

## Vindkraft ved E18

Egnethetsanalyse av lokasjoner for vindkraftverk ved E18  
Kristiansand – Grimstad ved bruk av GIS-MCDA

Kjetil Orbakk Skeide  
Nicolai Emil Neuman  
Aleksander C. Maisenhølder

### VEILEDER

Rein Terje Thorstensen

**Universitetet i Agder, 2023**  
Fakultet for teknologi og realfag  
Institutt for ingeniørvitenskap



## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1. Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.
  
2. Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen:
  - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.
  - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.
  - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.
  - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.
  - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.
  
3. Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.
  
4. Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.
  
5. Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.
  
6. Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.

## Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjennelse.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller tausehetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA  NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

JA  NEI

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA  NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA  NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

## Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for Ingeniørvitenskap som en del av masterprogrammet for Bygg - sivilingeniør ved Universitet i Agder. Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven i emnet BYG508 og markerer slutten på gruppens mastergrad.

Vi vil benytte anledningen til å takke veilederen vår ved Universitet i Agder, Rein Terje Thorstensen for alt engasjement, oppfølging og faglig innsikt. Videre ønsker gruppen å takke representanter fra RES-Group og NVE som har gitt et stort bidrag i form av intervju. Til slutt vil gruppen rette en takk til alle som har deltatt i spørreundersøkelse.

Grimstad, 03.06.2023



---

Nicolai Emil Neuman



---

Kjetil Orbakk Skeide



---

Aleksander C. Maisenhølder

## Summary

Wind turbine technology is a field that has experienced significant innovation and technical progress over the last decades. Because of this, such projects are more feasible now than ever, particularly from a technical perspective. However, as wind turbines become more widespread people's opinions of them have in some instances changed for the worse. This means that decision makers must assess other factors than wind speed when considering site locations. It proves difficult to assess which factors should be considered when choosing a location, and how they should be weighted.

This master's thesis investigates the factors that determine suitability for wind farm locations. Using this information, a case study is conducted investigating the suitability of the area surrounding highway E18 between Grimstad and Kristiansand. To obtain this information a literature review was conducted on similar scientific works. Primarily, works utilizing a variation of multi-criteria decision analysis and geographic information systems (GIS-MCDA) were considered. The suitability factors that were most prevalent in these studies were included in this study. Furthermore, the case study contained a similar methodology, using expert teams to procure a suitability map of the study area to produce comparable results. In addition, the literature review was extended to contain more local studies, and a semi-structured interview was carried out. This extension of the methodology was done to cover topics of local relevance. Mainly, these revolve around the local opinion on wind farms, which is an issue not covered to great extent in the foreign literature. Public opinion is highly relevant for this study, but these attributes are problematic to quantify in a GIS-MCDA.

Expectedly, it was found in the literature that wind speed is the most prioritized criteria. While some experts from the survey concurred, some also considered distance to urban areas as the most important factor. Regardless of this finding, there was strong agreement amongst all sources that there is an abundance of consideration decision-makers must be aware of when choosing a site location. These include the aforementioned factors, as well as distance to infrastructure, slope and many more. The most prominent attributes were included in the GIS-MCDA-model. The result shows limited suitability for wind farms in most of the study area. However, four suitable areas were identified. These areas need further examination before regulatory authorities can approve a project there.

## Innhold

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring.....	ii
Publiseringsavtale.....	iii
Forord.....	iv
Summary .....	v
Figurliste.....	ix
Tabelliste .....	x
1 Innledning .....	1
2 Samfunnsperspektiv.....	3
2.1 Bærekraftmålene.....	3
2.2 Vindkraftdebatten - vind eller forsvinn .....	5
3 Kunnskapsbakgrunn .....	7
3.1 Vindkraft.....	7
3.2 Plassering.....	9
3.2.1 Klima og vær .....	9
3.2.2 Logistikk og infrastruktur.....	10
3.2.3 Naturinngrep .....	12
3.3 Konesjon .....	13
3.4 Geografisk informasjonssystem .....	14
3.5 Multikriterium beslutningsanalyse.....	15
3.6 Fuzzy-logikk og AHP.....	16
4 Forskerspørsmål.....	17
4.1 Avgrensninger.....	17
5 Case.....	18
6 Metode.....	19
6.1 Litteraturstudie.....	19
6.2 Intervjuprosess.....	22
6.2.1 Semistrukturert intervju .....	22
6.2.2 Kvantitativ spørreundersøkelse.....	23
6.3 Modellkjøring .....	24
6.3.1 FAHP .....	25
6.3.2 GIS.....	28
7 Resultat .....	32
7.1 Resultater fra litteraturstudiene .....	32

