

**Oppdragsnavn:** Termisk energiforsyning  
**Oppdragsnummer:** 628777-01  
**Utarbeidet av:** Andreas Mørkved  
**Kvalitetssikring:** Ole Harald Neergård  
**Dato:** 26.09.2020  
**Tilgjengelighet:** Åpen

## NOTAT Termisk energiforsyning

---

<b>1. FORMÅL.....</b>	<b>2</b>
<b>2. GROVDIMENSJONERING AV TERMISK ENERGIKILDE .....</b>	<b>3</b>
2.1. Lokale grunnforhold.....	3
2.2. Termiske energibehov .....	6
2.2.1. Faktiske termiske energibehov mot teoretiske .....	7
2.2.2. Varmegjenvinning av dusjvann.....	8
2.3. Innledende dimensjonering av energikilde .....	9
<b>3. GROVDIMENSJONERING AV SYSTEMKOMPONENTER .....</b>	<b>12</b>
3.1. Varmepumpe .....	12
3.2. Elkjel.....	12
3.3. Kjølemaskin.....	12
3.4. Tørrkjølerbehov for lading av energibrønner .....	13

## 1. FORMÅL

Halden kommune skal rehabilitere Os barneskole samt bygge en idrettshall/arena og i den forbindelse ha behov for energikilde for å kunne forsyne termisk energi til den nye og rehabiliterte bygningsmassen.

Notatet tar for seg den mest hensiktsmessige termiske energikilden (ref. Ene04 dokument) og ser på innledende muligheter for utforming av termisk energisystem og utnyttelse av kilden. Det antas vannbårent varmeanlegg for distribusjon av varme og kjøling. Antagelsen bygger bl.a. på energiambisjonen fra Teknisk program som underbygger utnyttelse av en egen termisk energikilde.

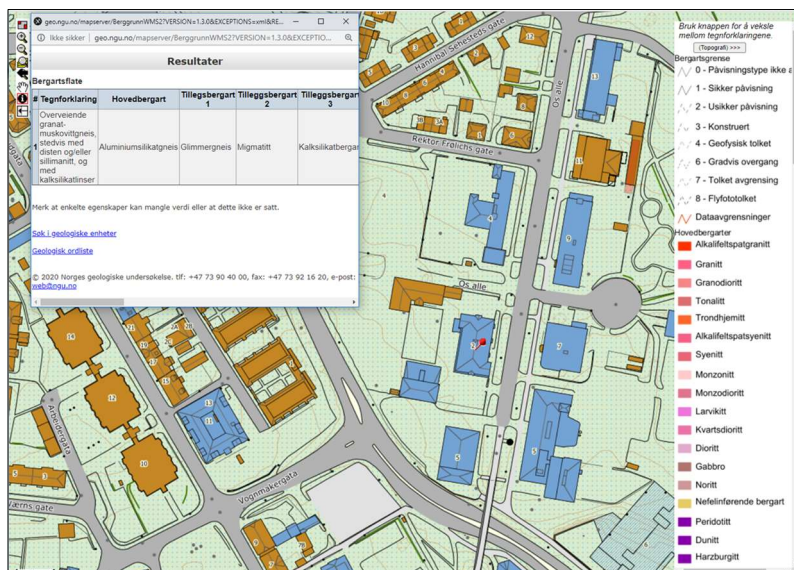
Det er gjort innledende bestemmelser av komponentstørrelser basert på innledende vurderinger (som f.eks. brønnpark, spisslast og varmepumpe/kjølemaskin kapasitet). Disse tallene er i primært tallfestet for å gi et underlag for prising i konkurranse. I detaljprosjekt er det nødvendig å gå revidere disse tallfestede kapasiteter, blant annet med hensyn til reelle energiberegninger samt vurderinger om korrigeringsfaktorer skal vurderes med henblikk på erfaringer gjort mellom teori og praksis på faktiske energibehov.

Kjølebehov må vurderes mer inngående i detaljprosjekt, i skisseprosjekt er kun kjølebehovet medtatt som en del av vurderingen mot antall energibrønner. For å kompensere for snøsmeltebehovet er det lagt opp til at tørrkjøler lader brønner for å kompensere for manglende brønnmeter. I detaljprosjekt bør mulighet for å utnytte etablert rør i snøsmelting til lading av brønner på sommerstid, i prinsipp en bakkesolfanger. Dette kan potensielt fjerne behovet for tørrkjøler.

