. Sjøvegan har litt mer enn 700 innbyggere, og den er regionsenter for de indre deler av Sør-Troms med flere offentlige institusjoner.

I 2017 er det en overvekt av helse- og sosialtjenester (31%) og tjenesteytende næringer (23%) blant bosatte i Salangen kommunen (SSB, 2017a).



Figur 2-1: Geografisk beliggenhet av Salangen kommune (kartgrunnlag: Googlemap)

2.2 Kommunes klima- og energiplan

Det antas at global oppvarming som hovedsakelig på grunn av økende menneskeskapte klimagassutslipp har blitt den største miljøutfordringen i verden. For å redusere klimagassutslippene ble det andre fornybardirektivet vedtatt av EU-kommisjonen i 2007. Det inneholder blant annet en tredelte 2020-mål om 20% reduksjon i utslipp, 20 prosent økning i bruk av fornybar energi og 20% økning i energieffektivitet innen 2020. Norge har innført dette fornybardirektivet i Norsk lov gjennom EØS med en nasjonale fornybarandel på 67,5 prosent. Hver Fylkeskommune og kommune i Norge har laget sin egen klima- og energiplan for at nasjonale mål oppnås (Troms Kraft Nett AS, 2014).

Salangen kommunen har energibruk i form av elektriske kraft i 2012 på 35,1 GWh, og det totale energibehovet i kommunen ligger på 43,4 GWh. I 2024 vil det totale energibehovet ifølge prognosen for forbruksvekst økes til 47,8 GWh. Av dette vil elektrisitet utgjøre 36,2 GWh (Troms Kraft Nett AS, 2014).

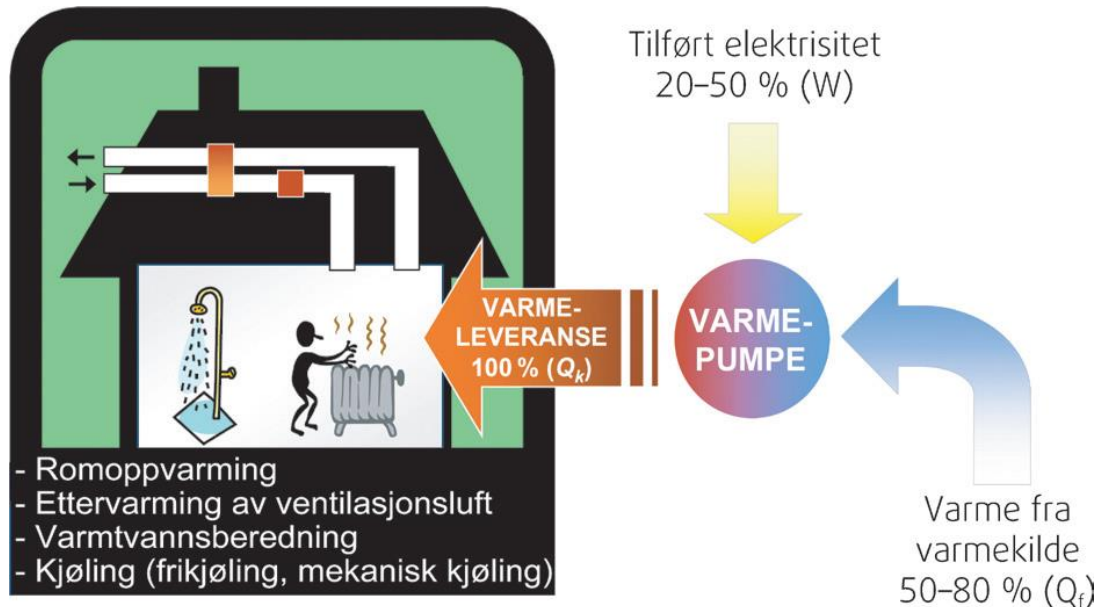
På grunn av lave temperaturer deler av året har kommunen høyt energibehov for romoppvarming. Elektrisitet er den hoved energikilden som benyttes til oppvarming av kommunens bygningsmasse. Lokal energiutredning for Salangen kommune fra 2001 til 2024 viser at en av de viktigste utfordringene er at det i for stor grad brukes elektrisk kraft til oppvarming. Derfor har kommune foreslått en klima- og energiplan med hovedmålsettinger av utnytting fornybare energibærere og energi- effektivisering (Salangen kommune teknisk avdeling og Norsk gründerutvikling AS, 2012).

I tillegg skal kommune i samarbeid med energiaktører bidra til at overgang fra elektrisitet til andre miljøvennlige energikilder gjennom vannbåren varme realiseres i fremtiden. Dermed har Kommune foreslått budsjett for et varmepumpeanlegg de kommende årene.

3 Varmepumpeteknologi

3.1 Prinsipp og virkemåte

I de senere år har varmepumper fått oppmerksomhet i området av miljøvennlig energi. Varmepumper muliggjør utnyttelse av lavverdig energi fra en fritt tilgjengelig varmekilde og levere varme med høyere temperatur til varmeforbruker. Varmepumpers energi omdannelsesprosess drives ved hjelp av eksergi (høyverdig energi) som i de fleste tilfeller er elektrisitet (SINTEF Byggforsk, 2009).

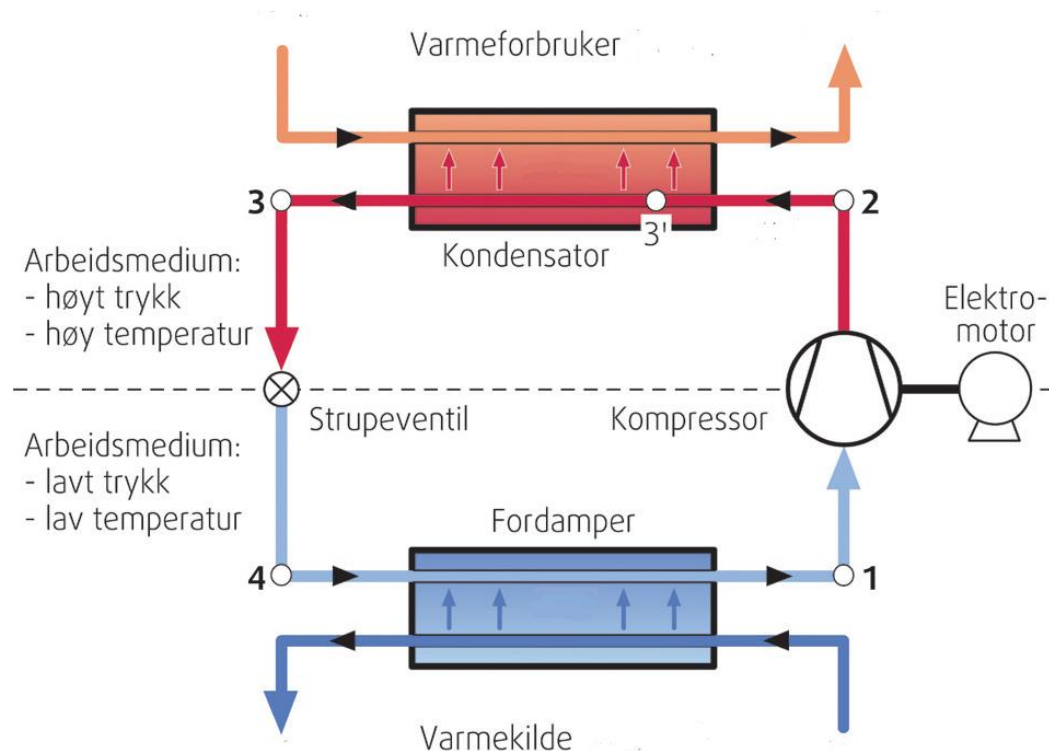


Figur 3-1: Prinsipp for varmepumper (SINTEF Byggforsk, 2009)

Varmepumpe har stort potensial for energisparing. Som vises i figur 3-1, kan energibehov for oppvarming reduseres med 50 til 80% sammenlignet med oppvarming basert på elektrisitet, olje og gass. Effektstrøm i et varmepumpesystem kan også beskrives av ligning 3.1.

$$Q_k = Q_f + W \quad [W] \quad (3.1)$$

En varmepumpe består prinsipielt av fire hovedkomponenter, fordampere, kompressor, kondensator og strupeventil, som kobles sammen i en lukket rørkrets. Arbeidsmedium (syntetisk eller naturlig) sirkuleres i rørkretsen. I løpet av denne kontinuerlige kretsprosessen, kan arbeidsmedium hente og avgi varmemengde gjennom ulike tilstandforandringer, se figur 3-2.



Figur 3-2: Hovedkomponenter og virkemåte av varmepumper (SINTEF Byggforsk, 2009)

3.1.1 Fordamper

Fordamperen er en varmeveksler hvor arbeidsmediet i væskefase først løper inn. Metningstrykket holdes så lavt at arbeidsmediet har lavere temperatur enn varmekilden. Temperaturforskjellen fører til at varme blir overført fra varmekilden til arbeidsmediet, som begynner å fordampe. Når arbeidsmediet løper ut av fordamper, har all væsken fordampet til gass. Energiinnholdet i arbeidsmediet (gass) økt pga. den varmemengden overført fra varmekilden (Stene, 2000; SINTEF Byggforsk, 2009).

3.1.2 Kompressor

Kompressoren som drevet av elektrisitet er trykkøkende komponent. Arbeidsmediet i gassfase fra fordamperen ble suges inn i kompressoren, som øker trykk og dermed gassens temperatur. Energiinnholdet i gassen fortsetter å øke med tilført energimengden til kompressoren (Stene, 2000; SINTEF Byggforsk, 2009).

3.1.3 Kondensator

Kondensatoren er en vareveksler som arbeidsmediet i gassfase ved høyt trykk og høy temperatur fra kompressor strømmet over i. Fordi arbeidsmediet har en høyere temperatur enn det mediet som skal varmes opp (f.eks. vann i en radiatorsystem eller gulvvarmesystem), blir varme overført til vann. Arbeidsmediet i gassfase begynner å kondensere ved varmeavgivelsen. Ved utløpet av kondensatoren blir all gassen kondensert til væske. Energiinnholdet i arbeidsmediet reduserer etter varmeoverføring til varmebruker (Stene, 2000; SINTEF Byggforsk, 2009).

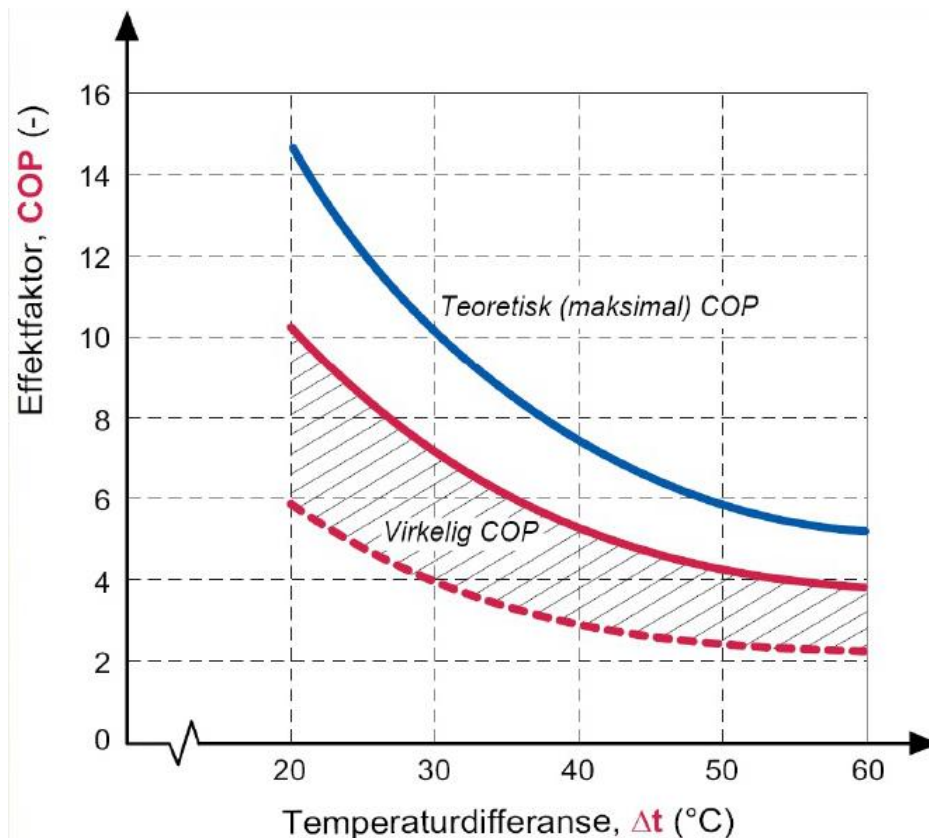
3.1.4 Strupeventil

Strupeventil har en trykkreduksjons funksjon. Arbeidsmediet i væskefase med relativt høyt trykk og høy temperatur fra kondensatoren løper til strupeventil, som reduserer trykk og dermed væskens temperatur. Like mye arbeidsmediet i væskefase strømmer tilbake til fordampner, energiinnholdet i arbeidsmediet blir det samme som før strupeventilen. Kretsløpet gjentas på nytt (Stene, 2000; SINTEF Byggforsk, 2009).

3.2 Effektfaktor - årsvarmefaktor - årsenergifaktor

Varmepumpens effektivitet kan uttrykkes ved hjelpe av effektfaktor, COP (Coefficient of Performance). Den angir forholdet mellom levert varmeeffekt fra varmepumpen og tilført elektrisk effekt til kompressoren. Effektfaktoren bestemmes av ulike driftstilstander, og det er ønskelig å ha så høy som mulig verdi. Figur 3-3 illustrerer COP kurve som funksjon av temperaturløftet, dvs. at effektfaktor er i stor grad påvirkes av temperatur differanser mellom anleggets fordampnings- og kondenseringstemperatur. Kurven av ideell varmepumpeprosessen i figur 3-3 presenterer en teoretisk (maksimal) COP funksjon som beskriver effektfaktoren for en ideell varmepumpe uten tap. I de virkelige varmepumpeprosessene kan COP varierer imidlertid mellom 4 og 8 når temperaturdifferanse er ca. 20 °C, mens denne koeffisienten synker ned til mellom 2 og 4 når temperaturløft blir 60 °C. Det er derfor gunstig å utnytte en varmekilde med relativt høy og stabil temperatur, og å sørge for at varme leveres til forbrukere med relativt moderat temperaturkrav. Jo høyere effektfaktor, desto større energisparing.

Effektfaktor av varmepumpene for bygnings kan oppnår mellom 2 og 5 (Stene, 2000; SINTEF Byggforsk, 2009).



Figur 3-3: Varmepumpens effektfaktor (COP) som funksjon av temperaturdifferanse (Stene, 2000)

Varmepumpens årsvarmefaktoren, eller SPF (Seasonal Performance Factor), er forholdet mellom total varmeleveranse over et år fra varmpumpe (kWh/år) og totalt årlig tilført energimengde (kWh/år) for drift av varmpumpeanlegg. Årsvarmefaktoren er et grunnleggende element for anleggets lønnsomhet vurdering. SPF skilles i to kategorier: netto årsvarmefaktor og brutto årsvarmefaktor.

$$SPF_{netto} = \frac{\text{årlig varmeleveranse varmpumpe}}{\text{årlig tilført energi for varmpumpe aggregat}} [-](3.2)$$

$$SPF_{brutto} = \frac{\text{årlig varmeleveranse fra varmpumpe + spisslastsystem}}{\text{årlig tilført energi for varmpumpe + spisslast + tilleggsutstyr}} [-](3.3)$$

Og beregning av energisparing er basert på brutto årsvarmefaktor:

$$\text{Energisparing} = (1 - 1/SPF_{brutto}) \cdot 100\% [\%](3.4)$$

Årsenergifaktoren (SPF_{tot}) er brukt til å beskrive anlegg som benyttes både til oppvarmings- og kjøleformål. Den beregnes som følgende:

$$SPF_{tot} = \frac{\text{årlig varme og kjøleleveranse fra varmpumpe + spisslastsystem}}{\text{årlig tilført energi for anlegg}} [-](3.5)$$

3.3 Varmekilde

Varmekilders egenskap er avgjørende for utforming og driftsresultat av varmepumpesystemet. Dermed er det generelle krav til varmekilder som skal tilfredsstilles flest mulig (Stene, 1997):

- Tilstrekkelig mengde tilgjengelig ved forbrukssted
- Høy og stabil temperatur over året
- Stor spesifikk varmekapasitet
- Gode varmeoverføringsegenskaper
- Minst mulig korrosiv og forurenset
- Lave kostnader for tilknytning/ utnyttelse av varmekilden
- Lave energiutgifter til transport av varmekilden gjennom varmepumpen

De mest vanlige varmekildene for varmepumpeanlegg inkluderer sjøvann, ferskvann (innsjøvann, elver), grunnvarme (grunnvann, jordvarme, bergvarme), uteluft, avløpsvann/kloakk/spillvarme, ventilasjonsluft, avløpsvann eller kjølevann. I Norge benytter det flest installerte varmepumpeanlegg varmekilder som uteluft, ventilasjonsluft og sjøvann, mens grunnvarme har etter hvert fått økende utnyttelse pga. utvikling i teknologi og reduksjon i borekostnadene (SINTEF, 2000; HePuPro, 2015). For å velge den optimale varmekilden for varmepumper i prosjektet for Salangen kommune totalt er det nødvendig å ha oversikt over og sammenligne alle tilgjengelige varmekildene i Salangen kommune.

3.3.1 Avløpsvann/ kloakk/ spillvann

Avløpsvann, kloakk og spillvarme fra industri, husholdning holder høye temperaturer og kan være egnet varmekilder. Det er imidlertid en felles ulempe for slike varmekilder at de ofte inneholder partikler, fett og annen forurensing, som kan gi beleggdannelse. I tillegg har energimengde og temperatur fra avløpsvann, kloakk eller spill varme normalt stor variasjoner gjennom døgnet og året. Lange overføringsavstander samt med de overnevnte ulempene reduserer lønnsomhet ved bruk av avløpsvann, kloakk og spill varme som varmekilder for varmepumpe.

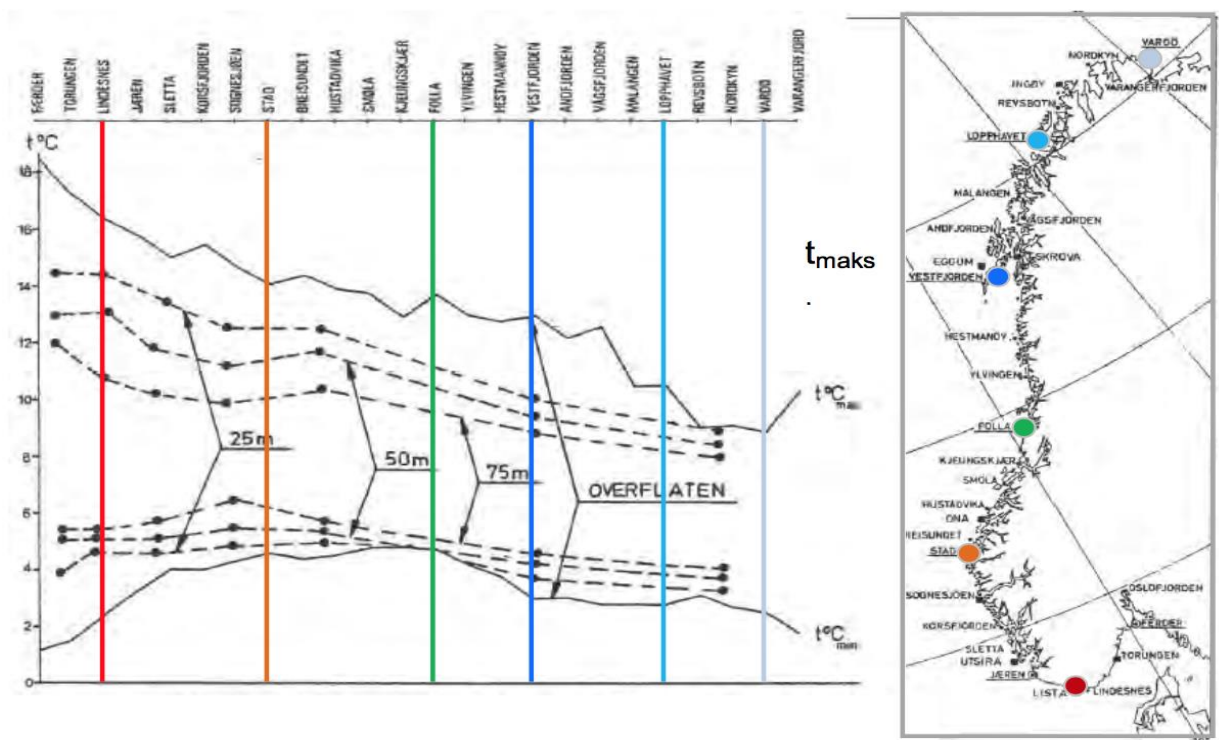
3.3.2 Ventilasjonsluft

Ventilasjonsluft er også en type spill varme som holder en godt høy temperatur (ca. 18-25 grader). Men ventilasjon må være kontinuerlig i drift hele år for å levere varme. Det er begrenset varmemengde som kan hentes ut av ventilasjonsluft. Tilleggs oppvarming (ofte elektrisk) er derfor nødvendig i perioder med høyt oppvarmingsbehov (Stene og Brånås, 2004).

3.3.3 Sjøvann

Norge har en langstrakte kyst som viker ca. 55. 000 km, og langs kysten ligger Norges 15 største byer samt mange tettsteder og annen bebyggelse som gir god tilgjengelighet for å benytte sjøvann som varmekilde til varmepumper. Takket være Golfstrømmen finnes sjøvann langs stor deler av Norges kysten med relativt høye og stabile temperaturer hele året. Sjøvannets temperatur langs kysten forandres med geografisk beliggenhet, årstid og dybde. Vanligvis finnes det en stor svingning av temperaturen i overflatevannet. Når dybden øker, temperatur svinger relativt litt og minimumstemperatur går opp. I mange norske fjord er temperaturen på dypvannet nesten konstant over året. Figur viser midlere maksimum og minimum temperatur i forskjellige dyp for noen steder langs kysten. På 25 m dyp langs kysten ligger minimum temperaturen mellom 3-5 grader, og maksimum temperaturen varierer mellom 9-15 grader (Smebye et al., 2011).

Vågsfjorden som ligger utenfor Salangen kommune har en minimum temperatur i overflaten ca. 3 grader, på 25m dyp ca. 3,5 grader, på 50 m dyp ca. 4 grader og på 75m dyp ca. 5 grader. Det er derfor en sikker varmekilde.



Figur 3-4: Midlere maksimum og minimum temperatur i overflaten og i dypene 25m, 50m og 75m for noen steder langs kysten (Steen et al., 1981; Smebye et al., 2011)

I tillegg har vannet mye høyere varmekapasitet enn luft og bedre varmeoverføringsegenskaper. Sjøvannbaserte varmepumpe har også moderate investeringskostnader. De ovennevnte fordelene gjøre at sjøvann er i praksis en mye brukte varmekilden særlig til større varmepumpeanlegg i Norge. Det er imidlertid 3

forhold som må tas i betraktning ved oppbygging av varmepumpeanlegg med sjøvann som varmekilde: begroing, frostfare og korrosjon. Slike problemet kan forekomme på kollektorslange, forårsake økt trykktap, noe som gir redusert ytelsen. Det kan være høye vedlikeholdskostnader (Stene, 1997).

3.3.4 Ferskvann (innsjøer og elver)

Ettersom Norge har 250 innsjøer og en rekk elver, freskevann i innsjøer og elver kan også være en aktuell varmekilde for varmepumper. Temperaturen av ferskvann i fyringssesong vil være påvirket av de lokale forhold. Det er for eksempel avhengig av i hvilken grad innsjøen er islagt eller ikke, fordi isen virker som isolerende og kan hindre varmeovergang til luften. Det er derfor nødvendig å ta temperaturmålinger for ulike dyp av innsjøen/elven gjennom hele år før en eventuell vurdering. Fra noen dypere elver og større innsjøer vil det være mulig å hente vann med relativt høy og konstant temperatur i fyringssesong, men i de fleste tilfeller vil minimumstemperaturen i innsjøer/elver være 1-2 grader, og mulig varmeuttak blir meget beskjedent (Smebye et al., 2011).