7.1.1	Begrunnelse av kriterier .....	32
7.1.2	Vektlegging av kriterier .....	34
7.1.3	FAHP-funksjoner.....	36
7.1.4	Krav for kriterier og restriksjoner .....	37
7.1.5	Egnethetscore for valgte kriterier.....	38
7.1.6	Resultater fra «Perspektiver på landbasert vindkraft i Agder».....	39
7.1.7	Resultater fra «Medvind for landbasert vindkraft eller stille før ny storm?» .....	40
7.2	Resultat fra semistrukturerte intervju .....	40
7.2.1	Nedbørsfelt.....	40
7.2.2	Avstand til bebyggelse.....	40
7.2.3	Lokal aksept.....	40
7.3	Utvalgte faktorer til GIS-modell .....	41
7.4	Resultat fra kvantitativ undersøkelse.....	42
7.4.1	Oversikt.....	42
7.4.2	Matriser for relativ viktighet .....	43
7.4.3	FAHP-funksjoner fra egen tilvirkning.....	46
7.5	Resultater fra GIS-analyse .....	47
7.5.1	Uvektede egnethetsvurderinger av inkluderte kriterier .....	47
7.5.2	Resultater fra fullført GIS-MCDA gjennomføring .....	48
7.5.3	Undersøkelse av flyfoto.....	49
8	Diskusjon .....	53
8.1	Valg av kriterier og restriksjoner .....	53
8.1.1	Vindhastighet .....	54
8.1.2	Avstand til eksisterende infrastruktur.....	55
8.1.3	Urbane områder og bebyggelser.....	56
8.1.4	Helning i terrenget.....	56
8.1.5	Nedbørsfelt.....	56
8.1.6	Sikkerhetsavstand.....	57
8.1.7	Vernede områder og vannforekomster .....	57
8.2	Ekskluderte faktorer .....	58
8.2.1	Høyde over havet .....	58
8.2.2	Sandige områder .....	58
8.2.3	Distanse fra industrielle områder og gruver .....	58
8.2.4	Distanse til skog.....	58



8.2.5	Andre ekskluderte faktorer .....	58
8.3	Litteratur- og ekspertvektning.....	59
8.4	Usikkerhet og FAHP .....	60
8.5	Utvalgte områder .....	61
8.5.1	Område 1.....	61
8.5.2	Område 2.....	64
8.5.3	Område 3.....	66
8.5.4	Område 4.....	68
8.6	Dyre- og planteliv .....	70
8.7	Lokal aksept.....	70
8.8	Kraftverkutforming.....	72
8.9	Vindkraft langs motorvei (E18).....	73
8.10	Metodekritikk.....	74
8.10.1	Litteratursøk.....	74
8.10.2	Semistrukturert intervju.....	74
8.10.3	Sensitivitetsanalyse .....	75
8.10.4	FAHP og spørreskjema.....	75
8.10.5	Poengsetting av kriterier .....	75
8.10.6	Grenseeffekten.....	76
8.10.7	Strømnettets kapasitet og datagrunnlag .....	77
8.10.8	Overbegrensning .....	78
8.10.9	Nybygg.....	78
9	Konklusjon.....	80
9.1	Hvilke faktorer er de mest betydningsfulle for valg av lokasjon til et vindkraftverk? .....	80
9.2	Hvordan vektlegges de ulike faktorene?.....	80
9.3	Hvordan påvirker lokale holdninger egnetheten? .....	80
9.4	Hvordan er egnetheten til områdene langs E18 Kristiansand-Grimstad for vindkraftverk? .....	80
10	Anbefalinger .....	81
11	Referanser .....	82
12	Vedlegg.....	87