## 2. GROVDIMESJONERING AV TERMISK ENERGIKILDE

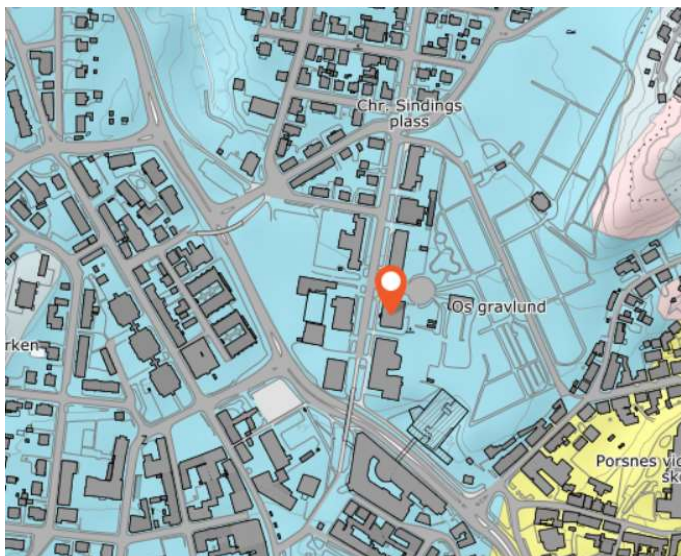
### 2.1. Lokale grunnforhold

Forholdene for utnyttelse av varmeutveksling med de lokale bergartene virker å være gunstig for lokasjonen ved Halden. NGU sin kartdatabase indikerer at bergarten i området er av type gneis, noe som generelt gir relativt høye verdier på varmeledningsevne, noe som er gunstig for utnyttning av grunnvarme.

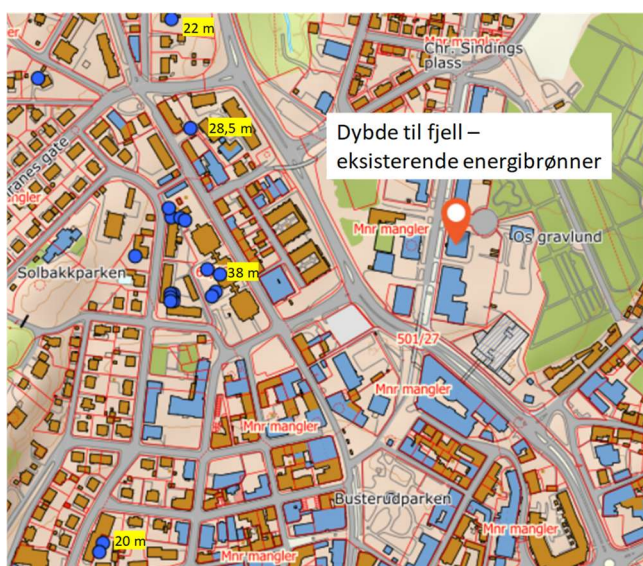


Figur 2.1 - NGU kart som viser type bergart som befinner seg i aktuelle området (Halden). I dette tilfellet type gneis (aluminiumsilikatgneis), som generelt har god varmeledningsevne; 3 – 4 [W/mK].

Et annet forhold som er av viktighet mht. utnyttelse av grunnvarme, er dybde ned til fjell. Dette er viktig både med tanke på at berget gjerne har bedre evne til å utveksle varme enn løsmasser, men også det økonomiske aspektet at en energibrønn må forankres til fast fjell. Med høy løsmassemekktighet må kostbare foringsrør anvendes ned til fjellet, noe som øker installasjonskostnaden betraktelig til en energibrønn. Som Figur 2.2 og Figur 2.3 indikerer, så ligger Os alle i et område med høy løsmassemekktighet, og eksisterende brønnerapporter indikerer en mektighet på mellom 20 – 40 meter, noe som er betydelig.