Selv om at det finnes to innsjøer (Vestre Sagvatnet og Øvrevatnet) og ei elv (Salangselva) i Salangen, vil freskevann ikke vurderes som varmekilde for varmepumpe til oppvarming pga. for lav temperatur i vinterstid og potensiell risiko for mekanisk skade på kollektorslanger (erosjon, ismasser).

3.3.5 Uteluft

Uteluft er varmekilder flest varmepumper i Norge benytter pga. lett tilgjengelighet overalt. Luft-varmepumper har forholdsvis lave investeringskostnader og kan også brukes til klimakjøling om sommeren. Dette fører til at små luft/luft-varmepumper i bolighus er blant annet den mest solgte varmepumper i Norge (HePuPro, 2015).

Imidlertid er luft-varmepumper ikke en optimal oppvarmingsløsning særlig for områder med for lav årstemperatur og med stor sesongvariasjon. Hovedårsaken er at uteluft som varmekilde har en åpenbar ulempe ved at varmekildens temperatur og oppvarmingsbehov er i motfase. I vintertid når behov for oppvarming i bolig er størst, er temperatur ute på den lavest nivå. Reduksjon i utelufttemperatur resulterer at luft-varmepumpens varmeytelse og effektfaktor avtar betraktelig. Et varmepumpes kapasitet vil synke ca. 4% pr. 1 grader senkning i utelufttemperatur (Stene, 1997). Lav utelufttemperatur under 0 grader kan dessuten avsette fuktighet som rim på fordampnerflaten, og rim etter hvert hindrer strømming av luft igjennom varmeveksleren og reduserer anleggs effektfaktor.

Tabell nedenfor viser at Sjøvegans luft temperatur i vintertid mellom november og mars ligger under 0 grader (lavere enn sjøvannstemperatur) som er relativt lav å benytte uteluft som varmekilde til varmepumpe for oppvarming i forhold til andre varmekilde.

Tabell 3-1: Månedsmiddeltemperatur i Sjøvegan mars/2016 - mars/2017 (YR, 2017).

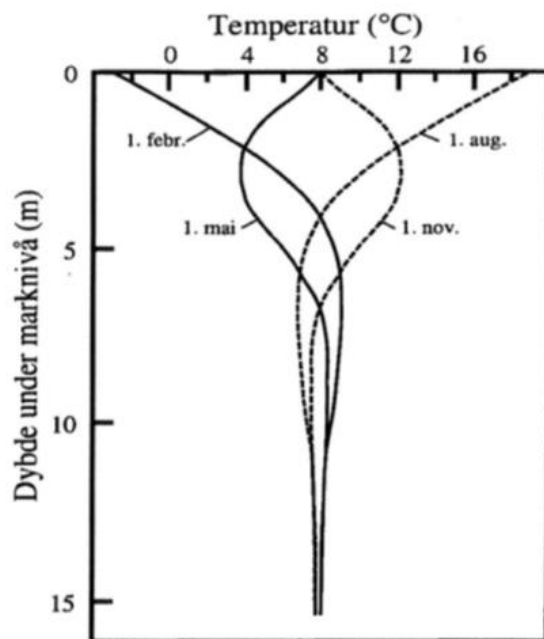
| Måneder | Gjennomsnitt Temperatur(°C) |
|----------|-----------------------------|
| Mar 2017 | -4,6 |
| Feb 2017 | -9,7 |
| Jan 2017 | -6,1 |
| Des 2016 | -2,3 |
| Nov 2016 | -6,5 |
| Okt 2016 | 0,3 |
| Sep 2016 | 9,8 |
| Aug 2016 | 12,4 |
| Jul 2016 | 14,0 |
| Jun 2016 | 9,4 |
| Mai 2016 | 8,6 |
| Apr 2016 | 2,2 |
| Mar 2016 | -2,8 |

3.3.6 Grunnvarme

Grunnvarme er definert som termisk energi lagret i berggrunnen, grunnvann og øvre jordlaget. Det er en meget god varmekilde for varmepumpe pga. stabil og relativt høy temperatur. Grunnvarmebaserte varmepumper kan levere varmeenergi uavhengig av utetemperatur. Dessuten har grunnvarmepumpe utmerket driftssikkerhet og krever mindre vedlikehold.

Grunnvann

Figur 3-5 viser at temperatur til grunnvann varierer med utelufttemperatur når det er nær overflaten (dybde er mellom 0 og 10 m), men fra 10 m dybde er temperaturen nok stabil gjennom året. Grunnvannstemperaturen i Norge ligger mellom 2 og 10 grader avhengig av beliggenhet og dybde (Stene, 1997). Vanligvis gir områder med stor oppsprekking av fjellgrunnen og godt grunnvannstilsig god mulighet til å utta høy mengde av varme per meter borehull. Det kan hentes svært store vannmengder hvis grunnvannsmagasinet har kontakt med en innsjø.



Figur3-5: Temperaturen til grunnvann som funksjon av dybde under jordskorpe i ulike måneder av året (Bonin, 2015)

Ved utnyttelse av grunnvann som varmekilde for varmepumpe er det nødvendig å undersøke vannkvaliteten, ettersom det kan skape driftsproblemer pga. forurensninger som jern og mangan. I tillegg er det veldig viktig å kartlegge fare for eventuelle setninger i grunnen ved planlegging av større grunnvannbaserte varmepumpesystemer (Bonin, 2015).

Bergvarme

Solenergi som lagret i fjell kan utnyttes ved bruk av bergvarmepumpe. Bergevarme med nesten samme temperatur som grunnvann kan hentes med å bore brønner ned til 80-200 m (Stene, 1997). Varmeuttaket og nødvendig borehulldybde er bestemmes av berggrunnens sammensetning og oppsprekking, terrengets helning, grunnvannsnivået og grunnvannsstrømmen. Installasjonskostnad av bergvarmepumpe kan være høy hvis foringsrør brukes for å oppholde brønnens stabilitet ved løsavsetninger i grunnen.

Jordvarme

Varmen i den øvre delen av jordlaget akkumuleres om sommeren (soloppvarming). Dette varme kan utnyttes ved installasjon av en varmepumpe. Varmeinnholdet er sterkt påvirket av jordsmonnet, fuktigheten og lokale klima. I fyringssesongen vil jordvarepumpen ikke oppnå høy effektfaktor pga. at varmekildens gjennomsnittlige temperatur blir for lav sammenlignet med varmekilder som sjøvann, grunnvann osv.

Varmepumpen med jordvarme som varmekilde har mindre investeringskostnader enn grunnvarmesystemer, men oppbygging av jordvarmepumpe krever stor tomt og er lettere å feil dimensjonere.

3.3.7 Sammenligning av tradisjonelle varmekilder

Tabell 3-2: Oversikt over temperaturnivå, egenskaper, utnyttelsesmuligheter osv. for ulike varmekilder (Stene, 2000)

| Varmekilde | T _{dim} ¹⁾ (°C) | T _{var} ²⁾ (°C) | Fordeler | Ulemper | NV eller FV | Tilgjenghet | Bruksområde |
|-------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Kloakk | 5 til 10 | 2 til 5 | Meget god varmekilde med høy temperatur | Inneholder partikler, fett, hår osv. Som kan gi gjentetting/beleggdannelse | FV | Kloakktunneler eller renseanlegg | Store anlegg |
| Ventilasjonsluft | 20 til 25 | Stabil | Lav investering | Konkurrerer med vanlige varmevekslere. Begrenset energisparing. | - | Kun i bygg med mekanisk ventilasjon | Boligbygg, yrkesbygg |
| Sjøvann | 3 til 8 | 4 til 5 | Meget god varmekilde hvis tilgjengelig. Høy, stabil temperatur pga. Golfstrømmen | Kan gi problemer med hensyn til korrosjon, begroing og utfrysing av vann i varmeopptakssystemet | NV og FV | Langs kysten | Yrkesbygg, boligbygg |
| Ferskvann | 0 til 4 | 5 til 10 | God varmekilde, men ikke mye brukt | Begrenset varmeuttak før vannet fryser. Brakkvann og forurenset vann er tildeles meget korrosivt. | NV | Ved innsjøer og større elver | Boligbygg, yrkesbygg |
| Uteluft | -40 til -10 | 0 til 50 | Tilgjengelig overalt. Gir relativt lav investering | Har lav temperatur når varmebehovet er størst (gir lite effekttilskudd) | - | Langs kysten. Ikke innlandsklima | Boliger og evt. mindre yrkesbygg |
| Grunnvann | 4 til 8 | Liten | Meget god varmekilde hvis tilgjengelig. Stabil, høy temperatur. | Kan inneholde jern og mangan (utfelling). Kan gi relativt høye investeringer. | NV og FV | I dalfører og på elvesletter | Yrkesbygg, boligbygg |
| Jordvarme | 0 | Liten | God varmekilde med relativ høy og stabil temperatur | Krever store arealer uten for mye stein. | - | Sør-Norge og langs kysten | Boliger |

1) Varmekildens temperatur ved dimensjonerende forhold

2) Varmekildens temperaturvariasjon i fyringssesongen

3.4 Arbeidsmedier

Et arbeidsmedium er en gass i væskeform sirkulerer gjennom kretsen og transporterer varme fra et lavere temperaturnivå (fordamperen) til et høyere temperaturnivå (kondensatoren). Generelt gjelder det arbeidsmedier for varmepumper kan deles i to grupper, syntetisk og naturlig. Naturlige arbeidsmedier som ammoniakk, karbondioksid og hydrokarboner ble benyttet for de første kuldeanleggene. Fra 1930s er øvrige erstattet med syntetiske arbeidsmedier som KFK og HKFK (senere). Problemet er at KFK og HKFK kan svekke ozonlaget og øker drivhuseffekten. Derfor trådet den Montreal-Protokollen i kraft i 1989, og det kraver om betydelige reduksjoner i utslipp av ozonnedbrytende gass som KFK (R12). I 1992 ble HKFK (R22) også inkludert i Montreal-protokollens reduksjonsplaner. I dag er både KFK og HKFK til nye varmepumpeanlegger total forbudt i Norge.

Det er mange forhold må tas hensyn til ved valg av arbeidsmediet for varmepumpe. De viktigste egenskapene av arbeidsmediet inkluderer effektfaktor (COP), volumetrisk varmeytelse, maksimalt temperatur ved varmeavgivelser, giftighet, brennbarhet, bidrag til global oppvarming (global warming potential, GWP), osv. Tabell 3-3 gir en oversikt over mest aktuelle syntetiske og naturlige arbeidsmedier med noen nøkkelegenskaper.

3.4.1 Syntetiske arbeidsmedier

R407C, R410A og R134a er klorfritt syntetiske arbeidsmedium (HFK) uten ozonnedbrytende effekt. De er blanding av flere basiskomponenter inkludert HFK-32, HFK-143a, HFK-125 og HFK-143a. Alle blandingene inneholder brennbar komponent, men sammensetningen av sluttproduktet er ikke brennbar.

GWP-verdien av de syntetiske arbeidsmedium er relativt høy (1300 -2000), som betyr at de HFK-medium har 1300 til 2000 ganger høyere påvirkning på drivhuseffekten enn CO₂ ved utslipp. Derfor er det svært viktig å unngå lekkasjer under påfylling.

3.4.2 Naturlige arbeidsmedier

Ammoniakk (NH₃, R717), hydrokarboner og karbondioksid (CO₂, R744) er de mest brukt naturlige arbeidsmedier. De finnes i jordas biosfære og har nesten ingen negativ bidrag til global oppvarming. Sammenlignet med varmepumpeanlegg med syntetiske arbeidsmedier kan anlegg som bruker naturlige arbeidsmedier oppnå vanligvis høyere effektfaktor(COP). Det er fordi at de naturlige arbeidsmedier har høyere prosess effektivitet, bedre varmeovergangs egenskaper og høyere kompressorvirkningsgrad. De har imidlertid også noen ulemper som giftighet (ammoniakk), brennbarhet (hydrokarboner) og høye anleggstrykk (CO₂) (SINTEF Byggforsk, 2009).

Tabell 3-3: Oversikt over mest aktuelle arbeids medium (SINTEF Byggforsk, 2009)

| Arbeidsmedium | | GWP ¹⁾ | Brennbar | Giftig | Maksimal Vanntemperatur ut fra kondensator (°C) ²⁾ | Relativt volum (%) | COP ⁴⁾ |
|---------------|----------------------------------------|-------------------|------------------|--------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Syntetisk | R407C | 2000 | Nei | Ikke giftig | 55 | 67 | 4,4 |
| | R410A | 1700 | Nei | | 50 | 39 | 4,2 |
| | R134a | 1300 | Nei | | 60 (25 bar) 70-90 (25/40 bar) | 100 | 4,5 |
| Naturlig | Ammoniakk (NH ₃ , R717) | 0 | Moderat brennbar | Meget giftig | 48-52 (25 bar) 68-90 (40/50/60 bar) | 52 | 4,8 |
| | Hydrokarboner | 3 | Svært brennbar | Ikke giftig | 60 | 72 | 4,4 |
| | Karbondioksid (CO ₂ , R744) | 0 | Nei | | 95 | 12 | 4,5 |

- 1) Global Warming Potential. GWP =1 for CO₂ ved forbrenning
- 2) Maksimal utgående vanntemperatur fra kondensatoren/ gasskjøleren
- 3) Relativt (prosentvis) volumbehov for kompressoren ved henholdsvis -5 og 50°C fordampnings- og kondenseringstemperatur for anlegget, ingen overhetning av gassen inn på kompressoren og 100% kompressorvirkningsgrad. R134a er satt som referanse (100%)
- 4) Teoretisk effektfaktor, COP, ved betingelser som gitt i fotnote 3.

3.5 Praktiske eksempler av større varmepumpeanlegg i Norge

Det er mer enn 750 000 varmepumper installert i Norge, og I 2015 har varmepumpeanleggene levert en estimert årlig varmeleveranse på 15 TWh ved bruk av 6,5 TWh elektrisitet (Ericson et al., 2016). Blant dem finnes det noen vellykkede eksempler som kan gi noe erfaring og innsikt av større varmepumpeanlegg.

Energianlegget ved Oslo Lufthavn Gardermoen bruker grunnvann for å dekke både varme- og kjøle behov. Varmepumpen i de siste årene har en kjøle- og varmeproduksjon på henholdsvis 8 og 11 GWh/år. For varmeproduksjonen var det 3 GWh/år elektrisk energi tilført, og dette tilsvarer en energisparing på ca. 70%. Den maksimale varmeleveransen fra varmepumpen er 2 MW, selv om den har varmeytelse helt oppe til 8 MW. Systemet bruker et ett-trinns anlegg som kan levere varmtvann med temperatur maksimalt på 45 °C. Til tross for disse begrensningene i driften har energianlegget ved Gardermoen Lufthavn vært en lønnsom investering med 3 år inntjeningstiden siden oppstart i 1994.

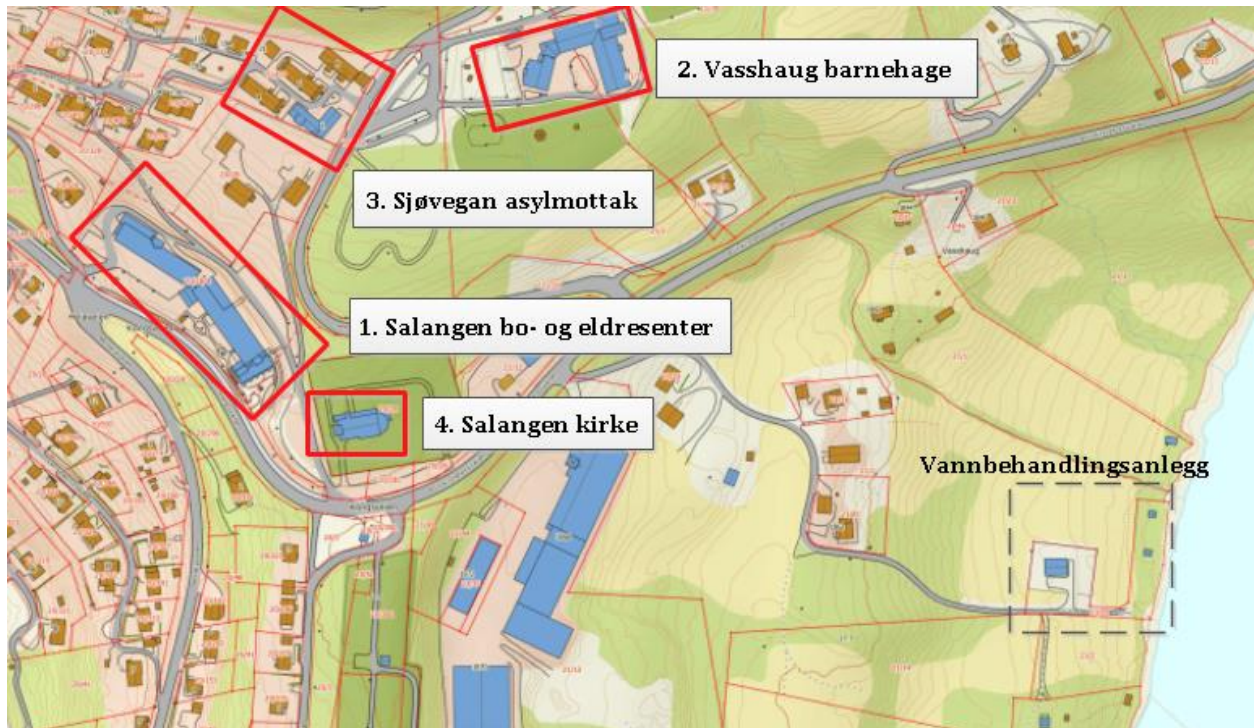
Ved Radisson SAS Royal Garden Hotell i Trondheim ble varmepumpeanlegget med ferskvann fra Nidelva som varmekilde installert og tatt i drift. Ferskvann strømmer forbi hotellet har lavest temperatur ca. 4 grader langs bunnen, som er høyere enn overflatevann om vinteren. Anlegget er spesielt bygget for å dekke tappevanns oppvarming. Gjennomsnittlig varmeproduksjon av varmepumpen ligger på 3 mill. kWh/år, dermed sparer hotellet ca. 2 mill. kWh/år på varmebudsjettet. I startfasen har begroing skapt store problemer, og det må håndteres med rengjøring av varmeveksleren og inntaksledningen en gang i år. Selv om at det kostet 7000 kr per år for vedlikeholdet i midten av 1990-årene, sparte hotellet samtidig halv million kroner per år på energiutgifter.

Et annet eksempel er Norsk Hydros hovedkontor i Oslo som bruker sjøvannsbasert varmepumpesystem å dekke varme- og kjøle behov. Varmepumpen er et to-trinns ammoniakkanlegg fordi to-trinns anlegg kan gi ca. 20 – 40% høyere effektfaktor enn ett-trinns anlegg. Maksimalt vanntemperatur leveres fra varmepumpen til romoppvarming er ca. 68 grader. Ammoniakk brukes som arbeidsmedium gir meget energieffekt, men mediet er giftig og har en stikkende lukt. Derfor må det håndteres med strenge krav ved utforming, drift og verdilikehold av varmepumpeanlegget. I driftsfasen har varmepumper oppnådd høy energisparing og utnyttelse av sjøvann som varmekilde. Det viste en besparelse på ca. 4 mill. kWh/år fra 2003 og 2004. Etter utbyggingsperioden fra 2004 til 2009 er stipulerte besparelsen ca. 6,3 mill. kWh/år.

De overnevnte eksemplene viser noen større varmepumpesystemer med god driftsresultater i Norge. For å lykkes med et varmepumpeprosjekt, er det viktig å ta vesentlig forundersøkelser av varmekilde, vurdere alle tekniske løsninger og lønnsomhet (Skree et al., 2010). Men bruk av drikkevann som varmepumpes varmekilde er fremdeles relativt nytt i Norge. Det finnes noen eksempler i andre land, men det er store forskjeller mellom betingelser som temperaturforhold og vannbehandlingsprosess osv (De Pasquale et al., 2016; Zhao, 2016).

4 Kartlegging av kommunes større bygninger

Salangen kommune ønsker å utnytte varmepumpe for å dekke oppvarmingsbehov for kommunes større bygg. Figur 4-1 viser plasseringer av de potensielle bygningene som kan forsynes med varmepumpeanlegg, nemlig er de: 1. Salangen bo- og eldrester (SABE sykehjem); 2. Vasshaug barnehage; 3. Sjøvegan asylmottak; 4. Salangen kirke.



Figur 4-1: Plassering og prioritering av kommunes større bygg

Denne gruppen av bygninger ligger i nærheten av hverandre, og avstanden fra vannbehandlingsanlegg er også ikke lang. Derfor er det gunstig for varmeleveranse fra sentralt varmeanlegg.

4.1 Varmesystem i kommunes større bygg

4.1.1 Salangen bo- og eldrecenter

Salangen bo- og eldrecenter (SABE) ligger i Sjøvegan sentrum, og er tilstedt til å tilby både korttids- og langtidsopphold, sammen med nødvendig pleie og omsorgstjeneste.

SABE var første bygget i 1965 og har blitt gjennomført flere byggetrinn og rehabiliteringsprosjekter. Bygget i dag består av to hovedfløyer med tre etasjer og en nye tilbygget med to etasjer, og total areal er på 4 750 m². Utseende av bygningen vises i figur 4-2 flyfoto over Salangen bo- og eldrecenter. Det siste byggetrinnet ble utført i 2004 som bygget det to-etasje tilbygget på høyre side av bygningen. Hver etasje av tilbygget har 5 separate rom og en korridor som blir koblet til eksisterende bygg.



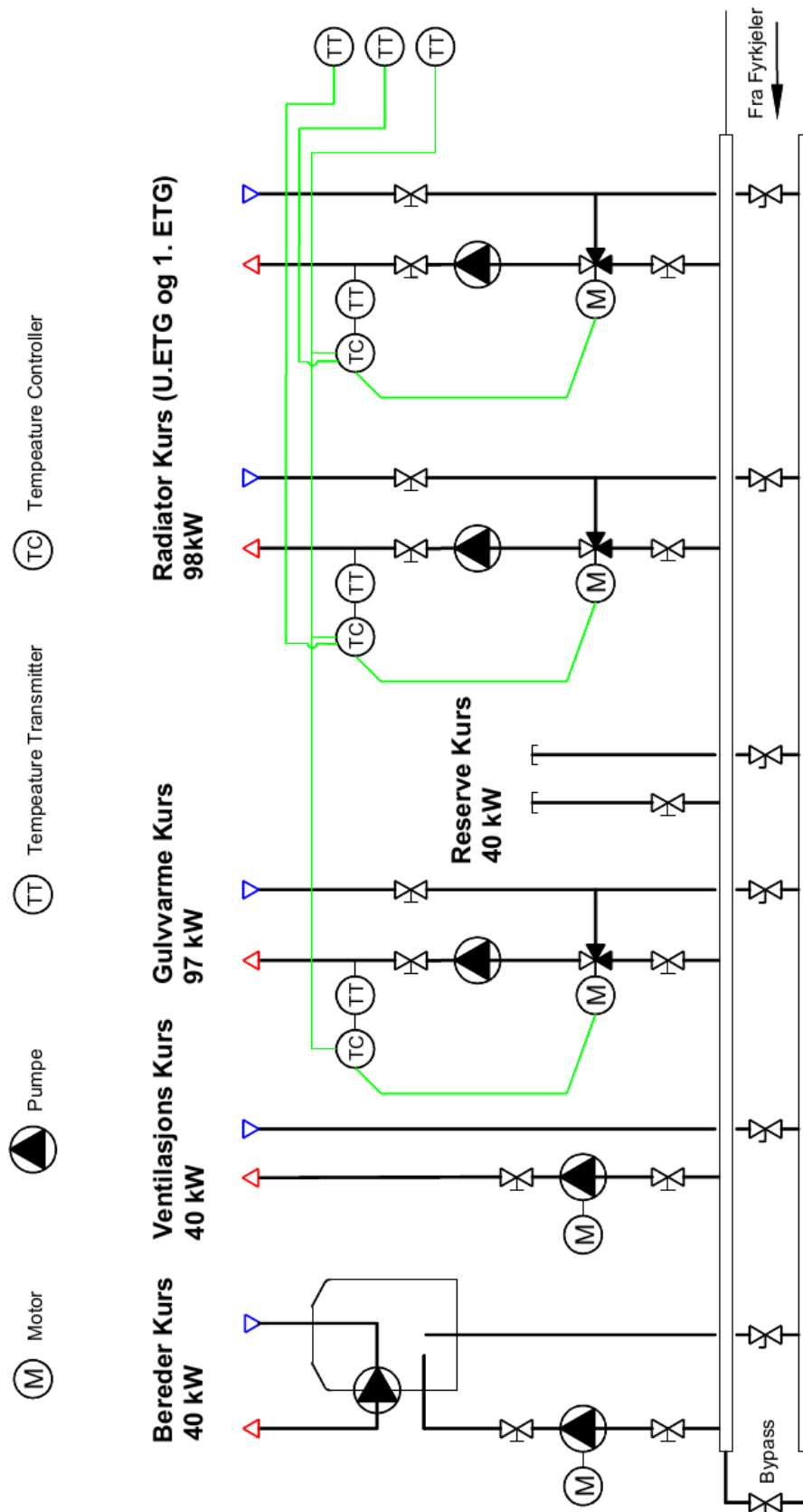
Figur 4-2: Flyfoto over Salangen bo- og eldrecenter

I dag er både rehabilitert del og nytt tilbygg i bygget relativt god tilstand iht. dagens krav. I tillegg er tekniske anlegg i bygget oppgradert, og hele bygget er konvertert til vannbårent anlegg for romoppvarming. Varmesystem i SABE er utstyrt med både elektrisitet og olje som energikilde og systemet reguleres av SD anlegg. Det står en 500 kW oljekjel men den har ikke vært i bruk siden 2011, mens bruk av elektrisitet har vært den eneste energikilden for SABE i flere år.