## Figurliste

Figur 1: Statistikk og forutsetninger frem mot 2040 for kraftproduksjon i Europa [3].....	1
Figur 2: Bærekraftsmål som er relevante for denne studien. ....	3
Figur 3: Klimagassutslipp ved forskjellige kraftkilder over livsløpet [37].....	7
Figur 4: Produksjon, forbruk og eksportoverskudd av elektrisk kraft i TWh [41] .....	8
Figur 5: Årsmiddelvind i Norge [45] .....	9
Figur 6: Eksempel på AHP-analyse [68] .....	16
Figur 7: Illustrering av studieområdet .....	18
Figur 8: Prosessen fra utsendte spørreskjema til svar, laget ved hjelp av SankeyMATIC [80].....	24
Figur 9: Flytskjema for metode for modellkjøring.....	25
Figur 10: Et generelt uttrykk for en uklar trekant. ....	26
Figur 11: FAHP-funksjoner for de fem ekspertene (skjermdump) [70].....	36
Figur 12: Holdninger til landbasert vindkraft på Sørlandet 2019 og 2021 [71].....	39
Figur 13: Minsteavstand fra vindturbin til egen bolig folk er villig til å akseptere i Norge [72].....	40
Figur 14: Vektlegging av kriterier fra alle ekspertene. ....	42
Figur 15: Gjennomsnitt av vektlegginger. ....	42
Figur 16: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 1.....	46
Figur 17: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 2. ....	46
Figur 18: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 3. ....	46
Figur 19: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 4. ....	46
Figur 20: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 5. ....	46
Figur 21: Uvektede egnethetsvurderinger av inkluderte kriterier .....	47
Figur 22: Resultater fra GIS-analyse, analyse 1-5 (egen tilvirkning).....	48
Figur 23: Resultater fra GIS-analyse, gjennomsnitt og utvalgte områder.....	49
Figur 24: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 1 med flyfoto .....	49
Figur 25: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 2 med flyfoto .....	50
Figur 26: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 3 med flyfoto .....	51
Figur 27: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 4 med flyfoto. Bildet er rotert. ....	52
Figur 28: Snitt verdier for besvarelse til respondenter, samt korresponderende standardavvik.....	61
Figur 29: Område 1 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22.....	63
Figur 30: Område 2 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22.....	65
Figur 31: Området 3 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22. ....	67
Figur 32: Området 4 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22 .....	69
Figur 33: Områder som kan bli påvirket av grenseeffekten .....	77

