



BACHELOROPPGAVE

En empirisk studie av barrierer og suksesskriterier for geotermisk energi i Norge.

An empirical study of the barriers and success criteria for geothermal energy in Norway.

**Audun Undheim, Joachim Elg Barlinn og
Torbjørn Bygdnes Nilsen**

FE403 Bacheloroppgåve i fornybar energi

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap/Institutt for miljø- og naturvitenskap/ Fornybar energi

Veileder: Professor Erling Holden

03/06/2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Forord

Med denne bacheloroppgaven avslutter vi studiet *Fornybar Energi* ved Høgskulen på Vestlandet. Det er ingen liten oppgave å produsere en bachelor, som så mange før oss har opplevd, og prosessen har til tider krevd mye av oss. Selv om det har vært krevende har oppgaven gitt oss mye innsikt i emnet og har vært meget lærerik.

Det ville ikke vært mulig å ferdigstille denne oppgaven uten hjelp, og det skal rettes en stor takk til alle som sa seg villige til å delta på intervju, Carsten F. Sørli, Einar Østhassel, Kirsti Midttømme, Thor Erik Musæus og «Anna», som ønsket å forbli anonym. Gjennom disse intervjuene lærte vi utrolig mye, og fikk et unikt innblikk i en industri som vi tidligere visste lite om.

Takk til alle som har hjulpet oss med oppgaven på andre måter, August Hubert Wierling, Bente Johnsen Rygg, Geoffrey Sean Gilpin, Oluf Langhelle og Thomas Holter, som gjennom tips til korrekt gjennomføring av intervju og tematisk analyse, bidro med kunnskap innenfor ulike emner og ved korrekturlesing, hjalp denne oppgaven.

En spesiell takk skal rettes til vår veileder, Erling Holden, som tipset oss om CGER sin konferanse, hvor vi kom i kontakt med deltakerne i intervjuene og gjennom sin gode veiledning ga uvurderlige råd og anbefalinger som sørget for at oppgaven ble styrt i riktig retning.

Sammendrag

Geotermisk energi har et enormt potensial for energiutvinning, men er en relativt liten del av det norske energibildet i dag. Med den 25. klimakonvensjonen og dagens energiomstilling mot et lavutslippssamfunn i tankene, var hensikten med denne oppgaven å belyse de ulike barrierene og suksesskriterier som fremkommer i den geotermiske bransjen i dag. Dette blir utforsket gjennom oppgavens to problemstillinger:

Hvilke barrierer forekommer i dag som direkte hindrer for vekst av geotermisk energi i Norge?

Hvilke suksesskriterier foreligger det som vil kunne føre til videre vekst i den norske bransjen?

Metoden vi brukte til å svare på problemstillingene var gjennom fem intervjuer med nøkkelpersoner fra det norske geotermiske miljøet, får å så analysere intervjuene gjennom en tematisk analyse, utdrag fra denne analysen blir presentert i resultatkapittelet. Disse resultatene ble satt opp mot eksisterende litteratur på de ulike temaene som ble funnet i analysen og sammen dannet dette grunnlaget for diskusjonen.

Før oppgaven søker å svare på problemstillingene starter den med en innføring i geotermisk energi, hvordan den blir dannet og de ulike produksjonsteknikkene som finnes for uthenting av denne resursen. Dette er for at leseren skal få en enkel forståelse av selve resursen og de viktigste momentene rundt den, oppgaven går så inn på en studie av allerede etablert forskning hvor oppgaven søker et mer omfattende syn på dagens geotermiske industri og utfordringene som foreligger. Her blir særlig momenter som kom frem gjennom analysen lagt vekt på, da denne sammen med resultatet danner grunnlaget for diskusjonen.

Av barrierene som kom frem ble det funnet at geotermisk energi må konkurrere mot veldig store og etablerte energikilder. Konkurransemessig kommer geotermisk energi frem som ukjent blant befolkningen når den blir satt opp mot andre energikilder, prisene på elektrisitet er lave, mens investeringskostnad og risiko for etablering av geotermiske anlegg er for høy i dag. Det kommer samtidig frem at de geologiske forholdene ikke er gunstige for etablering i Norge, noe som skyldes den harde berggrunnen og relativt kjølige temperaturgradienten. Det mangler klart definerte retningslinjer og lovverk, noe som fører til utfordringer rundt etablering.

Blant suksesskriteriene ble det funnet at det offentlige burde fortsette å fokusere på å fremme teknologier som kan bidra til energiomstillingen, blant annet gjennom å gi økonomisk støtte som forbedrer konkurransevnen til geotermisk energi. Bransjen i seg selv har stort potensial for forbedring, som for eksempel ved kontinuerlig forbedring av arbeidsprosesser, overføring av kunnskap fra petroleumsnæringen, og ny teknologi som kan utbedre energibrønnenes potensial og levetid. En av teknologiene som kom fram som interessant for Norge var hybridløsninger. Disse kriteriene er viktig for den geotermiske bransjen å fokusere på, for å sikre videre vekst i Norge.

Denne oppgaven søker heller å opplyse om, enn å løse, utfordringene bransjen står ovenfor. Det håpes at oppgaven gjennom å påpeke barrierer og suksesskriteriene vil inspirere til videre arbeid for finne løsninger på disse problemstillingene.

Abstract

The potential for energy extraction inhibited in geothermal resources is enormous, yet it only makes up a small percentage of the Norwegian energy supply. With the 25th Climate Convention and today's transition towards a low-emission society in mind, this paper hopes to shed light on different aspects of the geothermal sector in Norway. Our research questions are:

Which current barriers occur that directly impede the growth of the geothermal industry in Norway?

Which success criteria must be met to lead to further growth of the Norwegian geothermal industry?

Five different in-depth interviews with key figures in the geothermal industry formed the basis of this study. By employing thematic analysis, this paper arrived at several themes which are presented in our results, and then examined against the already established literature. These sections together created the grounds for the discussion. Through the discussion several areas of the geothermal industry were highlighted on which improvements were needed.

Before the paper attempts to seek an answer to its research question, an introduction to geothermal energy and an overview of the available production techniques for extraction are presented. It was also necessary to conduct a study of the already established literature, where more advanced themes that surfaced during the analysis were addressed.

Among the barriers which emerged, it was highlighted how the industry currently must compete against already well-established energy sources. Issues also included how the lack of legislation and available guidelines lead to difficulties in establishing geothermal wells, how the cost and risk associated with investment into geothermal energy were too high, and the prices of electricity were too low. Other factors among the barriers included the geological conditions and cool temperature gradient which are present for the Norwegian bedrock, and how geothermal energy seems mostly unknown by the general public.

Among the success criteria, a continuous support from the state, through economic incentives for emerging technologies, will be paramount to establish a successful competitive geothermal industry.

One of the technologies which this paper thinks will play a role in the industries future is that of hybrid renewable solutions. The industry itself has great potential for improvement, such as by continuously improving work processes, through transferring knowledge from the petroleum industry, and new technology that can improve the geothermal wells' potential and lifetime

This paper seeks to inform about, rather than solve, the challenges which lies ahead for the geothermal industry. Through an assessment of the barriers and success criteria it is hoped to enlighten decision makers and inspire further research into this field.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	5
Innholdsfortegnelse	7
Figurliste.....	10
Tabelliste	10
1. Innledning.....	11
1.1. Bakgrunn	11
1.2. Avgrensninger av oppgaven.....	13
2. Innføring i geotermisk energi.....	15
2.1. Energiens opphav	15
2.1.1. Jordens indre	15
2.1.2. Norges geologi	16
2.2. Produksjonsteknologier og ressurser.....	17
2.2.1. Grunne geotermiske systemer (GGS).....	18
2.2.2. Naturlige hydrotermiske systemer (NHS).....	18
2.2.3. Konstruerte geotermiske systemer (KGS).....	20
2.2.4. Superkritisk fluid.....	22
2.2.5. Hybridløsninger.....	23
2.2.6. Mineralutvinning: Brine to Mine	24
2.2.7. UTES (Underground Thermal Energy Storage).....	24
2.2.8. Kraftverk	25
2.3. Status og potensial i Norge.....	26
2.3.1. Status	26
2.3.2. Potensial	27
3. Litteraturstudie	29
3.1. Folkeopplysning	29

3.2. Økonomi.....	29
3.2.1. Strømpris	30
3.2.2. Kostnad.....	32
3.2.3. Investeringsrisiko	32
3.3. Dagens lovverk for geotermisk energi	33
3.4. Geologiske utfordringer	34
3.5. Offentlig initiativ	34
3.5.1. Utdanning og kompetansekrav	35
3.5.2. Støtteordninger	35
3.6. Bransjebehov	36
3.6.1. Robuste brønner	36
3.6.2. Geologisk kartlegging	36
3.6.3. Effektivisering.....	37
3.6.4. Tydeliggjøre begreper	37
4. Metode.....	38
4.1. Tematisk analyse	38
4.2. Fremgangsmåte	38
4.3. Analysen.....	41
5. Resultat.....	43
5.1. Barrierer	43
5.1.1. Folkeopplysning	43
5.1.2. Manglende lovverk.....	45
5.1.3. Økonomiske utfordringer	46
5.1.4. Geologiske forhold	47
5.2. Suksesskriterier	49
5.2.1. Offentlige initiativ	49
5.2.2. Bransjebehov	51

5.2.3. Teknologitviking	53
5.3. Sammen drag av resultat	56
5.3.1. Barrierer	56
5.3.2. Suksesskriterier	56
6. Diskusjon.....	57
6.1. Barrierer	57
6.1.1. Folkeopp lysning	57
6.1.2. Manglende lovverk.....	57
6.1.3. Økonomiske utfordringer	58
6.1.4. Geologiske forhold	59
6.2. Suksesskriterier	60
6.2.1. Offentlig initiativ.....	60
6.2.2. Bransjebehov	61
6.2.3. Teknologitviking	63
6.3. Avsluttende betraktninger	64
7. Konklusjon	65
7.1. Forslag til videre arbeid.....	67
8. Referanser.....	68
Vedlegg 1	74
Vedlegg 2	75
Vedlegg 3	76

Figurliste

Figur 1 Prosentvis fordeling av den globale energiproduksjonen (REN21, 2018).....	12
Figur 2 Jordens oppbygning (Torsvik & Trønnes, 2011, s. 261).	16
Figur 3 Et EGS-anlegg med injeksjons- og produksjonsbrønn (Tester et al., 2006, s. 25).....	20
Figur 4 Fasediagram (Passarella, 2015, s. 6).....	22
Figur 5 Mulige applikasjoner av hybride løsninger (Guo, Liu, Sun & Jin, 2018, s. 1122).	23
Figur 6 A) Tørrdamp B) Binær C) Single flash D) Dobbelflash (Boyle, 2004, s. 429).	25
Figur 7 Varmestrømdata fra 70-tallet (venstre) og 2000-tallet (høyre) (Pascal et al., 2010, s. 1–2).....	27
Figur 8 Pris på elektrisk kraft i Norge (SSB, 2019b).....	31
Figur 9 Kjøpekraftsparitet (eurostat, 2019).....	31
Figur 10 Risiko for etablering av geotermiske systemer (Gehring & Loksha, 2012, s. 69).	33
Figur 11 Tematisk oversikt av barrierer.....	43
Figur 12 Tematisk oversikt over suksesskriterier	49

Tabelliste

Tabell 1 Oppgavens oppbygging	14
Tabell 2 Støtteordninger.....	36
Tabell 3 Intervjuobjekter.....	39
Tabell 4 Seks steg for gjennomføring av tematisk analyse (Maguire & Delahunt, 2017, s. 4)	40
Tabell 5 Definisjoner av begreper fra analysen.....	42

1. Innledning

Geotermisk energi har et stort potensial til å erstatte fossil energi og bidra til å løse klimaproblemet, men er likevel lite brukt i Norge. Denne oppgaven skal undersøke hvorfor dette er tilfellet og hva som må til for å bringe en større vekst til den geotermiske bransjen. Våre problemstillinger er som følger:

Hvilke barrierer forekommer i dag som direkte hindrer for vekst av geotermisk energi i Norge?

Hvilke suksesskriterier foreligger det som vil kunne føre til videre vekst i den norske bransjen?

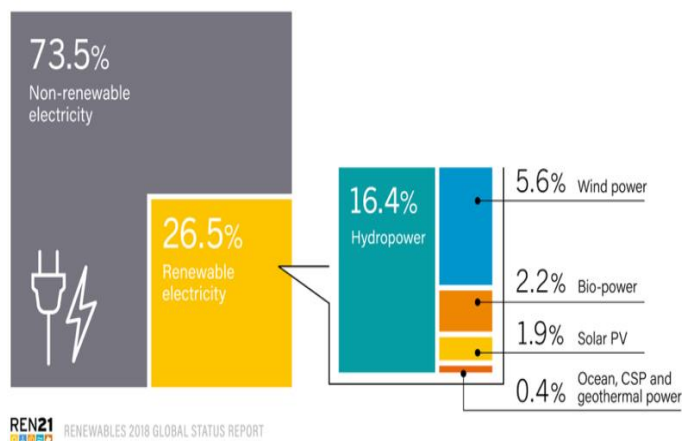
Disse spørsmålene skal vi besvare gjennom en rekke intervjuer med nøkkelpersoner, benytte en tematisk analyse og sammenligne dette med den allerede etablerte forskningen på de ulike temaene.

1.1. Bakgrunn

Det er ingen tvil om at det foregår en energiomstilling i retning av det bærekraftige i dagens samfunn. Fra 1993 til 2017 økte nettoforbruket av elektrisk kraft i Norge med 23 TWh (SSB, 2014a), og derfor blir en samlet bevissthet rundt valgene våre stadig viktigere.

I FNs bærekraftsmål er det syvende målet «Ren energi for alle», og en måte dette målet blir definert på, er: «Tilgang til energi står i sentrum av så nær som alle utfordringer og muligheter vi møter i dag», noe som innebærer at dette er ett av målene som kan få utslag ikke bare gjennom seg selv, men også via de andre 16 målene FN har satt til 2030 (FN-sambandet, 2019). Disse målene sammen med den 25. klimakonvensjonen utgjør ikke bare en ambisiøs fremtid, men også en viktig omstilling av energiforbruket vårt, nasjonalt og globalt. En slik omstilling vil kunne åpne muligheter i markedet for fornybare kilder, ved at vi må øke kraftproduksjonen og samtidig redusere utslippene våre. Norge inngikk en avtale under den 25. klimakonvensjonen om en utslippsreduksjon på 40 % innen 2030 sammenlignet med nivået av utslipp i 1990, noe som ble lovfestet gjennom klimaloven (Klimaloven, 2017, § 3).

Det finnes enorme energimengder lagret i bakken, og for å oppnå målene i den 25. klimakonvensjonen og målene satt av FN, er det å benytte enhver ressurs vi har tilgjengelig svært viktig. I 2018 utgjorde den fornybare sektoren ca. 26.5 % av den globale kraftproduksjonen, som vist i figur 1, hvor vannkraft står for 16,4% av disse, og geotermisk energi sammen med andre ukonvensjonelle kilder kun bidrar med 0,4%.



Figur 1 Prosentvis fordeling av den globale energiproduksjonen (REN21, 2018).

I det norske energibildet står vannkraft for nesten all strømproduksjon, også strøm som brukes til oppvarming. Her kan geotermisk varmeproduksjon være en utmerket kilde til å frigjøre elektrisk kraft slik at det kan bli rettet mot andre områder i samfunnet.

Geotermisk energi er varme produsert og lagret i Jorden. Omtrent 40 % av energien stammer fra Jordens tilblivelse for 4,5 milliarder år siden. Systemer som utnytter denne varmen blir typisk kategorisert som dyp eller grunn (NGU, 2017a). Der grunne systemer utnytter energien lagret i det øverste laget av jordskorpen, typisk grunnere enn 1000 meters dyp. Dype geotermiske systemer blir brukt som betegnelse på systemer som utnytter varmestrømmen som forekommer enda dypere i undergrunnen, dette kan gjøres gjennom flere forskjellige teknologier avhengig av hvilket system som passer til den tilgjengelige ressursen. Ettersom forskjellene er mer komplisert enn bare dybde vil denne oppgave ikke legge fokus på en slik inndeling, men heller snakke om systemer utfra andre egenskaper.

Under overflaten finnes det globalt et årlig utnyttbart potensial på rett over 300 PWh (IEA, 2011, s. 7), til sammenligning var verdens årlige energibruk på ca. 166 PWh i 2018 (IEA, 2019). Med rett teknologi og kunnskap kan denne energien bli utnyttet til både oppvarming, kjøling og el-produksjon. En rapport laget av World Energy Council estimerte at den globale installerte effekten for geotermisk energi var i 2016 på 83,4 GW globalt (World Energy Council, 2016b). I Norge var derimot installert effekt i 2016 på 1.3 GW, og det blir estimert at den årlige produksjon fra bakken nådde 3 TWh i 2018 (Kvalsvik, Midttømme & Ramstad, 2019, s. 5; World Energy Council, 2016a).

I Norge er geotermisk energi hovedsakelig knyttet til grunne geotermiske systemer som typisk er 50 til 350 meters dyp (Midttømme, Ramstad & Müller, 2015, s. 1) med tilkobling til varmpumper for kommersielt bruk. Dypere brønner omfatter nesten utelukkende forskningsprosjekter. Derimot finnes det eksempler på dypere brønner som ikke tar i bruk varmpumpe, som det nylig ferdigstilte prosjektet ved Gardermoen hvor Rock Energy boret ned til 1500 meters dyp.

1.2. Avgrensninger av oppgaven

Vi ser at oppgaven inneholder enkelte begrensninger, som at resultatet vårt er utarbeidet gjennom en kvalitativ undersøkelse og vil derfor gjenspeile deltakernes syn. Dette betyr også at det ikke nødvendigvis er 100 prosent enighet fra alle deltakerne, men gjerne at det er en generell trend, og at noen sikkert vil være uenige da det er mange forskjellige meninger om temaene som er omhandlet. Det ville vært mulig å foreta en undersøkelse med et bredere omfang, men med tanke på tidsbegrensninger var ikke det aktuelt for oss i denne omgang.

Resultatene kan ikke gi uttrykk for en definitiv retning for sektoren, men heller ses på som et uttrykk av meninger gitt av det vi har vurdert som nøkkelpersoner innenfor bransjen. Det finnes heller ingen fasit for hvordan fremtiden til denne bransjen ser ut, og derfor vil det heller ikke være mulig for oss å si noe definitivt. Det vi derimot ser etter er store overordnede trender og det vil derfor være nødt til å bli påpekt muligheten for at subjektive meninger kan komme frem.

I utgangspunktet ønsker man å ha god tid til disposisjon når man skal hente inn og analysere data på en kvalitativ måte, og med det i tankene ble vi blant annet nødt til å begrense hvilke temaer som er nødvendige for oppgaven. Oppbygningen av selve oppgaven blir presentert i tabell 1, hvor hvert kapittel er kort beskrevet.

Tabell 1 Oppgavens oppbygging

Oppbygning av oppgaven	
2. Innføring i geotermisk energi	Her gir vi en kort innføring i geotermiske energi
3. Litteraturstudie	I dette kapittelet fremvises etablert litteratur som omhandler temaer fremskaffet gjennom analysen
4. Metode	Omhandler metoden vi har benyttet, her går vi gjennom hvordan vi samlet inn, behandlet og analysert data.
5. Resultat	Presentasjon av funnene som kom frem gjennom den tematiske analysen.
6. Diskusjon	Diskusjon, hvor vi vurderer resultatene våre opp mot litteraturstudie, og diskuterer feilkilder i en kort avslutning av oppgaven.
7. Konklusjon	Her presenteres svaret på problemstillingene vår.
8. Referanser	Referanseliste.

2. Innføring i geotermisk energi

I dette kapittelet gis en oversikt over kunnskap om geotermisk energi som danner bakgrunnen for oppgaven. Kapittelet starter med delkapittel 2.1. som omhandler hva denne ressursen er, og hvor den kommer fra. I delkapittel 2.2. gir vi en oversikt over hvilke produksjonsteknologier og ressurser som finnes i dag. Til slutt, i delkapittel 2.3. gir vi et overblikk over dagens status og fremtidig potensial for geotermisk energi i Norge.

2.1. Energiens opphav

Geotermisk energi er betegnelsen på den naturlige strømmen av termisk energi som er produsert og lagret i Jordens indre. Omtrent 40 % av denne varmen stammer fra Jordens kjerne og mantel, mens de resterende 60 % kommer fra nedbrytningen av radioaktive isotoper som uran, thorium og kalium i det øvre laget av jordskorpen. Ved hovedsakelig konveksjon og konduksjon resulterer dette i en totalt utsluppet termisk energi på over $4,4 \times 10^{13}$ W hvert sekund fra jordoverflaten, noe som gir en gjennomsnittlig varmefluks for Jorden på 87 mW/m^2 (Glassley, 2010, s. 11–12). I virkeligheten vil denne utstrømmingen variere med flere lokale geologiske forhold, som beskrevet i *Radiogenic heat production of Archaean to Permian* av Trond Slagstad (2008).

2.1.1. Jordens indre

Studier av Jordens indre og dens oppbygning foregår gjennom indirekte metoder, hvor den vanligste er hvordan lydbølger skapt av jordskjelv forplanter seg til ulike steder på Jorden. Disse bølgene er trykkbølger, kalt P-bølger, og skjærbølger, kalt S-bølger. Bølgehastigheten øker samtidig som massetettheten øker innover i planeten vår (Ramberg, Bryhni, Nøttvedt & Rangnes, 2013, s. 25).