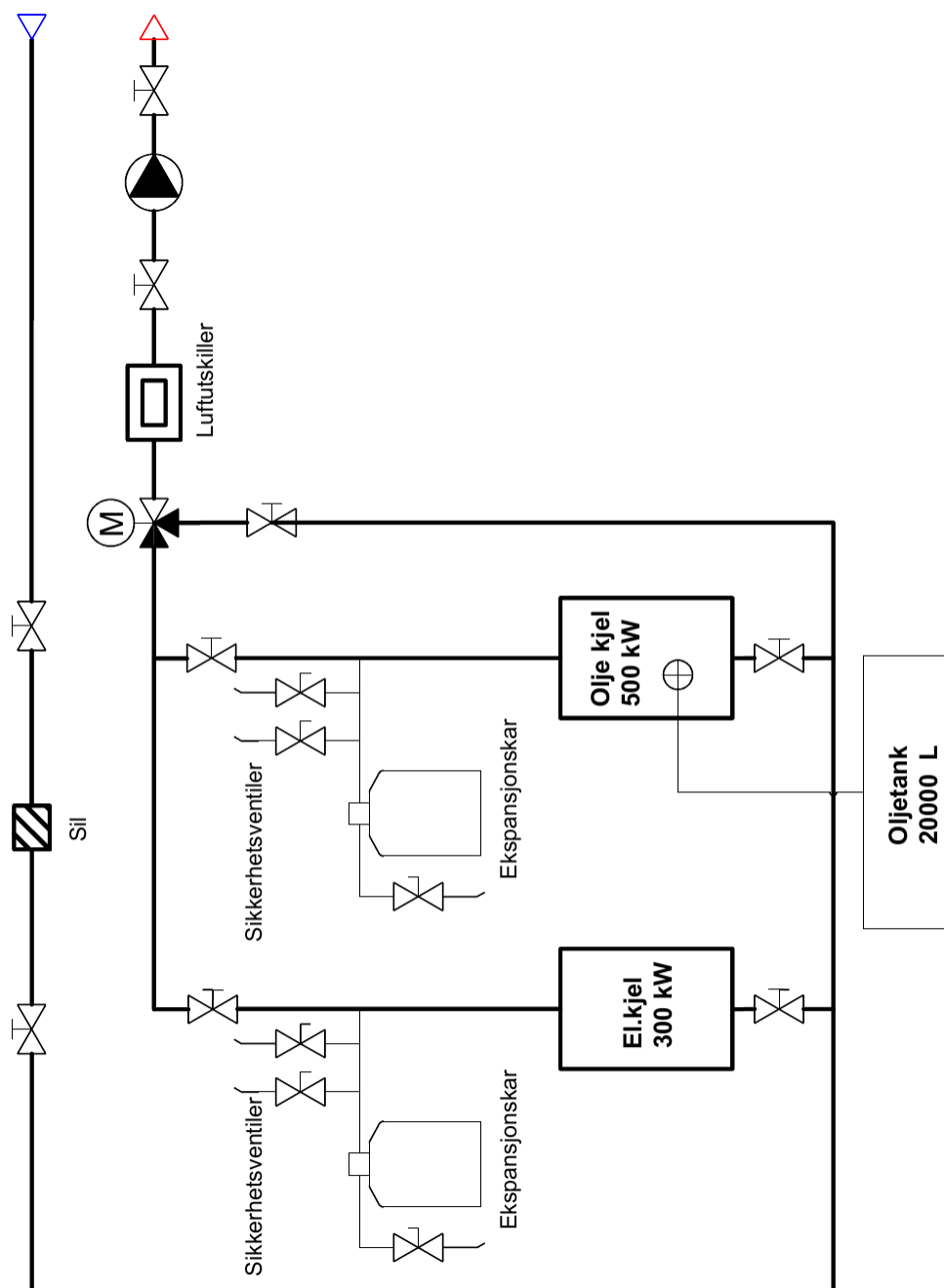
Figur 4-3 og 4-4 illustrerer prinsippskisse av varmeanlegg i SABE. Romoppvarming er basert på kombinasjon av vannbåren gulvvarme og radiatorer. Siden det er et temperaturstyrt system, finnes det temperatursensorer både i rom og utenfor bygningen som sender signal til temperaturregulator i gulvvarme kurs og radiator kurs, slik at romoppvarming reguleres automatisk for å oppnå rimelig romtemperatur. I det temperaturstyrte systemet benyttes shuntventiler som står før pumper i kretsen.

Pumpen sørger for konstant vannmengde over varmeavgivelsen, mens shuntventilen regulerer turvannstemperaturen. For shuntventiler i SABE, blir det typiske norske kobling benyttet.

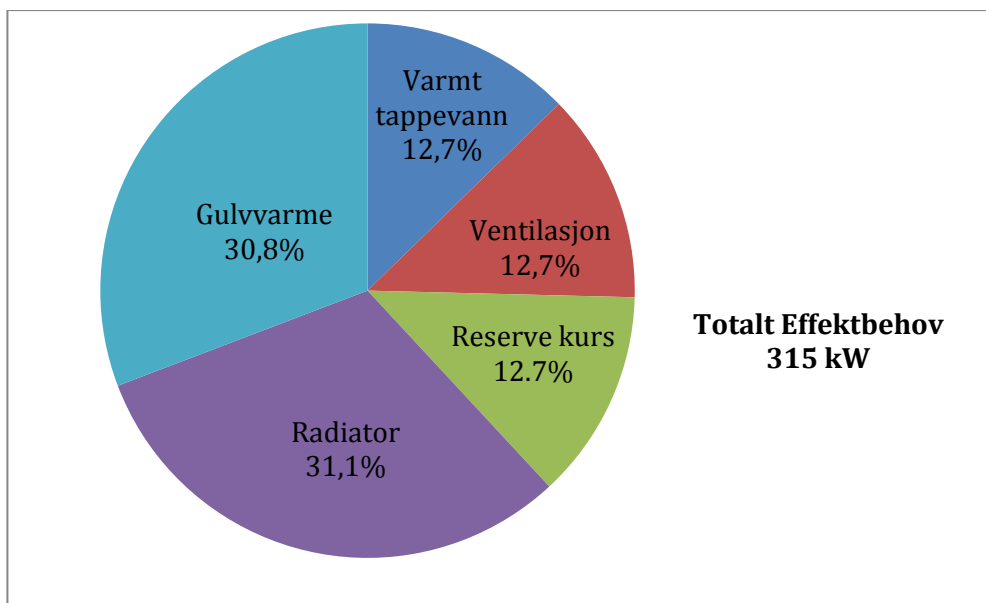
Figur 4-3 og 4-4 er basert på befaringer og detaljerte tekniske tegninger for Salangen bo- og eldresenter som finnes i vedlegg A.



Figur 4-3: Prinsippskisse av varmedistribusjon og styringssystem i SABE



Figur 4-4: Prinsippskisse av fyrkjeler i SABE



Figur 4-5: Fordeling av varmeeffekt i SABE

Ifølge tekniske tegninger, er det totale effektbehovet for Salangen bo- og eldrecenter 315 kW. Figur 4-5 presenterer hvordan effektbehov fordelt i SABE. Gulvvarme og radiator kurs utgjør ca. 62% av totalt effektbehov, mens ventilasjon, varmt tappevann og reservert kurs står for 12,7% hvert.

Tabell 4-1 angir temperaturer i forskjellige deler av varmedistribusjonsnett i SABE. Gulvvarmeanlegg i SABE bruker varmt vann med temperatur varierende fra 37 til 42 °C. Turvannstemperatur i gulvvarme kurs reguleres automatisk i henhold til temperatur registret av uteføler. Temperaturer i radiator og ventilasjon kurs reguleres ifølge utetemperaturføler og romtemperatursensorer i u. etg. og 1. etg. For varmt tappevann er temperatur normalt 60 °C, med unntak av varmtvann i kjøkkenet blir oppvarmet til 80 °C ved hjelp av et ekstra elektrisk varmeapparat.

Tabell 4-1: Temperatur i varmedistribusjonsnett i SABE

| Kurs | Temperatur(°C) |
|--------------------|----------------|
| Gulvvarme | 37 - 42 |
| Radiator | 40 - 60 |
| Ventilasjon | 40 - 60 |
| Varmt vann | 60 |
| | 80 (kjøkken) |

Det installerte varmeanlegget og utformet effektbehov er tilstrekkelig til å gi et godt innemiljø og termiske komfort for SABE.

4.1.2 Vasshaug barnehagen

Vasshaug barnehagen ble første bygget i 1997 som Vasshaug barneskole. I dag fungerer bygningen som barnehage med kapasitet på over 100 barn.



Figur 4-6: Flyfoto over Vasshaug barnehagen

Vasshaug barnehagen har også vannbårent varmeanlegg med kombinert olje og elektrokjel. Det gir grunnlag for å bruke energifleksible varmesystemer, for eksempel varmepumpe.

Det totale effektbehovet i Vasshaug barnehagen er 165 kW. Vanntemperatur for romoppvarming holdes mellom 37 og 45 °C over året, mens varmt tappevann har høyere temperatur på 60 °C ved bruk av ekstra el.oppvarming.

I Vasshaug barnehage er varmesystems grunnleggendeprinsipper og hovedkomponent er lignende på det ved SABE, men med forskjeller om dimensjoner av utstyrer og rør. Detaljerte tekniske tegninger for Vasshaug barnehagen er vedlagt i vedlegg B.

4.1.3 Sjøvegan asylmottak og Salangen kirke

Sjøvegan statlige asylmottak (venstre i figur 4-7) har 40 plasser for enslige mindreårige og 140 plasser for enslige voksne og familier. Salangen kirke var bygget i 1981 og har 420 sitteplasser.



Figur 4-7: Flyfoto over Sjøvegan asylmottak (venstre) og Salangen kirke (høyre)

Eksisterende varmesystem i disse bygningene er direkteelektrisk oppvarming, og kommune har foreløpig ikke noen plan om rehabilitering eller oppdatering av bygningene. Det vil være mer gunstig å beholde de eksisterende varmesystemene enn å utskifte de. Derfor blir de vurderes som ikke velegnet for varmepumpeanlegg etter konsultasjon og diskusjon med kommunes teknisksjef og leder av kommunes rådgivende firma.

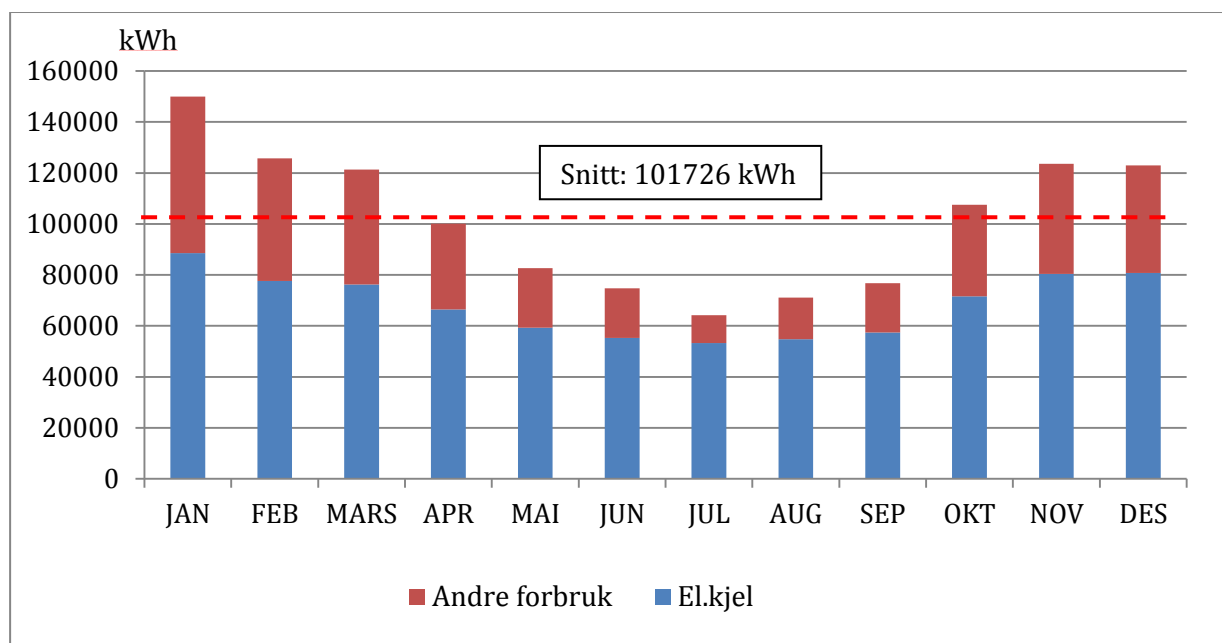
4.2 Energiforbruk

Erfaringer viser at i mange nye næringsbygg, er det virkelige effektbehovet til oppvarming normalt vesentlig lavere enn planlagt. Derfor er det nødvendig å se nærmere på reelle verdier av energiforbruk i de aktuelle bygningene.

I 2016, var det et totalt energiforbruk i Salangen bo- og eldrester (SABE) på 1,22 GWh fordelt over året som vist i figur 4-8. Den meste energikrevende sesongen er vinter, spesielt januar. Det totale energiforbruket i januar var 150 022 kWh, mens lavest forbruk var i juli. Gjennomsnittlige effektbehov i januar og juli kan beregnes som ligning 4.1 og 4.2:

$$P_{JAN-SABE} = \frac{Q_{JAN-SABE}}{T} = \frac{150022 \text{ kWh}}{31 \text{ dager} \times 24 \text{ h}} = 201.6 \text{ kW} \quad (4.1)$$

$$P_{JUL-SABE} = \frac{Q_{JUL-SABE}}{T} = \frac{64141 \text{ kWh}}{31 \text{ dager} \times 24 \text{ h}} = 86.2 \text{ kW} \quad (4.2)$$



Figur 4-8: Målt energiforbruk ved SABE i 2016

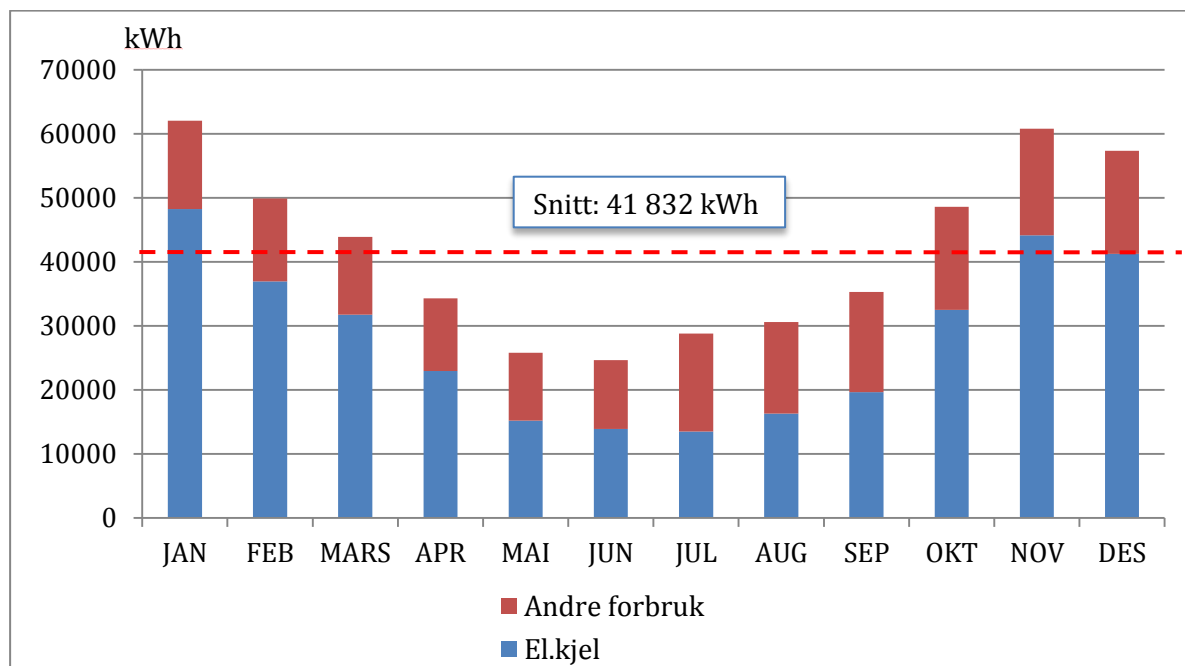
Det totale energiforbruket inkluderer forbruk til romoppvarming, ventilasjon, varmtvann, utstyr og belysning. Målte verdier vises i vedlegg C.

Ifølge SSB, var elektrisitetspris 1 kr/kWh i 4. kvartal 2016, nettleie og avgifter inkludert. Dermed var total energikostnad i SABE ca. 1,22 million kroner, se bort fra effekttariff (SSB, 2017b).

For Vasshaug barnehagen var det totalt 501 984 kWh energiforbruk i 2016. Fordelingen ligner på SABE, finnes det høyeste verdien i januar på 62 063 kWh og lavest verdien var i juni på 24 660 kWh. Fordeling av registrert energiforbruk ved Vasshaug barnehagen i 2016 finnes i figur 4-9. Målte verdier finnes i vedlegg C. Sum av energikostnad i Vasshaugbarnehagen i 2016 ligger omtrentlig 0,5 millioner kroner, effekttariff ekskludert (SSB, 2017b).

$$P_{JAN-VB} = \frac{Q_{JAN-VB}}{T} = \frac{62\,063\text{ kWh}}{31\text{ dager} \times 24\text{ h}} = 83.4\text{ kW} \quad (4.3)$$

$$P_{JUN-VB} = \frac{Q_{JUN-VB}}{T} = \frac{24\,660\text{ kWh}}{31\text{ dager} \times 24\text{ h}} = 33.1\text{ kW} \quad (4.4)$$



Figur 4-9: Målt energiforbruk ved Vasshaug barnehagen i 2016

4.3 Driftstid

Ulike bygningskategorier har forskjellige bruksmønstre. Tabell nedenfor angir standard driftstider for barnehage og sykehjem i henhold til NS 3031.

Tabell 4-2: Driftstider for barnehage og sykehjem etter Norsk Standard NS 3031:2014

| Bygningskategori | Driftstid Timer/døgn/uker |
|------------------|------------------------------|
| Barnehage | 10/5/52 |
| Sykehjem | 24/7/52 |

5 Utnytting energi i kommunes vannforsyningsystem

5.1 Vannforsyningsanlegg i Salangen kommune

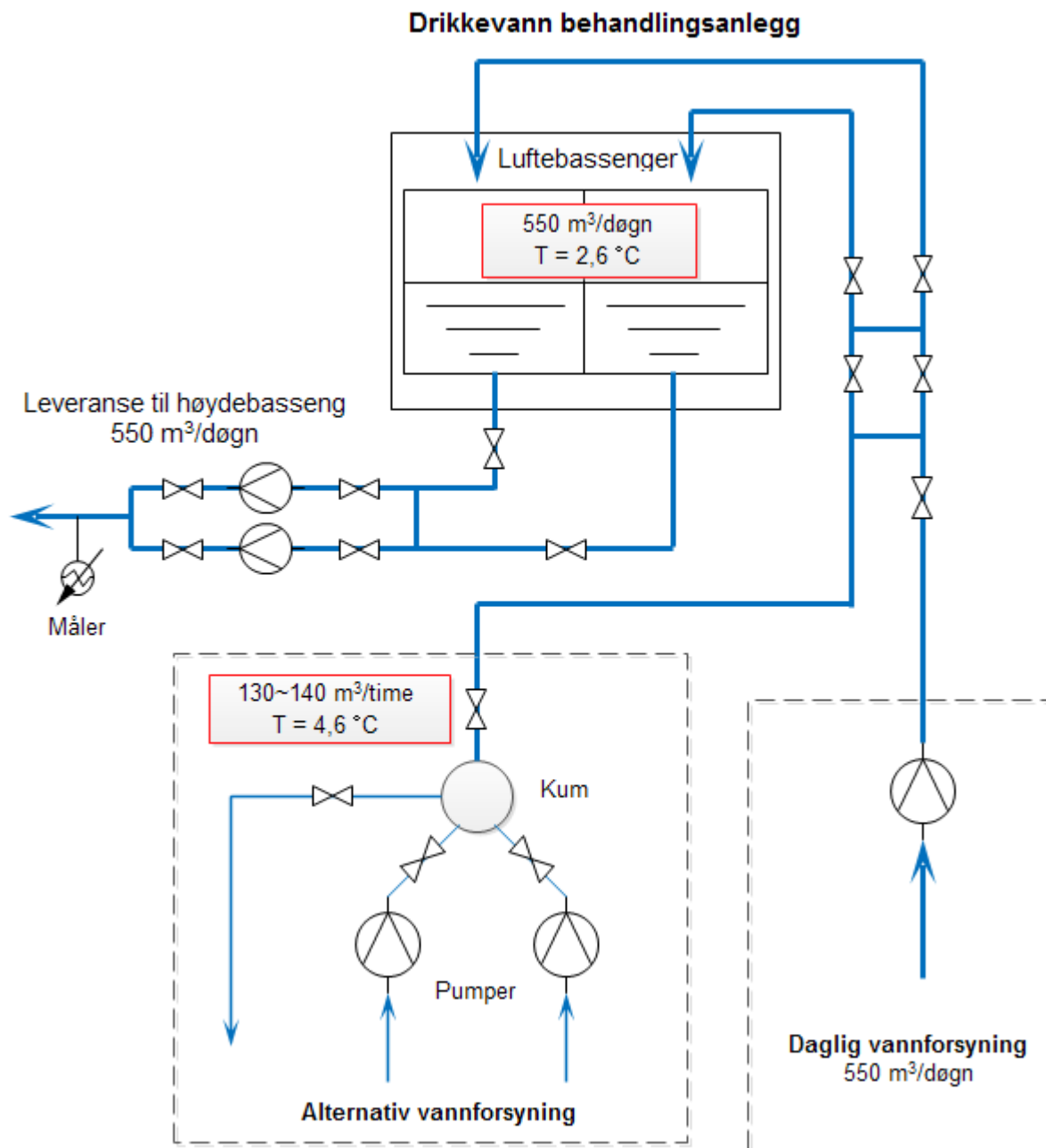
Drikkevannsforsyningen i Sjøvegan bruker vann hentet fra Nervatnet som vannkilde. Siden denne vannkilden har betryggede og pålitelig kvalitet og mengde, er anleggets vannbehandlingsprosess relativ enkel. Det finnes to luftebassenger som er sentrale for anleggets behandlingsprosessen, og de behandler og leverer ca. 550 m³ drikkevann daglig. Etterpå blir det behandlede vannet pumpes til kommunes høydebasseng i Øvre Sjøvegan. Høydebassenget har kapasitet til minimum et døgn drift.