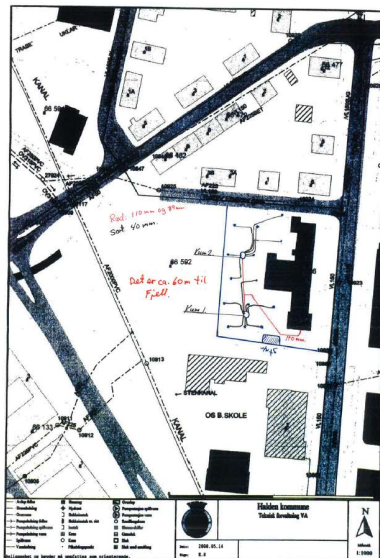
Figur 2.2 - NGU kart over løsmassemektighet. De lokale forholdene viser at Os alle ligger i et område med tykk havavsetning.



Figur 2.3 - NGU kart som viser eksisterende energibrønner. Her også indikert med dybde til fjell (fra brønnsrapporter).

### Eksisterende energibrønner ved nabobygg

Ved Familiens Hus på tilstøtende tomt til Os prosjektet ligger et eksisterende varmeanlegg basert på energibrønner og varmepumpe. Brønnparken ble etablert et sted mellom 2000-2003, og basert fra erfaringer fra F.Jørgensen VVS firma som hadde regi på denne jobben så var dybde ned til fjell om lag 60 meter.



I 2016 ble det utført testbrønner, av Grunnteknikk AS, rundt på den aktuelle tomten for å sondere grunnen. Det ble utført om lag 12 boring ned mot 17 – 30 meter. Generelt ble boringen avsluttet uten fjellkontroll, altså ikke sikkert at boringen nådde fjell. Den søndre del av tomten viste tendens av fastere masser. Grunnvannsnivået ble funnet å være på ca. 2 meter under overflaten, noe som er gunstig mht. energibrønner.

I rapport utarbeidet av Grunnteknikk indikeres det at det potensielt kan være kvikkleire i løsmassene. Kvikkleire er noe som spesielt må hensyntas ved etablering av energibrønner, da dette kan forårsake setningsskader i grunnen og følgelig skade på nærliggende bygningsmasse – dersom en ikke tar forhåndsregler.

Enkelt beskrevet går det på at det blir ekstra viktig å ikke kjøre brønnparken for hardt (kaldt). En må overvåke temperaturen i brønnvæsken, og blir den for lav må uttaket fra brønnpark begrenses inntil temperaturen har steget tilbake til akseptabelt nivå.

## 2.2. Termiske energibehov

Det er gjort en innledende vurdering av hvilke varme- og kjølebehov som den aktuelle bygningsmassen vil kreve. Dette er delt inn i oppvarming, tappevann og kjøling. Antatte endringer i energibehovet, som følge av grove utregninger, vil påvirke behovet for energibrønner som antydnet i avsnitt 2.3. Gjennom skisseprosjektet er det gjennomført energiberegninger i Simien, primært for kontroll mot TEK-krav. Reelle energiberegninger er ikke gjennomført, og må utføres i detaljprosjekt.

Tabell 2.1 - Areal og energiambisjon for bygningsmassen

Bygg	Energiambisjon	Antatt areal (BRA m <sup>2</sup> )
Skole gammel	TEK10	3 485
Skole ny	Passivhus	1 745
Basishall/Arena	Passivhus	9 256

Tabell 2.2 – Antatt spesifikt, netto energibehov for bygningsmassen. (Merk kommentar under vedrørende ny standard for energiberegning, SN-NSPEK3031:2020 med potensielt betydelig reduksjon av tappevannsbehov).

Bygg	Oppvarmingsbehov	Tappevannsbehov	Kjølebehov
	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Skole gammel	54	10	0
Skole ny	20	10	5
Basishall/Arena	20	50	6

Tabell 2.3 - Netto energibehov for bygningsmassen.

Bygg	Oppvarmingsbehov	Tappevannsbehov	Kjølebehov
	[MWh/år]	[MWh/år]	[MWh/år]
Skole gammel	188	35	0
Skole ny	35	17	8
Basishall/Arena	185	462	55
<b>SUM (MWh/år)</b>	<b>≈ 408</b>	<b>≈ 515</b>	<b>≈ 63</b>

Merk at tabell Tabell 2.3 angir *netto energibehov*. Ved dimensjonering vil en måtte også hensynta varmetap energiforsyningen vil ha og dermed ta utgangspunkt i *brutto energibehov*. Distribusjon- og romvirkningsgraden for romoppvarming og kjøling er antatt samlet å være like på 88%.