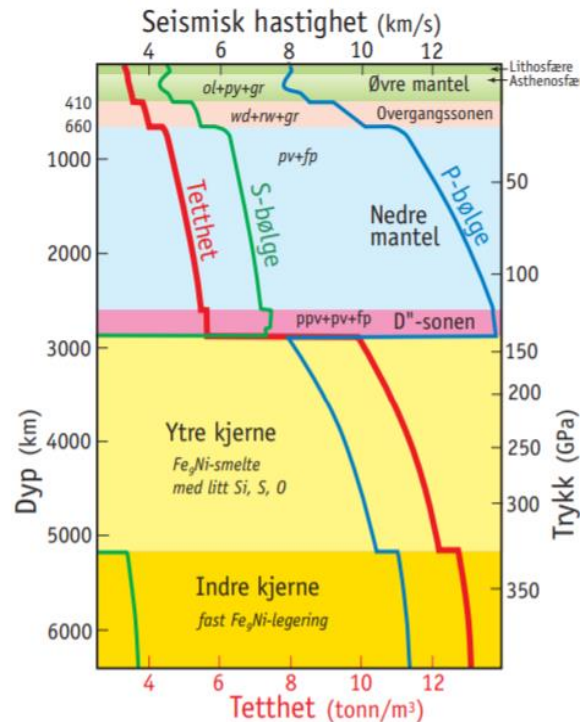
Andre måter å samle inn data om Jordens indre er, men ikke begrenset til, studier av meteoritter og naboplaneter, geodetiske og magnetiske målinger, varmestrømmålinger og målinger av gravitasjon. Dagens konsensus er å dele Jorden inn i tre ulike lag; kjernen, mantelen og jordskorpen (Ringnes, Aksnes, Ramberg & Bryhni, 2019), som vist i figur 2. Jordskorpen er det ytterste laget og varierer i tykkelse. Kontinentalskorpen har en tykkelse på mellom 30 og 70 km, mens havbunnskorpens tykkelse er på mellom 5 og 15 km (Ramberg et al., 2013, s. 25).

Mantelen er laget mellom jordskorpen og kjernen, og jordskorpen og det ytterste laget av mantelen utgjør tilsammen litosfæren. Under litosfæren befinner astenosfæren seg, hvor temperaturen er på mellom 1450 og 1650°C og mineraler begynner å smelte. Etter disse overgangssonene begynner den nedre mantel fra ca. 700 til 2600 km, og de siste 200–300 km rett over kjerne/mantel-grensen kalles D"-sonen. Her stiger temperaturen til rundt 3370 °C (Ramberg et al., 2013, s. 24–25; Torsvik & Trønnes, 2011, s. 1–5).

Kjernen utgjør Jordens sentrum. Denne består av en indre kjerne, hovedsakelig av jern som holder en fast form fordi smeltepunktet stiger når trykket øker (Trønnes, 2008, s. 1–5), og en ytre kjerne som består av flytende metall, hovedsakelig av jern, men også nikkell, svovel og silisium (Ringnes et al., 2019). Jordens kjerne begynner på 2980 km, hvor temperaturen holder seg på rundt 3370 °C og strekker seg inn til midten på ca. 6371 km hvor temperaturen når opp til 5000 °C (Ramberg et al., 2013, s. 25).

2.1.2. Norges geologi

Norges berggrunn kan deles opp i fire hovedkategorier; det prekambriske grunnfjell, den kaledonske fjellkjede, de devonske bergartene og Oslofeltet (Bryhni, 2018). Det prekambriske grunnfjell utgjør den eldste og mest utbredte delen av berggrunnen vår, hvor majoriteten er over 500 millioner år gammel. De eldste forekomster av prekambrisk grunnfjell i Norge befinner seg i Finnmark og er beregnet til å være rundt 2 milliarder år gamle, mens de eldste fjellene er i Lofoten og er ca. rundt 3 milliarder år gamle (Norsk Naturarv, u.d.). Den kaledonske fjellkjede ble formet da kontinentet Laurentia, som i dag omfatter Nord-Amerika og Grønland, støtte sammen med kontinentet Baltika, som i dag er Nord-Europa og Russland, for over 400 millioner år siden (Ramberg et al., 2013, s. 24–25). De devonske bergartene er hovedsakelig utbredt på Vestlandet, men finnes også i Trøndelag (Setså, 2012), og er



Figur 2 Jordens oppbygning (Torsvik & Trønnes, 2011, s. 261).

avsetninger av sedimenter erodert fra den kaledonske fjellkjede i begynnelsen av devon (Bryhni, 2018). Oslofeltet startet sin dannelse i slutten av karbon, for rundt 300 millioner år siden, og var i en periode på 70 millioner år preget av vulkansk aktivitet og oppstrømning av smeltemasser (Ramberg et al., 2013, s. 24–25). Dette fører til at ca. 60 % av arealet i Oslofeltet består av dypbergarter (Bryhni, 2018).

Gjennom Norges lange geologiske historie har bergartene som stammer fra den prekambriske periode, på flere stadier gjennomgått metamorfose. Gneis er sluttstadiet for metamorfose av både metamorfe, sedimentære og magmatiske bergarter. Dette gjør at nettopp denne er den bergarten som er mest vanlig i grunnfjellsområder. Den nest mest utbredte bergarten i Norge er granitt (Norsk Naturarv, u.d.). Det meste av Norges geologi domineres av to harde bergarter med lav varmekraft, noe som kan føre til utfordringer for den geotermiske bransjen i dag. I en rapport av Slagstad (2008) ble det funnet en mulig svak korrelasjon mellom radiologisk varmeproduksjon og geologisk alder, men denne blir i de fleste tilfeller minimal i forhold til andre litologiske variasjoner. Det fremkommer derfor som urimelig å estimere varmeproduksjon på geologisk alder alene (Slagstad, 2008, s. 160).

2.2. Produksjonsteknologier og ressurser

Å benytte seg av geotermisk energi har menneskeheten gjort fra antikkens alder, og selv om teknikkene og effektiviteten har utviklet seg, så er prosessen stort sett den samme. Geotermiske ressurser inneholder ofte svært varierende energinivå som defineres å ha ulike nivåer av entalpi. Entalpi er det totale varmeinnholdet i et termodynamisk system, og består av den interne energien til systemet pluss produktet av trykk og volum. Dette blir brukt for å definere nyttbart energiinnhold i vann og damp, ettersom temperatur alene ikke er tilstrekkelig. De tre klassifikasjonene som vanligvis brukes for et geotermisk system er: «høy entalpi» (vann og damp over 180–200 °C), «medium entalpi» (rundt 100–180 °C) og «lav entalpi» (<100 °C) (Peake, 2018, s. 490). Videre i dette delkapittelet skal vi gå inn på hvilke teknologier som er vanlig å bruke i dag, og litt om hvilke teknologier som kan bli aktuelle i fremtiden for å utnytte denne ressursen.

2.2.1. Grunne geotermiske systemer (GGS)

Grunne geotermiske systemer (GGS), også kalt *ground source heat pump* (GSHP) på engelsk, benyttes til uthenting av lavtemperert geotermisk energi som kan benyttes med eller uten varmpumpe til varme- og kjøleformål. Disse brønnene har en typisk dybde på rundt 50 til 350 meter (Midttømme et al., 2015, s. 1). Ved disse dybdene er temperaturene stabile gjennom hele året, noe som gir gode driftsbetingelser. Uthenting kan skje ved bruk av åpne systemer der en henter energi direkte fra grunnvannet, eller ved lukkede systemer der væske blir sirkulert gjennom en slange som blir varmet opp uten direkte kontakt med grunnen (Self, Reddy & Rosen, 2011, s. 344–345). Den største fordel med GGS i kombinasjon med en varmpumpe er at det kan utnytte temperaturer mellom 5 og 30 °C, som er å finne i alle land (Curtis, Lund, Sanner, Rybach & Hellström, 2005, s. 1).

2.2.2. Naturlige hydrotermiske systemer (NHS)

Naturlige hydrotermiske systemer (NHS) er systemer som utnytter naturlig forekommende høytempererte grunnvannskilder ned til 3000 meters dyp (Evensen et al., 2010, s. 15). Ved slike systemer blir varmt vann hentet opp og utnyttet til kraftproduksjon, oppvarmingsformål eller mineraluttak. Deretter blir enten det samme vannet, eller nytt kaldt vann, pumpet ned i brønnen igjen for videre oppvarming, dette er avhengig av valgt anlegg og væskens kjemi. Slike systemer er typisk klassifisert i vann- eller dampdominerte felt (Barbier, 2002, s. 15), noe vi skal gå mer inn på i delkapittel 2.2.2.1., 2.2.2.2. og 2.2.2.3.

2.2.2.1. Vanndominerte felt

Varmtvannsfelt er reservoarer som består av varmt vann i flytende form mellom 60 og 100 °C, hvor utnyttelse av dette som oftest foregår gjennom direkte oppvarming. Disse reservoarene ligger ofte trykksatt, men temperaturene holder seg under kokepunktet ettersom ressursen ikke er varm nok. Her blir væsken sirkulert gjennom et fjern- eller nærvarmenett og varmevekslet med vann. Varmtvannsfelt kan også bli brukt i en Binary Cycle Power Plant, hvor det relativt varme vannet blir brukt for å fordampe en væske med et lavere kokepunkt, som igjen driver en turbin (Barbier, 2002, s. 15).

2.2.2.2. Våtdampfelt

Våtdampfelt inneholder vann under høyt trykk og over 100 °C, disse ligger ofte under en takbergart som hindrer vannet i reservoaret å slippe ut. Dersom et reservoar av denne typen blir penetrert, så vil vannet naturlig stige til overflaten på grunn av trykkforskjellen. Ved dette trykkfallet vil en del av vannet fordampe, mens mesteparten holder seg som kokende vann. Denne dampen vil kunne drive en turbin for å produsere elektrisk kraft, mens den delen som forblir som kokende vann, må bli skilt ut i spesielle separasjoner. Dette blir gjerne gjort gjennom kraftverk som benytter seg av teknologier som single-flash steam og double-flash steam kraftverk. Den termiske opprinnelsen for slike felt er ofte magmatiske, og vil kunne oppdages på overflaten som geysirer og varme kilder (Barbier, 2002, s. 15–16).

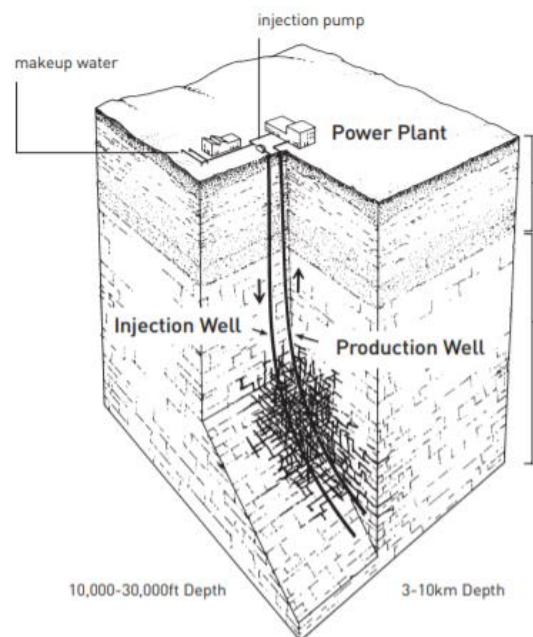
2.2.2.3. Dampdominerte felt

Reservoarene til dampdominerte felt produserer en tørr, mettet og overopphetet gass som er satt under trykk. Trykket i reservoaret er høyt nok til at alt vannet blir omdannet til damp, som for det meste består av karbondioksid og hydrogensulfid. Geologisk kan disse feltene sammenlignes med våtdampfelt, men forskjellen ligger i at varmeoverføringen er mye større i et dampdominert felt. I et slikt felt blir en trykkløs sone formet når boret penetrerer reservoaret, og produksjonen kan begynne. Som følge av trykkfallet vil det i brønnen produseres kokende og evaporerende vann fra væsken i nærliggende bergarter. Et tørt område dannes på bunnen av brønnen, og dampen vil stige gjennom dette området. Dampen som blir ført gjennom denne tørre sonen, vil bli utvidet og begynne å kjøle ned. Derimot vil tilførselen av varmen fra den overopphetede berggrunnen i nærheten føre til at dampen holder seg på en temperatur over fordampningsverdien som eksisterer for trykkverdien i brønnen. Som et resultat av dette produserer dampdominerte felt overopphetet damp som kan nå temperaturer på vel over 100 °C (Barbier, 2002, s. 16).

2.2.3. Konstruerte geotermiske systemer (KGS)

Konseptet konstruerte geotermiske systemer (KGS) – eller *enhanced geothermal systems* (EGS) på engelsk, som er mer vanlig å bruke – har sine røtter i et prosjekt foreslått i 1970 og deretter utført i Fenton Hill, New Mexico, i 1973. Et av målene for prøveprosjektet var å utforske frakturering, som muliggjør hydrauliske forbindelser mellom brønnene. Det hadde blitt antatt at ved å bruke hydraulisk frakturering kunne man gjenåpne allerede eksisterende naturlige brudd, og prosjektet i Fenton Hill bekreftet dette (Levy, 2010, s. 21). Her ble også denne typen utvinning av geotermisk energi først navngitt som Hot Dry Rock (HDR) for å beskrive ressurser som enten manglet et geotermisk fluid eller hadde for lav permeabilitet til å kunne utnyttes på konvensjonelt vis. Etterhvert forsto man at dette navnet ikke fanget essensen av energiutvinningen ettersom få eller ingen av stenene var tørre. I senere tid er EGS blitt anerkjent som et overordnet navn på denne teknologien. EGS appellerer ikke bare til hydraulisk frakturering av berggrunnen, selv om det er den mest utbredte metoden (Breede, Dzebisashvili, Liu & Falcone, 2013, s. 11), men det er mer et samlebegrep for former av tapping av geotermisk energi som ikke naturlig lar seg lett utvinne (Breede et al., 2013, s. 11; Rybach, 2010, s. 1). Dette fører til at en klar definisjon av begrepet ikke finnes i det akademiske miljøet i dag. En definisjon som kommer frem i *Renewable Energy* av Peake, er “any system in which reinjection is necessary to maintain production at commercially useful levels” (Peake, 2018, s. 516).

Selve prinsippet bak EGS er enkelt, og et typisk anlegg er vist i figur 3. I undergrunnen hvor temperaturene er høye nok blir berggrunnen frakturert via hydrauliske, kjemiske eller termiske injeksjoner og dermed dannes et nettverk bestående av nye og/eller eksisterende bruddsoner. Dette bidrar til å lage en vanningjennomstrømning, samtidig som det fungerer som en varmeveksler. Det blir så pumpet vann fra overflaten ned i nettverket gjennom injeksjonsbrønner og tatt opp igjen via produksjonsbrønner som damp eller varmt vann (Rybach, 2010, s. 1).



Figur 3 Et EGS-anlegg med injeksjons- og produksjonsbrønn (Tester et al., 2006, s. 25).

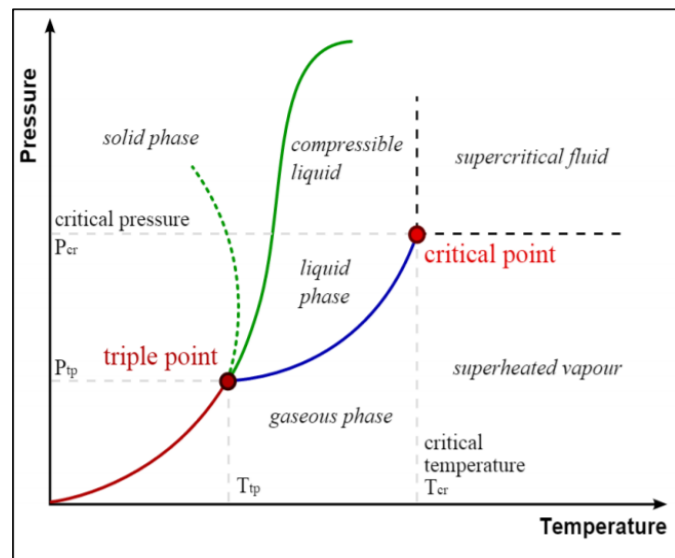
Den største bekymringen knyttet til EGS i dag er induisert seismisitet. Som følge av at en åpner opp permeabiliteten til undergrunnen gjennom stimulering, kan spenningsmønstre i berggrunnen endres og føre til mikroseismiske hendelser. Det har vært et par hendelser som følge av EGS-anlegg som har ført til skader og uroligheter blant befolkningen i nærområdet, blant annet i 2003 da et utslag på 3,7 på Richters skala oppstod ved Cooper-bassenget EGS i Østerrike, og en hendelse i Basel i Sveits i 2006 som ga et utslag på 3,4 på Richter-skalaen. Derimot så ble det funnet i en rapport av ENGINE Coordination Action (2008) hvordan de aller fleste utslag på Richters skala som blir registrert, er tilfeller som går ubemerket (ENGINE Coordination Action, 2008, s. 86). Slike og tilsvarende hendelser har ført til mindre aksept for induisert aktivitet assosiert med EGS, og kan føre til en hindring av utviklingen av denne teknologien, særlig i tett befolkede områder (Breede et al., 2013, s. 18–19).

Samtidig er det i det akademiske miljøet et optimistisk syn når det kommer til EGS. Prosjekter som blant annet i Soultz, Frankrike, har oppnådd å koble sammen et nettverk med et aktivt volum på 2 km³ på fire til fem km dyp som produserer opp til to til tre ganger det kommersielle målet som hadde blitt satt (Tester, 2007, s. 4).

2.2.4. Superkritisk fluid

I dag kan konvensjonelle geotermiske systemer utnytte energi fra geotermiske kilder med temperaturer opp mot 350 °C (IEA, 2011, s. 26), men ved å bore ned til ekstreme trykk og temperaturer vil man kunne hente opp fluider som er på et superkritisk stadium. Ett eksempel er hvordan rent vann går over til dette stadiet ved en temperatur på 374 °C og et trykk på 221 bar. Er det derimot salter og andre oppløste stoffer i vannet, så vil både trykk og temperatur måtte være høyere for å nå superkritisk fase (Elders & Frioleifsson, 2010, s. 2).

Figur 4 illustrerer fasene som et fluid går gjennom ved ulike temperaturer og trykk. En superkritisk væske er verken flytende eller gass, men en blanding av disse to, selv på temperaturer over det superkritiske punktet (SINTEF, 2015). Dette betyr at ettersom fluidet har høyere entalpi kan mer energi hentes ut. Et slikt gjennombrudd vil kunne føre til at geotermiske kraftverk kan kunne fem- til tidoble energien de produserer (IEA, 2011, s. 28). Et godt eksempel er en «flytende geofluid» som ved en temperatur på 400 °C og et trykk på 250 bar har fem ganger høyere energipotensial enn «hydrotermisk flyende vann-geofluid» på 225 °C (Tester et al., 2006, s. 38).

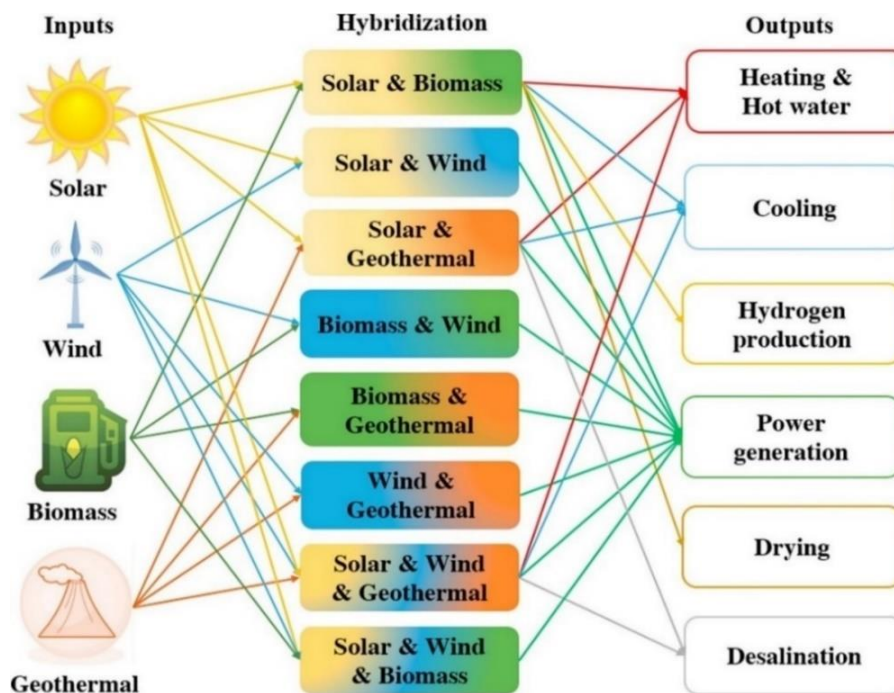


Figur 4 Fasediagram (Passarella, 2015, s. 6).