I tillegg til dagligforsynings vannkilde, er vannbehandlingsanlegget utstyrt med en back-up vannkilde som er i stand til å levere omkring 130-140 m³ vann per time. Det alternative vannforsyningssystemet har to pumper med 2*5,5 kW effekt som pumper vann fra to grunnvannsbrønner. Normalt er det back-up systemet ikke i drift, men pumper drives en gang i uke for å skifte ut stillestående vann i rør.

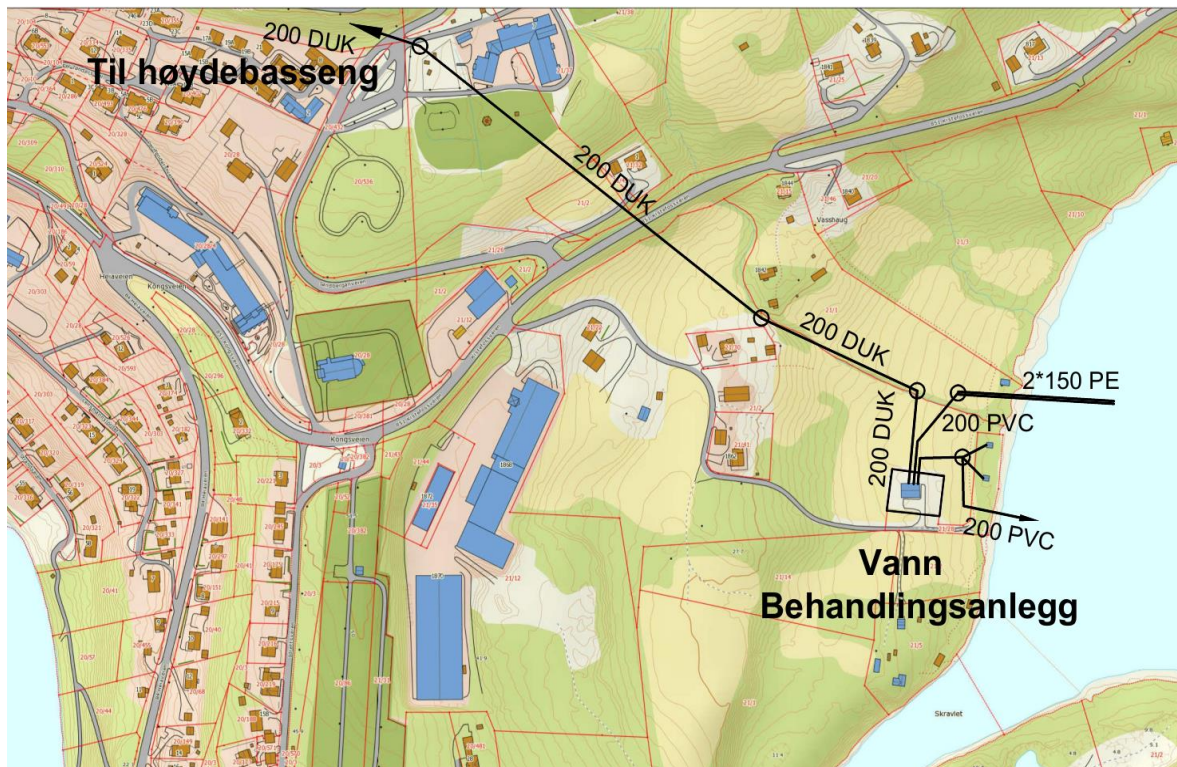
Temperaturer i luftebassengene og vann fra back-up grunnvannsbrønner ble målt flere ganger gjennom februar og mars 2017. De gjennomsnittlige temperaturene i luftebasseng og grunnvann var registrert som henholdsvis 2,6 °C og 4,6 °C. Drikkevann i luftebasseng kan betraktes som helt gratis varmekilde med en stabil leveringskapasitet på 550 m³/døgn, mens vannet fra grunnvannsbrønner må benyttes ved hjelp av kjøring av pumper. Som det har drøftet i kapittel 3.3, er bruk av drikkevann som varmekilde fordelaktig med mindre korrosjonsproblem i forhold til sjøvann. I sjøvann vil det i tillegg til korrosjon også ha problem med begroing.

Dessuten ved energiuttak av varmepumpe, bidrar lavt vanntemperatur til sikrere drikkevannskvalitet. Derimot er vanntemperatur i luftebasseng relativ lav, og varmpotensial av denne varmekilden bør vurderes.

Prinsippskisse av vannbehandlingsanlegg angir i figur 5-1. Figuren er basert på befaringer.



Figur 5-1: Prinsippskisse ved Salangen vannforsyningsanlegg



Figur 5-2: Hoved vannforsyningsrør i Vasshaug

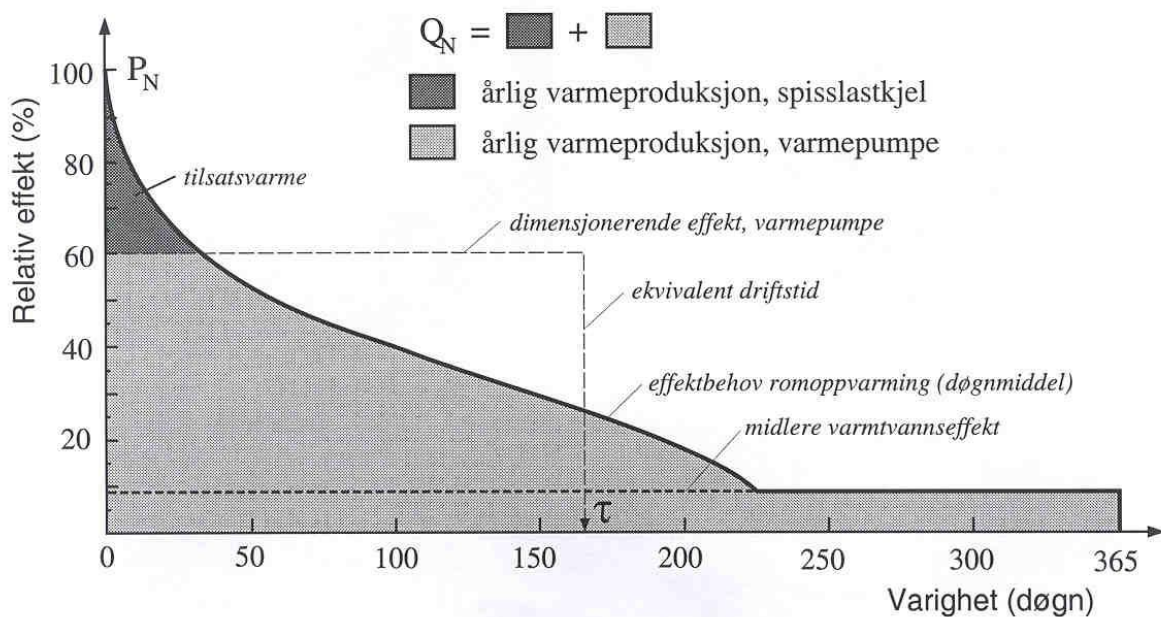
Figur 5-2 er kart over Vasshaug bakken som angir ledningstrase for kommunes hoved vannforsyningsrør. Etter behandlingsanlegget, leveres drikkevann gjennom 200 mm DUK rør langs Vasshaug bakken.

Eksisterende grøfte for vannforsyningsrør kan også benyttes for varmeleveranse fra varmpumpeanlegg, slik at det blir mindre kostnad og arbeid for varmpumpeanlegget. Dessuten etter befaring i februar 2017, blir den eksisterende bygningen for vannbehandlingsanlegg vurderes å ha stor nok plass for å fungere som maskinrom for varmpumper.

5.2 Varmepumpeanlegg: system anbefaling

5.2.1 Dimensjonering av varmepumper

Varmepumper representerer et miljøvennlig og energieffektivt alternativ til konvensjonelle oppvarmingsystemer, men investering i anskaffelse for varmepumpeanlegg er mye høyere. Derfor bør det velges et optimalt system slik at varmepumper kan gå med mest gunstige mulige driftsbetingelser. Optimal effektdekning for varmepumpeanlegg utgjør typisk 40-70% av bygningens netto effektbehov. Figur 5-3 framstiller et eksempel av varmepumpes effektdekning i samspill med bygningens effekt-varighetskurve. I eksemplet dekker varmepumpen 60% av varmeeffektbehov og 90% av årlig varmebehov, mens de resterende 10% vil dekkes av spisslastkilden (Stene, 2000; SINTEF Byggforsk, 2009).



Figur 5-3: Prinsipiell framstilling av varmepumpens effekt- og energidekning (Stene, 2000)

For dimensjonering av varmepumper skal effektbehovet i mange tilfeller tilnærmet proporsjonalt med endringene i utetemperatur. For denne oppgaven er det derimot rimelig å ta hensyn til bygningenes aktuelle oppvarmingsystem og registrerte verdier av energiforbruk og allerede installert effekt.

I Salangen bo- og eldrester er varmeanlegg utformet å sikre 315 kW effektbehov, mens det er 165 kW i Vasshaug barnehage. Det blir to antagelser for å bestemme varmepumpes dimensjonerende effekt, se ligning 5.1:

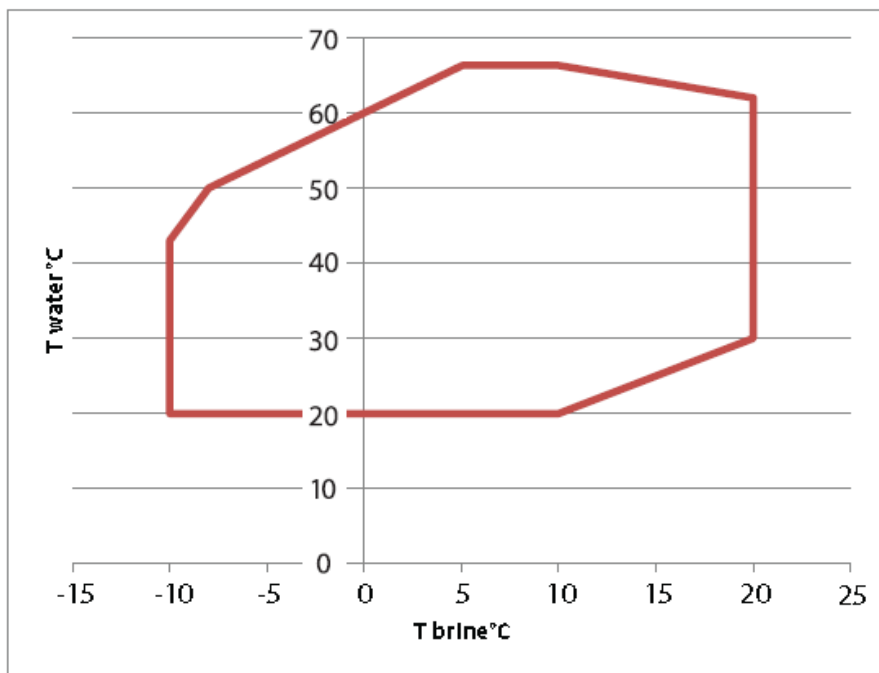
1. varmepumpe vil dekke 60% av totalt installert effektbehovet;

2. det er 90% sannsynlighet at barnehagen vil ha maksimalt energiforbruk samtidig med SABE.

$$315 \times 60\% + 165 \times 60\% \times 90\% = 278.1 \text{ kW} \quad (5.1)$$

5.2.2 Varmepumper

Thermia Mega XL varmpumpe blir valgt for system. Denne modellen er velegnet for større anlegg med mulighet for sammenkobling. Arbeidsmedium er R410A som har god effekt i energioverførings prosessen, se kapittel 3.5. Figur 5-4 viser at R410A kan kjøres fra -10 til 20 °C med mulighet til å levere varmtvann med temperatur opp til 65 °C.

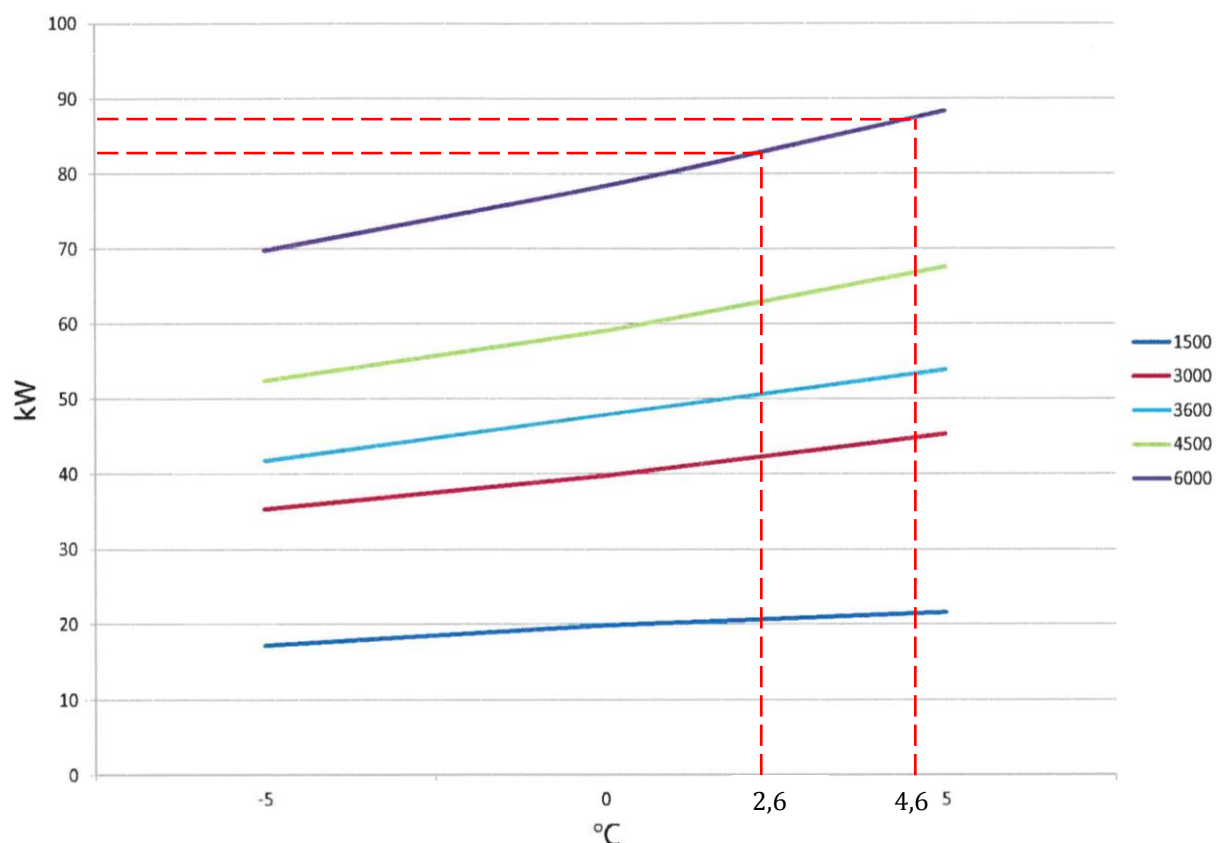


Figur 5-4: Driftstemperaturs kurv for R410A hentes fra Thermia Mega varmpumpe teknisk beskrivelse

Thermia Mega XL varmpumpe har fleksibelteffekt som varierer fra 20 til 88 kW på grunn av at den benyttes inverter styrt kompressor. Ved denne teknologien kan system kjøres med forskjellige kompressorhastigheter og varmetytelse i henhold til varmebehov. Derfor kan varmpumpeanlegg likevel kjøres på et høyt effektivitetsnivå selv om energiforbruket er lavt.

Tre sammenkoblet Thermia Mega XL varmpumper kan plasseres i Vasshaug vannbehandlingsanlegg, og systemet vil levere opp til ca. 264 kW effekt som grunnlast for varme i SABE og Vasshaug barnehagen. Turvann leveres av varmpumpeanlegg kan settes på 55 °C for å være tilstrekkelig for mesteparten av bygningenes varmebehov (40-60 °C), se kapittel 4.1.1 og 4.1.2.

Eksisterende elektrokjel kan fungere som tilsatsvarme (spisslast), og den skal plasseres i serie etter varmpumpe.



Figur 5-5: Diagram for varmeeffekt med 55 °C turledningstemperatur ved forskjellig kompressorhastighet og kuldebærerertemperatur

Data i tabell 5-1 er basert på teknisk beskrivelse med turledningstemperatur på 55 °C, hvor verdier for -5, 0 og +5 °C er gitt og verdier for +2,6 og +4,6 er resultater fra interpolering (med rød merke). Beregningene er basert på antagelse at kurve for varmeeffekt betraktes som lineær funksjon. Det viser at ved bruk av vann fra luftebasseng med temperatur på 2,6 °C, vil 28,60 kW elektrisitet bli tilført for å levere 83,51 kW energi, og varmepumpens COP vil bli 2,93. Hvis det benytter vannet fra grunnvannsbrønner som varmekilde, får varmepumpen litt bedre ytelse ved COP på 3,02. Disse resultatene er bare overslag for å vise typiske verdier. Man må ta hensyn til tap gjennom varmeveksler og andre rammebetingelser for å få mer nøyaktige COP verdier.

Tabell 5-1: Varmeeffekt med 55 °C turledningstemperatur ved forskjellig kuldebærerertemperatur og 6000 o/minutt kompressor hastighet

| o/minutt | | Kuldebærerertemperatur | | | | |
|----------|---------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | -5 | 0 | +2,6 | +4,6 | +5 |
| 6000 | Varmekapasitet (kW) | 69,77 | 78,33 | 83,51 | 87,50 | 88,30 |
| | Inngangseffekt (kW) | 28,00 | 27,86 | 28,60 | 28,91 | 29,00 |
| | COP | 2,49 | 2,81 | 2,93 | 3,02 | 3,04 |

Detaljert teknisk beskrivelse for Thermia Mega varmepumpe finnes i vedlegg D.

5.2.3 Varmepotensial i vann som varmekilde

For Salangen kommunes daglige vannsyning er det 550 m³/døgn (6,37 l/s) drikkevann behandlet ved luftebasseng med gjennomsnittlig temperatur på 2,6 °C. Dette vann ressurser den mest ideelle varmekilden siden det er helt fri tilgjengelig og det skal være primær varmekilde. For det andre kan kommunes alternative vannkilde fra to grunnvannsbrønner også utnyttes, og grunnvannet har høyere temperatur (4,6 °C) og kapasitet (130-140 m³/time, eller 36-39 l/s) i forhold til vannet i luftebasseng. Derimot krever denne varmekilden ekstra energiforbruk for å kjøre pumper.

I tillegg bør det legges merke til at temperatur i vannet ikke skal senkes for mye for å unngå frysing etter energi blir tatt ut. Derfor skal vanntemperatur holdes minste 1 °C. Det betyr at temperatursenkning etter varmeuttak i primær og sekundær varmekilde bør være 1,5 og 3,5°C (eller kelvin) henholdsvis.

Varmekildenes kan varmepotensialer beregnes teoretisk med tanke på grunnleggende varmeoverføringsteori (Karwa, 2017), se følgende ligning 5.2:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (5.2)$$

Hvor Q er varmeenergi (J), m er mass (kg), ΔT er temperatur differanse i °C eller K, c_p er spesifikk varmekapasitet som uttrykker materiales evne til å absorbere eller utsende varme per enhet masse (J/kg*K), c_p for vannet er 4200 J/kg*K.

Sett inn verdier for primær varmekilde (vann: 1 liter = 1kg):

$$Q_1 = 6.37 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot 1.5K = 40131 J/s \quad (5.3)$$

Med 1 W=1 J/s, således kan varmeuttak ved luftebasseng tilby effekt på ca. 40 kW. Det er ikke tilstrekkelig for varmepumpesystems kapasitet. Og med relativ lav temperatur på 2,6 °C, vil varmepumpes COP synkes. Dermed skal sekundær varmekilde også vurderes.

Sett inn verdier for sekundær varmekilde, med kjøring av en pumpe (lavere verdi 65 m³/time, eller 18,06 l/s):

$$Q_2 = 18.06 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot 3.5K = 265\,417 J/s \quad (5.4)$$

Det vil si at ved kjøring av en vannpumpe, kan grunnvann som varmekilde tilby maksimalt 265 kW effekt. Denne effekten sammen med tilført elektrisitet (med =3,0, er 88 kW) vil være tilstrekkelig å dekke varmepumpers driftebehov (264 kW) og tap gjennom varmeovergangsprosessene. Likevel i tilfeller som driftsproblemer eller enda lavere vanntemperatur, bør den andre vannpumpen også være inkludert i system som backup varmekilde.

5.2.4 Risiko av lekkasje og tiltak for å sikre drikkevannskvalitet

Thermia Mega varmpumpe kan leveres med etanol-vann blanding som kuldemediet slik at varmekilde med lavere temperatur kan benyttes. Og varmpumpenes arbeidsmedium R410A er en blanding av to syntetiske komponenter: HFK-125 og HFK-32. For denne typen av arbeidsmedium bør det vurderes sikring mot lekkasje i henhold til NS-EN 378 Kuldeanlegg og varmpumper – sikkerhets- og miljøkrav (Standard Norge, 2016). Foruten miljøhensyn med tanke på GWP, kan lekkasje fra arbeidsmediums krets og kjølekrets føre til alvorlig konsekvens fordi anlegget bruker kommunes drikkevann som varmekilde. Til tross for at R410A og etanol ikke er helsefarlig, lekkasje og forurensning fra varmpumpesystem er uakseptabel for drikkevann. Således bør det være sikkerhetstiltak for å beskytte vannkvalitet.

Varmeveksler kan gi effektiv varmeoverføring mellom to separerte kretser slik at to medium ikke blandes. For systemet anbefales det to varmevekslere som kobles i series for å fungere som dobbel forsikrings buffer. Det kan også være andre sikkerhetstiltak f.eks. holde trykkdifferanse mellom drikkevannet og kuldebæreren, eller bruk doble plater eller dobbeltvegget rørvarmeveksler (Norsk Vann, 2013a).

| | | | | | | |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Sannsynlighet | Svært stor | | | | | |
| | Stor | | | | | |
| | Moderat | | | | | |
| | Liten | | Grunnvann brønner | | | Luftbasseng |
| | Meget liten | | | | | |
| | | Ubetydelig | Lav | Moderat | Alvorlig | Svært alvorlig |
| | | Konsekvens | | | | |

Figur 5-6: Risikoanalyse for varmekilder

Figur 5-6 illustrerer klassifisering av risiko ved bruk av ulike varmekilder. Ved hjelp av sikkerhetstiltak, vil sannsynlighet av lekkasje være liten. Men hvis kuldebæreren lekker ut til luftbasseng, vil forurenset drikkevann leveres til forbrukere, derfor blir konsekvens vurderes som svært alvorlig. På den andre siden, vil konsekvens av lekkasje til grunnvann være lav på grunn av at det er normalt ikke bruket som drikkevann. I tilfelle at grunnvann skal også forsynes som drikkevann, skal det bygge en bypass kurs slik at grunnvann kan likevel fungere som alternativ vannkilde.

I tillegg til høy risiko, ifølge resultat i kapittel 5.2.3, er varmepotensial av vannet i luftebasseng lav (40kW). Derfor skal det ikke brukes som varmekilde til tross for at det er helt gratis.