Det er også medtatt et antatt behov for snøsmelting for et areal på 1 000 m<sup>2</sup>. Antatt spesifikke, brutto snøsmeltebehov er antatt å være 150 kWh/m<sup>2</sup>. Totalt, brutto snøsmeltebehov er dermed antatt å være 150 MWh/år. I detaljprosjekt bør mulighet for å utnytte etablert rør for snøsmelting til lading av brønner på sommerstid. Dette kan potensielt fjerne behovet for tørrkjøler.

I forhold til teoretiske og faktiske energibehov, med henblikk på dimensjonering av termisk energikilde, bør spesielt behov for tappevann vurderes (da dette ofte viser seg lavere enn anslått). I behovene indikert i Tabell 2.3 vil tappevann utgjøre en betydelig andel av oppvarmingsbehovet. Det har i flere tilfeller vist seg at også reelle varme- og kjølebehov har blitt større enn prosjekterte verdier. Dette må tas stilling til i detaljprosjekt, om dette aspektet skal påvirke dimensjoneringen av spesielt energikilden.

Det er utgitt en ny standard i 2020 for beregning av bygningers energibehov (SN-NSPEK 3031:2020). Her er blant annet tappevannsbehovet for idrettshall redusert med 80% og med 50% for skolebygg, i forhold til eldre standard NS 3031:2014. Likevel er det, iht. DiBK, NS 3031:2014 som fremdeles skal legges til grunn for beregning av energibehov mot TEK17<sup>1</sup>. I detaljprosjekt bør det undersøkes nærmere om det vil være aktuelt og heller legge til grunn den nye standarden for energibehov beregninger.

### 2.2.1. Faktiske termiske energibehov mot teoretiske

Graden av forskjell mellom beregnede energibehov og reelt energibehov vil avhenge av mange parametere, noen som i forkant ikke kan estimeres. Likevel er det gjort enkelte undersøkelser som gir anbefalinger og råd på hva som kan påvirke denne forskjellen. Grønn Byggallianse<sup>2</sup> har lagt ut et eget tipshefte som belyser dette temaet.

I en masteroppgave<sup>3</sup> ble målt og beregnet energiforbruk sammenlignet. Feil drift av teknisk anlegg, og brukeratferd som ikke er energieffektiv nevnes som aspektene som forårsaker de største avvikene mellom reelt energiforbruk og beregnet energibehov.

I masteroppgaven ble to energieffektive skoler analysert. De viktigste funnene var:

- Termisk energibehov til romoppvarming og -kjøling viste seg generelt å være høyere enn beregnet.
- Behov for varmt tappevann var for én av skolene betydelig lavere enn beregnet.
- Målt el-behov til teknisk utstyr viste seg å være vesentlig høyere i realiteten enn fra beregningene.
- Forskjellene mellom reelt forbruksmønster, og antatt forbruksmønster, viste seg å være betydelige for byggene.

Fra en utredning<sup>4</sup> med tilsvarende tematikk, men konkret mot lavenergi- og passivhusbygg, ble følgende bakgrunn for avvik mellom reell og beregnet energibruk funnet:

- Feil i bygningskropp
- Feil i tekniske anlegg
- Høyere innetemperatur enn forutsatt
- Feil design av bygg
- Feil bruk av bygg

<sup>1</sup> <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/dette-er-energikravene-i-byggteknisk-forskrift/ny-spesifikasjon-om-beregning-av-energiebehov-og-energiforsyning/>

<sup>2</sup> <https://byggalliansen.no/aktuelt/publikasjoner/avvik-mellom-beregnet-og-reell-energiebruk/>

<sup>3</sup> «Sammenligning av beregnet og målt energibruk i energieffektive skolebygninger», MSc. Thesis, Britt Hvinden, NTNU, 2016

<sup>4</sup> «Energiebruk i lavenergi- og passivhusbygg», utredning, Benedicte Langseth, Xrgia 2011.

Utredningen viser at det er til dels stor variasjon i avvikene mellom målt og beregnet energibruk, men for enkelte yrkesbygg lå f.eks. avvik i spesifikt oppvarmingsbehov opp mot +40–60 kWh/m<sup>2</sup>. For boliger var avviket noe lavere, opp mot +20 kWh/m<sup>2</sup>.