På Island er bruk av superkritiske kilder i testfasen, gjennom et prosjekt som heter Island Deep Drilling Project (IDDP) (Elders, Frioleifsson & Albertsson, 2013, s. 1). Her er motivasjonen å finne ut av det økonomiske- og kraftpotensialet til superkritiske kilder. Målet er å hente ut superkritiske fluider fra 3,5 til 5 kilometers dyp, ved temperaturer på mellom 450 og 600 °C.

2.2.5. Hybridløsninger

Hybride løsninger er et samlebegrep for energisystemer hvor flere produksjonsteknologier supplerer hverandre. Deshmukh og Deshmukh beskriver dette som vanligvis en konvensjonell generator drevet av diesel og en fornybar kilde som sol eller vind (Deshmukh & Deshmukh, 2008, s. 236). I nyere tid er det derimot blitt vanligere å se til hybridisering av to eller flere fornybare energikilder (Moya, Aldás & Kaparaju, 2018, s. 896). Eksempler på dette og deres mulige applikasjoner blir vist i figur 5.



Figur 5 Mulige applikasjoner av hybride løsninger
(Guo, Liu, Sun & Jin, 2018, s. 1122).

Et område som er av særlig interesse i dag, er en hybridløsning mellom solkraft og geotermisk energi. I et slikt system kan den geotermiske energiproduksjonen bli brukt som grunnlast, mens solenergien øker kapasiteten ved å utnytte både termisk og fotovoltaisk energi til henholdsvis varme og strømproduksjon under spisslasttimene. En studie utført av Jiang Zhang konkluderte med at et hybrid sol-geotermisk kraftverk hadde en høyere effektivitet enn summen av de to energikildene hver for seg (Moya et al., 2018, s. 896).

Det er også mulig å overføre dette til varmeproduksjon hvor bruken av solenergi senker driftskostnader og øker ytelseskoeffisienten sammenlignet med konvensjonelle grunne geotermiske systemer (Guo et al., 2018, s. 1123–1125). Solenergien kan bli utnyttet i et hybridanlegg ved å varme opp vannet før det blir ført tilbake gjennom injeksjonsbrønnen, og dermed kan anlegget operere med høyere kapasitet, og i tillegg har det effekten av å øke livslengden til anlegget ved å redusere nedkjølingsraten til brønnen. I en studie gjort av Kavadias, Alexopoulos, Charis og Kaldellis (2018), kom det frem at et geotermisk anlegg som hadde en forventet produksjonstid på 30 år kunne forvente å fordoble det tallet, og hvor det etter 30 år ble en betydelig merkbar forskjell. I et tilfelle hvor 50 % av vannet ble varmet opp, var effekten 20 % høyere enn et scenario hvor anlegget hadde normal drift (Kavadias et al., 2018).

2.2.6. Mineralutvinning: Brine to Mine

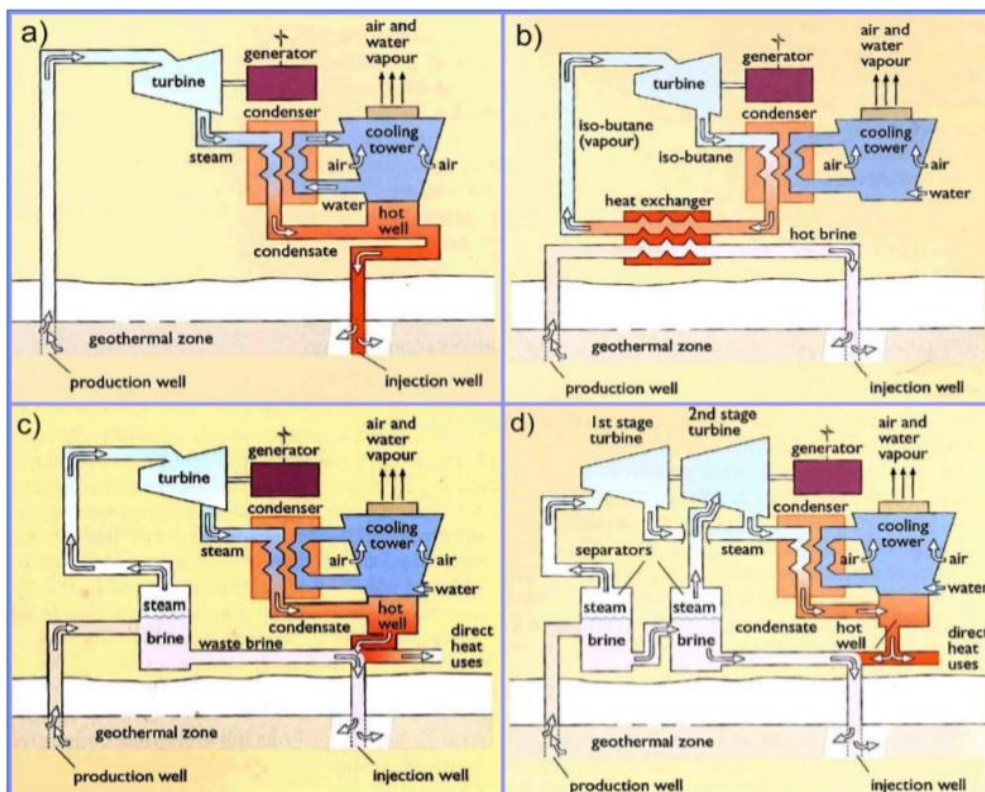
Ved å hente opp geotermiske fluider som har blitt utsatt for høyt trykk og temperatur i undergrunnen, vil salter og andre mineraler følge med fluidet til overflaten. Dette vil kunne skape problemer for kraftverk og teknisk infrastruktur, og i tillegg være skadelig for miljøet hvis det ikke blir behandlet riktig. Dersom teknologien er til stede, er det fullt mulig å utvinne disse mineralene til andre formål. Et viktig eksempel er litium, som er et grunnstoff brukt i moderne batterier (Bourcier, Lin & Nix, 2005, s. 1–7).

2.2.7. UTES (Underground Thermal Energy Storage)

UTES, eller *Underground Thermal Energy Storage*, er det overordnede navnet for lagring av varme i bakken ved bruk av geotermiske systemer. Disse systemene er ofte kombinert med varmpumper. Det finnes flere forskjellige systemer, men de som er aktuelle i Norge er ATES- og BTES-systemer. ATES-systemer, også kalt *Aquifer Thermal Energy Storage*, er lagring i grunnen der man baserer seg på energien i grunnvannet som er lagret i en akvifer, istedenfor energien i berggrunnen i seg selv. På grunn av den kalde norske geologien er det BTES-systemer, også kalt *Borehole Thermal Energy Storage*, den vanligste løsningen i Norge. Disse systemene bruker et fluid som lagringsmedium, men lagrer dette fluidet enten i et lukket system eller åpent nede i selve grunnfjellet. I Norge er det i dag 90 BTES-anlegg og ca. 10 ATES-anlegg (Midttømme, Hauge, Grini, Stene & Skarphagen, 2009, s. 3).

2.2.8. Kraftverk

Det er i dag en generell enighet innad i det akademiske miljøet om at kraftproduksjon kan kategoriseres i fem forskjellige kraftverk som utnytter geotermisk energi. Disse inkluderer tørrdampsystemer, binære systemer, singleflash- og dobbelflash-systemer som vist i figur 6, det finnes også en kategori som blir kalt avanserte geotermiske konverteringssystemer, som omfatter mange eksperimentelle og spennende systemer, men er ikke relevant for denne oppgaven (Moya et al., 2018, s. 890). Hvilke systemer som blir brukt, er hovedsakelig avhengig av den tilgjengelige entalpi i ressursen. I laventalpi-ressurser benyttes ofte binære systemer, men i medium- til høyentalpi-ressurser benyttes single- og dobbelflash, samt tørrdampsystemer i ressursen (Kavadias et al., 2018, s. 902).



Figur 6 A) Tørrdamp B) Binær C) Single flash D) Dobbelflash (Boyle, 2004, s. 429).

2.3. Status og potensial i Norge

Fra kapittel 2.1.2. vet vi at majoriteten av grunnfjellene i Norge er gamle, og består i store deler av harde bergarter som granitt og gneis. I tillegg er det en relativt lav temperaturgradient som fører til en dårligere geotermisk ressurs sammenlignet med andre mer egnede steder på Jorden. I dette delkapittelet skal vi se nærmere på i hvor stor grad geotermisk energi utnyttes i Norge i dag, og hvilket potensial ressursen kan ha i fremtiden.

2.3.1. Status

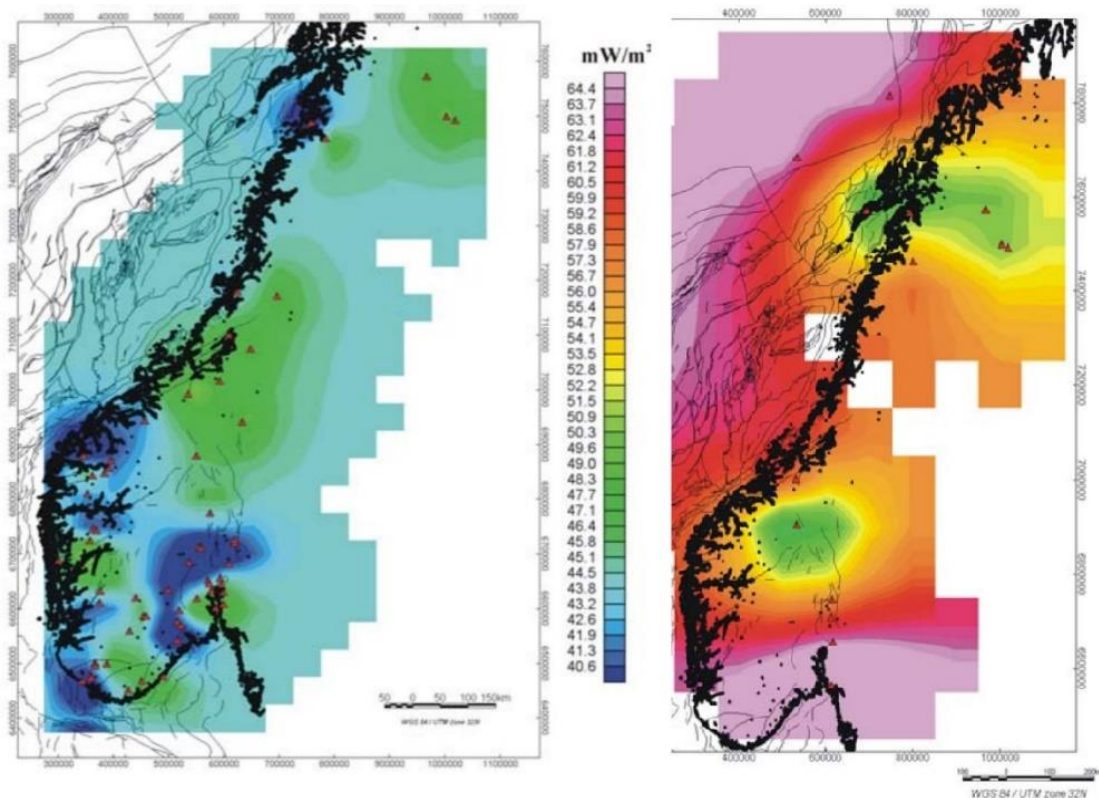
Geotermisk energi brukes i Norge i dag hovedsakelig til oppvarmingsformål. Dette kan gjøres ved å bruke anlegg som benytter oppumpet grunnvann eller en lukket kollektor, som ofte er tilkoblet varmepumpe for å løfte temperaturen til ønsket nivå (Ramstad & Asplan Viak, 2011, s. 10). Bruk av varmepumper i en slik sammenheng er ansett som et av de bedre alternativene, både økonomisk og teknisk, for energieffektiv oppvarming og kjøling av nye store og mellomstore bygninger (Midttømme et al., 2015, s. 4–5). Grunne geotermiske systemer i Norge har en typisk dybde på 50 til 350 meter (Midttømme et al., 2015, s. 1), men dypere anlegg er også i produksjon (Ramstad & Asplan Viak, 2011, s. 10). Gjennomsnittlig brønndybde i 2018 ble beregnet til å være ca. 220 meter, noe som bygger på en trend mot dypere borehull, som vist i *Geothermal Energy Use, Country Update for Norway* (Kvalsvik et al., 2019, s. 1–5). Her ble også årlig produksjon estimert til å være ca. 3 TWh samme år, noe som er en 28 % økning fra 2015 (Kvalsvik et al., 2019, s. 1).

I Asker er det blitt boret to brønner på 800 meter, som i dag er i prøvedrift med en årlig produksjon på 232 MWh (ENOVA, u.d.-b) og brukes til å varme opp kunstgressbanen på Føyka stadion (Asker Kommune, u.d.). Disse to brønnene ble av Bones i sin masteroppgave (2016, s. 10) beskrevet å være de dypeste anvendt til grunnvarmeuttak i Norge noensinne. Nylig er det imidlertid blitt boret dypere brønner, som et prosjekt på Oslo Lufthavn Gardermoen som ble ferdigstilt i 2018. Med sine to borehull på 1500 meter forventer de en årlig produksjon på 300 MWh/år for å holde motortestområdet på Gardermoen isfritt ved bruk av direktevarme. Dette er et av de første installerte anleggene i Norge for oppvarming uten bruk av varmepumpe (Kvalsvik et al., 2019, s. 1).

I Drammen er det i dag planlagt et prosjekt som omhandler *High Temperature – Borehole Thermal Energy Storage* (HT-BTES) som skal settes i drift i 2020. Her er det planlagt å bore 100 brønner på rundt 50 meter som vil ha forventet kjernetemperatur på 50–60 °C (Ramstad, Holmberg, Bugge & Riise, 2017, s. 12). Dette systemet er designet til å ha en kapasitet for en grunnlast på 80 kW og en spisslast opp mot 300 kW (ENOVA, 2018), som forventes å levere ca. 350 MWh med varme årlig (Kvalsvik et al., 2019, s. 5).

2.3.2. Potensial

Selv om Norge stort sett består av gamle og relativt kalde fjell, har det i nyere tid kommet flere studier innenfor dette området. I en studie fra 2010 fant Pascal, Elvebakk og Olesen at varmemestrømmen i Norge ikke er like kald som tidligere hevdet, det ble faktisk påvist at varmemestrømmen er mellom 10 og 20 mW/m² høyere (Pascal, Elvebakk & Olesen, 2010, s. 1–2), som vist i figur 7. En annen studie av Slagstad et al. (2009) ble det påvist tilsvarende tall om at varmemestrømmen i Norge varierer typisk mellom 50 og 60 mW/m² (Slagstad et al., 2009, s. 359).



Figur 7 Varmestrømdata fra 70-tallet (venstre) og 2000-tallet (høyre) (Pascal et al., 2010, s. 1–2).

I samme studie av Pascal fant de også at temperaturer over 100 °C ved 5 km dyp er rimelig å forvente de fleste steder i Norge (Pascal et al., 2010, s. 1–2). Dette stemmer også med gradienten oppgitt i NOU 2012:9, der den ble beskrevet å stige gjennomsnittlig med 20–30 °C per km i de fleste områder (NOU 2012:9, s. 201). Pascal kom også frem til at det heller ikke er urimelig å forvente temperaturer på over 150 °C i områder der granitt med høy varmeproduksjon er funnet (Pascal et al., 2010, s. 2–3).

Et viktig moment innen Norges energi- og klimapolitikk i dag, er behovet for å bli mer effektive og redusere ressursbruken så mye som mulig. Ifølge klimaloven skal utslippet av klimagasser innen 2030 reduseres med minst 40 % av utslippene som var i 1990, og innen 2050 reduseres med 80–95 % (Klimaloven, 2017, § 3–4). Industriproduksjon og transportsektoren er to viktige utslippskilder både globalt og i Norge, men å redusere energiforbruket i bygninger er også et prioritert område (Taule, Landet & Lossius, 2016, s. 27). Ettersom byggsektoren er en stor energiforbruker og står for 30 % av energibruken internasjonalt (Energi21, 2018, s. 66), er det spesielt viktig innenfor oppvarming ettersom det er her energieffektiviseringen har størst potensial (NOU 2012:9, s. 90). GGS-systemer er vanlig å bruke til oppvarming i dag, som nevnt i delkapittel 2.2.1. og er antatt å øke i tiden fremover. Det er estimert at alt varme- og kjølebehov i 2030 kan dekkes av grunnvarmebaserte varmepumpeløsninger, noe som vil redusere behovet for kjøpt energi med opptil 70 %. Med en betydelig satsing på økt bruk av slike løsninger vil det frigjøres elektrisk effekt, også på dager med ellers høy effektbelastning. Med et estimert varmebehov på 52,7 TWh/år og kjølebehov på 2 TWh/år vil et mulig uttak være på ca. 33,9 TWh for varme og 1,75 TWh for kjøling, der resterende dekkes av elektrisitet til drift av varmepumpene (Ramstad & Asplan Viak, 2011, s. 28–41).

De siste årene har det også blitt mer fokus på å utnytte geotermiske ressurser som er dypere enn et typisk GGS-system. Ifølge NOU 2012:9 (s. 201) er dette et betydelig satsingsområde innen fornybar energi. De internasjonale dyptgående geotermiske ressursene ble i 2008 estimert til å være 12,5 PWh/år for elektrisitetsproduksjon, og 289 PWh/år for direktebruk av termisk energi (IEA, 2011, s. 7). Til sammenligning var totalforbruket av energi i 2018 i verden på ca. 166 PWh (IEA, 2019). Det ble derimot ikke funnet tilsvarende tall for potensialet i Norge alene.

3. Litteraturstudie

I dette kapittelet vil vi gjennom en litteraturstudie undersøke de temaene som kom frem i den tematiske analysen, men som ikke nødvendigvis var en viktig del for innføring av geotermisk energi. Dette er viktig for å forstå tema som blir tatt opp og diskutert senere i oppgaven. Det skal merkes at teknologiutvikling ikke blir diskutert her, da det allerede er en del av innføringen under delkapittel 2.2.3., 2.2.4. og 2.2.5. Kapittelet starter med en undersøkelse av folkeopplysning, økonomiske faktorer, hvordan lovverket for geotermisk energi er i dag og de geologiske forholdene som foreligger i Norge. Videre vil dette kapittelet undersøke litteraturen som finnes for ulike offentlige initiativer og behovene som foreligger for den geotermiske sektoren.

3.1. Folkeopplysning

Dagens energiomstilling mot et lavkarbonsamfunn er stadig på agendaen, med mye diskusjon i mediene om fornybare produksjonsteknologier som solenergi og vindkraft. Geotermisk energi er derimot en teknologi som ofte fremstår som litt mer ukjent, og blir dermed ikke valgt på grunn av lite kjennskap til denne teknologien. Dette er et tema som blir løftet frem som et viktig suksesskriterium i en rapport utgitt av NVE i 2011 (Ramstad & Asplan Viak, 2011, s. 40). I en annen rapport fremkom det at 84 % av befolkningen er positivt innstilt til fornybare energikilder (Tvinnereim & Steinshamn, 2016, s. 82). Det ble derimot ikke funnet noen relevante undersøkelser som tar for seg hvordan oppfatningen av geotermisk energi er blant det norske folk.

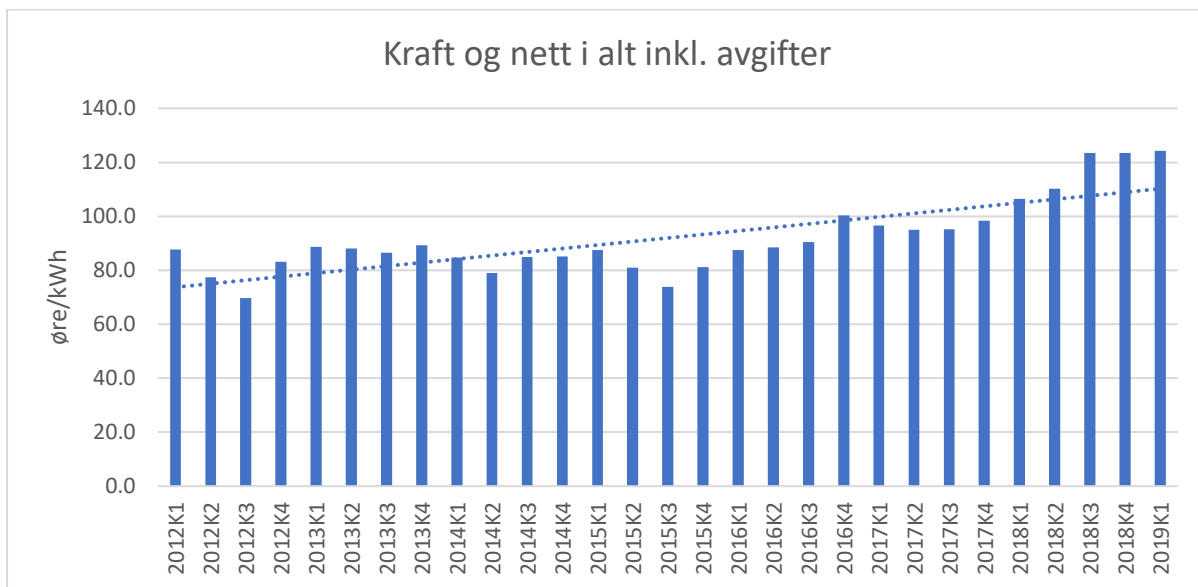
3.2. Økonomi

Det er flere økonomiske aspekter som fremstår som viktige for vekst av den geotermiske sektoren i Norge. I dette delkapittelet vil vi gå inn på hvert av de økonomiske aspektene som kommer frem gjennom analyse av intervjuene, og se på etablerte teorier innenfor hvert enkelt tema. Disse inkluderer: strømprisen i Norge, kostnader knyttet til energibrønner og investeringsrisiko assosiert med geotermiske brønner.