Det bør lagt merke til at det er strenge krav til sikkerhet for drikkevann og Norsk Vann mener at bruk av varmepumper i drikkevannforsyningsystemer frarådes. Det vil si at de anbefaler at det ikke bør være noen installasjoner i drikkevannsforsyningsystemer som ikke er nødvendig for drift av vannforsyning. Fordi det vil øke teknisk kompleksiteten og videre vil det få konsekvenser for beredskap, internkontroll, kompetanse og driftsrutiner (Norsk Vann, 2013b). Derfor må kommune ta kontakt med og få godkjenning hos aktuelle aktører som Norsk Vann, Mattilsynet osv. før igangsatt av prosjektet. Og det blir antakeligvis videre arbeid i forbindelse med f.eks. risikovurdering av ulike sikkerhetstiltak. Norsk Vann har noen anbefalinger for tilknytning av varmepumpe til drikkevannssystemet, det bør være en avtale som inneholder følgende krav (men ikke begrenset):

- Krav til sikkerhetsbarrierer i anlegg
- Krav til internkontroll, drift og vedlikehold
- Krav til overvåking, alarm
- Vederlagsordning
- Avtaleperiode
- Kriterier i forhold til forlengelse av avtalen
- Oppsigelsesklausul ved mislighold av avtalen eller ved endrede rammebetingelser (Norsk Vann, 2013a)

5.2.5 Systemløsning

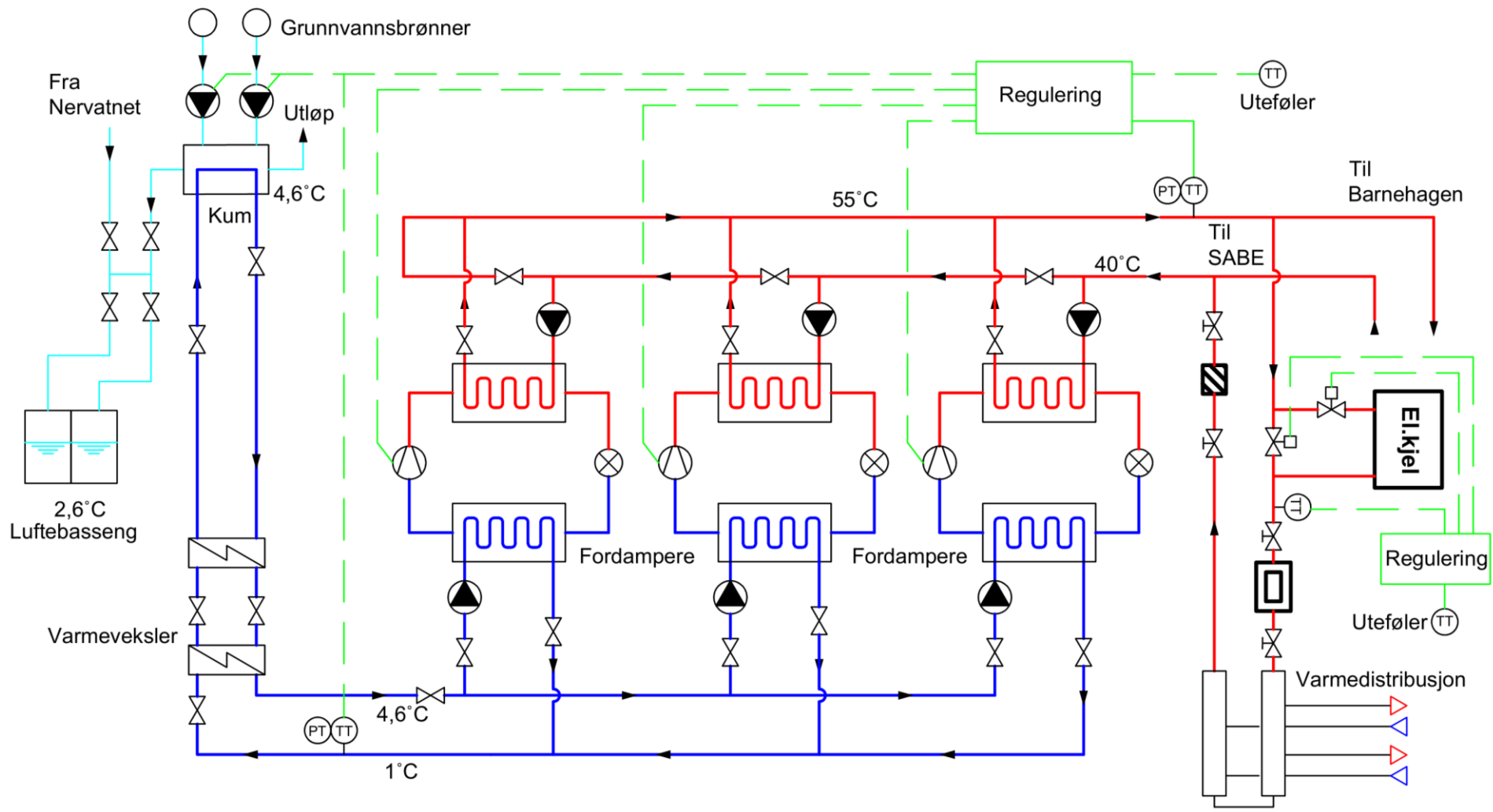
Vanntemperatur etter varmeuttak skal holdes høyere enn 1 °C. Dermed plasseres det en temperatursensor ved returvann i kjølekrets. Når temperatur senker under 1 °C, skal den andre pumpen starte for å forsyne mer grunnvann. Det krever utskifting av eksisterende motor for grunnvanns pumper, slik at den kan kobles og driftes i henhold til temperatursensor og regulator.

Eksisterende vannbårende varmeanleggene i Salangen bo- og eldrester og Vasshaug barnehagen er velegnet for varmepumpeanlegg og det er gunstig å beholde de med justering i temperaturregulering. Varmtvann fra varmepumpeanlegg kan direkte kobles til varmedistribusjonssystem i bygningene. Og varmepumpes kompressorer reguleres i henhold til turledningstemperatur og temperatursensorer ute. Ved forskjellig effektbehov vil tre varmepumpe driftes trinnvis slik at systemet kan få bedre og fleksibel ytelse spesielt når effektbehov er lavt. Videre kan varmepumpene få bedre driftstilstand uten at kompressorer starter og stanser igjen og igjen. Derimot slik system fører høyere kostnad og det trenger ekstra vedlikehold og tilsyn.

Ettersom el.kjeler allerede er til stede er det en naturlig alternativ å benytte de som spisslast. Varmepumpene bør alltid gå på full kapasitet før tilleggs varme leveres fra el.kjelene.

I tillegg bør det være overvåkingssystem med alarm i tilfelle at det er feil i systemet. Det står trykksensor som indikerer driftsproblem på både kjølekrets og varmekrets.

Se figur 5-7 prinsippskisse av system anbefaling for varmepumpeanlegg ved kommunes vannforsyningsanlegg.



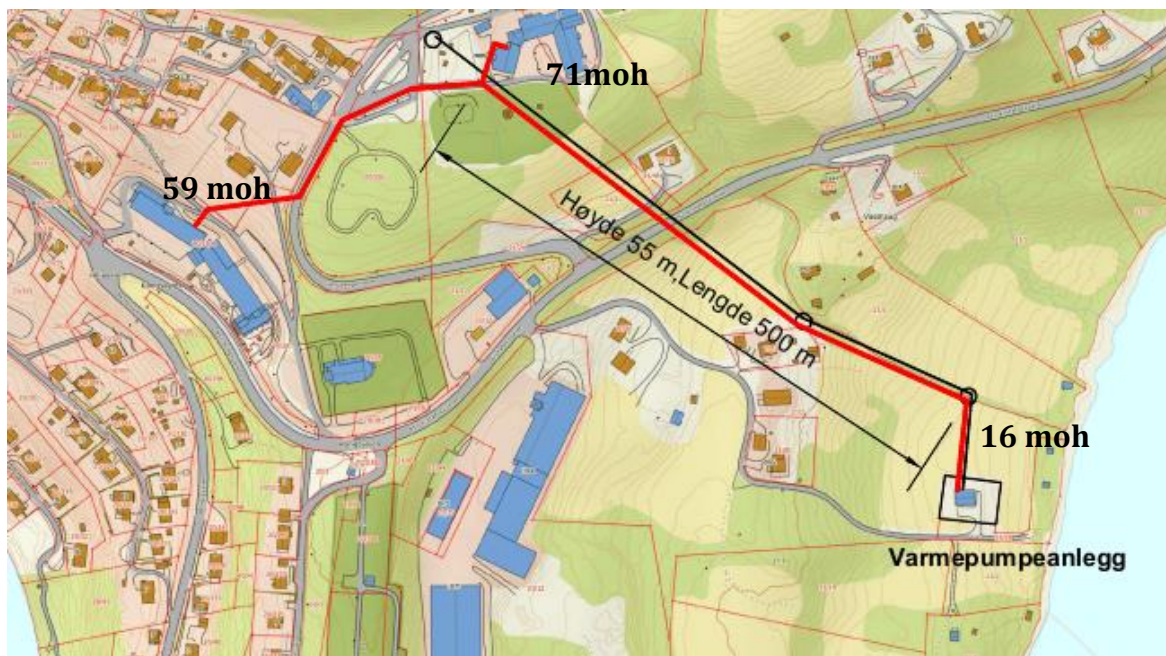
Figur 5-7: Prinsippskisse av system anbefaling for varmepumpeanlegg ved Salangen vannforsyningsanlegg

5.2.6 Varmeleveranse

Ifølge varmepumpes tekniske beskrivelse, turvann mengde er på ca. 2,1 l/s hver enhet. For varmeleveranse blir eksisterende grøfte benyttet, se figur 5-8. Hovedvarmeleveranse ledning har lengde på 500m, høyden forskjellen mellom varmepumpeanlegg og knutepunkt er 55m. Knutepunktet er i nærheten av Vasshaug barnehagen fordi barnehagen ligger ca. 12m høyere enn SABE.

For varmeleveranse kan Grundfos vannpumpe eller lignende benyttes. Valgt pumpe har effekt på 7,5 kW, se produkt spesifisering i vedlegg E.

Isolert rør for varmeleveranses brukes for varmeleveranse. Vanlige produkter på markedet har normalt U-verdi varierer mellom 0,1 og 0,25 W/m°C. Det utgjør ca. 2-7 kW varmetap gjennom leveranse. Tapet er avhengig av ledningsdimensjon, isolasjonstykkelse, varmtvannstemperatur og ledningslengde. Valg av produktet bør detaljprosjekteres. Eksempel av isolert varmtvannrør finnes i Vedlegg F.



Figur 5-8: Varmeleveranse ledningstrase

6 Økonomisk vurdering

En varmepumpe har normalt en høyere initialkostnad enn konvensjonelle oppvarmingssystemer, men med rimelig systemvalg og god drift fører den til lavere energikostnader. For å gjøre en vurdering av hvor attraktiv en investering i varmepumpeanlegg, må det utføres en økonomisk analyse.

6.1 Lønnsomhet

Lønnsomhet for et varmepumpeanlegg bestemmes av mange faktorer, blant annet er energipris (kr/kWh), anleggsinvestering per installert effekt (kr/kW), årsvarmefaktor og ekvivalent driftstid (timer/år) avgjørende for rimelig investering av varmepumpesystem. For å uttrykke et anleggs lønnsomhet over en lengre periode, er nåverdi metode brukt:

$$NV = -I_0 + B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad (6.1)$$

Hvor I_0 er investering som inkluderer varmepumpeaggregat, varmeopptakssystem, installasjon, varmeleveransesystem, styring/regulerings system, annet tilleggsutstyr osv.

B er årlig netto inntjening som er samme hvert år i vurderingsperiode. Dette er differensen mellom årlig inntekter og årlig kostnader.

r er rente og her benytter rente på 6% ifølge NVEs håndbok om kostnader ved produksjon av kraft og varme (Hofstad et al., 2011).

n er levetid som kan skilles seg mellom teknisk og økonomisk levetid. Den tekniske levetiden er forventet perioden som anlegget kan fungere med normalt vedlikehold, mens økonomisk levetid angir hvor lenge anlegget kan gi inntekter. For beregning bør den korteste levetiden velges. For større varmepumpeanlegg settes vanligvis levetid til 15-20 år, mens ved fjernvarmeanlegg benyttes levetid på 20-25 år (Hofstad et al., 2011; Stene, 1997).

For denne oppgaven er det bare elektrisitetspris som er aktuell siden oljekjel har ikke vært i drift i mange år.

Tabell 6-1: Kostnadsoverslag for varmepumpestasjon ved Salangen vannforsyningsanlegg

| | Kostnad (kr) |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|
| Varmepumpeaggregat med 3*Thermia Mega XL | 700 000 ¹⁾ |
| Justering og utskifting av eksisterende utstyr | 190 000 |
| Installasjon og montering (varmeleveranserør inkludert) | 500 000 |
| Total investering I₀ | 1 390 000 |

- 1) Pris på hver enhet er kr 184 200 ekskl. 25% mva. Kjølemediet avgift kr 8174 tilnærmet til kr 10 000. Faktisk pris kan være lavere enn tabellverdi med noen felles komponenter innen aggregat. Se vedlegg G.

Tabell 6-2: Estimert årlig inntjening

| | | Kostnader (kr/år) |
|---------------------------|-------------|-------------------------|
| Eksisterende system | | 1 206 000 ¹⁾ |
| Varmepumpesystem | Varmepumper | 600 000 ²⁾ |
| | Vannpumper | 42 000 ³⁾ |
| | Vedlikehold | 27 800 ⁴⁾ |
| Årlig inntjening B | | 536 200 |

- 1) Estimert 30% av totalt energiforbruk er til belysning og andre utstyr, se bort fra effekttariff;
 2) Med 3500 time/år ekvivalent driftstid, COP =3, tapet gjennom leveranse inkludert;
 3) Inkludere pumpe for både grunnvann og varmeleveranse;
 4) 2% av investering for større varmepumpeanlegg (Hofstad et al., 2011; Stene, 1997).

Resultater fra tabell 6-1 og 6-2 kan brukes for å beregne nåverdi ifølge ligning 6.1:

$$NV = -1\,390\,000 + 536\,200 \times \frac{1 - (1 + 6\%)^{-15}}{6\%} = 3\,817\,708 \text{ kr} \quad (6.2)$$

Nåverdi viser et positivt resultat med god margin på 3,8 millioner kroner. Men det kan være avvik knyttet til ekvivalent driftstid, vedlikeholdskostnad og varmepumpes COP. Faktisk verdi for estimert ekvivalent driftstid kan være høyere i drift. Ettersom anlegget består av tre mindre varmepumper, de kan gi fleksibel effekt i henhold til variasjon av behov. Derimot ved bruk av varmekilde som knyttet til vannforsyning, må det ta hensyn til vannkvalitet. Nødvendig tilsyn og service kan føre til høyere vedlikeholdskostnad. Dessuten varierer COP i henhold til driftstilstand. Det vil si at det ikke holdes konstant på 3.

I tillegg kan inntjeningsstid (IT) som uttrykker hvor mange år blir overskudd lik investering være interessant for kommune. IT kan beregnes som følgende:

$$IT = \frac{\ln\{[1 - (I_0/B) \cdot r]^{-1}\}}{\ln(1 + r)} \quad (6.3)$$

Sett inn verdier:

$$IT = \frac{\ln\{[1 - (1\,390\,000/536\,200) \cdot 0.06]^{-1}\}}{\ln(1 + 0.06)} = 2.9 \text{ år} \quad (6.4)$$

Det antyder at prosjekt har en rimelig investering med relativ høy årlig inntjening. Til tross for at varmepumpeaggregatet er dyrt, er investering ikke så høy sammenlignet med lignende prosjekt på grunn av billig anskaffelse av varmekilde. Ettersom anlegget i størst mulig benytter eksisterende utstyr og byggmasse, er prosjektet i utgangspunktet gunstig.

6.2 Følsomhet

Endringer i rammebetingelsene, for eksempel energipris eller investering, kan påvirke prosjektets lønnsomhet. Utførelse av følsomhetsanalyse kan kartlegge faktorer som påvirker lønnsomhet og hvilke konsekvenser de har.

Største tillatte investering (STI) er summen av alle kontantstrømmer over levetid diskontert til dagens verdi (Stene, 1997). Faktorer f.eks. utgifter, inntekter, energipris eller investering and justeres for beregning av STI for å finne en optimal løsning. Basert på resultatet av nåverdi og I_0 , STI er:

$$STI = I_0 + NV = 1\,390\,000 + 3\,817\,708 = 5\,207\,708 \text{ kr} \quad (6.5)$$

Det antyder at investering har svært fordelaktig sikkerhet margin. Prosjekt kan fremdeles være lønnsom med mye høyere investering. Dette kan knyttes til ekstra kostnad for utførelse av installering arbeid eller anskaffelse av andre varmekilder, f.eks. grunnvann hentes fra borehull.

Dessuten kan minste årlige inntjening (MB), en annen viktig element, beregnes med investering:

$$MB = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \cdot I_0 \quad (6.6)$$

Sett inn verdier:

$$MB = \frac{0.06}{1 - (1 + 0.06)^{-15}} \cdot 1\,390\,000 = 143\,118 \text{ kr} \quad (6.7)$$

Det betyr at hvis årlig inntjening er mindre enn 143 118 kr, blir prosjekt ikke lønnsom. Det kan knytte til billigere elektrisitet, dårlig drift av anlegget og ekstra kostnad for vedlikehold. Eksempelvis med endring i energipris og andre rammebetingelse på like verdier, er prosjektet alltid lønnsom hvis strømpris er høyere enn 0,3 kr.

6.3 Enovas støtte

Varmepumpeprosjekter som dette er kvalifisert til støtte fra Enova under Program Varmesentraler. Enova vil tilby 1600 kr/kW installert effekt for væske-vann-varmepumper (Enova, 2017). Da kan nåverdi korrigeret ifølge ligning 6.1 med tanke på Enovas støtte:

$$NV = -1\,390\,000 + 1600 \times 264 + 536\,200 \times \frac{1 - (1 + 6\%)^{-15}}{6\%} = 4\,240\,108 \text{ kr} \quad (6.8)$$

Enovas støtte skal være utløsende etter at prosjektet blir gjennomført. Beløp er på 422400 kr.

7 Konklusjon og diskusjon

7.1 Konklusjon

Etter vurderinger av kommunes større bygg, blir Salangen bo- og eldrester og Vasshaug barnehagen betraktes som velegnet for varmpumpeprosjekt. Og deres eksisterende varmeanlegg kan beholdes og installerte el. Kjeler brukes til å dekke spisslast. Varmepumpe som grunnlast dimensjoneres etter installert varmeeffekt i bygningene med kapasitet på 262 kW effekt. Anbefalt systemet består av tre sammenkoblede Thermia Mega XL varmpumpe (21-88 kW). Slik systemet bidrar til god og fleksibel ytelse spesielt når effektbehov er lavt, men det medfører høyere kostnad og ekstra vedlikehold. Varmtvannstemperatur fra varmpumpeanlegget settes 55 °C og det passer bra for eksisterende varmeanlegg i SABE og Vasshaug barnehage.

Ifølge studiet om kommunes vannforsyningsystem, er daglig vannforsyning gjennom luftbasseng ikke tilstrekkelig som varmekilde for varmpumpes full kapasitet, og risiko av bruk denne varmekilden er høy. Dermed må alternativ vannkilde fra grunnvannsbrønner benyttes ved drift av ekstra pumpe med effekt på 5,5 kW. I tillegg kan eksisterende bygning for vannbehandlingsanlegg og vannforsynings grøfte fungerer henholdsvis som maskinrom for varmpumpene og varmeleveranses trase.

Økonomisk vurdering viser at prosjektet har et positivt resultat med nåverdi på 3,8 og millionen kroner og 2,9 år inntjeningstid. Derfor anbefales det å gjennomføre prosjekt med videre arbeid.

I tillegg siden drikkevannskvalitet må tas på alvor, må kommune ta kontakt med aktuelle aktører som Norsk Vann, Mattilsynet osv. før igangsatt av prosjektet.

7.2 Diskusjon og forslag til videre arbeid

I prosjektperioden er det dessverre vanskelig å skaffe data om varmekilders temperatur variasjoner i forskjellige årstider. Temperaturer av varmekildene var kun målt i februar og mars 2017, og dimensjonering og ytelsesvurdering av varmpumper er basert på disse dataene. Selv om grunnvannstemperatur er relativt stabil gjennom hele året, anbefales det å registrere og etablere mer detaljert og nøyaktig temperaturprofil for vannet som varmekilde.

Varmepumpesystemet er kun et estimat basert på tilgjengelig informasjon. For å sikre en mest mulig effektiv varmpumpe må prosjektdetalj prosjektertes hvis prosjektet skulle gjennomføres. Styring og optimalisering varmpumpedrift i samspill med bygningenes varmebehov kan også bli undersøkt og analysert videre. Dessuten skulle det kreve instrumentering, prøvedrift og kontinuerlig oppfølging.

En annen viktig ting er at det blir antakeligvis videre arbeid i forbindelse med risikovurdering og ulike kombinasjoner av sikkerhetstiltak mot forurensning til drikkevann.