Som begge nevnte referanser formidler, er det store forskjeller mellom de ulike bygg som er analysert, og derfor kan det ikke trekkes noen endelig konklusjon som med sikkerhet vil gjelde for Os prosjektet. Men det kan sannsynliggjøres at; energibehovet til romoppvarming vil være høyere enn hva spesifikt energibehov tilsier, og at tappevannsbehovet kan vise seg å være lavere enn antatt.

Dimensjonering av den termiske energikilden, i denne fasen av prosjektet er basert på teoretiske normtall, som representert i avsnitt 2.2. En grundigere vurderinger av endelig dimensjoneringsunderlag, energi og effektbudsjett, må gjøres under detaljprosjekt.

### 2.2.2. Varmegjenvinning av dusjvann

Som en mulighet for redusere oppvarmingsbehovet for varmt tappevann; vil en enkel og passiv form for gråvannsgjenvinning kunne vurderes.

En slik form for gjenvinning vil i prinsippet være å varmeveksle gråvannet (varmtvannet i sluk) med kaldtvannet til blandebatteriene i dusjene. Dermed trenger en mindre mengde varmtvann til blandebatteri for å oppnå ønsket dusjtemperatur.



Figur 2.4 - Eksempel på indirekte gråvannsgjenvinner i form av en «avløpskassett» for dusjvannsløp. Kaldtvann sirkulerer i kobberrør som vist i figurene, og varmes opp av gråvann som renner gjennom kassetten (produkt illustrert: HXDrain).

Det finnes gjenvinningsløsninger av gråvann som direkte benytter gråvannet, ved f.eks. bruk av en egen gråvannsvarmepumpe. Dette vurderes ikke for Os prosjektet da mengden gråvann og tappevannsbehov er for små til at dette vil være lønnsomt.

Den skisserte løsningen med indirekte kaldvannsoppvarming vil også avhenge av antatt antall dusjer pr sesong og antall dusjer. En vurdering av omfanget av en slik «avløpskassett» må gjøres med en klarere oppfatning av tappevannsbehov – og antatt personbelastning.

En besparelse på ca. 15% av tappevannsbehovet er antatt for installasjon av slike avløpskassetter i slukene.



### 2.3. Innledende dimensjonering av energikilde

Det er gjort en innledende grovdimensjonering basert på avdekkede lokale grunn forhold mht. type bergart, løsmasse og grunnvannsnivå.

Energibrønner antas å forsyne store deler av varmebehovet via varmepumpe (VP), med følgende foreløpige forutsetninger:

- Andel av oppvarmingsbehov dekket av VP: 80%
- Andel av tappevannsbehov dekket av VP: 50%
- Andel av snøsmeltebehov<sup>5</sup> dekket av VP: 70%

Bakgrunnen for forutsetningene er i første omgang å gjøre en mer tradisjonell vurdering av energidekningen fra VP, og følgelig energiuttak fra energibrønner. Med ugunstige forhold som stor løsmassemektighet og mulig kvikkleire vil være en begrensende faktor på prosentandel dekket av VP. 80% som dekningsgrad fra VP/energibrønner er for øvrig noe som Undervisningsbygg benytter som standard for sin bygningsmasse. For å oppfylle minstekrav i TEK17<sup>6</sup> om at minimum 60% av netto varmebehov skal dekket av energifleksibel løsning, settes 50% av tappevannet og dekket via varmepumpe.

70% av antatt snøsmeltebehov antas å dekket via varmepumpe/energibrønn/tørrkjøler system. Dette er erfaringsmessig størrelsen av nødvendig varmebehov for å dekke vedlikeholdsvarme i et snøsmelteanlegg, altså ikke effektkrevende smelting av snø.