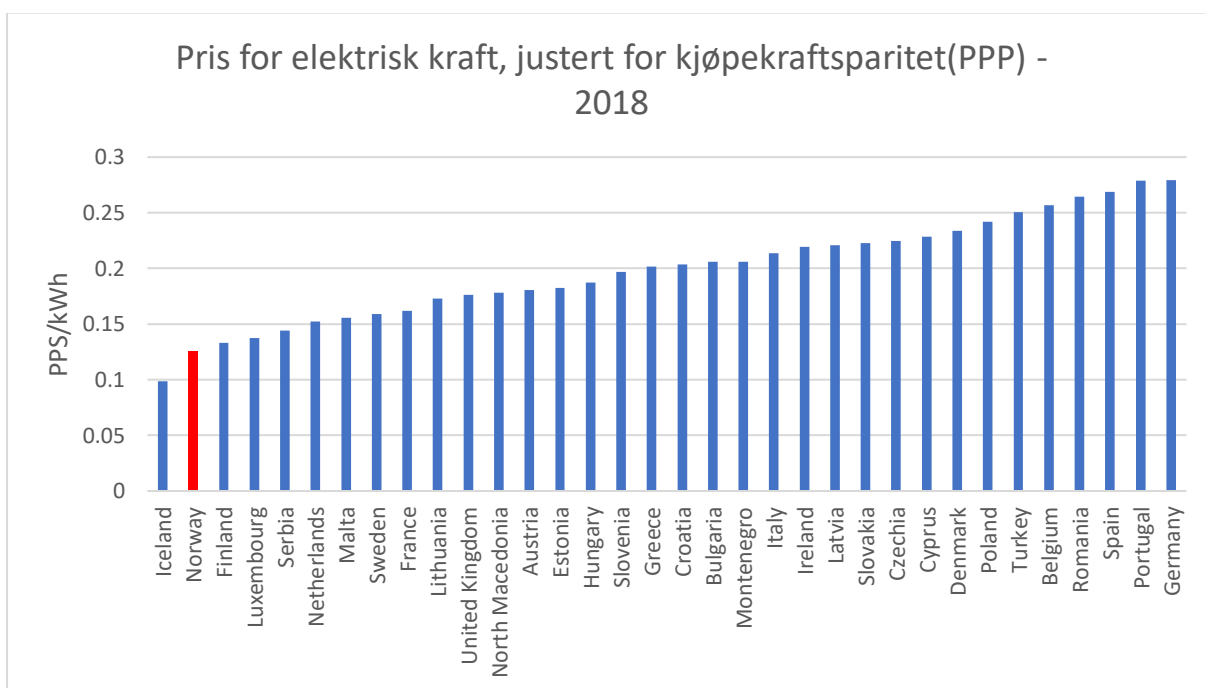
3.2.1. Strømpris

I 2012 var det norske energiforbruket per husholdning gjennomsnittlig på 20 MWh, og 16 MWh av disse kom fra elektrisitet (SSB, 2014b). Vannkraft står for 143 TWh av de totale 149 TWh produsert i Norge (SSB, 2018), dette betyr at å benytte seg av elektrisitet til oppvarming har vært økonomisk gunstig. Noe som medfører at å investere i andre alternativer kan virke mindre attraktivt enn det ville vært dersom det var mer å spare. For at geotermisk energi skal være lønnsomt, må systemene kunne levere varme til en kostnad som er lavere enn strømprisen fra andre kilder.

I første kvartal 2019 var den norske strømprisen på 124,3 øre/kWh inklusiv avgifter og nettleie (SSB, 2019a). Selv om dette bygger på en svakt stigende trend de siste årene som vist i figur 8, fant vi gjennom statistikk fra eurostat (2019) at den norske strømprisen er lav sammenlignet med de andre europeiske land når en tar kjøpekraftsparitet i betraktning, som vist i figur 9. Kjøpekraftstandard (kks, eng. *purchasing power standard* PPS), er en kunstig valutaenhet som teoretisk sett kan kjøpe samme mengde varer og tjenester i hvert land. Prisforskjeller over landegrensene betyr imidlertid at ulike mengder nasjonale valutaenheter er nødvendig for de samme varene og tjenestene, avhengig av landet. PPS brukes når det er justert for prisnivåforskjeller ved bruk av kjøpskraftparitet (kkp, eng. *purchasing power parity* PPP) (eurostat, 2018b). PPP gir en indikasjon på prisforskjell i ulike land ved å sammenligne kjøpekraften, altså hva en får for samme mengde penger i ulike valutaer i ulike land, dette reflekterer at prisnivå er forskjellige i ulike land (eurostat, 2018a),



Figur 8 Pris på elektrisk kraft i Norge (SSB, 2019b).



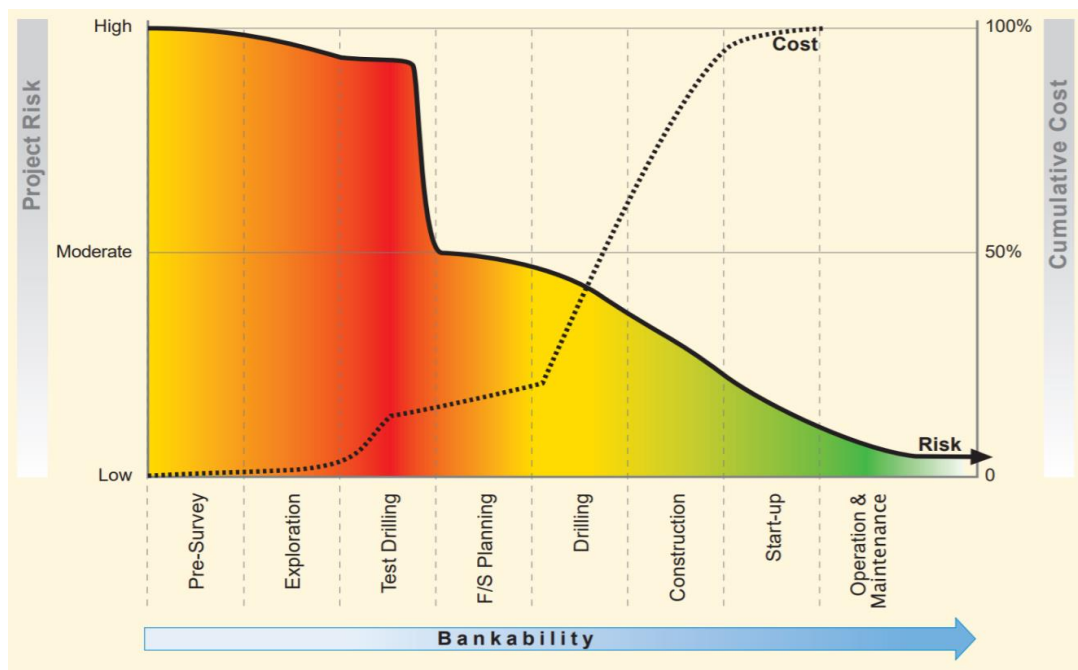
Figur 9 Kjøpekraftsparitet (eurostat, 2019).

3.2.2. Kostnad

Å etablere et geotermisk system kan være svært kostbart. Store deler av disse kostnadene skyldes selve brønnboringen (NOU 2012:9, s. 202), ofte på grunn av harde bergarter og bruddsoner som gjør at drillfluidet renner bort og fører til en ekstra kostnad. Boreprisen som stiger eksponentielt med dybde kan derfor nå opp til 50 % av de totale kostnadene til prosjektet (Barbier, 2002, s. 32). I den samme rapporten kom det også frem hvordan lavtempererte brønner som er dypere enn 2 km og med temperaturer under 150 °C er sett på som økonomisk ugunstig (Barbier, 2002, s. 34). Ifølge Sanyal (2004) blir kostnad også påvirket av forskjellige produksjonskarakteristikker. Her kommer det frem at høy produktivitet vil kunne føre til et behov for færre brønner, og nedkjølingsraten til brønnen vil påvirke den totale produksjonen over tid (Sanyal, 2004, s. 2).

3.2.3. Investeringsrisiko

Det foreligger en høy investeringsrisiko ved etablering av geotermisk systemer, som vist i figur 10. Risikoen synker drastisk etter at prøveboring er fullført, da dette gir et bedre innblikk i den geotermiske ressursen som er tilgjengelig. Det foreligger også en risiko knyttet til ressursens tilgjengelige kapasitet og hvilke investeringer som kreves. Dersom man vurderer ressursen som bedre enn den er, og plasserer et overdimensjonert kraftverk vil dette føre til en sentrering av ressurser som ellers kunne blitt spredt ut på et større område, i tillegg til å øke risikoen for å tappe ressursen din raskere enn nødvendig (Gehring & Loksha, 2012, s. 5).



Figur 10 Risiko for etablering av geotermiske systemer (Gehring & Loksha, 2012, s. 69).

3.3. Dagens lovverk for geotermisk energi

Det finnes flere produksjonsteknologier i Norge som er konsesjonspliktige, men foreløpig gjelder ikke det geotermisk energi (NVE, 2019). I en studie av Haehnlein, Bayer og Blum (2010) om den juridiske statusen til grunn geotermisk energi (<400 m dybde i studien). Her ble det funnet at Norge ikke har noen lov som definerer termisk bruk av grunnvann, verken for åpne eller lukkede systemer. Det ble også funnet at vannressursloven (2000) heller ikke omtaler termisk bruk av grunnvann, selv om boringen etter grunnvannet må meldes til departementet senest innen 3 måneder etter ferdigstilling (Vannressursloven 2000, § 46). Den eneste loven studien mente kunne være relevant, var grannelova (1961), som i prinsippet sier at du ikke skal gjøre noe som urimelig skader eller er til ulempe for naboeiendom (Haehnlein et al., 2010, s. 2620–2621). Et manglende lovverk er også noe som kom frem som vesentlig i en rapport av International Energy Agency (2011), der de beskrev at flere land mangler spesifikke lover for geotermiske ressurser, og som per i dag behandler konsesjon for slike saker under andre lover som ikke ble skrevet med fornybar energi i tankene (IEA, 2011, s. 33). I en rapport av Kapitonov ble det funnet at manglende tilfredsstillende regulatorisk rammeverk begrenser videre utvikling av det fornybare ressursmarkedet (Kapitonov, 2019, s. 72). Det kom også frem i samme rapport at en forbedring av de finansielle og lovgivende

rammebetingelser er viktig for fremtidige investeringsvilkår (Kapitonov, 2019, s. 73). I en annen rapport av Gehringer og Loksha blir det uttrykt at et behov for et eget regelverk for geotermisk energi ikke er essensielt, samtidig som de beskriver hvordan et lovgivende rammeverk rundt de geotermiske ressursene fortsatt er fundamentalt for organiseringen av utnyttelsen av denne typen ressurser (Gehringer & Loksha, 2012, s. 76–77).

3.4. Geologiske utfordringer

Som funnet i kapittel 2.1.2. består grunnfjellet i Norge av mange harde bergarter. Dette fremkommer også i (NOU 2012:9, s. 202) som en teknologisk barriere, med hensyn til at boring i slike fjell er kostbart og spesielt krevende for dypere brønner. Det er ikke bare harde bergarter som bringer utfordringer. Dersom området hvor man ønsker å anlegge en energibrønn er dekket av løsmasser, kan dette flerdoble kostnadene siden man må sette ned føringsrør i stål (Ramstad & Asplan Viak, 2011, s. 10). Ved undersøkelse av dagens status og potensial for geotermisk energi ble det funnet at temperaturer på 100–130 °C ved 5 km dybde er forventet flere steder i Norge (Pascal et al., 2010, s. 1–2), som stemmer overens med gjennomsnittlig temperaturgradient på ca. 20 til 30 °C per km (NOU 2012:9, s. 202). Ettersom de geologiske forholdene i Norge varierer veldig kan det tenkes at masseproduksjon av én veldig spesifikk teknologi kan være vanskelig. Hvordan denne variasjonen spiller inn på produksjon av teknologien, ble det derimot ikke funnet noen relevant studie på, men i boken *Energy Analysis and Policy* blir det beskrevet at videre markedsutvikling krever teknologiraffinering, masseproduksjon og/eller skalert økonomi (Munasinghe, 1990, s. 225).

3.5. Offentlig initiativ

Informasjonen som er å finne om geotermisk energi fra det offentlige, fremstår som mangelfull. Tilgjengeligheten av tilstrekkelig ressursdata og relevant informasjon er et av nøkkelementene for suksessfull utvikling av geotermisk energi som kommer frem i *Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation* (Gehringer & Loksha, 2012, s. 74–78). Det kommer også frem i Energi21 at deltakelse fra myndighetene er viktig for videre utvikling (Evensen et al., 2010, s. 30).

3.5.1. Utdanning og kompetansekrav

Det finnes i dag ingen utdanning som er rettet mot brønnborere for geotermiske brønner. Det nærmeste som er å finne, er ulike utdanninger til brønnborer knyttet til petroleumsnæringen. Et eksempel er bore- og vedlikeholdsoperatør som kan lede inn til en jobb som ingeniør i geofag (Utdannig.no, 2019a). Et annet studie som er aktuelt, er et masterprogram i energi (Utdannig.no, 2019b). Det blir beskrevet i Energi21 at styrket forskning og utdanning er viktig for å tilrettelegge for vekst og utvikling av geotermisk energi til en praktisk, sikker og økonomisk anvendbar energikilde (Evensen et al., 2010). Derimot ble det ikke funnet noen andre eksempler på verken kompetansekrav eller rapporter som stiller dette som en nødvendighet for fremtidig utvikling. En artikkel publisert av SSB konkluderer med at arbeidserfaring og utdanning støtter opp hverandre, men at læring på jobben – yrkesspesifikk opplæring – ikke enkelt kan kompensere for mangel på formell utdanning. Studien konkluderer også at man tilegner seg flere generelle ferdigheter i bedrifter med høyt utdanningsnivå og mer spesifikke ferdigheter i bedrifter med høyt erfarings- og ansiennitetsnivå (Hægeland, 2002, s. 43).

3.5.2. Støtteordninger

Som en del av dagens klimapolitikk er støttemiddelordninger et viktig verktøy for å fremme ønsket utvikling. Det finnes en rekke slike støtteordninger som administreres av blant annet Enova, Innovasjon Norge og NVE (NOU 2012:9, s. 43), som vist i tabell 2. Slike ordninger er viktige ettersom myndighetenes politikk for å begrense klimautslippene i stor grad påvirker den private etterspørselen etter klimavennlige teknologier, noe som også gir en samfunnsøkonomisk mergevinst ved FoU innen klimateknologier (Bruvoll et al., 2018, s. 27). I en rapport av Gehringer og Loksha kom det frem at slike støtteordninger er særdeles viktig for prosjekter innen geotermisk energi, ettersom de direkte motvirker oppstartsbarrierer som investeringsrisiko og høy oppstartskostnad (Gehringer & Loksha, 2012, s. 88).

Tabell 2 Støtteordninger

Enova	Inntil 50 % av prosjektets merkostnad (ENOVA, u.d.-a)
Innovasjon Norge	Inntil 55 % av prosjektets merkostnad (Innovasjon Norge, 2018)
NVE	Alle kostnader relatert til nettselskapet som reflekteres i prosjektets budsjett og regnskap, kan dekkes i ordningen (NVE, 2015)
Forskningsrådet	Beløpsgrense på 200 000 euro (Forskningsrådet, 2019)

3.6. Bransjebehov

Å se på bransjens behov som en homogen enhet kan ikke gjøres innenfor rimeligheten grenser, derfor vil dette delkapittelet kun undersøke de faktorene som ble gitt uttrykk for som vesentlige i resultatdelen. I dette delkapittelet vil vi undersøke eksisterende kunnskap innenfor: robuste brønner, geologisk kartlegging, effektivisering og tydeliggjøre begreper.

3.6.1. Robuste brønner

Det ble funnet svært lite relevant forskning på ny teknologi innenfor holdbarheten til geotermiske brønner. Det ble funnet en rapport av Sugama (2006) som tok for seg bruken av konvensjonelle sementblandinger i geotermiske brønner under ulike geologiske forhold, blant annet en på 1700 meter med en temperatur på 320 °C og en på 1000 meter med en temperatur på 200 °C. Som oftest fikk brønnene skader etter litt under ett år, men under de mest ekstreme forholdene kollapset brønnene etter bare tre måneder (Sugama, 2006, s. 10).

3.6.2. Geologisk kartlegging

I NOU 2012:9 ble det funnet et behov for kartlegging av det geotermiske ressurspotensialet i Norge, da dette kun var gjort i begrenset grad (NOU 2012:9, s. 202). Norges geologiske undersøkelse (NGU) hadde i 2017 et prosjekt om å samle informasjon fra berggrunnen, som blant annet å digitalisere analog informasjon, samle informasjon som til nå har vært i besittelse av private aktører, samt en rekke andre digitaliserings- og effektiviseringstiltak (Løvø, 2017). Geologisk kartlegging var fortsatt et aktuelt tema i 2018 (Energi21, 2018, s. 96).

3.6.3. Effektivisering

Effektivisering kan gjøres på mange måter, som f.eks. effektivisering av logistikk som ble funnet å være en bestemmende faktor for bærekraftig økonomisk vekst (Sharipbekova & Raimbekov, 2018). Et annet eksempel omhandlet effektivisering av bygninger, som konseptet med *Zero Energy Building*. Dette konseptet kom frem som en reell måte å designe bygninger på, det ble derimot påpekt for å få dette implementert var det nødvendig med et klart rammeverk og en standardisert måte å beregne utslippene (Marszala et al., 2010, s. 978).

Det er ikke kun i fremtiden dette har potensial, konseptet er allerede innført i blant annet *Center for Sustainable Landscapes* i Pennsylvania, hvor det blir benyttet geotermiske brønner, sammen med solceller og andre grønne løsninger, dette ble ferdigstilt i 2012 (Thiel et al., 2013, s. 1128). På dette bygget ble det utført en livssyklusanalyse av byggefasen og overraskende nok ble det funnet en økning på 10% av det globale oppvarmingspotensialet sammenlignet med et vanlig kommersielt bygg (Thiel et al., 2013, s. 1137). Studien anerkjenner derimot at det kun ble sett på byggefasen av livssyklusen til bygget, som i tradisjonelle bygg utgjør 2 –15 % av levetiden til bygget. Dette er stadig viktigere siden bruksfasen av byggene bruker mindre energi takket være bedre teknologi (Thiel et al., 2013, s. 1126).

3.6.4. Tydeliggjøre begreper

Det ble funnet flere kilder som definerer begrepene grunne- og dype systemer på ulike måter. Gjennom en systematisk kartlegging av disse ble det laget en tabell som illustrerer hvordan de ulike kildene definerte begrepene, denne ligger vedlagt som vedlegg 1. Denne tabellen bør kun vurderes som et utdrag av definisjoner, og ikke som en fasit på variasjonene som finnes, og den er kun ment for å illustrere hvordan forskjellen er i lett tilgjengelige kilder. Det ble ikke funnet noe forskning på hvorvidt diskursen innad i det geotermiske miljøet vil påvirke en fremtidig vekst.

4. Metode

Det har blitt samlet inn data fra flere aktører innenfor geotermisk energi som ble ansett som nøkkelpersoner med mye kompetanse. Hovedfokuset var å undersøke de barrierer og suksesskriterier som er aktuelle for geotermisk energi i Norge i dag. Vi valgte en kvalitativ metode hvor vi har få, men dype intervjuer med ulike personer fra det geotermiske miljøet i Norge. For å analysere dataene som ble samlet inn, valgte vi å utføre en tematisk analyse. I dette kapittelet vil vi presentere denne metoden som er brukt for å samle denne dataen, hvordan fremgangsmåten var og analysen har blitt utført.

4.1. Tematisk analyse

Tematisk analyse er en prosess basert på en systematisk gjennomgang av en tekst, som i dette tilfellet er transkripsjoner av intervjuene gjennomført på forhånd. Her er målet å identifisere temaer og mønstre som er interessante, og bruke disse til å si noe om problemstillingen. Nøyaktig hvordan en deler og klassifiserer bolker av tekst inn i ulike temaer er ikke håndfast og ofte meget individuelt. I denne oppgaven følger vi metoden til Maguire og Delahunt (2017, s. 4) som baserer seg på de seks tematiske steg av Braun og Clarke (2006, s. 87).

4.2. Fremgangsmåte

Oppgaven startet ved å delta på GeoEnergi 2019, en konferanse som ble holdt 4. og 5. februar i Bergen, arrangert av *Norwegian Center for Geothermal Energy Research (CGER)*. Vi dro hit for å danne oss et kunnskapsgrunnlag og i tillegg prøve å knytte nettverk slik at vi kunne komme i kontakt med nøkkelpersoner som kunne være interessante å intervjuer. Vår metode for dette var ganske enkel; vi snakket med både deltakere og foredragsholdere på konferansen. Vi pratet med disse personene ved anledning og spurte om de var villig til å delta i oppgaven vår, og som oftest ble vi svart med entusiasme og positive tilbakemeldinger. Vi møtte mange mennesker som hadde mye interessant å si, men grunnet begrenset tid til gjennomføring av intervju og analyse, måtte vi selektere et mindre utvalg personer som ville være sentrale for oppgaven vår.