8 Referanser

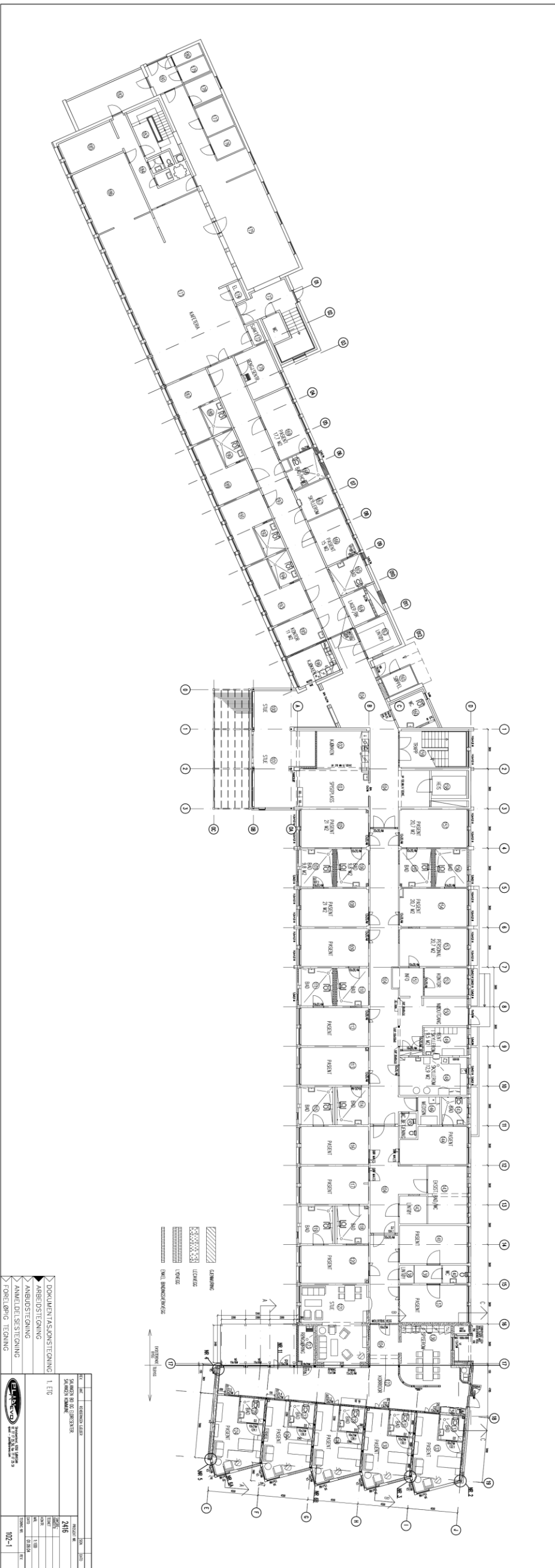
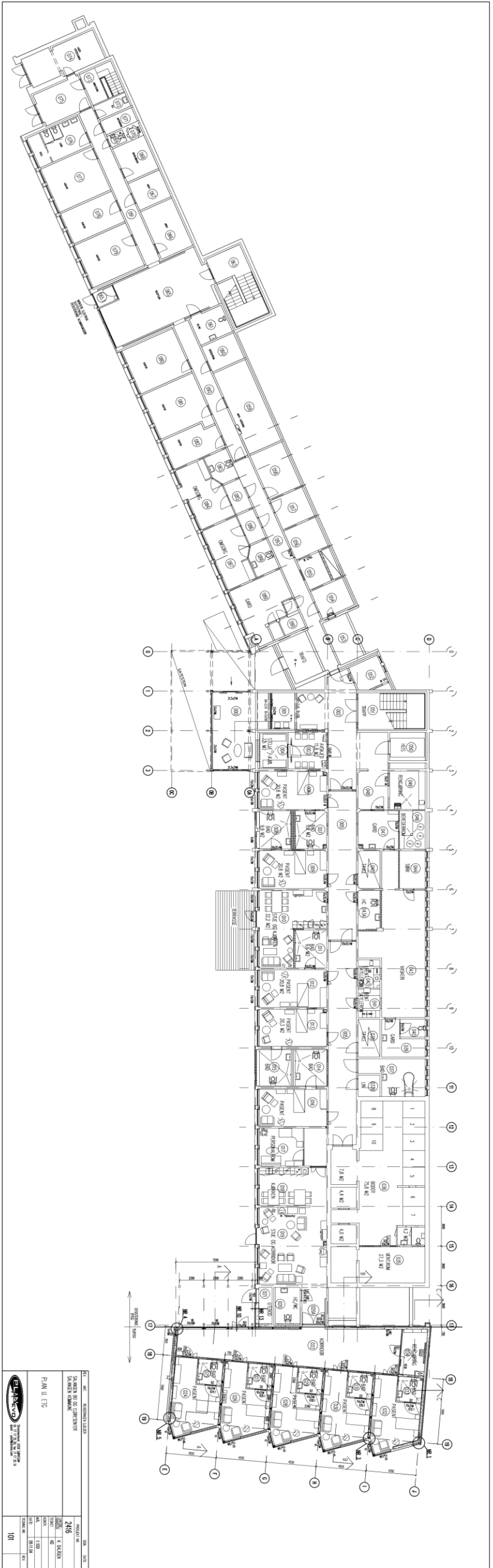
- Bonin, J., 2015. Heat pump planning handbook, ISBN: 978-1-138-78482.
- De Pasquale, A.M., Giotri, A., Romano, M.C., Chiesa, P., Demeco, T. og Tani, S., 2016. District heating by drinking water heat pump: Modelling and energy analysis of a case study in the city of Milan. Energy volume 118, 1 January 2017, Pages 246-263.
- Dokka, T.H., Svensson, A., Wigenstad, T., Andresen, I., Simonsen, I. og Berg, T.F., 2011. Energibruk i bygninger – Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energibruk. SINTEF Byggforsk Lavenergi Programmet, prosjektrapport 76 – 2011, ISBN 987-82-536-1208-9.
- Enova, 2015. Enovasbyggstatistikk 2015.
- Enova, 2017. Nettside Enova Varmesentraler, <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/varmesentraler/> Hentet 29.04.2017.
- Ericson, T., Fidje, A., Fonnelop, J.E., Langseth, B., Magnussen, I.H, Rode, W.W. og Saugen, B., 2016. Varmepumper i energisystemet, Norges vassdrags- og energidirektorat Rapport nr. 60-2016, ISBN 978-82-410-1513-7.
- HePuPro, 2015. Heat Pump Market Comparative Study in the Barents Region, Kolarctic ENPI CBC, Cross-border cooperation.
- Hofstad, K., Sweco AS, Stensby, K.E., Mindeberg, S.K., Fladen, B. og NVE, 2011. Kostnader ved produksjon av kraft og varme, Norges vassdrags- og energidirektorat Håndbok nr. 1/2011, ISBN 978-82-410-0750-7.
- Karwa, R., 2017. Heat and Mass Transfer, Jodhpur Institute of Engineering & Technology, ISBN 978-981-10-1556-4.
- Norsk Vann, 2013a. Varmepumper i drikkevannsforsyningssystem, Norsk Vann Rapport nr. B 19-2013, ISBN 978-82-414-0343-9.
- Norsk Vann, 2013b. Norsk Vann mener bruk av varmpumper i drikkevannsforsyningssystemer frarådes.
- Rausand, M. og Utne, I.B., 2009. Risikoanalyse- teori og metoder, en veiledning til NS 5814, ISBN: 9788251924467.
- Salangen kommune teknisk avdeling og Norsk gründerutvikling AS, 2012. Revidert klima- og energiplan Salangen kommune.
- SINTEF Byggforsk, 1995. ByggforskserienByggdetaljer 552.109 – Sending 1 – 1995, Varmtvannssentraler og varmeanlegg.
- SINTEF Byggforsk, 1996. ByggforskserienByggforvaltning 752.207 – Sending 1 – 1996, Drift og vedlikehold av varmtvannssentraler, distribusjonsnett og varmeanlegg.

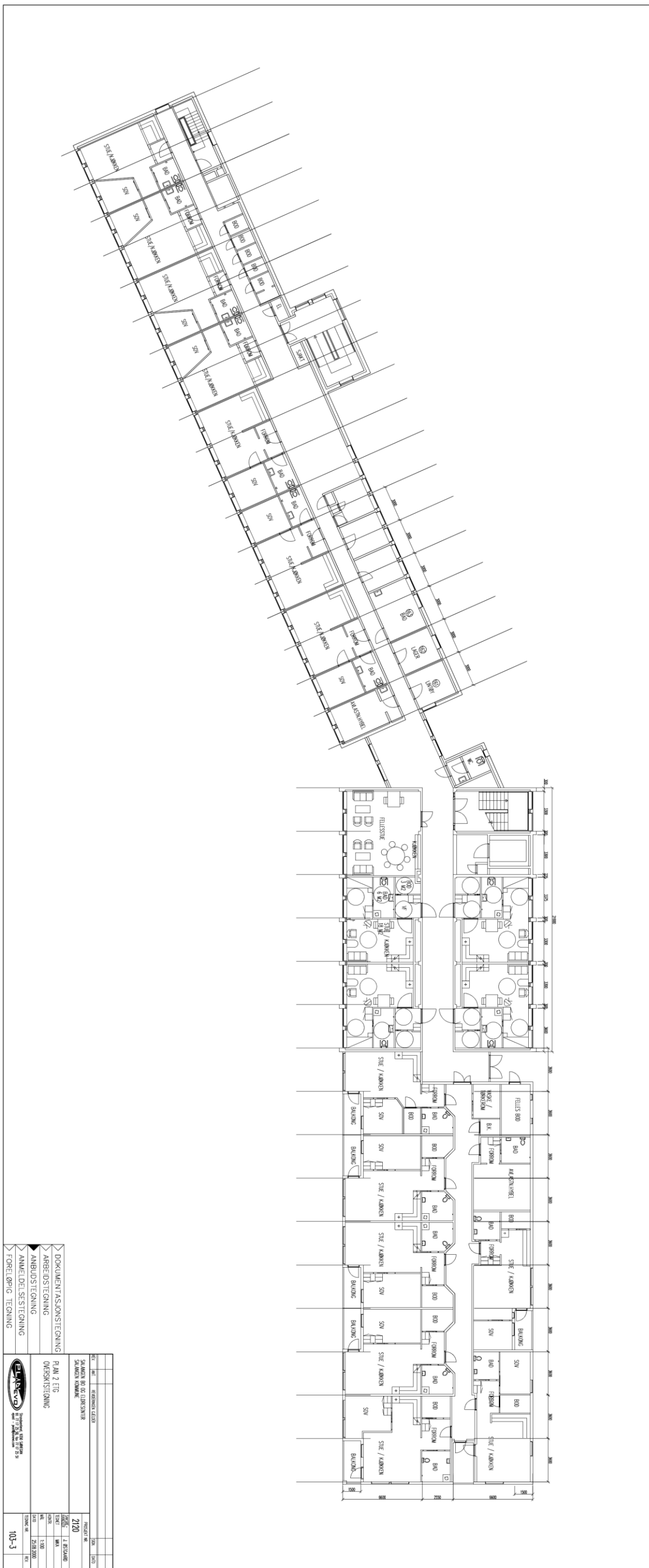
- SINTEF Byggforsk, 2009. Byggforskserien Byggetaljer 552.403– november 2009, Varmepumper i bygninger – Funksjonsbeskrivelse, ISSN 2387-6328.
- Skree, J., Eggen, G. og Stene, J., 2010. Større varmepumpeanlegg i Norge, en serie med faktahefter fra Norsk Teknologi, hefte nr. 12.
- Smebye, H., Midttømme, K., Stene, J., og NGL, 2011. Energi fra overflatevann i Norge – kartlegging av økonomisk potensial, oppdragsrapport nr 9/2011, Norges vassdrags- og energidirektorat, ISSN 1503-0318.
- SSB, 2017a. Kommunefakta Salangen-1923 (Troms Romsa), befolkning, arbeid og inntekt, <https://www.ssb.no/kommunefakta/salangen> Hentet 20.02.2017.
- SSB, 2017b. Elektrisitetspriser, 4. Kvartal 2016, <https://www.ssb.no/elkraftpris/> Hentet 05.04.2017.
- Standard Norge, 2016. Kuldeanlegg og varmepumper Sikkerhets- og miljøkrav Del 1: grunnleggende krav, definisjoner, klassifisering og vurderingskriterier, Norsk Standard NS-EN 378-1:2016.
- Standard Norge, 2014. Beregning av bygningers energiytelse, metode og data, Norsk Standard NS 3031:2014.
- Statsbygg og Norges vassdrags- og energidirektorat, 2003. Varmepumpeveileder for byggherrer og rådgivere, Oslo, 2003.
- Steen, J.E., Rye, H., Thendrup, A., 1981. Temperaturforhold i norske kystfarvann. ISBN 82.595-2438-4. NHL-rapport 2-A81039.
- Stene, J., 1997. Varmepumpe: grunnleggende varmepumpeteknikk. SINTEF Energi, Klima- og kuldeteknikk, Trondheim, 1997. ISBN 8214003970.
- Stene, J., 2000. Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger, SINTEF Energiforskning AS, avdeling energiprosesser.
- Stene, J. og Brånås, M., 2004. Temahefte Varmepumper i boliger, SINTEF Energiforskning AS, ISBN 82-594-2369-3.
- Stene, J. og Jakobsen, Å., 2008. Forprosjekt – Prototyp CO₂ varmepumpesystem for oppvarming og kjøling av en større bygning, SINTEF Energiforskning AS.
- Troms Kraft Nett AS, 2014. Lokal Energiutredning for Salangen kommune (1923).
- YR, 2017. Været som var (klima) Sjøvegan, Salangen (Troms), <https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/Salangen/Sj%C3%B8vegan/klima.v%C3%A5r.html> Hentet 10.04.2017.
- Zhao, R., 2016. Diskusjon om vann-vann varmepumpe tilknyttet til vannforsyningsanlegg, Zhulong Tekniskblad, nr. 1671-5659 (2016) 08-015-02 [på kinesisk].

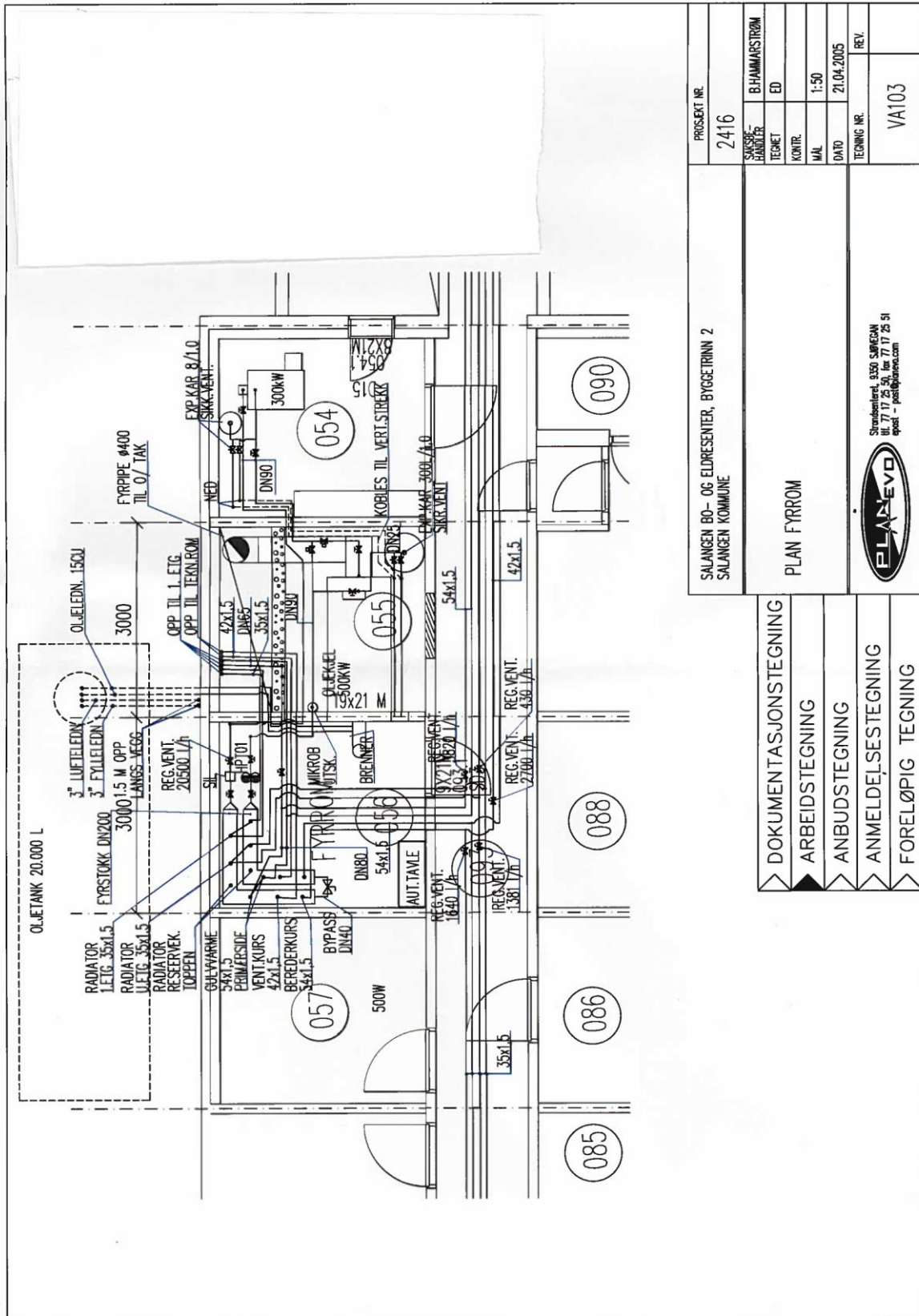
9 Vedlegg

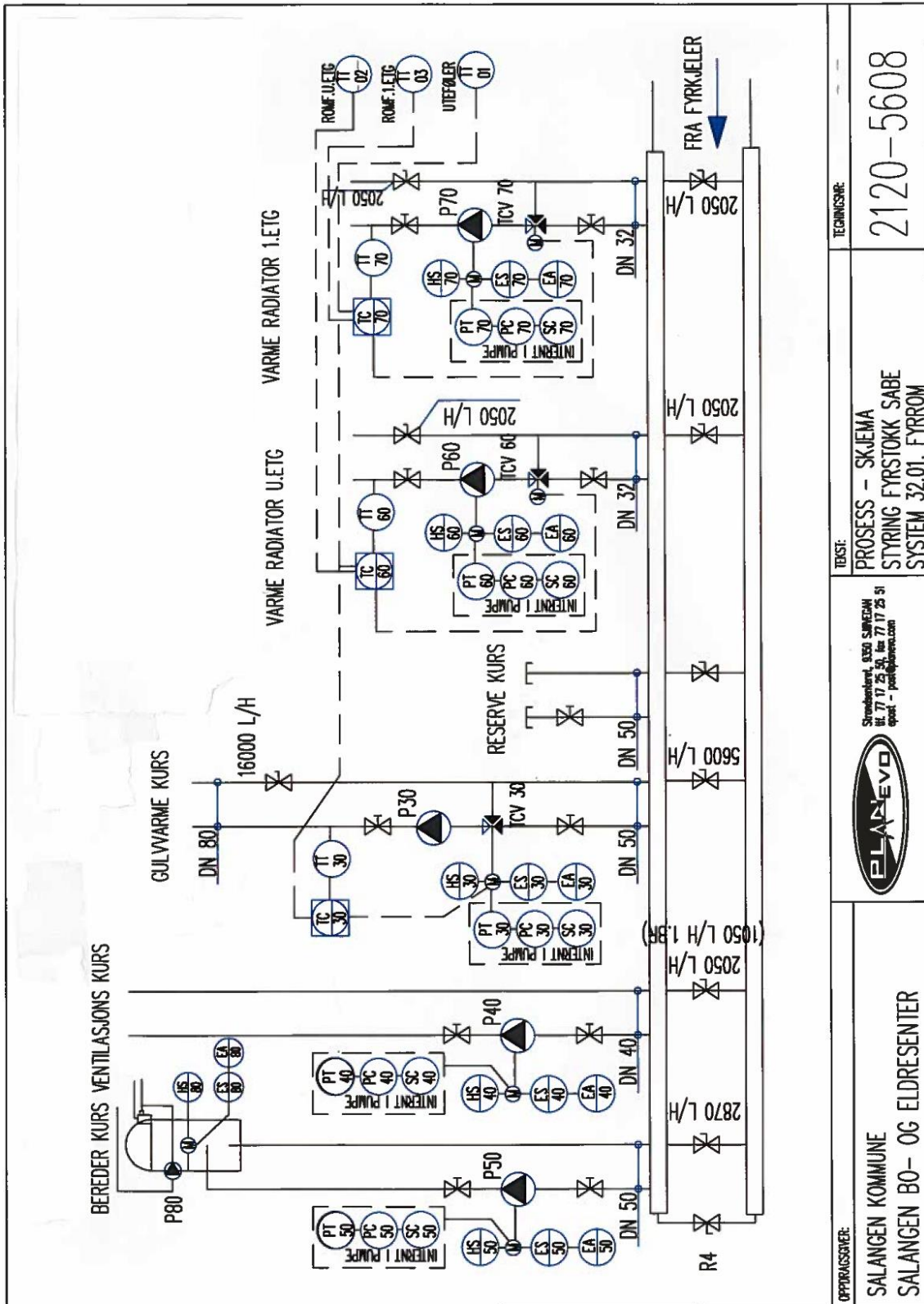
Vedlegg A:


Tekniske Tegninger- Salangen bo- og eldresenter



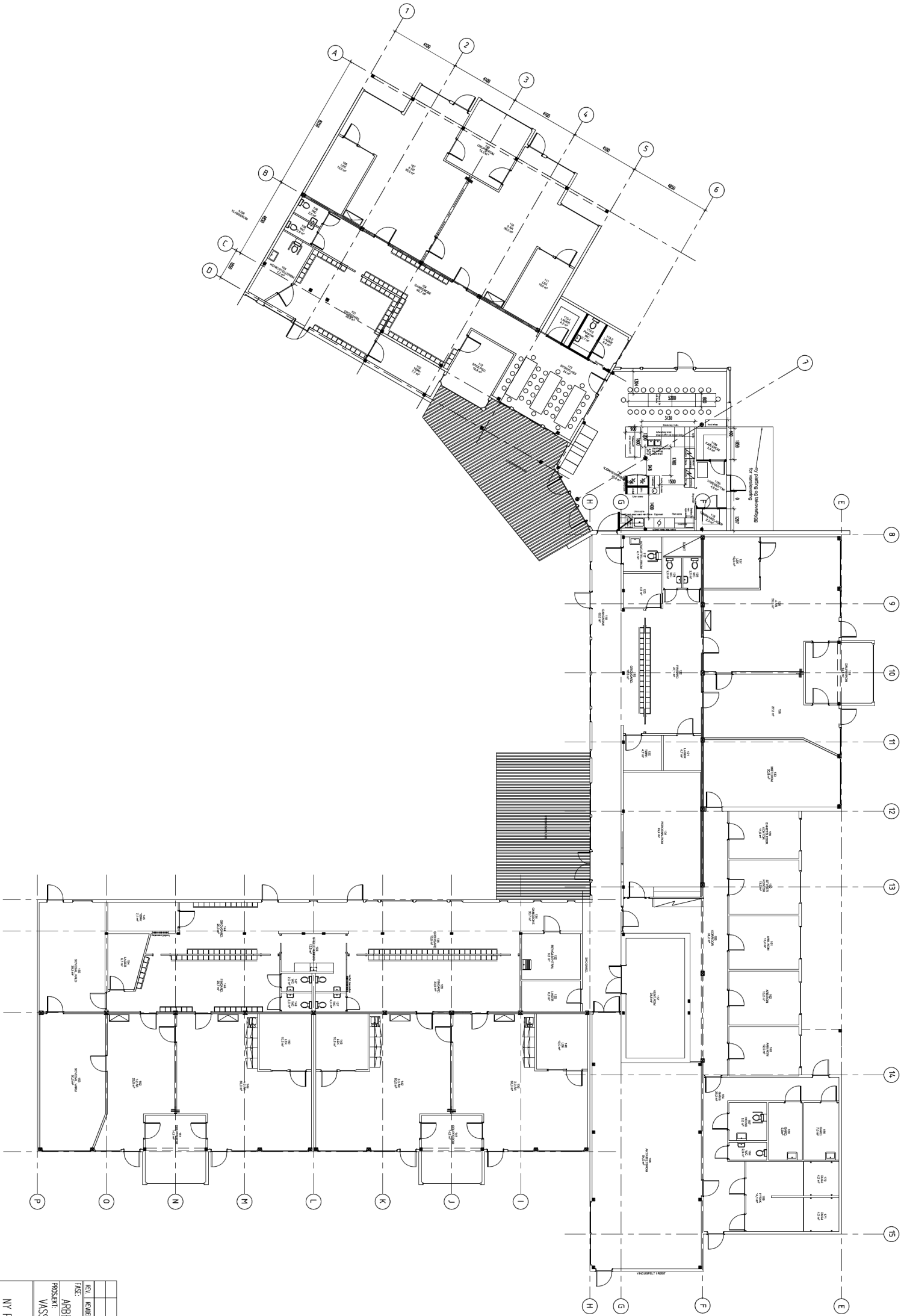




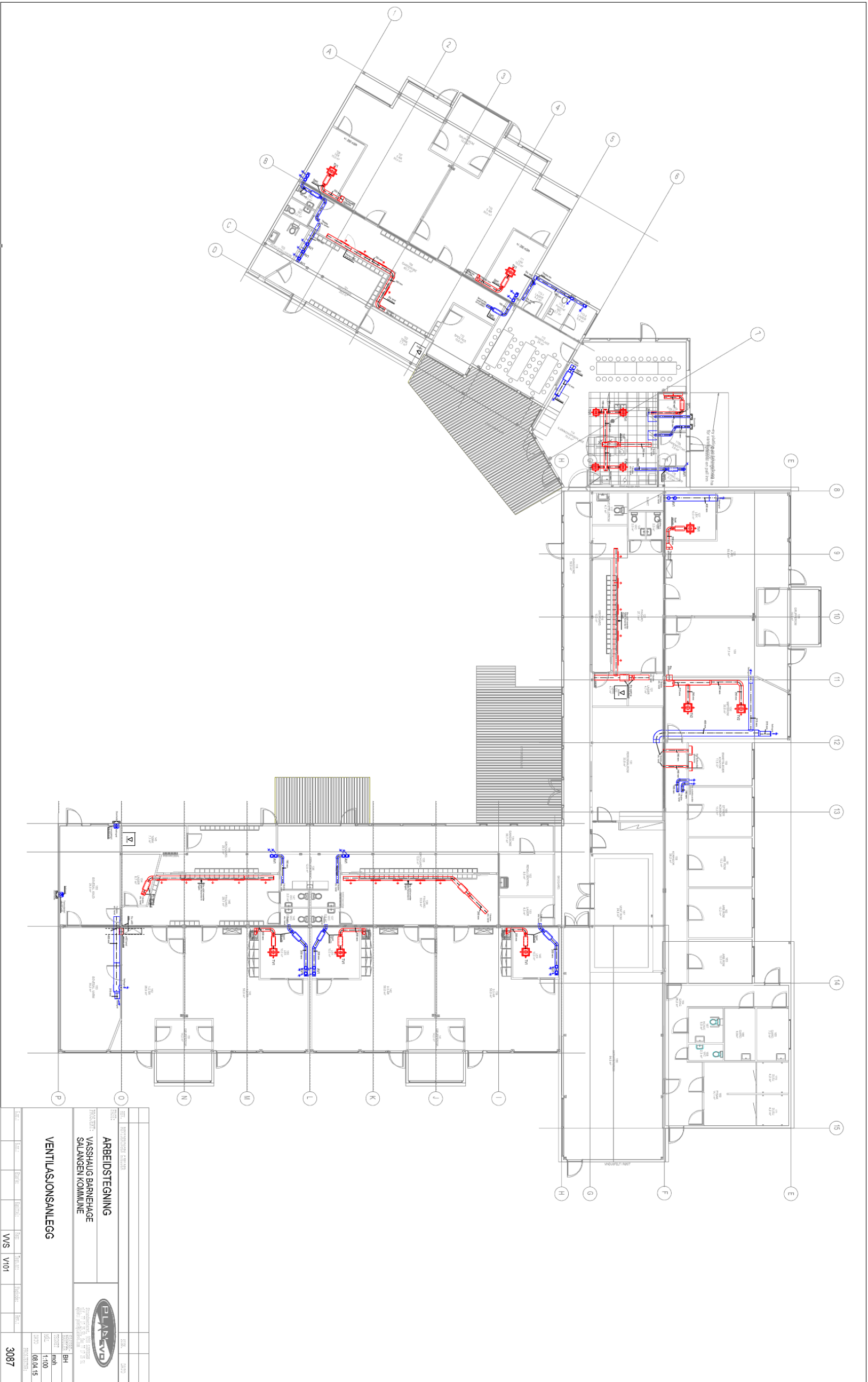


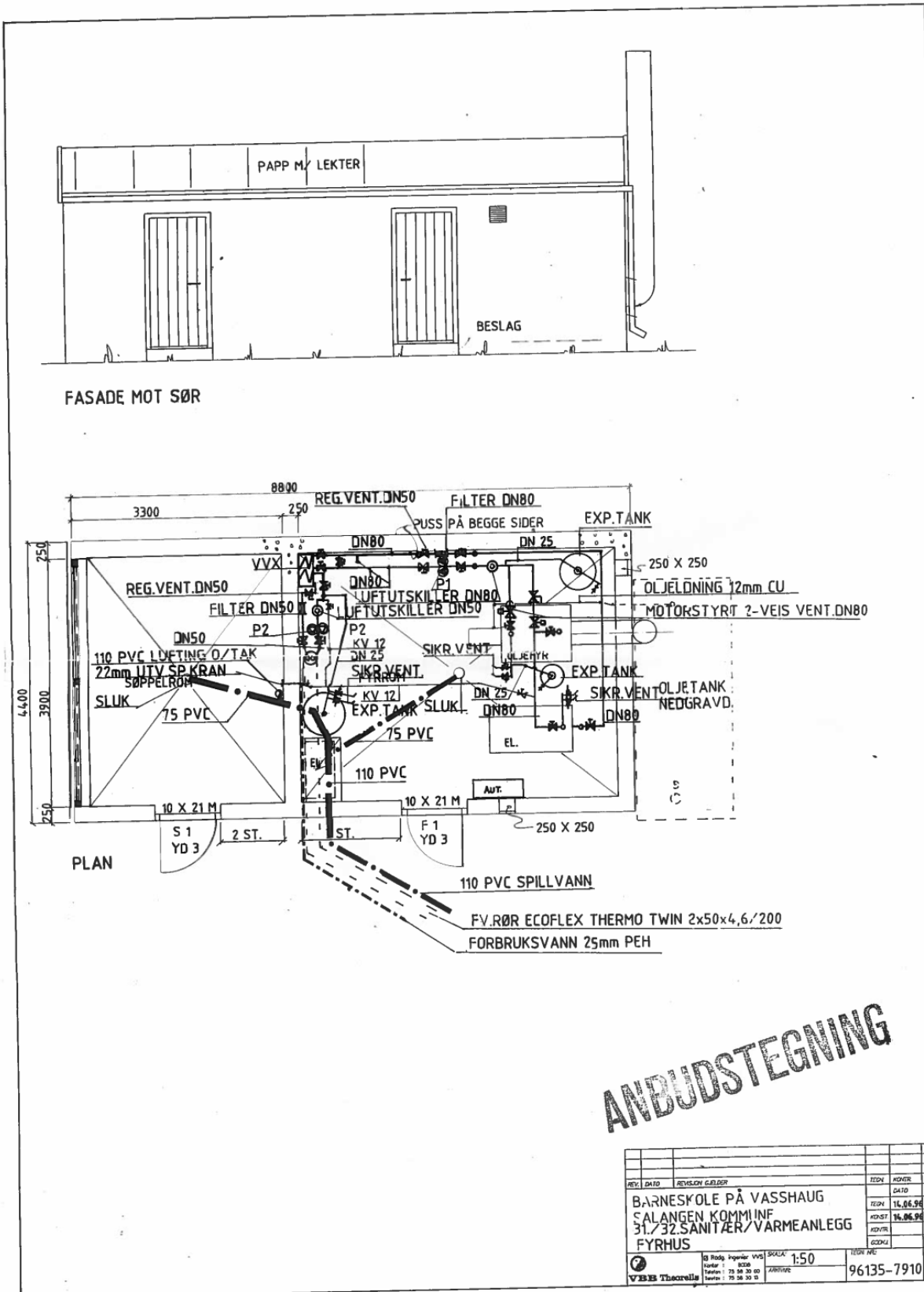
| | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OPPRÅSGIVER: | SALANGEN KOMMUNE SALANGEN BO- OG ELDERSENTER |
| TEKNISSNR: | 2120-5608 |
| TEKST: | PROSESS - SKJEMA STYRING FYRSTOKK SÅBE SYSTEM 32.01, FYRROM |
| |  Strømsøret, 0350 SALANGEN tlf. 77 17 25 51, fax 77 17 25 51 epost - post@planevo.com |

Vedlegg B:
Tekniske Tegninger –Vasshaug barnehage



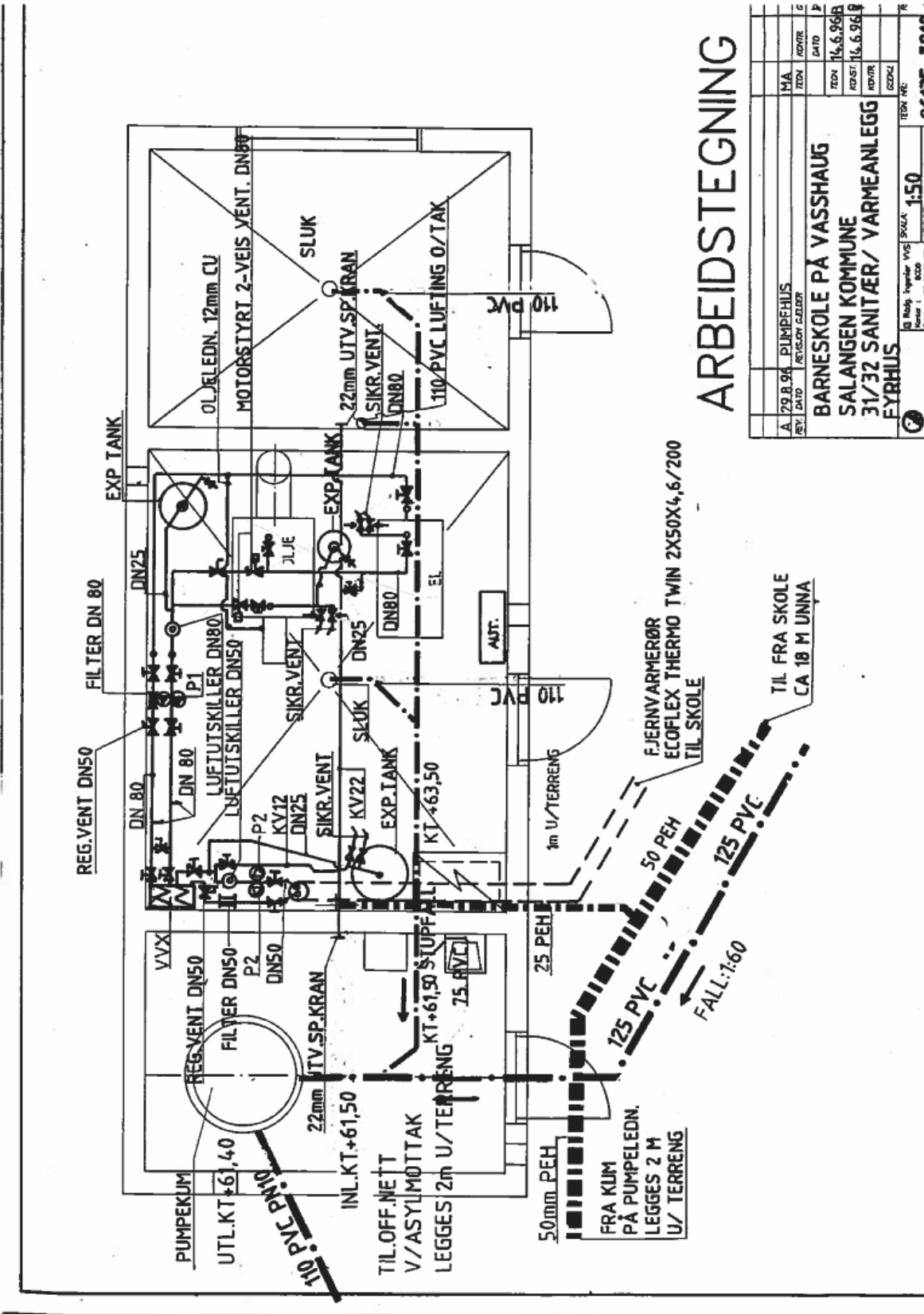
| | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------|------------|----------|---------|--------|----------|-------|--------|
| REV | REVISJONEN | DELERS | SON | 1 | DATA | | |
| FISE: ARBEIDSTEGNING | | | | | | | |
| PROSJEKT: VASSHAUG BARNEHAGE | | | | | | | |
| NY PLANOSNING | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| PLANVED AS DRIFTEK, AS OG JAKUM KONGSVEIEN 13 0403 SANDNES | | | | | | | |
| SISTE BEHANDLINGSDATO | | | | | | | |
| TIDSPUNKT | | | | | | | |
| MÅL 1:100 | | | | | | | |
| DATO 08.03.15 | | | | | | | |
| PROSJEKTANSV. | | | | | | | |
| ENTR. | BYGGER | TILBYRER | VEGNERE | BYGGER | TILBYRER | ISOLA | BYGGER |
| | | | | 8 | 101 | | |
| 3070 | | | | | | | |





ANBUDESTEGNING

| | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|----------|------------|
| REV. DATO | REVISJON GJØRER | TEGN | HOVED | SE |
| | | | 0410 | SE |
| BARNESKOLE PÅ VASSHAUG | | TEGN | 16.06.94 | E |
| SALANGEN KOMMUNE | | KONST | 16.06.94 | E |
| 31./32.SANITÆR/VARMEANLEGG | | KONTR. | | |
| FYRHUS | | KONTR. | | |
| VBE Thorells | | 13 Rødg. Ingerhøi VVS | SKALA | 1:50 |
| | | Telefon : 75 58 30 00 | TEGN VEC | 96135-7910 |
| | | Fax : 75 58 30 10 | | |



ARBEIDSTEGNING

| | | | |
|-----------|-----------|------------|-----------|
| PROJ. NR. | A 79.8.94 | PROJ. NAVN | PUMPEHUUS |
| REV. DATO | | REV. DATO | |
| REV. NAVN | | REV. NAVN | |
| TEK. DATO | 14.6.96 | TEK. DATO | 14.6.96 |
| REV. NAVN | | REV. NAVN | |
| TEK. NAVN | | TEK. NAVN | |

BARNESKOLE PÅ VASSHAUG
 SALANGEN KOMMUNE
 31/32 SANITÆR/ VARMEANLEGG
 FYRHIUS

G. Nord, ingeniør VVS/SKOLE
 Havn 1 4000
 Tegningens størrelse: 1:50
 Tegningens nummer: 040101

Vedlegg C:

Energiforbruk ved SABE og Vasshaug barnehage

Forbruk kWh på SABE i år 2016

| | Måler kWh | Måler kWh | Sum kWh |
|------|-----------|-----------|-----------|
| JAN | 61 516 | 88 506.48 | 150 022.5 |
| FEB | 48 148 | 77 602 | 125 750 |
| MARS | 45 122 | 76 202.88 | 121 324.9 |
| APR | 33 676 | 66 407.52 | 100 083.5 |
| MAI | 23 334 | 59 324.4 | 82 658.4 |
| JUN | 19 494 | 55 265.12 | 74 759.12 |
| JUL | 10 876 | 53 265.12 | 64 141.12 |
| AUG | 16 316 | 54 822.72 | 71 138.72 |
| SEP | 19 326 | 57 382.56 | 76 708.56 |
| OKT | 35 950 | 71 569.92 | 107 519.9 |
| NOV | 43 176 | 80 446 | 123 622 |
| DES | 42 152 | 80 773 | 122 925 |
| Sum | 399 086 | 821 568 | 1 220 654 |

Forbruk kWh på Vasshaug barnehage i år 2016

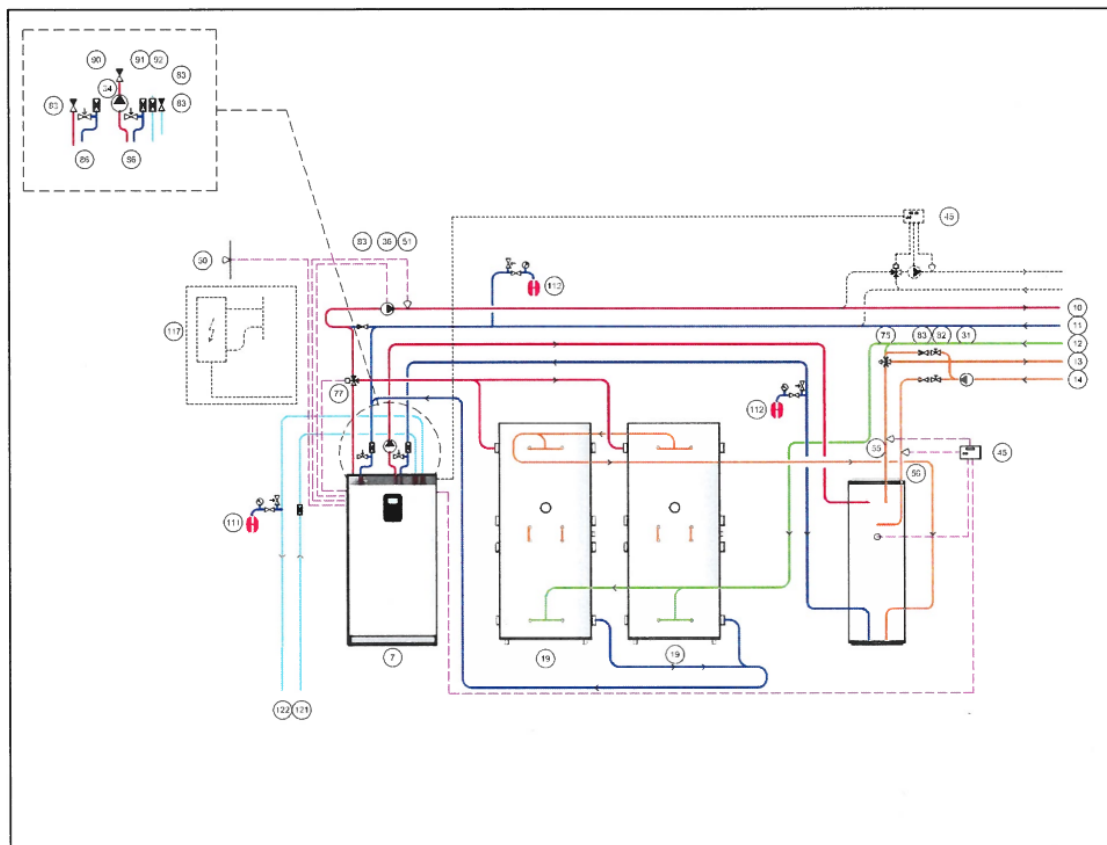
| mnd | måler nr 122802 kWh | måler nr 124861 kWh | Sum kWh |
|-----|---------------------|---------------------|------------|
| 1 | 48 246.00 | 13 817.00 | 62 063.00 |
| 2 | 36 961.00 | 12 922.00 | 49 883.00 |
| 3 | 31 750.00 | 12 156.00 | 43 906.00 |
| 4 | 22 925.00 | 11 344.00 | 34 269.00 |
| 5 | 15 190.00 | 10 597.00 | 25 787.00 |
| 6 | 13 883.00 | 10 777.00 | 24 660.00 |
| 7 | 13 481.00 | 15 310.00 | 28 791.00 |
| 8 | 16 278.00 | 14 306.00 | 30 584.00 |
| 9 | 19 654.00 | 15 649.00 | 35 303.00 |
| 10 | 32 475.00 | 16 143.00 | 48 618.00 |
| 11 | 44 159.00 | 16 633.00 | 60 792.00 |
| 12 | 41 248.00 | 16 085.00 | 57 333.00 |
| Sum | 336 250.00 | 165 739.00 | 501 989.00 |

Vedlegg D:

Teknisk beskrivelse–

Thermia Varmepumper: Mega (brukte sider)

3.3 Med 2 x WT-C



- 7. Varmepumpe
- 10. Varmeturlledning
- 11. Varmereturlledning
- 12. Kaldtvannsledning
- 13. Varmtvannsvann
- 14. Varmtvannsomløp
- 18. Vannvarmer
- 19. Vannvarmer
- 31. Sirkulasjonspumpe vvc
- 34. Sirkulasjonspumpe (varm gass)
- 36. Sirkulasjonspumpe (system)
- 45. Ekspansjonsmodul
- 50. Utesensor
- 51. Turlledningssensor, varmesystem
- 53. Varmtvannssensor, bunn
- 55. Varmtvannssensor, topp
- 56. TWC-sensor
- 75. Blandeventil
- 77. Varmtvannsvekselventil
- 82. Justeringsventil
- 83. Tilbakeslagnsventil
- 86. Sikkerhetsventil (1,5 bar)
- 90. Sil (kondensator)
- 91. Sil (varm gass)
- 92. Sil (kuldebærer)
- 111. Ventilasjons- og ekspansjonskar (kuldebærer)
- 112. Ekspansjonskar
- 115. Varmekolbe
- 117. Tilleggsoppvarming
- 121. Kuldebærer inn
- 122. Kuldebærer ut



Teknisk beskrivelse **Mega**

4 Tekniske data

| Mega | | | M | L | XL |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Kjølemiddel | Type (GWP 2088)* | | R410A | | |
| | Mengde (CO ₂ equivalent) | kg | 4,1 (8560) | 5,7 (11692) | 8,7 (18165) |
| | Konstruksjonstrykk | MPa | 4.3 | | |
| Kompressor | Type | | Scroll | | |
| | Olje | | POE | | |
| Elektriske data 3~N | Nettspenning | Volt | 400 | | |
| | Merkeeffekt, kompressor | kW | 17,50 | 22,20 | 32,50 |
| | Merkeeffekt, sirkulasjonspumpe | kW | 0,70 | 1 | 1 |
| | Sikring ¹⁵ | A | 40 | 50 | 63 |
| | Kortslutningseffekt (Ssc) ¹¹ | MVA | 2,1 | 2,4 | 3,2 |
| Ytelse | COP ¹ | | 4,49 | 4,5 | 4,71 |
| | Varmekapasitet ¹ | kW | 26,73 | 35,6 | 52,0 |
| | Inngangsstrøm ¹ | kW | 5,95 | 7,91 | 11,0 |
| | SCOP | | 5,32 ¹² | 5,1 ¹³ | 5,3 ¹⁴ |
| | Energieffektivitetsklasse varmepumpe med høy temperatur for sesongmessig romoppvarming | | A++ | A++ | A++ |
| | Energieffektivitetsklasse varmepumpe med lav temperatur for sesongmessig romoppvarming | | A++ | A++ | A++ |
| | Energieffektivitetsklasse høytemperatursystem for sesongmessig romoppvarming | | A+++ | A+++ | A+++ |
| | Energieffektivitetsklasse lavtemperatursystem for sesongmessig romoppvarming | | A+++ | A+++ | A+++ |
| Nominell flytmengde ^{3, 5} | Kjølekrets ⁴ | l/s | 1,9 | 2,31 | 3,34 |
| | Varmekrets | l/s | 0,67 | 0,89 | 1,29 |
| Ytre tilgjengelig trykk ^{3, 5} | Kjølekrets | kPa | 72* | 112* | 77* |
| | Varmekrets | kPa | 76 | 116 | 99 |
| Internt trykkfall ³ | Kondensator | kPa | 10,9 | 2,9 | 9,0 |
| | Fordamper | kPa | 63,1 | 28,4 | 40,0 |
| Maksimalt systemtrykk | Kuldebærer | bar | 6,0 | | |
| | Varmebærer | bar | 6,0 | | |
| Maks./min. temperatur ⁶ | Kjølekrets | °C | 20/-10 | | |
| | Varmekrets ⁷ | °C | 65/20 | | |
| Maks./min. kjølemiddelkrets | Lavt trykk | MPa | 0,23 | | |
| | Høyt trykk | MPa | 4,3 | | |
| Lydeffektnivå ⁸ | | dB (A) | 56 | 61 | 63 |
| Lydeffektnivå ⁹ | | dB (A) | 41 | 46 | 46 |
| Frostvæske ¹⁰ | | | Etanol-vann-løsning -17 °C ±2 | | |
| Vekt | | kg | 390 | 430 | 550 |

*) According to F-gas directive EC 517/2014

*NB Husk å dimensjonere kollektoren i samsvar med bygningens P-konstruksjon. Ovenstående data gjelder kun nominell flytmengde og hastighet.

1) B0/W35, ifølge EN14511 inkl. sirk.pumpe ved en kompressorhastighet på 3600 o/min.

2) Kompressorhastighet 1500-6000 o/min.

3) Nominell flytmengde, varmekrets Δ10 K, kjølekrets Δ3 K ved 3600 o/min.

4) Frostvæske i kjølekrets: Etanol-vann.

5) Flytmengde og trykkfall for andre driftsmoduser. Se kapittelet "Estimert flytmengde og trykk".

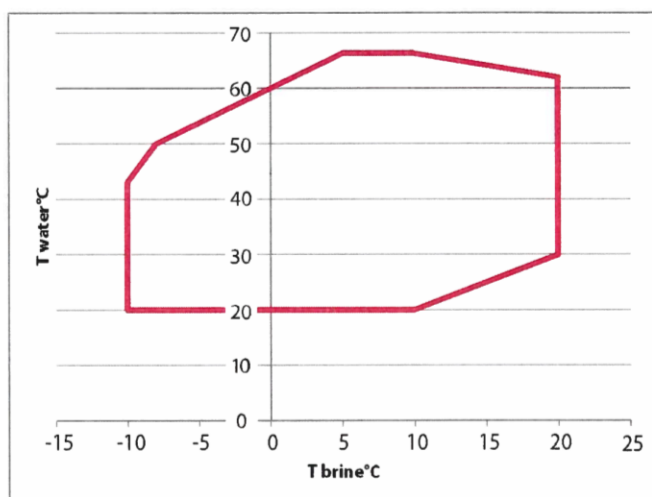


Teknisk beskrivelse

Mega

- 6) Merk at det ikke er mulig å kombinere alle kjølemiddeltemperatur med varmebærer temperaturer.
- 7) Minste innkommende kjølemiddeltemperatur 5 °C.
- 8) B0/W35, ved 6000 o/min ifølge EN12102 og EN1803741.
- 9) B0/W35, ved 1500 o/min ifølge EN12102 og EN1803741
- 10) Lokale regler og forskrifter må alltid sjekkes for frostvæske brukes.
- 11) Dette utstyret samsvarer med IEC 61000-3-12 forutsatt at kortslutningseffekten Ssc er større enn eller lik xx (se tabell for ML- og XL-verdi) ved grensesnittpunktet mellom brukerens forsyning og det offentlige systemet. Det er installatørens eller brukerens ansvar å sikre, om nødvendig ved rådføring med strømleverandøren, at utstyret bare kobles til strømforsyning der kortslutningseffekten Ssc er større enn eller lik xx (se tabellen for M-, L- og XL-verdi).
- 12) B0/W35, ifølge EN14825, Cold Climate, Pdesign 45 kW
- 13) B0/W35, ifølge EN14825, Cold Climate, Pdesign 55 kW
- 14) B0/W35, ifølge EN14825, Cold Climate, Pdesign 73 kW
- 15) Sikringens størrelse kan justeres i henhold til varmepumpens utgangseffekt. Se kapittelet "Estimert strøm".