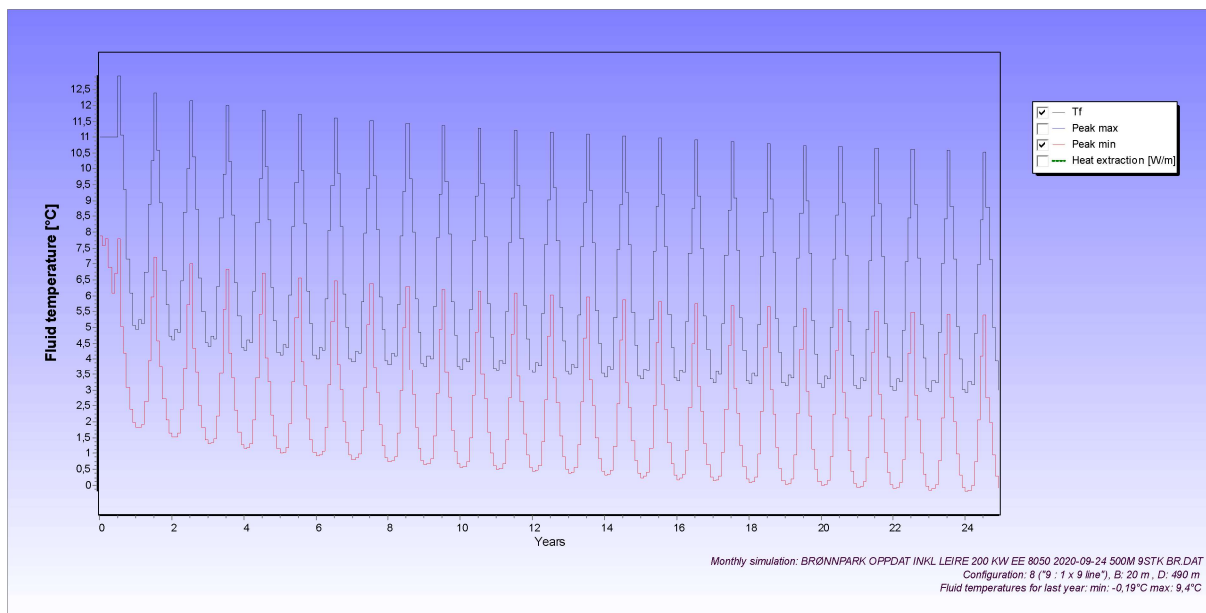
Det er lagt til grunn å benytte energibrønner med total dybde på 500 meter. Dette er benyttet for som følge av begrensede områder for praktisk etablering av brønnpark på tomten. En simulering i dimensjoneringsprogrammet EED er gjennomført for å få en pekepinn på behov for antall brønner.

**Som underlag for prising legges det 9 stk energibrønner med dybde på 500 m.**

---

<sup>5</sup> Snøsmeltebehov dekket via aktiv lading av brønner via tørrkjølere under sommerhalvåret. Dette varmebehovet antas dermed ikke å øke behov for effektive brønnmeter.