Etter endt konferanse diskuterte gruppen hvem av de potensielle personene vi ønsket å intervjuer, og hvordan vi skulle gjennomføre intervjuene. Vi bestemte oss for å intervjuer 3–5 personer som vi møtte på konferansen, slik at vi hadde nok data til å foreta en tematisk

analyse, og i tillegg nok tid til å bli ferdig med oppgaven innen fristen. Hvert intervju skulle vare i ca. én time og ville ha et semistrukturert oppsett, det vil si at vi har hovedtemaer vi følger, men det er også helt akseptabelt å diskutere temaer utenfor retningslinjene.

For å kunne behandle personlige opplysninger, som å vise navnet til deltakerne i oppgaven var det nødvendig med en godkjenning fra Norsk senter for forskningsdata (NSD). NSD er et nasjonalt arkiv som HVL har en avtale med for å forsikre riktig personvernsbruk. Dette er nødvendig for oss for å kunne behandle personopplysninger til de som deltar i oppgaven vår.

Etter en kort planleggingsprosess sendte vi ut eposter til de ulike kandidatene for intervju. I disse epostene forklarte vi hvem vi var, kort om oppgaven vår og hvilke temaer vi ønsket å snakke om, og sammen med eposten sendte vi også en intervjuplan med de temaer vi ønsket å fokusere på i et eventuelt intervju. Intervjuplanen som ble sendt til de potensielle deltakerne, er å finne som vedlegg 2.

Vi sendte ut eposter til syv personer og vi fikk fem positive svar, de som svarte positivt er vist i tabell 3. Ideelt sett ønsket vi å gjennomføre intervjuene personlig, men endte med tre intervjuer over Skype og to intervjuer i person. Innledende til hvert intervju startet vi med en introduksjon av oss og oppgaven, før vi deretter spurte deltakeren om vi kunne ta opptak av samtalen, og ved bekreftelse startet vi opptakeren. Det var også nødvendig med skriftlig samtykke gjennom et dokument godkjent av NSD. Dokumentet fortalte kort om oppgaven, og deres rettigheter som deltakere med hensyn til personvern. Denne måtte bli signert av deltakerne, hvor de kunne gi sitt samtykke for at vi kunne bruke informasjon som ville identifisere dem i oppgaven.

Tabell 3 Intervjuobjekter

Deltakere i intervju:	Referert som:
«Anna»	Deltaker A
Carsten F. Sørli	Deltaker B
Einar Østhassel	Deltaker C
Kirsti Midttømme	Deltaker D
Thor Erik Musæus	Deltaker E

Intervjuene ble foretatt over en treukersperiode, hvor mye av tiden ble brukt på forberedning og undersøkelser av mulige og relevante temaer før hvert intervju. I forkant av det første intervjuet gjennomførte vi et testintervju med en førsteamanuensis fra Høgskulen på Vestlandet, for å teste om et eventuelt Skype-intervju ville bli av tilstrekkelig kvalitet. I tillegg fikk vi tips til hvordan det best mulig skulle gjennomføres et intervju. Etter å ha ferdigstilt de fem intervjuene ble opptaket gjennomgått og transkribert. Dette ble gjort ved å dele inn opptakene av intervjuet i tre like store lengder, hvor vi så transkriberte hver vår del, deretter spilte vi av opptaket i plenum og samtidig leste av transkriberingen for å luke ut flest mulige feil som hadde blitt gjort.

Da alle intervjuene var ferdig transkribert og gjennomgått, startet analyseprosessen. Dette ble utført med hjelp av et analyseprogram kalt NVivo. Vi fulgte metoden til Maguire og Delahunt (2017) som baserer seg på de seks tematiske steg av Braun og Clarke (2006), som vist i tabell 4. Dette var på ingen måte en lineær prosess, men en syklisk prosess hvor vi gjentok steg 3 – 5 gjentatte ganger, til vi sto igjen med et resultat presentert i kapittel 5.

Tabell 4 Seks steg for gjennomføring av tematisk analyse (Maguire & Delahunt, 2017, s. 4)

1. Bli kjent med dataene dine	Ved å transkribere intervjuene og ved å lese gjennom dem blir man svært kjent med innholdet.
2. Lag oppstartskoder	Start å dele inn sitater i koder, som lover og regler, høye kostnader, lav strømpris, osv.
3. Let etter temaer	Samle sammen kodene du har laget til ulike temaer, som politikk, økonomi eller lovverk.
4. Definer temaer	Knytt sammen de ulike temaene du har funnet til nå, inn i overliggende temaer som f.eks. barrierer eller suksesskriterier.
5. Gå gjennom temaer	Gå gjennom temaene og finn ut hvilke temaer du ønsker å bruke, hva som er relevant, hva passer hvor, osv.
6. Skriv resultatene	Når temaene dine er samlet sammen, så har du funnet svarene på analysen og du vil kunne skrive resultatene.

4.3. Analysen

Ved å transkribere tekstene og grundig gjennomgang av disse ble vi svært godt kjent med innholdet i intervjuene. Neste steg var å laste de fem ferdig transkriberte intervjuene inn i NVivo, hvor vi gikk gjennom hvert intervju hver for oss, markerte avsnitt, paragrafer og andre interessante utsagn og markerte dem med ulike temakoder. Deretter samlet vi disse temakodene inn i ulike temaer. Disse temaene ble så samlet sammen i overtemaer, som for eksempel økonomi, utdanning eller teknologi. Denne delen av analysen tok lang tid, og vi stokket om på alt flere ganger før vi ble fornøyd.

Vi endte opp med over 100 forskjellige temaer, og til sammen innenfor disse over 1000 temakoder. Etter at det første stadiet var over, samlet gruppen seg og gikk gjennom temaene og temakodene som hadde blitt funnet så langt og startet en elimineringsprosess. Under denne prosessen så vi konsekvent etter temaer som direkte omhandlet problemstillingen, og prøvde å lese mellom linjene på disse for å kunne tolke konteksten i intervjuet på best mulig måte. Det ble eliminert rundt 70% av temakodene og 50 % av temaene som ble ansett som mindre relevant for oppgaven.

Da vi var ferdig med å eliminere de delene av analysen som vi anså som mindre relevant, gikk vi gjennom hele prosessen på nytt, og delte temaene inn i de kategoriene vi tolket som passende for hver enkelt. På bakgrunn av oppgavens problemstillinger ble disse kategoriene satt som barrierer og suksesskriterier. En forklaring av disse blir vist i Tabell 5. I resultatet startet vi å finne frem sitater som vi anså som representative for inntrykkene vi fikk i analysen, skrev rundt disse til vi var fornøyd med fremstillingen.

Vi sendte eposter til alle som var med på intervjuene, med et vedlegg med alle sitatene deres som ble brukt i resultatet, i tillegg til konteksten de ble brukt i. Grunnen til dette er for at deltakeren skal få en mulighet til å se over sine egne sitater, om de føler de er blitt sitert rett, om de ønsker å endre på sitater, eller trekke dem. Vi presiserer at sitatene som blir presentert i resultatene, er direkte transkribert fra intervjuene, med kun små endringer, som fjerning av fyllord og unødvendige delsetninger, for å tydeliggjøre meningen bak sitatet. Vi ønsket å ha minst mulig innflytelse over hva som kommer til uttrykk, og dette fører da til at noen av sitatene er mindre grammatisk korrekte.

Tabell 5 Definisjoner av begreper fra analysen

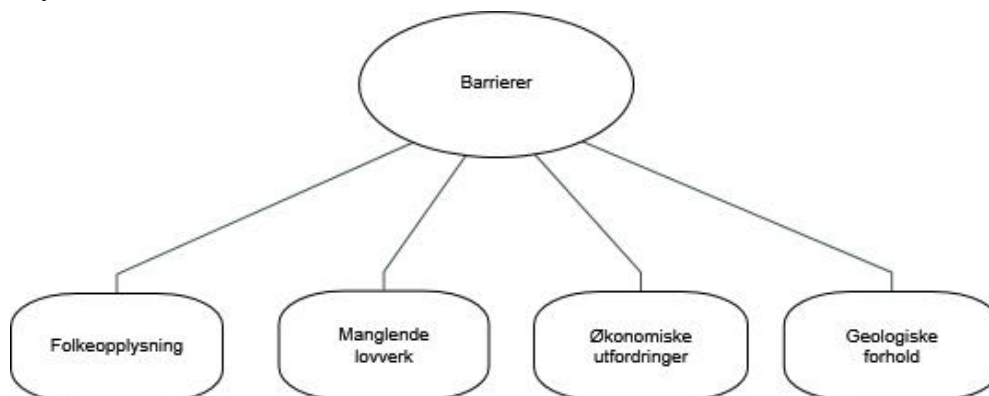
Begrep:	Definisjoner:
Barrierer	Faktorer som kom klart frem i analysen som et hinder for vekst av geotermisk energi i Norge.
Folkekunnskap	Manglende kunnskap om geotermisk energi blant Norges befolkning.
Manglende lovverk	Manglende lovverk og retningslinjer for geotermisk energi i Norge.
Økonomiske utfordringer	Vanskelige økonomiske forhold som gjør det vanskelig for geotermisk energi å konkurrere i dagens energimarked.
Geologiske forhold	Geologiske forhold i Norge.
Suksesskriterier	Kriterier som må innfris for videre vekst innen geotermisk energi i Norge.
Offentlig initiativ	Det er et behov for at offentlige instanser viser interesse og legger opp til vekst.
Bransjebehov	De geotermiske bransjene har ulike behov som må oppfylles for at industrien skal vokse.
Teknologiutvikling	Utvikling av teknologi som kan gjøre geotermisk energi billigere, mer hardfør og mindre risikabelt.

5. Resultat

I dette kapitlet vil vi presentere resultatene fra den tematiske analysen av intervjuene. Disse resultatene ble delt inn i to hovedkategorier; barrierer og suksesskriterier. Delkapittel 5.1. omhandler kategorien for barrierer og inneholder fire hovedtemaer. Delkapittel 5.2. omhandler kategorien for suksesskriterier og inneholder tre hovedtemaer. Hvert hovedtema inneholder flere viktige aspekter som blir presentert gjennom et utdrag av den tematiske analysen og et underbyggende sitat. Til slutt, i delkapittel 5.3. vil vi presentere en punktvis oversikt over de viktigste momentene funnet i analysen.

5.1. Barrierer

Fra den tematiske analysen ble det funnet fire hovedtemaer som ble plassert inn under hovedkategori barrierer: Folkeopplysning, manglende lovverk, økonomiske utfordringer og geologiske forhold, som vist i figur 11. Hvert av disse temaene har et varierende antall undertemaer som vil bli presentert i dette delkapitlet gjennom refererte sitater og tilhørende analysetekst.



Figur 11 Tematisk oversikt av barrierer

5.1.1. Folkeopplysning

Et tema som stadig ble løftet frem som en barriere, var at det foreligger en generell mangel på kjennskap til de ulike teknologiene og geotermiske systemene hos den norske befolkningen.

Ja, folkeopplysning er én ting, når du forklarer litt mer hva du holder på med, sier de wow, dette er jo helt genialt, så det er liksom den der å få forståelsen av det. (...) Jeg

tror geotermi faktisk er en ekstremt viktig kilde til grønn energi i tiden fremover, selv om ikke alle i verden har skjønt det enda. – Deltaker E

Dette er en stor formidlingsoppgave. – Deltaker C

En annen trend som kom frem gjennom intervjuene, var hvordan markedsføringen ikke har vært tilstrekkelig nok for å gjøre geotermisk energi kjent som et alternativ til andre fornybare energikilder.

Det er knapt noen bergensere som vet at mange av byggene her er oppvarmet med geotermi, med bergvarme, brønnboreren er jo ikke så interessert å markedsføre det. – Deltaker D

Vi må jo jobbe en del for å få det inn i vokabularet som sol og vind. – Deltaker E

Noen av deltakerne ga uttrykk for at dette kunne skyldes hvordan geotermiske systemer ofte har små inngrep med lite synlighet i terrenget, som bidrar til å holde teknologien relativt ukjent.

Det blir ikke noe overskrift om naboen kjøper en varmepumpe, litt mer hvis de begynner å installere en vindmølle på tomte si. – Deltaker D

Denne ukjentheten ble uttrykt å kunne føre til en usikkerhet blant befolkningen, mye på grunn av de reelle konsekvensene knyttet til industert seismisitet. Et eksempel er hendelsen i byen Basel i Sveits, hvor et prosjekt i 2009 ble stanset etter store ødeleggelser som følge av industert seismisitet.

Også møter du konkurranse fra folk som sier at dette er så skummelt og vet ikke hvordan og skjønner ikke helt. – Deltaker E

Det kan skape usikkerhet i befolkningen om hvorvidt det her er trygt da. – Deltaker A

Noe er jordskjelv som du bare kjenner som ikke har noe betydning, men samtidig som skaper bekymring blant befolkningen, også har du den hendelsen i Basel. – Deltaker B

Selv om den oppfattede risikoen assosiert med geotermisk energi har vært stor, så ble det gitt uttrykk for at konsekvensene ikke nødvendigvis trenger å være alvorlige.

Indusert seismisk aktivitet det er en kritisk del av altså. Kan være det i forhold til at man påvirker, men vel så mye også når det gjelder følelser, du kjenner jordskjelv i områder hvor du normalt ikke gjør det. Men det trenger ikke være noe verre enn at en trailer kjører forbi huset ditt. – Deltaker B

Samtidig blir det også gitt uttrykk for at geotermisk energi har hatt en generell økning i aksept de siste årene, og kan være en reel bidragsyter i energiomstillingen fremover mot lavutslippssamfunnet.

Det har begynt å bli en mye større aksept enn det var før, og det vil si for 3–4 år siden var liksom geotermi dyrt og dette er vanskelig, men nå begynner folk å se at dette er en kjempeinteressant kilde til oppvarming og kanskje også strømproduksjon over tid.
– Deltaker E

5.1.2. Manglende lovverk

Det kom tydelig frem i intervjuene hvordan et manglende lovverk og regulerende rammevilkår ikke er til stede for den geotermiske sektor i dag, noe som ble uttrykt som en barriere for fremtidig vekst.

Jeg ser lovverket, det er ikke dimensjonert eller kalibrert i forhold til den utviklingen her. – Deltaker C

Denne mangelen er et gjentakende problem som dukket opp som forskjellige problemstillinger, hvor det blant annet ble uttrykt et behov for klare retningslinjer for energibrønner.

Norge har ingen regler eller, man har vel noe krav til å si ifra at du skal bore her eller der, så man ikke borer seg gjennom en eller annen tunnel, eller jernbanetunnel eller noe sånt, eller ødelegger for noen. – Deltaker E

Nei, det finnes ikke noe sånt i dag, nei det gjør det ikke (...) jeg etterlyser nærmere sammenheng mellom departementet som eier loven, i dette tilfellet plan- og bygningsloven, og direktoratet for byggekvalitet, som lager tekniske forskrifter.
–Deltaker C

Som en del av den vedvarende mangelen på lovverk foreligger det heller ingen konsesjonsplikt når det kommer til etablering av geotermiske brønner.

Det er ikke konsesjonsplikt foreløpig knyttet til heatmining så det er litt rart, vi har i hvert fall undersøkt litt, og det er ikke foreløpig, det er jo veldig klare regler på petroleumssiden, og veldig klare regler på gruvedrift. – Deltaker E

Deltakerne uttrykte også at det foreligger et behov for en styrende hjemmel i loven for tiltakshaver på kommunalt nivå.

Sett fra kommunens side, så man må skille litt mellom det med søknadsplikt, jeg har full forståelse for Oslo kommune jeg altså, hvor mange milliarder er investert nede i bakken, fjernvarme og fiber og hva det er for noe, at de har behov for å vite hva er det som skjer. – Deltaker C

Så jeg tror det begynner å bli tatt innover seg, men Nesodden kommune søkte om å få lov til å regulere. Krav om at alle brønnene måtte rapporteres til de, men de fikk avslag. – Deltaker D

Selv om det blir gitt uttrykk for et stort behov for reguleringer gjennom lovverket, finnes det uten tvil flere perspektiver i miljøet og ikke nødvendigvis en fasit på hvilke, eller hvordan tiltakene burde innføres.

Jeg tror det er et viktig poeng å få det litt mer regulert, (...) men hvor stor grad man skal regulere sånt, det, det har jeg ikke noe svar på nå. – Deltaker E

5.1.3. Økonomiske utfordringer

Fra deltakerne kom det tydelig frem at den lave strømprisen i Norge, sammen med de høye oppstartskostnader knyttet til borekostnader og etablering av brønner, er en betydelig barriere i dag.

Strømprisen. Jeg tror det er veldig vanskelig å komme unna den altså, det er en sånn «breakeven» her i forhold til kost-nytte. (...) er strømprisen det står og faller på.
– Deltaker C

Akkurat som det er i dag så klart vi må bli bedre altså, vi ser at borekostnaden bør kuttes. – Deltaker E

Det ble uttrykt at selv om man kan bygge et geotermisk anlegg under optimale forhold, så må det fortsatt skje noe på kostnadssiden for å opprettholde konkurranseevnen. En av fordelene med geotermiske anlegg er at selv med høye oppstartskostnader, er de videre driftskostnadene lave.

Og det som typisk er at brønner og dampsystemer altså på overflaten, utgjør 30 til 40 prosent av kapitalen av kostnadene. (...) Og det, der kan man si at i dag så er, så har man de gode ressursene, geotermiske ressursene, i de rette markedene så har du konkurransedyktige prosjekter, men hvis det ikke skjer noe på kostnadssiden, så tror jeg ikke at det er bærekraftig altså. – Deltaker B

Det er boring, og investeringen, driftskostnader er jo ikke store, men jeg tror også det er med forskning og få dokumentert effekten av det. – Deltaker D

Oppstartskostnad og strømpris er to store faktorer, men det ble også uttrykt enighet om at en utfordring i dag er den høye økonomiske risikoen knyttet til etablering av geotermiske systemer.

Det er jo litt det med utfordringen med risiko, du har bestandig en usikkerhetskomponent når man skal drive og bore dypt i grunnen. – Deltaker D

Det handler om kostnadsprofil, versus økonomisk risiko, sant, du har store kostnader ifra, altså den enkle forklaringen er at det er veldig store kostnader før du begynner å produsere energi, også før du vet om du kommer til å kunne produsere kommersielt, det er veldig risikofylt å investere noe sånt, du må i praksis bore fram før du vet om du kan produsere, sånn at en av de store barrierene er rett og slett om at det er knytta til økonomisk risiko. – Deltaker A

5.1.4. Geologiske forhold

Deltakerne ga uttrykk for hvordan geologien i Norge, med harde bergarter, kunne være utfordrende for dypere brønnboring.

Det er en krevende prosess fordi du skal borre langt i knallhardt fjell. Selv om du har mye kunnskap fra olje og gass industrien så er det trøblete med harde bergarter og da kunne få høy nok effektivitet til at det blir lønnsomt. – Deltaker E

Samtidig som temperaturgradienten i Norge ble uttrykt som en begrensende faktor knyttet til etablering av geotermiske systemer, da spesielt ved dypere boring.

Når det er sagt, så er det også noen som har sett litt på det med direkte bruk med mer dyp geotermi, men på grunn av temperaturgradienten i Norge så er det relativt begrenset. – Deltaker B

Det ble gitt uttrykk for at strømproduksjon ikke er egnet i Norge ettersom varmestrømmen heller mot den lave siden og begrenser det økonomiske potensialet. På den annen side kom det frem hvordan det å utnytte geotermisk energi direkte til varmeproduksjon kan være mer aktuelt.

Men det er klart at i Norge er ikke dette egnet til å produsere strøm, for her er det for kaldt. Da må vi veldig dypt og da blir det veldig dyrt, i hvert fall foreløpig.
– Deltaker E

Da tror jeg ikke noe særlig på kraft-produksjon må jeg innrømme, men eventuelt i forbindelse med oppvarming øyemed og enkelte anvendelser. – Deltaker B

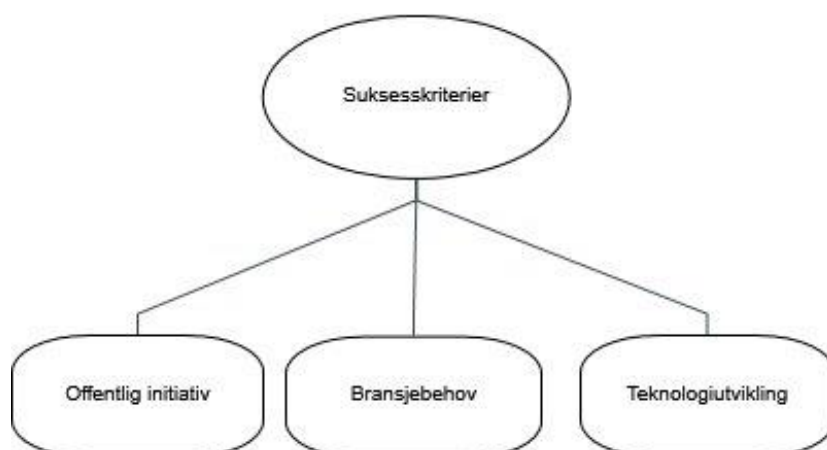
En annen utfordring som kom frem, var hvordan hvert system krever en egen spesiell vurdering og tilpasning. Både når det kommer til brønndybde, plassering og hvilken teknologi som er best egnet vil det være variasjoner, noe som kan gjøre masseproduksjon av teknologien krevende.