4.1 Min./maks. driftstemperatur R410A



| R410A | |
|-----------------|-----------|
| T kuldebærer °C | T vann °C |
| 20 | 62 |
| 10 | 65 |
| 5 | 65 |
| 0 | 60 |
| -8 | 50 |
| -10 | 43 |
| -10 | 20 |
| 10 | 20 |
| 20 | 30 |

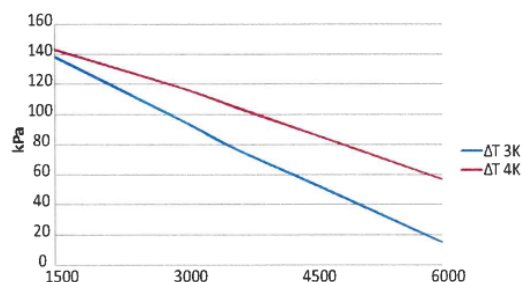
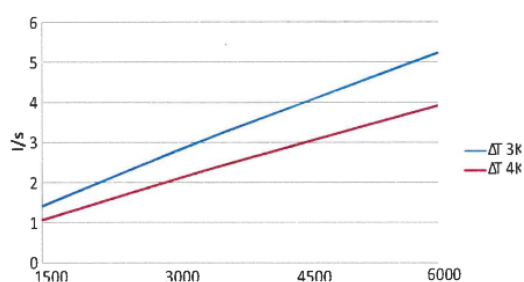


Teknisk beskrivelse **Mega**

5 Estimert flytmengde og trykk, kuldebærer

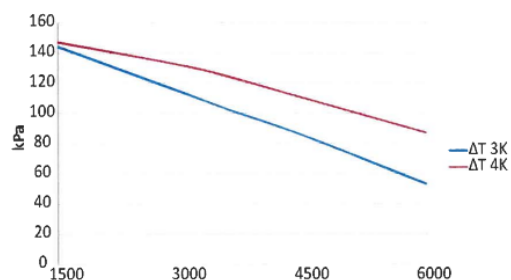
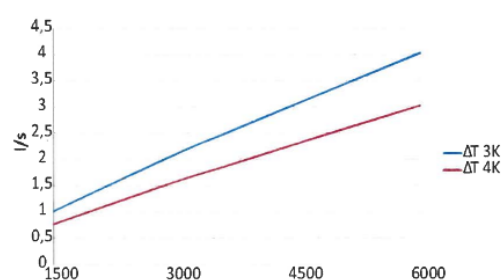
5.1 Estimert flytmengde og trykk for kuldebærer Mega XL

Flytmengde kuldebærerets XL BOW35



| Hastighet | Flytmengde | | Tilgjengelig trykk kPa | |
|-----------|------------|------|------------------------|-----|
| | Δ3K | Δ4K | Δ3K | Δ4K |
| 1500 | 1,41 | 1,06 | 138 | 143 |
| 3000 | 2,75 | 2,06 | 95 | 117 |
| 3600 | 3,27 | 2,45 | 77 | 105 |
| 4500 | 4 | 3 | 54 | 87 |
| 6000 | 5,22 | 3,91 | 15 | 57 |

Flytmengde kuldebærerets XL BOW55



| Hastighet | Flytmengde | | Tilgjengelig trykk kPa | |
|-----------|------------|------|------------------------|-----|
| | Δ3K | Δ4K | Δ3K | Δ4K |
| 1500 | 1,01 | 0,76 | 144 | 147 |
| 3000 | 2,09 | 1,57 | 100 | 132 |
| 3600 | 2,48 | 1,86 | 104 | 124 |
| 4500 | 3,06 | 2,3 | 85 | 110 |
| 6000 | 4,02 | 3,02 | 53 | 87 |

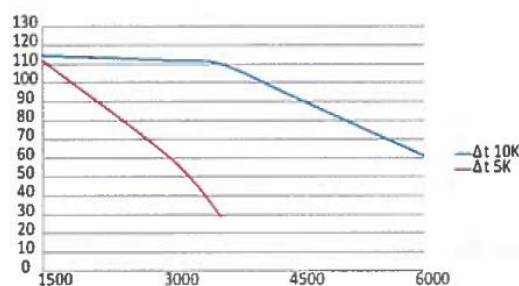
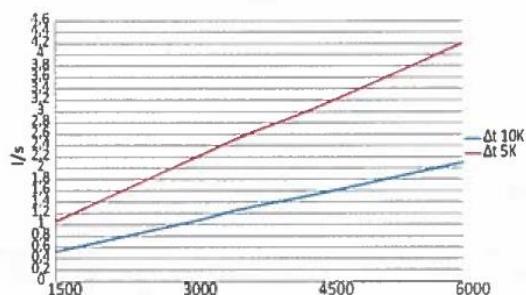


Teknisk beskrivelse Mega

6 Estimert flytmengde og trykk, varmekrets

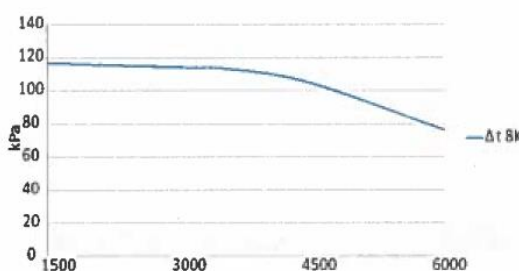
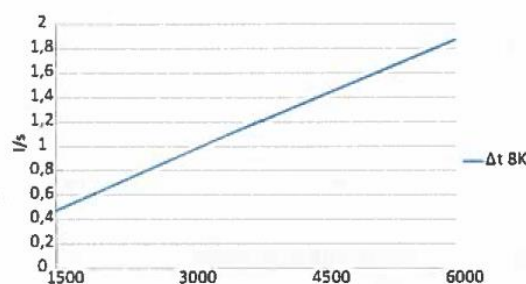
6.1 Estimert flytmengde og trykk for varmekrets Mega XL

Flytmengde varmekrets BOW35 og eksternt tilgjengelig trykk W35 i Mega XL



| Hastighet | Flytmengde | | Eksternt tilgjengelig trykk | |
|-----------|------------|------|-----------------------------|-----|
| | Δ10K | Δ5K | Δ10K | Δ5K |
| 1500 | 0,53 | 1,06 | 114 | 112 |
| 3000 | 1,05 | 2,1 | 112 | 61 |
| 3600 | 1,29 | 2,58 | 110 | 29 |
| 4500 | 1,57 | 3,14 | 92 | |
| 6000 | 2,1 | 4,2 | 61 | |

Flytmengde varmekrets BOW55 og eksternt tilgjengelig trykk W55 i Mega XL



| Hastighet | Flytmengde | Eksternt tilgjengelig trykk |
|-----------|------------|-----------------------------|
| | Δ8K | Δ8K |
| 1500 | 0,47 | 117 |
| 3000 | 0,95 | 114 |
| 3600 | 1,14 | 113 |
| 4500 | 1,41 | 104 |
| 6000 | 1,87 | 76 |



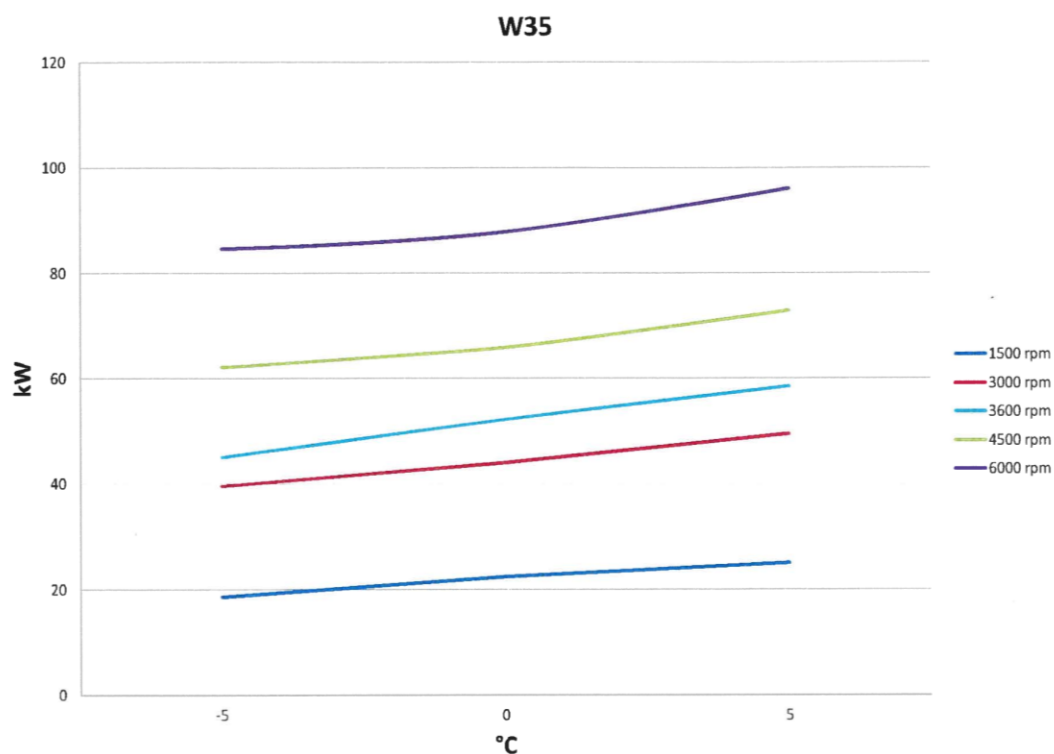
Teknisk beskrivelse

Mega

8 Utgangsdigrammer

8.1 Turledningstemp. 35 °C for XL

Varmekapasitet med en ønsket turledningstemperatur på 35 °C ved forskjellig kompressorhastighet og kuldebærertemperatur.



| o/minutt | Kuldebærertemp. | -5 | 0 | +5 |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|
| 1500 | Varmekapasitet (kW) | 18,53 | 22,36 | 25,06 |
| | Inngangseffekt (kW) | 4,62 | 4,60 | 4,46 |
| | COP | 4,01 | 4,86 | 5,62 |
| 3000 | Varmekapasitet (kW) | 39,59 | 43,97 | 49,50 |
| | Inngangseffekt (kW) | 9,55 | 9,35 | 9,36 |
| | COP | 4,15 | 4,70 | 5,29 |
| 3600 | Varmekapasitet (kW) | 45,04 | 52,18 | 58,50 |
| | Inngangseffekt (kW) | 10,98 | 11,09 | 10,95 |
| | COP | 4,10 | 4,71 | 5,34 |
| 4500 | Varmekapasitet (kW) | 62,12 | 65,85 | 72,89 |
| | Inngangseffekt (kW) | 15,43 | 15,58 | 15,71 |
| | COP | 4,03 | 4,23 | 4,64 |
| 6000 | Varmekapasitet (kW) | 84,61 | 87,79 | 96,03 |
| | Inngangseffekt (kW) | 21,64 | 22,27 | 21,47 |
| | COP | 3,91 | 3,94 | 4,47 |

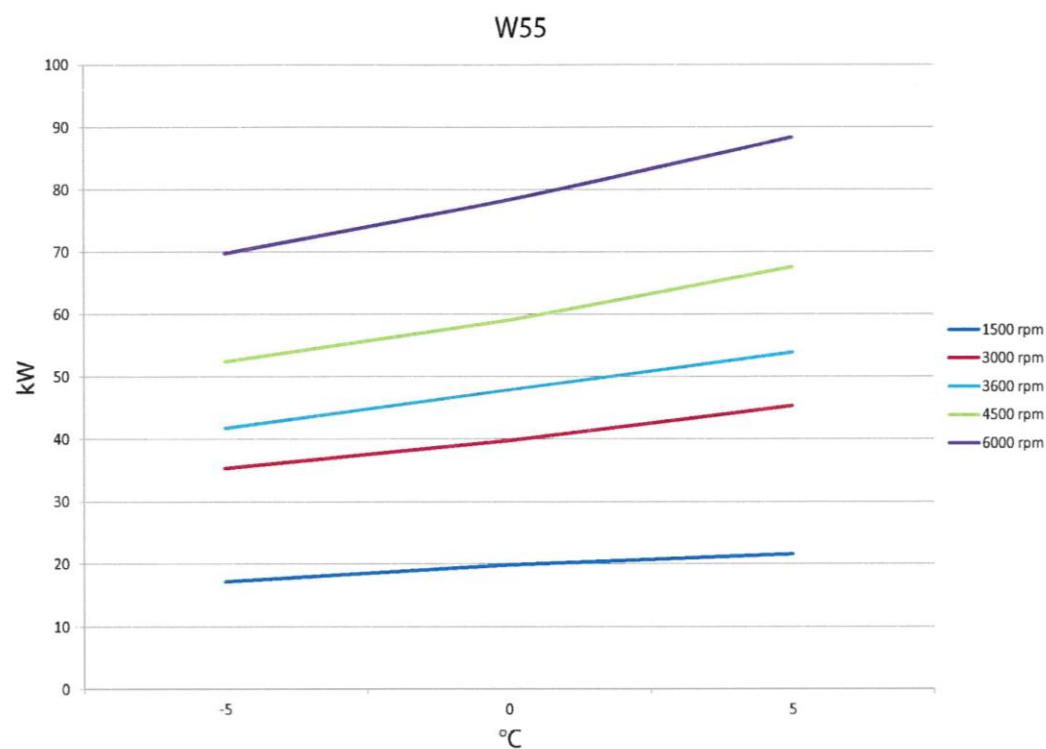


Teknisk beskrivelse

Mega

8.2 Turlledningstemp 55 °C for XL

Varmeeffekt med en ønsket turlledningstemperatur på 55 °C ved forskjellig kompressorhastighet og kuldebærertemperatur.



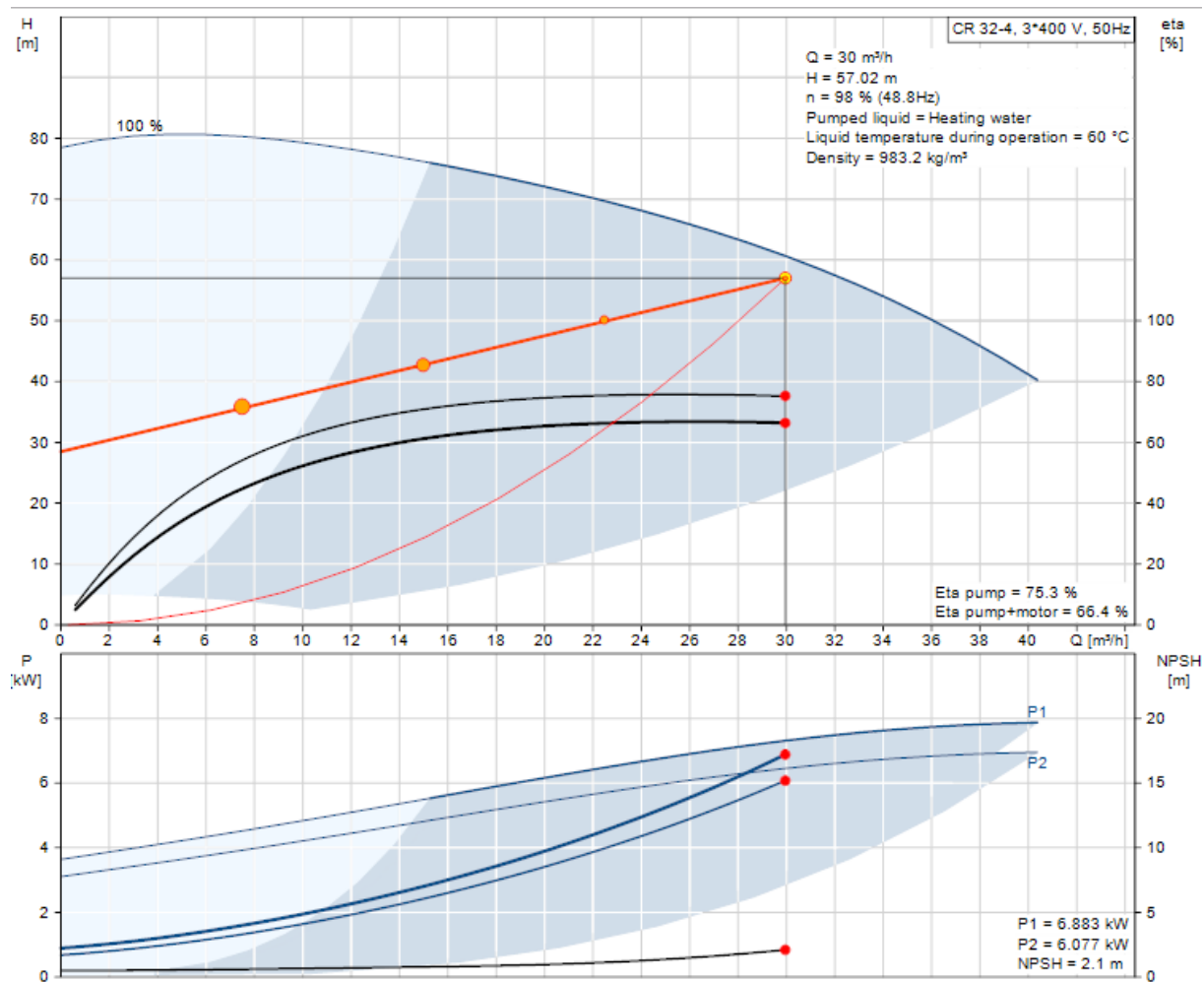
| o/minutt | Kuldebærertemp. | -5 | 0 | +5 |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|
| 1500 | Varmekapasitet (kW) | 17,17 | 19,88 | 21,62 |
| | Inngangseffekt (kW) | 7,13 | 7,14 | 7,16 |
| | COP | 2,41 | 2,79 | 3,02 |
| 3000 | Varmekapasitet (kW) | 35,39 | 39,75 | 45,35 |
| | Inngangseffekt (kW) | 13,39 | 13,44 | 13,54 |
| | COP | 2,64 | 2,96 | 3,35 |
| 3600 | Varmekapasitet (kW) | 41,77 | 47,87 | 53,86 |
| | Inngangseffekt (kW) | 16,35 | 16,69 | 16,08 |
| | COP | 2,56 | 2,87 | 3,35 |
| 4500 | Varmekapasitet (kW) | 52,38 | 59,00 | 67,53 |
| | Inngangseffekt (kW) | 20,18 | 20,53 | 20,71 |
| | COP | 2,60 | 2,87 | 3,26 |
| 6000 | Varmekapasitet (kW) | 69,77 | 78,33 | 88,30 |
| | Inngangseffekt (kW) | 28,00 | 27,86 | 29,00 |
| | COP | 2,49 | 2,81 | 3,04 |

55
23.704

Vedlegg E:

Teknisk beskrivelse – Pumpe for varmeleveranse

Pumpe Performance curve



Specifications

| | |
|--------------|----------------------|
| Product name | CR 32-4 A-F-A-E-HQQE |
| Product No | 96122013 |
| EAN number | 5700396680576 |

Technical

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Speed for pump data | 2919 rpm |
| Actual calculated flow | 30 m ³ /h |
| Resulting head of the pump | 57.02 m |
| Head max | 77.8 m |
| Impellers | 4 |
| Primary shaft seal | HQQE |
| Approvals on nameplate | CE, TR |
| Curve tolerance | ISO9906:2012 3B |
| Pump type | CR 32 |
| Stages | 4 |
| Pump version | A |
| Model | B |

Sizing result

| | |
|----------|---------|
| Type | CR 32-4 |
| Quantity | 1 |
| Motor | 7.5 kW |

| | | |
|----------------------|------------|-----------------------------------|
| Flow | 30 | m ³ /h |
| Head | 57.02 | m |
| Min.inlet pressure | -0.58 | bar (60 °C, against atmosphere) |
| Power P1 | 6.883 | kW |
| Power P2 | 6.077 | kW |
| Eta pump | 75.3 | % |
| Eta motor | 88.3 | % |
| Eta pump+motor | 66.4 | % =Eta pump * Eta motor |
| Eta total | 66.4 | % =Eta relative to the duty point |
| Energy consumption | 18967 | kWh/Year |
| CO2 emission | 10800 | kg/Year |
| Price | On request | |
| Price + energy costs | On request | /15Years |
| Life cycle cost | 78936 | € /15Years |

Vedlegg F:

Uponor Wehotherm fjernvarmerøret Produktkatalog



| DN | d · s (mm) | D (mm) | H (mm) | L (mm) | Vikt (kg/m) | Vattenvolym (l/m.) | U-värde (W/m ² C) |
|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------------------|---------------------------------|
| 20 + 20 | 26,9 · 2,6 | 140 | 19 | 12 | 5,5 | 0,8 | 0,147 |
| 25 + 25 | 33,7 · 2,6 | 160 | 19 | 12 | 6,8 | 1,3 | 0,161 |
| 32 + 32 | 42,4 · 2,6 | 180 | 19 | 12 | 8,6 | 2,2 | 0,177 |
| 40 + 40 | 48,3 · 2,6 | 180 | 19 | 12 | 9,2 | 2,9 | 0,207 |
| 50 + 50 | 60,3 · 2,9 | 225 | 20 | 12 | 13,1 | 4,7 | 0,201 |
| 65 + 65 | 76,1 · 2,9 | 250 | 20 | 12 | 16,4 | 7,8 | 0,242 |
| 80 + 80 | 88,9 · 3,2 | 280 | 25 | 12 | 20,8 | 10,7 | 0,265 |
| 100 + 100 | 114,3 · 3,6 | 355 | 25 | 12, 16 | 30,9 | 18,0 | 0,278 |
| 125 + 125 | 139,7 · 3,6 | 450 | 30 | 12, 16 | 41,4 | 27,6 | 0,249 |
| 150 + 150 | 168,3 · 4,0 | 500 | 40 | 12, 16 | 52,9 | 40,4 | 0,295 |
| 200 + 200 | 219,1 · 4,5 | 630 | 45 | 12, 16 | 79,0 | 69,3 | 0,315 |
| 250 + 250 | 273,0 · 5,0 | 800 | 45 | 12, 16 | 116,0 | 108,7 | 0,298 |

Vedlegg G:

Pris på Thermia Mega XL varmepumpe

Hei Kristian, sender du litt underlag her ?

Listepris til instllatør/grossist

**Mega XL(21-88kW) Danfoss nr. 086L3020 Nrf. 8419903 NOK liste 184 200,-
kjølemedie avgift NOK 8 174,-**

Leveringstid 4 uker

Best Regards | Vennlig hilsen

Kent Bahr

Ordre- og logistikksjef, Varmepumper

Danfoss AS

Heat Pumps

Vollebekkveien 2B - 0598 Oslo

Postboks 134 - 1309 Rud

Tel.: [+47 67 17 72 84](tel:+4767177284) | Mobile: [+47 952 66 284](tel:+4795266284)

E-mail: kent.bahr@danfoss.com

www.varme.danfoss.no | www.thermia.no

Please consider the environment before printing this e-mail



NYHET! Thermia Mega
Inverter styrt varmepumpe for store bygg