<sup>6</sup> <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-4/>

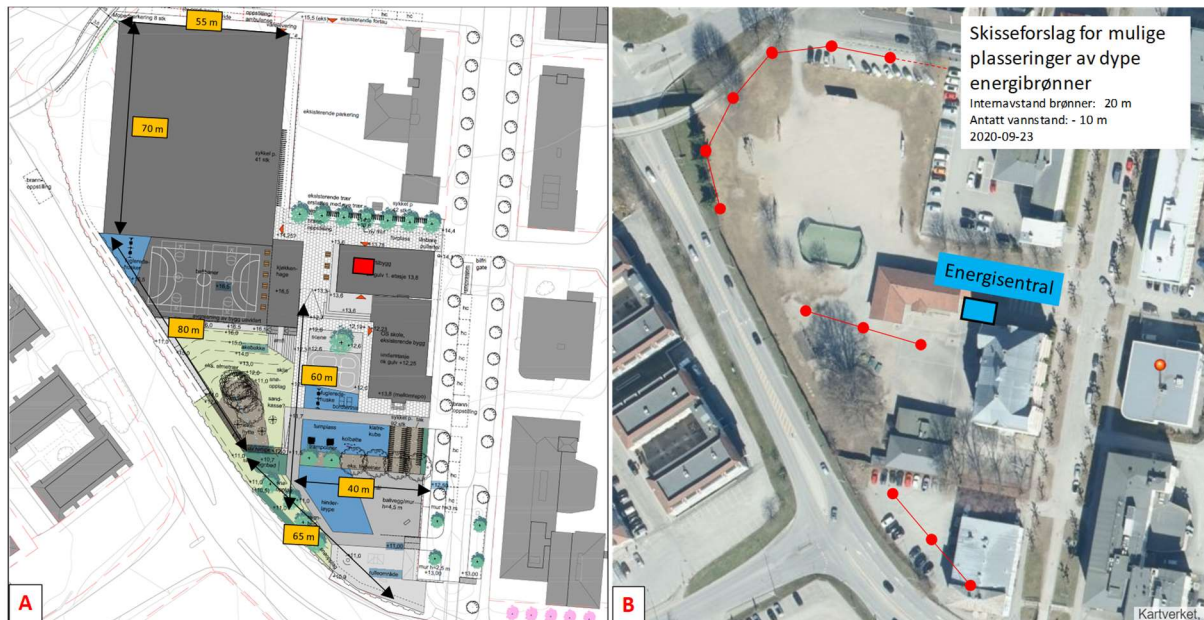


Figur 2.5 - EED simulering tilsvarende 9 stk brønner a 500 m (60 m løsmasse, 10 m til vannspeil). Dekning av 80% av estimert varmebehov og 50% av tappevannsbehov. Brønnparken er simulering med en formasjon av brønner på linje med 20 meter intern avstand. Antatt effektiv brønnmeter er antatt på 490 pr brønn.

Resultatet fra EED simuleringen Figur 2.5 viser at med et slikt uttak av varme (år etter år) vil temperaturnivået i grunnen stabilisere seg på et nivå som vil være akseptabelt mht. kvikkleire problematikk. Med aktiv regulering av varmepumpe under vinterdrift, med avlastning av f.eks. elkjel, så vil en kunne redusere frostdannelse i brønner, og potensielt redusere antall brønner/brønnmeter. Dette kan vurderes når energi og effektbehov er mer bearbeidet. Effektbelastningen som vises i figuren er i grenseland hva som er forsvarlig med kvikkleire i grunnen.

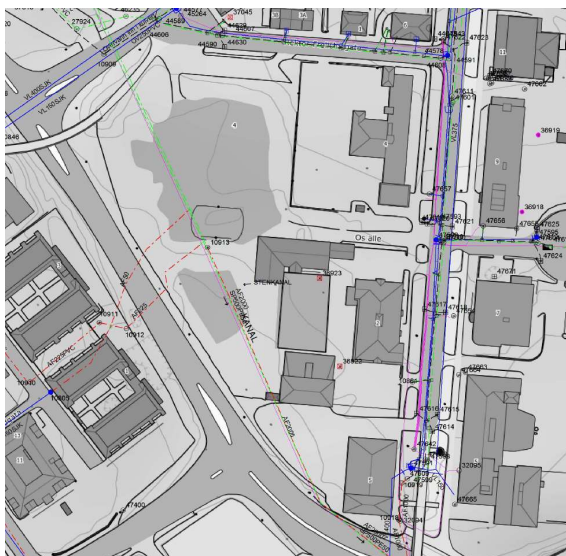
## Plassering av brønnpark på tomt

Det er gjort en innledende vurdering på plassering av energibrønner, som Figur 2.6 illustrerer. Det er benyttet en brønnavstand på 20 meter med bakgrunn i at energibrønnene i all hovedsak skal hente ut varme.



Figur 2.6 – A) Situasjonsplan over planlagt bygningsmasse B) Skisseforslag for mulig plasseringer av energibrønner med internavstand på 20 m.

Mer inngående vurderinger må gjøres med hensyn på tilstøtende infrastruktur i bakken, og hvordan indikert brønnpark vil kunne komme i potensiell konflikt. Sør-østre hjørnet av indikert brønnpark vil iht. eksisterende VA infrastruktur (Figur 2.7) kunne kreve koordinering om mulig begrense brønnantall. Avklaringer rundt rørtrase for bekk i rør/kulvert langs sørvestre siden av tomt samt elektriske kabler på tomten vil også kunne påvirke muligheter for etablering av energibrønner.



Figur 2.7 - Eksisterende VA infrastruktur i bakken.

### 3. GROVDIMENSJONERING AV SYSTEMKOMPONENTER

Det legges opp til en varmforsyning med varmepumpe og elkjel i serie. Varmepumpen vil yte som grunnlast og elkjel som spisslast. Varmepumpeinstallasjonen som legges til grunn er to identiske og alternerende varmepumper (redundans). Varmeforsyningen (varmepumpe og elkjel) styres etter utekompensert fyringskurve.

#### 3.1. Varmepumpe

Varmepumpene skal prosjekteres etter NS-EN 378 1- 4, Norsk Kuldenorm, og gjeldende lover og regler.

Basert på innledende vurdering av energi- og effektbehov anslås en varmepumpekapasitet på **200 kW $\pm$ 10%** som hensiktsmessig.