Men det er klart det er vanskelig å si sånn akkurat hva som må til, fordi det som er litt utfordringen med geotermisk er jo at det er ulike grunnforhold og ulike geologiske forhold mange forskjellige steder. Det er ikke lett å finne en sånn billig nok ressurs som solceller for eksempel der du kan masseprodusere en veldig nøyaktig bestemt teknologi også rulle den ut mange ulike steder. Her, det, man må på en måte basere seg på lokale forhold, og forstå de forholdene videre da. – Deltaker A

Det er litt avhengig av hva du trenger og hvor dypt du kan gå, det er mange forhold som spiller inn. – Deltaker E

5.2. Suksesskriterier

Fra den tematiske analysen ble det funnet tre hovedtemaer som ble satt inn under hovedkategori suksesskriterier: Offentlige initiativ, bransjebehov og teknologiutvikling, som vist i figur 12. Hvert av disse temaene har et varierende antall undertemaer som vil bli presentert i dette delkapittelet gjennom refererte sitater og tilhørende analysetekst.



Figur 12 Tematisk oversikt over suksesskriterier

5.2.1. Offentlige initiativ

Det ble tidligere nevnt hvordan et manglende lovverk inneholder flere viktige aspekter. Et av disse aspektene som inngår under kategorien suksesskriterier er et behov for et lovpålagt krav til utdanning og kompetanse.

Dette er ikke for hvem som helst å drive med heller (...) man kan forårsake ganske store konsekvenser dersom ting gjøres feil, det gjør det. Dette betinger fagkompetanse, så det er vel en terskel som jeg ser. – Deltaker C

Det har jo ikke vært noe spesifikt lovverk som regulerer energiboring, så vi har jo hatt noen uheldige episoder da, ras og det klart man bør vite hva man gjør. – Deltaker D

Et krav til kompetanse er noe som blir belyst som et viktig moment, og det blir det forventet at det offentlige tar mer ansvar for.

Men dette kommer ikke til å skje i privat regi, dette er et offentlig ansvar, og dette må inn i skoleverket, dette må inn i lov om fagopplæring, derfor er det litt stort det vi har fått til, å få staten til å ta et rekrutteringsansvar med bransjens angitte kompetansemål
– Deltaker C

Det kom frem fra deltakerne hvordan kravet til kompetanse er viktig, men også det å ha fokus på HMS. Noe som kan bli bedret gjennom fremtidig utdanning av brønnborere, da det er knyttet mye personlig risiko til brønnboring.

Så HMS i dette her er veldig viktig, håndteringen av sånt utstyr, dette er ikke breddekompetanse, dette er spesialistkompetanse. Så skal vi drive ansvarlig bransjeutvikling så er det at man følger i tråd med HMS bildet oppi dette her.
– Deltaker C

Et ønske om at offentlige instanser har mer fokus på geotermisk energi, foreligger også hos flere av deltakerne. Dette blir fremstilt å kunne bidra til mer tilgjengelig informasjon, noe som vil fremme både kunnskap og videre utvikling av bransjen.

Tenker på igjen, slik som det blir synliggjort gjennom SSB for eksempel. Et betydelig forbedringspotensial vil nok ligge i at bransjen kan komme med relevant offentlig statistikk. – Deltaker C

Ettersom det foreligger flere kostnadmessige utfordringer ble støtteordninger som Enova uttrykt av deltakerne som et nødvendig virkemiddel for å hjelpe utviklingen av geotermiske anlegg å bli konkurransedyktige i fremtiden. Dette vil også bidra med å skape en videre utvikling av bransjen gjennom offentlige insentiver.

Enova som jeg er veldig begeistret for selv som et sånt myndighetsinstrument, for å fremme, kalle det umodne, eller en ønsket utvikling da. – Deltaker C

De får jo støtte fra Enova nå på sånn teknologi, så det er ikke noe problem å ha sånn, all konvertering til ny teknologi kan jo få støttet nå, så det er jo positivt da. (...) så man lærer jo mye etterhvert, med utvikling av ny teknologi så trengs det jo demonstrasjonsprosjekter der man får lov til å prøve, og få litt ekstra støtte for det første. – Deltaker D

Jeg vil vel ikke si at jeg synes det er riktig at Enova skal slippe støtten til dette her enda, det er litt tidlig, bør ha litte granne hjelp for å komme litte granne videre.
– Deltaker E

5.2.2. Bransjebehov

Gjennom intervjuene kom det frem et behov om å effektivisere arbeidsprosesser og kontinuerlig forbedre metoder, dette blir uttrykt som en viktig, men saktegående prosess.

Så der har vi, tror jeg, en industri som kan lære mye av olje og gass sektoren. Ikke det at vi skal bruke storslegga og komme med veldig kostbare olje og gass teknologier (...) mye av de forbedringene vi har sett er noe teknologi, men veldig mye egentlig kontinuerlig forbedring og fokusere på arbeidsprosessene dine. – Deltaker B

Så det er del teknologiområder man må jobbe med for å få dette mer effektivt da.
– Deltaker E

Jeg vil si at dette her er mer en evolusjon enn en revolusjon, sant, vi ser på en måte, man lærer litt, og man gjør ting litt bedre jamt. – Deltaker A

Selv om en bedring av prosessene kom frem som en viktig faktor, ble det også uttrykt et behov for utvikling av mer robuste brønner, da det er for mye feil på disse i dag.

Også må vi få mer robuste brønner, det er gjort statistikk på Island, at det er vel inntil 30 % om jeg husker rett, av brønnene har en eller annen form for skade. – Deltaker B

Det ble også belyst et behov for geologisk kartlegging av berggrunnen, ettersom letingen etter reservoarer i dag blir fremstilt som utfordrende og uten tilstrekkelig informasjon.

Ellers så tror jeg nok, igjen altså det å kartlegge, og forstå undergrunnen vil være viktig. – Deltaker A

Også tar du opp da vann med en temperatur på kanskje 100 °C og mer, og utfordringen med det er å finne de lagene, de områdene hvor det er sånne underjordiske bassenger. – Deltaker E

Et annet viktig moment som kom frem fra analysen, er at det foreligger et definisjonsproblem når en snakker om geotermisk energi uttrykt gjennom begreper som «grunn» og «dyp». Det ble gitt uttrykk for hvordan begrepene som brukes i dag, ikke er tilstrekkelig nok for å beskrive variasjonen som foreligger.

Jeg er litt sånn skeptisk til bruk av «dyp» og «grunn» geotermi for det er litt sånn, det er de «dype» som har på en måte satt den, den navngivingen der da. Men det er vel litt mer nyansert egentlig. – Deltaker D

Så det er vel det jeg kan si om det, å få til en større presisjon i forhold til hva som defineres som grunn og dyp geotermi. – Deltaker C

Gjennom intervjuene kom det frem store forskjeller i beskrivelsen av disse begrepene, noe som er naturlig ettersom deltakerne har forskjellig ståsted.

Så det er vanskelig å sette noen sånn absolutt grense, det kan nesten være ryddigere å snakke om geotermiske varmepumper og ikke, men dyp, ja, du må i hvert fall over 2000 meter sant, men så hvis du har en annen ressurs, en ressurstype som tilsier at det er veldig høye temperaturer hvor det ikke er veldig store dyp. – Deltaker A

Jeg reiser til Bergen og snakker med våre kjære forskere der borte, og får høre at jeg er grunn, med mine 2–400 m, jeg føler meg på ingen måte grunn altså. – Deltaker C

Det ble også uttrykt et behov for standardiserte metoder for både etablering av brønner og systemer, samtidig som en felles akseptert modell for å sammenligne disse.

Nå er det mye synsing på både hvor dyp brønnen skal være og hvordan varmepumpen og alt det der (...) Det å oppnå klar informasjon på både kostnader og hva som kreves, og den generelle informasjonen hadde vært prima. – Deltaker D

Vi løftet opp en økonomi, og inviterte, skal vi si alle med interesse for saken og samlet det rundt standard Norge og laget en norsk standard, NS3056, norsk standard for borede brønner og energi. Og det var jo et ønske fra bransjen selv, og få noe alle kunne være enig om, hvordan boring skulle foregå, og hvordan en brønn skulle se ut. – Deltaker C

Hvor godt fungerer anleggene da, å overvåke og følge opp noen spesielle anlegg, for det er det med hvordan fungere? (...) det er mange måter å beregne den på da, så det er for å bli enige om at man gjør det på samme måte, slik at man kan sammenligne forskjellige anlegg. – Deltaker D

5.2.3. Teknologeutvikling

Det ble gitt uttrykk for at noen av suksesskriteriene rundt geotermisk energi er knyttet opp mot utvikling og implementering av ny teknologi. Dette kom frem som et viktig poeng for at geotermisk energi skal bli en større del av kraftmarkedet i Norge.

Så jeg tror foreløpig at med mindre det kommer gode tekniske løsninger for dyp, lønnsom dyp geotermi, som også kan nyttiggjøre de lavtemperatur ressursene, og da tror jeg ikke noe særlig på kraft-produksjon må jeg innrømme. – Deltaker B

En av disse teknologiene som fremstod som viktig for deltakerne, er superkritiske systemer. Det fremkom hvordan slike systemer vil ha svært høye temperaturer og trykk, noe som potensielt vil bidra i større grad enn konvensjonelle lavtempererte systemer til dagens kraftmarked.

Altså, det er flere prosjekter som går etter disse superhøtte (...) og vi har jo gått inn på den delen av teknologeutviklingen fordi vi har en tro på at hvis du går dypere og varmere så er det mulighet til å øke energiintensiteten per brønn. (...) Så ideen er at, hvis du går dypt, og går inn i superkritiske ressurser så kan du da, muligens da øke energiintensiteten per brønn med inntil 5 til 10 ganger, det er det som er gjennomsnittet i dag. – Deltaker B

Så synes jeg det er veldig interessant med de der høy temperatur systemene da (...) hvis du kan få til det, så kan du øke veldig, energiproduksjon per brønn (...) fra ett forskningsperspektiv så er jo det utrolig spennende. – Deltaker A

En annen teknologi som av deltakerne ble poengtert som aktuelt for å fremme videre vekst av bransjen, var EGS. Deltakerne var klare ved en eventuell innføring av denne teknologien vil det være imperativt med en høy nok effekt, og minimere konsekvenser. En slik implementering blir uttrykt å kunne åpne opp for utnyttelse av geotermiske ressurser på steder hvor det ellers blir for kostbart med konvensjonelle systemer.

Jeg tror jeg tør å påstå det er en av de store barrierene, fordi at hvis du løser den EGS-utfordringen så har du plutselig ressurser tilgjengelig i hele kontinentale Europa, i USA, øst for Rocky Mountains, du får geotermiske ressurser der hvor det bor folk. – Deltaker B

En av utfordringene med EGS som ble uttrykt som en risiko, er industert seismisk aktivitet, som kan føre til store ødeleggelser. EGS ble uttrykt som en prosess som kan ha uforutsette og potensielt store konsekvenser.

Jordskjelvene fortsatte lenge etter man stoppet injeksjonen og det ble skader på bygg, og det satte industrien langt tilbake i forhold for aksept for stimulering i Europa.

– Deltaker B

Problemet er jo at man kan komme i situasjoner som i Sveits og Amerika, med rystelser, og vi ønsker jo ikke å lage jordskjelv heller. – Deltaker C

Så poenget er vel egentlig at man har ikke kontroll på prosessen når man jobber med sånne ting. – Deltaker E

Et annet viktig moment som kom frem, var et fremtidig behov for mer samhandling mellom energier, som produksjonsbalanse og hybridløsninger. Dette kom frem som et interessepunkt fra flere av deltakerne, og ble uttrykt som en nødvendighet for å supplere et økt fremtidig forbruk gjennom å kombinere flere energikilder for å oppnå mer stabile og effektive systemer.

Etterhvert som det kommer mer og mer fluktuerende fornybar innpå gridet, vi snakker sol og vind så vil det være behov for ressurser som kan kompensere med baseload, og mer fleksibilitet, så jeg tror det å kunne gjøre geotermisk energi mer fleksibel da, altså det å kunne regulere geotermisk fra kraftproduksjon, kommersielle ressurser det vil også være et viktig gjennombrudd som gjør at geotermisk kan samspille godt med andre fornybare kilder. – Deltaker A

Hvis man klarer å entydig gjøre seg i forhold seg til seriekobling, det er veldig interessant, hybridløsninger, både solfangere og den utviklingen der, den ser vi allerede og den tror jeg kommer til å forsterke seg fremover, seriekoble, særlig geoenergi, solfangere, og sol. – Deltaker C

Ikke bare ble det uttrykt viktigheten av å balansere energibærere, men også hvordan et betydelig forbedringspotensial foreligger i å balansere forbrukerne med forskjellig bruksmønster som for eksempel mellom industri og private boliger.

Det beste er jo hvis du har industri og brukere, med forskjellig energibehov da, som kjølebehov og sånt. For da kan du balansere mellom byggene, men hvis det bare er eneboliger så har alle samme energimønster da, at man får en peak på morgenen når folk skal opp og dusje, også har du en peak på ettermiddagen når de kommer fra jobb.

– Deltaker D

5.3. Sammendrag av resultat

I dette delkapittelet vil vi presentere de viktigste funnene fra analysen på en systematisk måte. Delkapittel 5.3.1. starter med en gjennomgang av punktene for barrierer. Til slutt presenteres punktene på samme måte for suksesskriterier i delkapittel 5.3.2.

5.3.1. Barrierer

- Folkeopplysning: Manglende kjennskap til geotermisk energi fører til at det ofte ikke blir vurdert som et alternativ, et resultat av lav synlighet på inngrepene og manglende markedsføring.
- Manglende lovverk: Det eksisterer i dag et mangelfullt lovverk, hvor rammevilkår og retningslinjer for etablering og styring mangler.
- Økonomiske barrierer: Den lave norske strømprisen, høye oppstartskostnader og investeringsrisiko ble sett på som hindringer for etablering i dag.
- Geologiske forhold: De geologiske forholdene som harde bergarter og relativ lav temperaturgradient begrenser det økonomiske potensialet. utfordringer knyttet til varierende grunnforhold gjør masseproduksjon vanskelig.

5.3.2. Suksesskriterier

- Offentlig initiativ: Mer offentlig satsing som relevant statistikk og informasjon, samt krav til kompetanse, og utdanning og støtteordninger, er viktig for konkurranseevnen til geotermisk energi.
- Bransjebehov: En nødvendighet å tydeliggjøre begreper, effektivisere både arbeidsprosesser og teknologisk utvikling som mer robuste brønner og geologisk kartlegging av berggrunnen.
- Teknologiutvikling: Behovet for utvikling av teknologi som superkritiske brønner, EGS og hybride løsninger samt et samarbeid mellom energiprodusent og -forbruker fremsto også som viktig.

6. Diskusjon

Gjennom analysen av intervjuene ble det dannet et bilde over hvilke barrierer og suksesskriterier som i dag fremstår som de viktigste for geotermisk energi i Norge. I dette kapitlet vil vi diskutere sammenhengen mellom eksisterende kunnskap og forskning, funnet i kapittel 2 og 3, med resultatene som kom frem fra den tematiske analysen.

6.1. Barrierer

Den ene hovedkategorien under intervjuene var å undersøke hvilke barrierer som står i veien for utviklingen av geotermisk energi i Norge. Under intervjuene var det særlig fire temaer som fremsto som viktige, disse vil vi nå diskutere i kapittel 6.1.1., 6.1.2., 6.1.3. og 6.1.4.

6.1.1. Folkeopplysning

Et viktig aspekt som kom tydelig frem fra resultatene våre, er befolkningens manglende kjennskap til geotermisk energi. Det ble gitt uttrykk for at en majoritet av befolkningen har generelt lite kunnskap om hva geotermisk energi er og hvordan slike systemer fungerer. Analysen løftet også frem at dette kunne skyldes hvordan geotermiske systemer ofte har små inngrep og lite markedsføring fra industrien selv, noe som derfor ikke skaper like stor samfunnsdebatt som eksempelvis vindkraft. I litteraturstudien ble det funnet en rapport som løfter frem kunnskap, informasjon og veiledning som viktige suksesskriterier for videre utvikling for grunnvarmebaserte løsninger (Ramstad & Asplan Viak, 2011, s. 40). Det ble ikke funnet noe mer relevant forskning på hverken andre løsninger eller hvorvidt kunnskapen til folk flest faktisk er så lav som hevdet. At litteraturstudien på dette området fremstår som manglende, kan derimot være et argument i seg selv for denne problemstillingen.

6.1.2. Manglende lovverk

Fra vår analyse fremkom et manglende lovverk for geotermisk energi som et stort tema med særdeles mange faktorer. Deltakerne ga uttrykk for at et relevant lovverk å forholde seg til, både som et styringsredskap fra tiltakshavers side, og som retningsførende for utbyggerne, er nødvendig for å styrke utviklingen av bransjen. Innenfor lovverket er det flere undertemaer som fremstod som viktige fra analysen, disse inkluderer: reguleringer, retningslinjer, konsesjon, styring og rettigheter. I litteraturstudiet ble det funnet at de fleste land ikke har

konkrete lover for utnyttelse av geotermisk energi, men at eksisterende lovverk som for eksempelvis for gruvedrift er tilstrekkelig i de fleste tilfeller (Kapitonov, 2019, s. 72). Selv om en konkret lov for geotermisk energi ikke er nødvendig, så er tydelige rammevilkår og retningslinjer fundamentalt for fremtidig bransjeutvikling. Det kom klart frem fra vår undersøkelse at det i dag var svært få relevante lovverk og retningslinjer, noe som også ble funnet i en studie fra 2010 (Haehnlein et al., 2010, s. 2620–2621).

På bakgrunn av dette kan det tenkes at selv om en helt egen lov for geotermisk energi ikke trenger å være nødvendig, så er det eksisterende lovverket i Norge ikke tilstrekkelig for en sunn bransjeutvikling. Det kommer frem at forurensningsloven og granneloven er sett på som de rådende lovene i dag. Dette viser et sterkt behov for enten en egen konkret lov, som omhandler alle faktorer ved planlegging og etablering av energibrønner, eller at geotermisk energi blir inkludert i eksisterende lovverk som konsesjonsloven, plan- og bygningsloven, vannressursloven eller andre.

6.1.3. Økonomiske utfordringer

I litteraturstudiet fant vi at strømprisen i Norge er lav sammenlignet med flere andre land. Dette betyr at det kan være krevende for et geotermisk anlegg å levere termisk energi tilsvarende strømpris for å opprettholde konkurranseevnen. Dette stemmer godt med det som kom frem gjennom vår analyse, der vi fant at strømprisen er svært lav og kan være vanskelig å konkurrere mot i en øre/kWh-sammenheng.

Vi fant også i litteraturstudiet hvordan det er store oppstartskostnader knyttet til geotermisk energi, og hvor store deler av disse er knyttet til selve boringen. Her ble det funnet at boreprisen stiger eksponentielt med dybde, og kan resultere i opptil 50 % av de totale kostnadene. Dette stemmer godt med resultatene fra vår analyse, der det kom frem hvordan store deler av kapitalen er knyttet opp mot brønnboringen, og at en kostnadsreduksjon er nødvendig for å opprettholde konkurranseevnen. Det kom også frem en bekymring for at en slik kostnadsreduksjon ikke allerede har inntruffet, når det har vært en stor utvikling blant andre produksjonsteknologier.

Å investere i geotermisk energi innebærer ofte høy økonomisk risiko, noe som ble funnet som et vesentlig tema i litteraturstudiet. Det foreligger flere steg ved etablering av en energibrønn, der risikoen er størst i oppstartsfasen, men faller hurtig etter at de fleste kostbare prosesser

som prøveboring er fullført. Dette er også noe som ble funnet i vår analyse, der denne høye risikoen ble begrunnet å være fordi en ikke vet om anlegget vil produsere forventet effekt, eller i det hele tatt, før store deler av kapitalen allerede er investert.

Det er flere økonomiske utfordringer til hinder for utviklingen av geotermisk energi. Hvilken av de tre faktorene som er størst eller viktigst, kan være vanskelig å si, men det foreligger helt klart et betydelig forbedringspotensial. Å direkte påvirke strømprisen for å bedre den økonomiske profilen til slike teknologier er nok noe som ikke kan gjøres innenfor rimelighetens grenser. Derimot vil videre bransjeutvikling av teknologi og arbeidsprosesser kunne redusere kostnadsbildet over tid. Det kan også tenkes at videre teknologiutvikling vil kunne gjøre de initiale undersøkelsene av aktuelle ressurser både billigere og mer nøyaktig. En slik utvikling vil kunne redusere den økonomiske risikoen, dersom hyppigheten av prøveboring uten ressursfunn synker.

6.1.4. Geologiske forhold

Fra analysen kommer det frem hvordan grunnfjellene i Norge som i stor grad består av harde bergarter som granitt og gneis, kan føre til utfordringer for boring av energibrønner, noe som igjen gjør prosesser mer kostbare. Dette stemmer godt med det som ble funnet i litteraturstudien der vi fant at boring i harde fjell er kostbart og fremstår som en teknologisk barriere.

Deltakerne ga også uttrykk for at Norge har en temperaturgradient som fører til en relativt dårlig geotermisk ressurs. Dette stemmer med funnene i litteraturstudien der det ble funnet at den norske temperaturgradienten ligger på den lave siden av gjennomsnittet. Etersom en må svært dypt (≈ 5 km) for å nå ressurser med høyere energiinnhold enn lav entalpi, blir disse svært kostbare.

En annen problemstilling som sto frem fra analysen, var hvordan produksjon av geotermisk energi kan være vanskelig ettersom etableringen av anleggene krever tilpassede løsninger på bakgrunn av at berggrunnen og hensikten med systemet kan være svært varierende. Her fremstår litteraturstudien som manglende ettersom det ikke ble funnet noen relevant studie om dette forholdet, med unntak av boken *Energy Analysis and Policy*, som beskriver masseproduksjon som et av flere nødvendigheter for videre markedsutvikling (Munasinghe, 1990, s. 225).

Samlet sett fremstår de geologiske forholdene som en barriere det er vanskelig å påvirke i særlig stor grad. At harde bergarter fører til mer kapitalkrevende boring, kan bedres ved utvikling av teknologi og forbedring av arbeidsprosesser, men vil fortsatt stå som en utfordring. Derimot er det færre tiltak som kan gjøres for å endre temperaturgradienten, derfor vil denne stå som en barriere ettersom det fremmer et behov for mer dyptgående og kostbar boring. Å masseprodusere en konkret teknologi kan også fremstå som en utfordring når det er flere lokale forhold som må vurderes, og om dette kan bedres, fant vi ikke nok forskning på til å ta opp i diskusjonen.

6.2. Suksesskriterier

I dette delkapittelet tar vi for oss den andre hovedkategorien, suksesskriterier. Gjennom analysen var det tre temaer som kom frem som viktig for videre vekst av bransjen, disse blir nå presentert i delkapittel 6.2.1., 6.2.2. og 6.2.3.

6.2.1. Offentlig initiativ

I våre resultater kommer det frem et behov for krav til kompetanse og utdanning innenfor etablering av geotermiske systemer. Dette blir etterlyst som et tiltaksområde det offentlige må ta ansvar for. I litteraturstudien ble det ikke funnet noe relevant forskning som påstod at dette var en nødvendighet for videre bransjeutvikling, selv om viktigheten av økt fokus på utdanning blir støttet opp av energi21.

Fra analysen fremstår også offentlig initiativ og satsing på geotermisk energi som et viktig tema for utvikling i Norge. Det ble funnet at relevant statistikk og informasjon fra det offentlige er vesentlig for videre utvikling av bransjen. At informasjon om geotermisk energi fremstår som mangelfull, stemmer med funnene i litteraturstudien. Her ble det også funnet rapporter som påviste viktigheten av støttende offentlige institusjoner for suksessfull utvikling.

Det kom også frem i analysen at geotermisk energi har behov for økonomisk støtte for å kunne være konkurransedyktig, noe som er mulig å få i dag. Konkurransedyktigheten til geotermisk energi, spesielt ved dypere brønner, ble funnet å være avhengig av offentlig støtte på grunn av høye oppstartskostnader og investeringsrisiko. Dette stemmer med hva som ble funnet i litteraturstudien om at offentlige organer eller ulike fond støtter blant annet umodne fornybare

teknologier opptil 50 %. Samt at slike støtteordninger er særdeles viktig ettersom de direkte bidrar mot oppstartsbarrierer som investeringsrisiko og høy oppstartskostnad.

Offentlig initiativ er et tema med flere faktorer, det kommer frem at det offentlige er på banen, og har bidratt mye til at geotermisk energi skal kunne lykkes i Norge. Samt at tilgjengeligheten av tilstrekkelig ressursdata og relevant informasjon er et av nøkkelementene for suksessfull utvikling av geotermisk energi. Som nevnt i kapittel 6.1.2. er det et mangelfullt lovverk, men med utdanning på vei inn og gode støtteordninger lover dette godt for geotermisk vekst i fremtiden. Yrkesspesifikk erfaring og ansiennitet er ikke ansett som dårlige former for kunnskap, men ved å kombinere disse med utdanning vil man kunne øke kompetansen innad i bedriftene og bransjen. Støtteordninger ligger sentralt i en eventuell suksesshistorie for geotermisk energi, med muligheter til vekst, økt kunnskap og kostnadsreduksjon.

6.2.2. Bransjebehov

Det kom frem i analysen hvordan det innad i bransjen foreligger problemer knyttet til begrepene som brukes for å beskrive de ulike systemene. Her ble det uttrykt generell underforstått definisjon på dype og grunne brønner, men ettersom dette ble fremstilt som flytende begreper, kan det skape forvirring. Dette viser til et «skille» eller grupperinger innad i den geotermiske sektoren. På dette temaet fremstår litteraturstudien som mangelfull ettersom det ble funnet lite relevant forskning som undersøker dette, men ved å bemerke hva som ble beskrevet som en typisk dybde for de forskjellige systemene fra flere kilder, ble det laget en tabell som ligger vedlagt som vedlegg 1.

Det ble også nevnt i intervjuene hvordan det kan være hensiktsmessig å gå bort fra begrepene «dyp» og «grunn» og heller referere til andre egenskaper ved systemene som den generelle typen eller teknologi sammen med en kombinasjon av entalpi og dybde, samtidig som man ikke skal gjøre betegnelsen for komplisert. Dette blir gjort blant annet i mer tekniske artikler som vi fant (Kavadias et al., 2018, s. 902; Moya et al., 2018, s. 890), men i de fleste artikler og på nettsider som skal gi et innblikk i geotermisk energi, blir disse systemene ofte delt inn i «grunn» eller «dyp» (NGU, 2017a). Noe som kan være en uheldig fremstilling ettersom det kan gi et inntrykk for befolkningen av at det kun finnes to typer, når det i realiteten må tas en beslutning etter blant annet de geologiske forholdene til en spesifikk lokalitet. Det er også

viktig å utvikle geotermisk energi som en helhetlig bransje, og ikke kun fokusere på enten «grunn» eller «dyp», men å videreutvikle teknologiene som er aktuelle.

Det nevnes også et behov for å redusere kostnader gjennom en forbedring av teknologier og arbeidsprosesser. Å utvikle mer robuste brønner kom frem som et område hvor dette kunne gjennomføres. Det kom frem av litteraturstudien at det stadig foreligger en stor ekstrakostnad for brønner, hvor det i noen tilfeller blir utført reparasjoner så ofte som hver tredje måned.

Ved å utvikle teknologi som reduserer dette problemet, kan det føre til en stor kostnadsreduksjon.

Gjennom analysen kom det frem et behov for å undersøke og kartlegge den norske berggrunnen mer tilstrekkelig. Dette stemmer godt med funnene i litteraturstudien der det ble funnet et sterkt behov for en slik kartlegging, og selv om det ble gjennomført prosjekter så sent som i 2017 av NGU for å bedre oversikten over den norske berggrunnen, er det fortsatt et aktuelt tema i 2018.

Disse suksesskriteriene kan hjelpe bransjen å effektivisere arbeidsprosesser og dermed få kostnader ned, men hvor viktig det faktisk er å få en klar definisjon rundt begreper og uttrykk for å øke bransjens suksess, er vanskelig å fastslå. Det er imidlertid helt sikkert at det å få enighet i bransjen, vil fremme og hjelpe bransjen i fremtiden. Å bestemme nøyaktig hva som er egnede begreper for geotermiske systemer søker ikke denne oppgaven å gjøre, men heller å belyse dagens situasjon. For fagkyndige innen geotermisk energi vil nok en slik endring ha minimal effekt ettersom høy kunnskap om temaet bidrar til større forståelse for at forskjellen mellom systemene er mer komplisert enn dybde alene. Det vil derimot muligens ha en betydning for kjennskapen til teknologiene for den øvrige befolkningen. Gjennom resultatet av analysen kom det frem hvordan manglende robusthet på brønner er et problem i dag. Det ble heller ikke funnet litteratur som påsto at dette er et problem som nødvendigvis må overkommes i nyere tid, derimot ble det funnet en artikkel fra 2006 som ser på robustheten til geotermiske brønner og konkluderte med at de fleste hadde skader etter kun ett år. Dette er et tema som definitivt vil kunne bidra til å øke levetiden til brønnene og dermed sikre at et anlegg vil kunne levere mer energi over en lengre tid. Det kommer tydelig frem et behov for kartlegging av undergrunnen, dette virker som en prosess som tar tid, men er på vei. Hvis dette blir implementert sammen med standardiserte måter å etablere og overvåke anleggene på, vil dette bidra til å kunne bedre kostnadsbildet for geotermiske systemer.

6.2.3. Teknologeutvikling

Det ble gjennom analysen funnet hvordan superkritiske systemer kan øke energiintensiteten, noe som stemte overens med hva som ble funnet i litteraturstudiet om hvordan slike systemer kan øke effektiviteten på geotermiske anlegg inntil 5–10 ganger, men også hvordan norske forhold begrenser bruk av denne teknologien nasjonalt.

En annen teknologi som ikke er blitt implementert på norsk jord, er EGS. Denne teknologien ble uttrykt å kunne spille en essensiell rolle hvis den ble riktig håndtert. I litteraturstudiet ble det funnet flere eksempler hvor industert seismisitet ledet til negative mikroseismiske hendelser. Det ble også funnet eksempler hvor EGS-anlegg har levert over forventet produksjon. Risikoen knyttet til industert seismisitet gjør at majoriteten av deltakerne er skeptiske til denne teknologien, noe som også kom frem i litteraturstudiet som et internasjonalt. Resultatet fra analysen stemmer godt med det som ble funnet i litteraturstudien– det er generelt stor motstand mot EGS.

I analysen kom det frem at hybridløsninger kan være interessant i fremtiden, med særlig fokus på en kombinasjon av solenergi og geotermiske anlegg. Dette stemmer godt med funnene i litteraturstudiet, som beskrev hvordan en løsning som kombinerer geotermisk energi med flere andre, som vind og biomasse, var mulig. Dette stemmer bra med funnene i litteraturstudiet hvor det kommer frem at mulighetene er til stede, men i dagens geotermiske sektor i Norge blir ikke dette viet oppmerksomhet. Dette fremstår som et område som kan vies mer oppmerksomhet, da det i litteraturstudien ble funnet forskning som beskriver hvordan et hybridanlegg vil øke produksjonseffektiviteten og la anleggene operere i en betraktelig lengre tid.

En god teknologeutvikling kan bidra til å hente ut det geotermiske potensialet på norsk sokkel betraktelig og kan bidra til å virkelig få geotermisk energi til å bli et reelt diskusjonstema når det kommer til implementering av fornybare energikilder. Av de tre diskuterte teknologiene fremstår hybride løsninger som den mest aktuelle i dag. Å utnytte et hybrid system kan øke effektiviteten og holdbarheten til anlegget. EGS har et enormt potensial, men framstår som for umoden for implementering i Norge, da det enda er store debatter rundt hydraulisk frakturering som kan føre til uønsket seismisk aktivitet. Superkritiske systemer anses som lite relevant for Norge på grunn av de geologiske forholdene og den relativt lave temperaturgradienten.

6.3. Avsluttende betraktninger

Det har vært en bratt læringskurve og vi ser nå hvordan visse ting kunne blitt gjort annerledes hvis den samme oppgaven skulle blitt gjort på nytt. Dette er også en læringsmulighet for andre som skal gi seg ut på en lignende oppgave i fremtiden, slik at det muligens kan trekkes lærdom også gjennom våre feiltrinn.

Vi ser hvordan det ville vært en fordel å ha mer erfaring når det kom til intervju før starten av oppgaven. Det samme gjelder for den tematiske analysen som ble gjennomført. Mangel på erfaring med programmet var ikke til å unngå og dette betydde at vi måtte lære oss ett helt nytt verktøy, noe som kan lede til tap av tid og beslutninger tatt på et dårligere kunnskapsgrunnlag. Vi har jobbet så metodisk og objektivt som mulig med den dataen vi har samlet, men til tross for vårt beste forsøk på kritisk vurdering vil det kunne forekomme feil.

Vi ser nå hvordan en litteraturstudie gjennomført etter vi allerede hadde gjennomført intervjuene fører til et problem via en bekreftelsestendens. I forkant av intervjuene ble det dannet et generelt kunnskapsgrunnlag om geotermisk energi, og gjennom kunnskapen til nøkkelindividene i intervjuene ble flere temaer belyst, enn det vi hadde tenkt. Dette førte til at vi måtte undersøke temaene som først dukket opp gjennom intervjuene og på grunn av oppgavens natur fører dette til en mulig partiskhet.

Det finnes muligens et bedre analyseverktøy til å gjennomføre oppgaven vår enn tematisk analyse. Tematisk analyse oppfattes som mer passende når det kommer til subjektive meninger mens den kommer frem som mindre egnet til konkrete fakta. Vi fikk inntrykk av at intervjuene våre ikke inneholdt like mye tolkningsverdig i forhold til det man kanskje vil vurdere som mer vanlig for en tematisk analyse.

7. Konklusjon

Denne studien har undersøkt geotermisk energi i Norge ved å foreta dybdeintervjuer med nøkkelpersoner, og knyttet deres meninger opp mot eksisterende forskning. Intensjonen med denne oppgaven er å bringe frem de barrierer og suksesskriterier som fremstår som viktige for bransjen i dag.

Norge befinner seg i en spesiell posisjon i det globale energibildet. Det norske strømbehovet er 96% dekket av vannkraft, men samtidig sitter vi på og eksporterer enorme mengder med petroleumsressurser. Dette gjør at Norge inneholder store mengder kunnskap og kompetanse fra petroleumsnæringen, noe som kan bli overført til den geotermiske sektor og bidra til dagens energiomstilling mot et lavutslippssamfunn. Ved utnyttelse av termisk energi til oppvarming kan en frigjøre elektrisitet fra markedet, og heller bruke denne til andre formål. Dette resulterer i at geotermisk energi kan bidra til å nå målet Norge har forpliktet seg til gjennom den 25. klimakonvensjonen i Paris og lovfestet gjennom (Klimaloven, 2017).

Med et økende fokus på fornybare energikilder fremkommer geotermisk energi ennå som en ukjent teknologi hos den generelle befolkningen. Dette fremstår som en konsekvens av at inngrepene er lite synlige og det ble også funnet at det manglende markedsføring fra den geotermiske bransjen. En slik mangel på kjennskap fører til teknologien ofte ikke blir vurdert som et alternativ på lik linje med de andre fornybare energikildene.

Lovverket som omhandler geotermisk energi fremstår som manglende i dag. Det er et betydelig behov for retningslinjer og reguleringer på flere nivåer for å bidra til styring av geotermiske systemer. Som nevnt i diskusjonen kom det frem flere viktige faktorer og ulike måter å håndtere dette på, men hvorvidt en egen konkret lov er nødvendig eller om geotermiske systemer burde bli inkludert i allerede etablert lovverk som vannressursloven, er en beslutning som denne oppgaven ikke tar stilling til.

Etableringen av geotermiske systemer er en kostbar og økonomisk risikofull prosess, der prisen på strøm ligger sentral i beregningen av profitt. Strømprisen er avhengig av eksterne faktorer som den norske vannkraftproduksjonen, og kan ikke direkte påvirkes for å fremme lønnsomheten til geotermiske systemer. Lave strømpriser oppleves som vanskelig å konkurrere mot når det samtidig er høye oppstartskostnader og investeringsrisiko knyttet til etableringen av geotermiske systemer. Store deler av disse kostnadene fremstår på grunn av de geologiske forholdene. Harde bergarter bidrar til å gjøre boringen kostbar, og en relativt

lav temperaturgradient fører til at en må bore dypere for å finne ressurser med høy nok entalpi.

For å fremme geotermisk energi finnes det flere suksesskriterier som burde overkommes for å gi en nødvendig utvikling. I dag er det svært mangelfull informasjon om geotermisk energi fra det offentlige, med dette menes manglende relevant statistikk og informasjon generelt. Det ble også funnet at krav til kompetanse burde foreligge for å sikre korrekt etablering av energibrønner, samt for å utøve korrekt HMS. For de aller fleste aktører er det i dag også nødvendig med statlig finansiert støtte for etablering av geotermiske systemer for å kunne operere på et konkurransedyktig nivå. Derfor er det et viktig poeng å fortsette slike støtteordninger for å fremme vekst i Norge.

Geotermisk energi blir ofte kategorisert som «dyp» eller «grunn», noe som kommer frem i oppgaven som uegnet for å beskrive de forskjellige systemene på en tilfredsstillende måte. Under disse to definisjonene befinner det seg en rekke ulike teknologier som ikke bare skiller fra hverandre fra et dybdeperspektiv, men også når det kommer til hvilke produksjonsteknologier som blir brukt, de geologiske forholdene som forekommer og hva slags entalpi som befinner seg i produksjonsområdet. Det er derimot ikke denne oppgavens mål å si noe om hva eller hvordan det burde defineres, men belyse problemstillingen slik at videre arbeid kan gjøres.

Siden de fleste geotermiske systemer i dag har behov for støtte til etablering, foreligger det et behov for en kostnadsreduksjon. Dette er en prosess som kontinuerlig blir forbedret av bransjedriverne selv gjennom erfaringer og effektivisering av arbeidsprosesser. Dette er sett på som viktig for å opprettholde konkurranseevnen. Det foreligger også et behov for å kartlegge berggrunnen som vil kunne bidra til å redusere risiko og kostnader.

Det ble funnet flere ulike teknologier som kan bidra til å utnytte potensialet som finnes i Norge, disse inkluderer EGS, superkritiske vesker og hybride løsninger. Av disse fremstår EGS som svært kontroversielt og superkritiske systemer som lite passende for norske forhold. Hybridløsninger vil derimot kunne øke både levetid og effektiviteten og bidra til videre bransjeutvikling i Norge, selv om det virker som det er lite utforsket i en norsk sammenheng.

7.1. Forslag til videre arbeid

Som nevnt tidligere, søker ikke denne oppgaven å besvare hvordan de ulike problemstillingen skal løses. Det er derimot denne oppgavens hensikt å belyse områder som kanskje har blitt oversett eller hvor det er rom for forbedring. Vi har ikke kommet med forslag til hvordan man løser barrierene og oppnår de suksesskriteriene funnet i oppgaven vår, men vil i dette delkapittelet komme med et forslag til problemstillinger som kan bidra til dette.

- Hva er den norske befolkningen syn på geotermisk energi?
- Fremstår geotermisk energi som en ukjent teknologi?
- Hvordan vil det være best å øke kunnskapen om geotermisk energi til den øvrige befolkningen?
- Vil det være mulig å innføre nye begreper for de ulike produksjonsteknologiene og opprette en klar definisjon på disse?
- Hvilke lover og retningslinjer er det behov for slik at individer og bedrifter innenfor bransjen har et klart rammeverk og forholde seg til?
- Av bransjebehovene som finnes i dag, hvilke vil bidra mest effektivt til å fremme vekst?
- Hvilke tiltak vil best bidra til å løse de økonomiske utfordringene den geotermiske sektor står ovenfor i dag?
- Hva må til for å innføre andre teknologier enn de som allerede finnes på norsk jord?