Dette er varmeeffekt målt fra kondensator side ved følgende betingelser:

- Utgående vanntemperatur på 50 °C
- Utgående brønnvæsketemperatur på 0°C

Ved denne driftstilstanden skal varmepumpeanlegget ha en COP på minimum 3,0.

Varmepumpeanlegget kommer til å arbeide med svært varierende ytelse, og det er viktig at det velges løsninger som gir lavt energiforbruk til kompressor- og pumpedrift - også på betydelig nedregulert ytelse (mellom 15%-21% av fullast). I tilfelle skruekompressorer godtas kun regulering vha. frekvensomformer, dvs. elektrisk turtallsregulering. Det skal benyttes kuldemedium med GWP < 10.

Det er opp til entreprenør å velge hvor mange kompressorer den samlede totale varmeytelse (200 kW) fordeles på. Varmepumpeanlegget skal kunne levere en temperatur, ut av kondensator, på minimum 55°C ut på oppvarmingssystemet.

Gjennom detaljprosjekt bør det foretas en vurdering på antatt størrelse av varmt tappevannsbehov, se siste del av avsnitt 2.2. Dette er som antydning en usikkerhet i dette notatet usikkert. Med en høy sannsynlighet for et betydelig tappevannsbehov, bør det vurderes å ha en dedikert varmepumpe til oppvarming og en dedikert varmepumpe til tappevannsberedning, alternativt skjalting mellom oppvarming og høytemperatur tappevannsberedning.

#### 3.2. Elkjel

Basert på innledende vurdering av energi- og effektbehov anslås en spisslastkilde av type elkjel på ca. **450 kW**. Elkjelen skal ikke ha større sprang i effekt enn 15-20 kW pr trinn.

#### 3.3. Kjølemaskin

Med skissert varmepumpeløsningen vil en kunne forsyne komfortkjøling ved å skifte reguleringen fra varm (kondensator) til kald (fordamper) side. Grovt sett vil en da kunne gjøre tilgjengelig en kjøleeffekt på anslagsvis 180-190 kW. I tillegg vil frikjøling kunne benyttes fra energibrønnene, noe som gjerne utnyttes i starten av kjølesesongen. Restvarme som ikke benyttes til varmtvann eller annet behov skal benyttes til å lade brønnparken. Det må i detaljprosjekt spesielt undersøkes hvor stort det samtidige kjøleeffektbehovet vil være, og om dette vil påvirke størrelsen på aggregatene.

### 3.4. Tørrkjølerbehov for lading av energibrønner

Det legges til grunn at tørrkjøler lader brønner sommerstid, for å kompensere for manglende brønner. Det tas utgangspunkt i at tørrkjøler driftes gjennom «sommerhalvåret» på 5 måneder:

Brutto varmebehov som må tilføres brønnene vil være:

Nødvendig varme fra VP/brønner til snøsmelt:  $105\,000\text{ kWh} * (3/4) \approx 80\,000\text{ kWh}$

Antatt tap brønner ved dumping: 50%

Nødvendig mengde varme for dumping:  $80\,000\text{ kWh}/50\% \approx 160\,000\text{ kWh/år}$

Nødvendig størrelse på tørrkjøler ved 5 mnd kontinuerlig drift:

$160\,000\text{ kWh}/(5\text{ mnd} * 12\text{ t/døgn} * 30\text{ døgn/mnd}) \approx 90\text{ kW}$  snitteffekt

Et estimat for nødvendig effekt fra tørrkjølerkapasitet på 90-100 kW antas være i størrelsesorden for hva som vil være nødvendig for lading av brønner for å veie opp før antatt snøsmeltebehov. Men for dimensjonering av tørrkjøleren, tas det utgangspunkt i at denne skal kunne ha mulighet til å kvitte seg kondensatorvarme fra kjølemaskin, dvs. en tørrkjøler i størrelsesorden **200 kW**. Tørrkjøleren må ha mulighet å gå med god virkningsgrad på 20-30% av maks kapasitet.

I detaljprosjekt må det vurderes hvordan en samtidig kombinasjon av lading av brønner med tørrkjøler (uteluft) og dumping fra varmepumpe kan tilrettelegges. F.eks. kan det vurderes om brønnparken skal deles inn slik at samtidig dumping er mulig.