8. Referanser

- Aadland, C. (2009). Norge kan bli verdensledende på jordvarme. Hentet 17. april 2019 fra <https://www.tu.no/artikler/norge-kan-bli-verdensledende-pa-jordvarme/239996>
- Arbeidsgruppen for energiområde v/ Olav Bolland. (2017). *Forskningsstrategi IV-fakultetet 2018-2022 Del B, Energi-området*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Hentet fra <https://www.ntnu.no/documents/10361/1277576927/Energi+grunnlagsrapport.pdf/9c61dff8-b62b-4fd2-b746-cfafeda6b5c8>
- Asker Kommune. (u.d.). Energibrønner på Føyka i Asker. Hentet 14. mai 2019 fra <https://www.asker.kommune.no/samfunnsutvikling/kommunale-byggeprosjekter/energibrønner-pa-foyka/>
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(1-2), 3–65. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3)
- Bones, M. N. (2016). *Boring av 800 meter dype energibrønner i Asker* (Mastergradsavhandling). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Hentet fra <https://www.sintef.no/globalassets/project/interact/master-thesis-2016-mette-nordmark-bones-boring-av-800-meter-dype-energibrønner-i-asker.pdf>
- Bourcier, W., Lin, M. & Nix, G. (2005). Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids, 1. Hentet fra <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/324646.pdf>
- Boyle, G. (2004). *Renewable Energy, Power for a Sustainable Future*. New York: Oxford University Press.
- Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3:2, 77-101. Hentet fra <http://dx.doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Breede, K., Dzebisashvili, K., Liu, X. & Falcone, G. (2013). A systematic review of enhanced (or engineered) geothermal systems: past, present and future. *Geothermal Energy*(1:4). Hentet fra <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2F2195-9706-1-4.pdf>
- Bruvoll, A., Midttømme, K., Tennbakk, B., Fjose, S., Høiseth-Gilje, K., Myklebust, A., ... Stokke, O. M. (2018). *Områdegjennomgang av støtteordninger i klimapolitikken (MENON-publikasjon 1/2018)*. MENON economics. Hentet fra https://www.regjeringen.no/contentassets/af8596040568491a91ebff8a7a3cd27d/omra-degjennomgang-av-stotteordninger-i-klimapolitikken-menon-publikasjon_1_2018.pdf
- Bryhni, I. (2018, 23. mai). Geologi og landformer i Norge. Hentet 6. mai 2019 fra https://snl.no/Geologi_og_landformer_i_Norge
- Curtis, R., Lund, J., Sanner, B., Rybach, L. & Hellström, G. (2005). *Ground Source Heat Pumps – Geothermal Energy for Anyone, Anywhere*. Antalya, Turkia: World Geothermal Congress. Hentet fra <http://www.sanner-geo.eu/media/1437.pdf>
- Deshmukh, M. K. & Deshmukh, S. S. (2008). Modeling of hybrid renewable energy systems. *ScienceDirect*, 12(1), 235-249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.011>
- Elders, W. A. & Frioleifsson, G. Ó. (2010). *The Science Program of the Iceland Deep Drilling Project (IDDP): a Study of Supercritical Geothermal Resources*. Bali, Indonesia: World Geothermal Congress. Hentet fra

- <https://www.landsvirkjun.is/media/rannsoknir/3903-The-Science-Program-of-the-Iceland-Deep-Drilling-Project.pdf>
- Elders, W. A., Frioleifsson, G. Ó. & Albertsson, A. L. (2013). Drilling into magma and the implications of the Iceland Deep Drilling Project (IDDP) for high-temperature geothermal systems worldwide. *Geothermics*, 49, 111-118.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2013.05.001>
- Energi21. (2018). Strategi 2018. Hentet fra
<https://www.energi21.no/siteassets/energi21strategi2018lr.pdf>
- ENGINE Coordination Action. (2008). Best Practice Handbook for the development of unconventional geothermal resources with a focus on Enhanced Geothermal System. Hentet fra http://engine.brgm.fr/Documents/ENGINE_BestPracticeHandbook.pdf
- ENOVA. (2018). GeoTermos, Fjell2020. Hentet 15. mai 2019 fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/geotermos-fjell2020/>
- ENOVA. (u.d.-a). Fullskala innovativ energi- og klimateknologi. Hentet 18. mai 2019 fra <https://www.enova.no/bedrift/energisystem/ny-teknologi-i-energisystem/fullskala-innovativ-energi--og-klimateknologi/>
- ENOVA. (u.d.-b). Geotermiske energibrønner i Asker kommune. Hentet 14. mai 2019 fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/geotermiske-energibrønner-i-asker-kommune/>
- eurostat. (2018a, 1. mars). Glossary:Purchasing power parities (PPPs). Hentet 3. juni 2019 fra [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Purchasing_power_parities_\(PPPs\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Purchasing_power_parities_(PPPs))
- eurostat. (2018b, 1. mars). Glossary:Purchasing power standard (PPS). Hentet 2. juni 2019 fra [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Purchasing_power_standard_\(PPS\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Purchasing_power_standard_(PPS))
- eurostat. (2019, 08. mai). Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards). Hentet 01. mai 2019 fra <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Evensen, J. E., Aalhus, J. N., Berre, I., Bergan, H., Kleven, P. H., Olesen, O. & Østhassel, E. (2010). Innsatsgruppe Fornybar termisk energi, Arbeidsgruppe Geotermisk energi. Hentet fra <https://docplayer.me/20993474-Energi-21-innsatsgruppe-fornybar-termisk-energi-arbeidsgruppe-geotermisk-energi.html>
- FN-sambandet. (2019, 10. april). FNs bærekraftsmål. Hentet 14. mai 2019 fra <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal>
- Forskningsrådet. (2019, 25. januar). Betingelser for tildeling av statsstøtte. Hentet 18. mai 2019 fra <https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/midler-fra-forskningsradet/betingelser-for-tildeling-av-statsstotte/>
- Gabrielsen, R. H. (u.d.). Jordvarme. *Universitetet i Oslo*. Hentet fra <https://www.ntva.no/wp-content/uploads/2014/01/jordvarme-rhg.pdf>
- Gehring, M. & Loksha, V. (2012). *Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation* (Technical Report 002/12). Hentet fra https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/DocumentLibrary/FINAL_Geothermal%20Handbook_TR002-12_Reduced.pdf
- Glassley, W. E. (2010). *Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment*. Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group, LLC.
- Grannelova (1961). *Lov om rettshøve mellom grannar* (LOV-1961-06-16-15). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1961-06-16-15?q=grannelov>

- Guo, S., Liu, Q., Sun, J. & Jin, H. (2018). A review on the utilization of hybrid renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1121-1147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.105>
- Hægeland, T. (2002). *Kan arbeidserfaring erstatte formell utdanning?* (6/2002). Økonomiske analyser. Hentet fra https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/oa_200206/haegeland.pdf
- Haehnlein, S., Bayer, P. & Blum, P. (2010). International legal status of the use of shallow geothermal energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2611–2625. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002492>
- IEA. (2019). Global Energy & CO2 Status Report: Data tables. Hentet 23. mai 2019 fra <https://www.iea.org/k3k0/data/>
- IEA (Red.). (2011). *Technology Roadmap Geothermal Heat and Power*. Paris, France: International Energy Agency. Hentet fra https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal_Roadmap.pdf?fbclid=IwAR3bAFeOnIPCsQCrIhLY2wOfIaeUKCVcoZmsfFWayPr3iQIAqXs-H5Lqkz8
- Innovasjon Norge. (2018, 20. november). Tilskudd til miljøteknologi. Hentet 18. mai 2019 fra <https://www.innovasjon Norge.no/no/tjenester/innovasjon-og-utvikling/finansiering-for-innovasjon-og-utvikling/tilskudd-til-miljoteknologi-prosjekter/>
- Kapitonov, I. A. (2019). Legal support for integration of renewable energy sources in the energy law of the countries from the international legal position, 46(1), 68-75. Hentet fra <https://journalskuwait.org/kjs/index.php/KJS/article/view/4020/308>
- Kavadias, K. A., Alexopoulos, P., Charis, G. & Kaldellis, J. K. (2018). Sizing of a solar–geothermal hybrid power plant in remote island electrical network. *Energy Procedia*, 157, 901-908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.256>
- Klimaloven. (2017). *Lov om klimamål* (LOV-2017-06-16-60). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60>
- Kvalsvik, K. H., Midttømme, K. & Ramstad, R. K. (2019). *Geothermal Energy Use, Country Update for Norway*. Den Haag, The Netherlands,: World Geothermal Congress
- Levy, S. S. (2010). *Subsurface Geology of the Fenton Hill – Hot Dry Rock Geothermal Energy Site*. Los Alamos National Laboratory. Hentet fra <https://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-14434-HDR>
- Løvø, G. (2017, 23. januar). Samler kunnskap om undergrunnen. Hentet 25. mai 2019 fra <https://www.ngu.no/nyheter/samler-kunnskap-om-undergrunnen>
- Maguire, M. & Delahunt, B. (2017). *Doing a Thematic Analysis: A Practical, Step-by-Step Guide for Learning and Teaching Scholars*. Dundalk Institute of Technology. Hentet fra <http://ojs.aishe.org/aishe/index.php/aishe-j/article/viewFile/335/553>
- Marszala, A. J., Heiselberga, P., Bourrelleb, J. S., Musallc, E., Voss, K., Sartorid, I. & Napolitano, A. (2010). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), 971–979. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>
- Midttømme, K., Hauge, A., Grini, R. S., Stene, J. & Skarphagen, H. (2009). Underground Thermal Energy Storage (UTES) With Heat Pumps in Norway. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/264846817_UNDERGROUND_THERMAL_ENERGY_STORAGE_UTES_WITH_HEAT_PUMPS_IN_NORWAY
- Midttømme, K., Ramstad, R. K. & Müller, J. (2015). *Geothermal Energy – Country Update for Norway*. Melbourne, Australia: World Geothermal Congress Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/277404447_Geothermal_Energy_-_Country_Update_for_Norway

- Moya, D., Aldás, C. & Kaparaju, P. (2018). Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 889-901.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.047>
- Munasinghe, M. (1990). *Energy Analysis and Policy*. Cornwall: Butterworth-Heinemann.
- NGU. (2017a, 22. september). Geotermisk energi. Hentet 16. mai 2019 fra
<https://www.ngu.no/emne/geotermisk-energi>
- NGU. (2017b, 22. september). Grunnvarme. Hentet 16. mai 2019 fra
<https://www.ngu.no/emne/grunnvarme>
- Norsk Naturarv. (u.d.). Geologi. Hentet 20. mai 2019 fra
<http://www.naturarv.no/geologi.255666-31978.html>
- NOU 2012:9. (2012). *Energiutredningen – verdiskaping, forsyningssikkerhet og miljø*. Hentet fra
<https://www.regjeringen.no/contentassets/eb90bf50e63b4df7ae472b75a1d4a71c/no/pdfs/nou201220120009000dddpdfs.pdf>
- NVE. (2015, 07. oktober). Finansiering av FOU – Ofte stilte spørsmål. Hentet 25. mai 2019 fra
<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/okonomisk-regulering-av-nettselskap/finansieringsordning-for-fou/finansiering-av-fou-ofte-stilte-spoersmaal/>
- NVE. (2019, 23. april). Om konsesjon. Hentet 20. mai 2019 fra
<https://www.nve.no/konsesjonssaker/om-konsesjon/?ref=mainmenu>
- Omer, A. M. (2018). Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), 344-371.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.003>
- Pascal, C., Elvebakk, H. & Olesen, O. (2010). *An Assessment of Deep Geothermal Resources in Norway*. Bali, Indonesia: World Geothermal Congress Hentet fra
https://www.academia.edu/541790/An_Assessment_of_Deep_Geothermal_Resources_in_Norway
- Passarella, M. (2015). Experimental Studies of Basalt-fluid Interactions at Subcritical and Supercritical Hydrothermal Conditions.
<https://doi.org/https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2523.3525>
- Peake, S. (2018). *Renewable Energy – Power for a sustainable future* (4. utg.). Oxford: Oxford University Press.
- Ramberg, I. B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. & Rangnes, K. (2013). *Landet blir til – Norges geologi* Norsk Geologisk Forening.
- Ramstad, R. K. & Asplan Viak. (2011). *Grunnvarme i Norge – Kartlegging av økonomisk potensial* (5/2011). NVE. Hentet fra
http://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2011/oppdragsrapportA2011_05.pdf
- Ramstad, R. K., Holmberg, H., Bugge, L. & Riise, M. H. (2017). *Sluttrapport Fjell2020 konseptutredning miljøløsninger*. Hentet fra
https://www.enova.no/download/?objectPath=upload_images/5DF3063DABAD44CE9ED28EE7D4688DD7.pdf&filename=Fjell%202020,%20Drammen%20Eiendom%20KF.pdf
- REN21. (2018). Renewables 2018 global status report. Hentet 24. mai 2019 fra
http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/#figure_6
- Ringnes, T., Aksnes, K., Ramberg, I. & Bryhni, I. (2019, 11. april). Jorden. Hentet 13. mai 2019 fra
<https://snl.no/Jorden>
- Rybach, L. (2010). *“The Future of Geothermal Energy” and Its Challenges*. Bali, Indonesia: World Geothermal Congress. Hentet fra
<http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/3109.pdf>

- Sanyal, S. K. (2004). *Cost of Geothermal Power and Factors That Affect it*. Stanford University, Stanford, California: Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Hentet fra http://repository.stategeothermaldata.org/metadata/record/98ddf901b9782a25982e01af3b08c9ce/file/cost_of_geothermal_power_and_factors_that_affect_it_-_by_subir_sanyal_sgw_2004.pdf
- Self, S. J., Reddy, B. V. & Rosen, M. A. (2011). Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other. *Applied Energy*, 101, 341–348. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000542>
- Setså, R. (2012, 29. februar). Slik så Norge ut i devon. Hentet 20. mai 2019 fra <http://geoforskning.no/18-manedens/177-slik-sa-norge-ut-i-devon>
- Sharipbekova, K. & Raimbekov, Z. (2018). Influence of Logistics Efficiency on Economic Growth of the CIS Countries. *European Research Studies Journal*, XXI(2), 678-690. Hentet fra https://www.ersj.eu/dmdocuments/2018_XXI_2_52.pdf
- SINTEF. (2015, 22. oktober). Skal sette verdensrekord i jordvarme. Hentet 23. mai 2019 fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/skal-sette-verdensrekord-i-jordvarme/>
- SINTEF. (u.d.). Geotermiske energisystemer. Hentet 13. mai 2019 fra <https://www.sintef.no/geotermiske-energisystemer-jordvarme-geotermi/>
- Slagstad, T. (2008). Radiogenic heat production of Archean to Permian, 88(3), 149-166. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/233421871_Radiogenic_heat_production_of_Archean_to_Permian_geological_provinces_in_Norway
- Slagstad, T., Balling, N., Elvebakk, H., Midttømme, K., Olesen, O., Olsen, L. & Pascal, C. (2009). Heat-flow measurements in Late Palaeoproterozoic to Permian geological provinces in south and central Norway and a new heat-flow map of Fennoscandia and the Norwegian–Greenland Sea. *Tectonophysics*, 473(3–4), 341–361. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195109001577>
- SSB. (2014a, 24. mars). Elektrisitet, tabell. Hentet 24. mai 2019 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/08311/>
- SSB. (2014b, 14. juli). Energibruk i husholdningene. Hentet 16. mai 2019 fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi>
- SSB. (2018, 29. november). Elektrisitet. Hentet 16. mai 2019 fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar>
- SSB. (2019a, 23. mai). Elektrisitetspriser. Hentet 24. mai 2019 fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal>
- SSB. (2019b, 23. mai). Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger. Hentet 25. mai 2019 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/09387/>
- Straalberg, E. A. (2013). *Energieffektivitet i grunne geotermiske systemer* (Mastergradsavhandling). Universitetet i Bergen. Hentet fra <http://bora.uib.no/bitstream/handle/1956/7109/109343997.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sugama, T. (2006). *Advanced cement for geothermal wells*. New York: U.S Department of Energy Office of Geothermal Technologies. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/237570189_ADVANCED_CEMENTS_FOR_GEOHERMAL_WELLS
- Taule, H., Landet, I. B. & Lossius, T. B. (2016). *Gjennomgripende endringer i energisystemet – en omverdensanalyse* (THEMA Rapport 2016- 27). Energi21. Hentet fra https://www.energi21.no/siteassets/thema_r-2016-27_omverdensanalyse_energi-21.pdf

- Tester, J. W. (2007). *The Future of Geothermal Energy* (Massachusetts Institute of Technology). Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. Hentet fra <https://republicans-naturalresources.house.gov/uploadedfiles/testertestimony04.19.07.pdf>
- Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A. S., Blackwell, D. D., DiPippo, R., Drake, E. M., ... Veatch, J., Ralph W. (2006). *The Future of Geothermal Energy*. Idaho National Library. Hentet fra <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2006/11/MITEI-The-Future-of-Geothermal-Energy.pdf>
- Thiel, C. L., Campion, N., Landis, A. E., Jones, A. K., Schaefer, L. A. & Bilec, M. M. (2013). A Materials Life Cycle Assessment of a Net-Zero Energy Building, 6(2), 1125–1141. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en6021125>
- Torsvik, T. H. & Trønnes, R. G. (2011). *Jordas struktur, mineralogi og dynamikk*. Hentet fra <http://folk.uio.no/rtronnes/Publ-pop-sci/Jorda-Indre/Nat11-Tr-Jordas-indre.pdf>
- Trønnes, R. (2008). *En kunnskapsrevolusjon for Jordas indre bevegelser*. Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Hentet fra <http://folk.uio.no/rtronnes/Publ-pop-sci/Jorda-Indre/DypJord.pdf>
- Tvinnereim, E. & Steinshamn, S. I. (2016). Folkelig aksept for klima- og energitiltak i Norge, 2780, 77-87. Hentet fra <https://www.samfunnsokonomene.no/content/uploads/2016/11/MAT-Samf-2-2016.pdf#page=77>
- UngEnergi.no. (2018, 18. juni). Hva er geotermisk energi. Hentet 13. mai 2019 fra <http://ungenergi.no/energikilder/geotermisk-energi/hva-er-geotermisk-energi/>
- Utdannig.no. (2019a, 14. mai). Bore- og vedlikeholdsoperatør. Hentet 23. mai 2019 fra <https://utdanning.no/yrker/beskrivelse/bore- og vedlikeholdsoperator>
- Utdannig.no. (2019b, 11. februar). Integriert masterprogram i energi (sivilingeniør). Hentet 22. mai 2019 fra https://utdanning.no/utdanning/uiib.no/integrert_masterprogram_i_energi_sivilingeniør/?fbclid=IwAR0twhsLeULXblmJP5gGWnlKk8xvqlqzQdnKiC1tDwB8XFCNAwe-xI9CZbk
- Vannressursloven (2000). *Lov om vassdrag og grunnvann* (LOV-2000-11-24-82). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82>
- World Energy Council. (2016a). Geothermal in Norway. Hentet 24. mai 2019 fra <https://www.worldenergy.org/data/resources/country/norway/geothermal/>
- World Energy Council. (2016b). Global geothermal installed capacity. Hentet 23. mai 2019 fra <https://www.worldenergy.org/data/resources/resource/geothermal/>
- Zeng , H., Diao, N. & Fang, Z. (2003). Efficiency of Vertical Geothermal Heat Exchangers in the Ground Source Heat. *Journal of Thermal Science*, 12(1), 77-81. Hentet fra <https://link.springer.com/article/10.1007/s11630-003-0012-1>

Vedlegg 1

Definisjon:	Typisk dybde:	Kilder:
Jordvarme:	80–150 cm dype	(NGU, 2017b)
Grunn geotermisk energi:	90 meter (GSHP)	(Glassley, 2010, s. 184)
	40–200 meter	(Zeng , Diao & Fang, 2003)
	45–150 meter (GSHP)	(Omer, 2018, s. 364)
	50–200 meter	(SINTEF, u.d.)
	100–150 meter	(Aadland, 2009)
	250–1000 meter	(Gabrielsen, u.d.)
	250 meter	(2012)
	Inntil 270 meter	(Evensen et al., 2010)
	Inntil 300 meter	(NGU, 2017a)
	300 meter	(UngEnergi.no, 2018)
500 meter	(Straalberg, 2013)	
Mellomdyp geotermisk energi:	500–1000 meter	(NOU 2012:9)
Dyp geotermisk energi:	Dypere enn 300 meter	(UngEnergi.no, 2018)
	Dypere enn 300 meter	(NGU, 2017b)
	Dypere enn 500 meter	(Straalberg, 2013)
	Dypere enn 1000 meter	(Arbeidsgruppen for energiområde v/ Olav Bolland, 2017, s. 24)
	Dypere enn 1000 meter	(Peake, 2018)
	Typisk 1–10 km	(SINTEF, u.d.)

Vedlegg 2

Intervjuplan

Geotermisk energi

1. Status for geotermisk energi i Norge: omfang, teknologi og aktører
 - a. Innenfor dyp geotermisk energi
 - b. Innenfor grunn geotermisk energi

2. Hovedtema 1: Hva er potensial og muligheter?
 - a. Dyp geotermisk
 - b. Grunn geotermisk
 - c. Lagring av geotermisk energi?
 - e. Fremtidige forventninger

3. Hovedtema 2: Hva er barrierene og hvordan kan de overkommes?
 - a. Økonomisk/samfunnsmessige
 - b. Teknologi/kompetanse
 - c. Politiske barrierer?
 - d. Fremtidige utfordringer

Vedlegg 3

PRODUCT	Electrical energy		
CONSUM	Band DC : 2 500 kWh < Consumption < 5 000 kWh		
UNIT	Kilowatt-hour		
TAX	All taxes and levies included		
CURRENCY	Purchasing Power Standard		
GEO/TIME	2018S1	2018S2	Snitt 2018
Belgium	0.2474	0.2658	0.2566
Bulgaria	0.2030	0.2085	0.20575
Czechia	0.2225	0.2270	0.22475
Denmark	0.2339	0.2341	0.234
Germany	0.2788	0.2800	0.2794
Estonia	0.1780	0.1872	0.1826
Ireland	0.2119	0.2271	0.2195
Greece	0.2032	0.2001	0.20165
Spain	0.2636	0.2740	0.2688
France	0.1596	0.1642	0.1619
Croatia	0.2029	0.2045	0.2037
Italy	0.2091	0.2186	0.21385
Cyprus	0.2122	0.2447	0.22845
Latvia	0.2221	0.2192	0.22065
Lithuania	0.1730	0.1730	0.173
Luxembourg	0.1365	0.1381	0.1373
Hungary	0.1848	0.1894	0.1871
Malta	0.1545	0.1571	0.1558
Netherlands	0.1522	0.1523	0.15225
Austria	0.1785	0.1827	0.1806
Poland	0.2407	0.2429	0.2418
Portugal	0.2759	0.2816	0.27875
Romania	0.2662	0.2629	0.26455
Slovenia	0.1954	0.1984	0.1969
Slovakia	0.2305	0.2152	0.22285
Finland	0.1297	0.1366	0.13315
Sweden	0.1535	0.1648	0.15915
United Kingdom	0.1693	0.1836	0.17645
Iceland	0.0986	0.0990	0.0988
Norway	0.1202	0.1310	0.1256
Montenegro	0.2054	0.2066	0.206
North Macedonia	0.1777	0.1788	0.17825
Serbia	0.1439	0.1447	0.1443
Turkey	0.2247	0.2767	0.2507