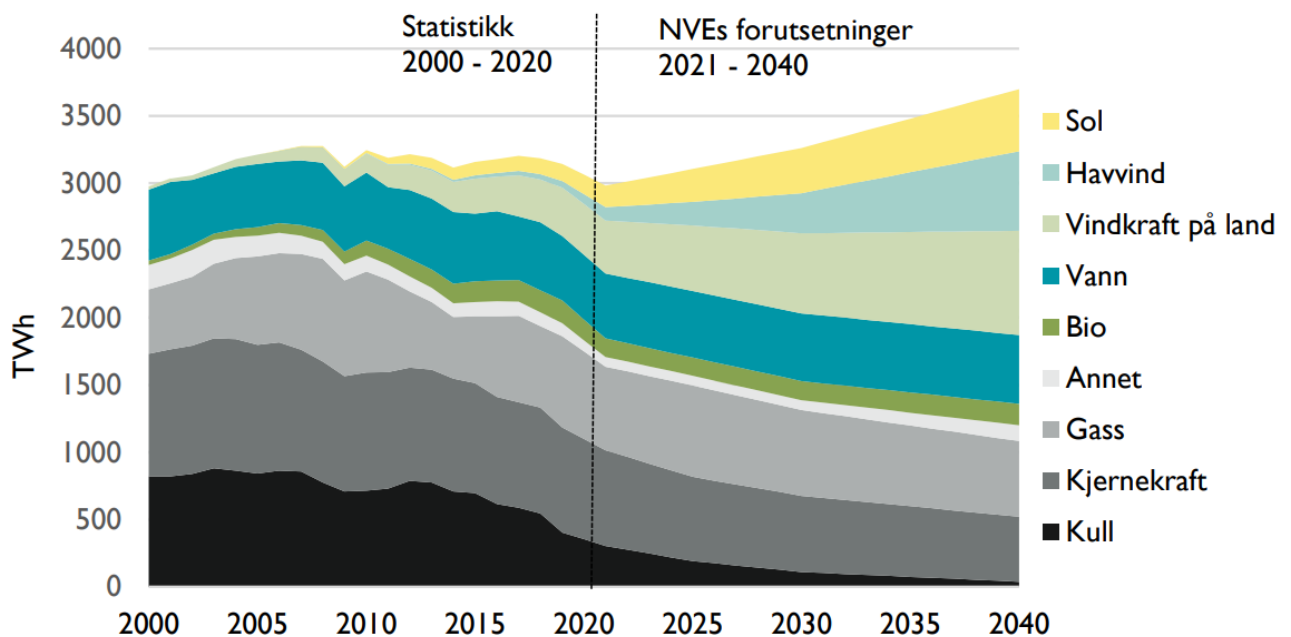
## Tabelliste

Tabell 1: Størrelse på typiske inngrep i forbindelse med infrastruktur [50] .....	11
Tabell 2: Saksgang for konsesjonsbehandling for ulike kraftverkstørrelser basert på installert effekt	13
Tabell 3: Søkord brukt i litteratursøket .....	20
Tabell 4: Søkord brukt i litteratursøket. ....	20
Tabell 5: Utvalgt litteratur til oppgaven. ....	21
Tabell 6: Ekspertter som har deltatt i spørreundersøkelse og deres profesjon .....	23
Tabell 7: Skala for AHP og FAHP, samt de korresponderende språklige utsagnene. ....	25
Tabell 8: Brukte datasett for GIS-analyse .....	29
Tabell 9: Konverteringstabell av kontinuerlige til diskrete verdier, med egnethetsvurdering .....	31
Tabell 10: Begrunnelse på kriterier fra litteraturstudiene .....	32
Tabell 11: Begrunnelse på restriksjoner fra litteraturstudiene .....	33
Tabell 12: Vektlegging av restriksjoner og kriterier fra øvrige studier. ....	34
Tabell 13: Vektlegging av restriksjoner og kriterier fra den sørkoreanske studien. ....	35
Tabell 14: Kriteriene inkludert i analysen til Ali et al.[70]. ....	36
Tabell 15: Minimum og maksimums krav for restriksjoner og kriterier.....	37
Tabell 16: Egnethetsvurdering av valgte kriterier for Saudi-Arabia .....	38
Tabell 17: Egnethetsvurdering av valgte kriterier for Polen .....	38
Tabell 18: Kriterier inkludert i GIS-analyse og valgt vurdering.....	41
Tabell 19: Restriksjoner inkludert i GIS-analyse .....	41
Tabell 20: Drikkevannskilder for valgte kommuner .....	41
Tabell 21: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 1. ....	43
Tabell 22: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 2. ....	43
Tabell 23: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 3. ....	43
Tabell 24: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 4. ....	43
Tabell 25: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 5. ....	43
Tabell 26: Geometrisk snitt for fuzzy verdier for alle kriterier fra ekspert 1. ....	44
Tabell 27: Nedre, midle og øvre vektleggingsverdi for ekspert 1. ....	44
Tabell 28: "Ikke-fuzzy" verdier for vektlegging, samt normaliserte verdier for ekspert 1. ....	45
Tabell 29: Vurderte kriterier og restriksjoner i litteraturstudiene .....	53

## 1 Innledning

Energisystemet i Europa har de siste to årene gått gjennom store endringer. Gassprisen har steget med 150 %, mens prisen på elektrisitet har steget nærmere 80 % [1]. Krigen i Ukraina og sanksjonene mot Russland har bidratt til en energikrise i Europa. Samtidig har avvikling av kull, kjernekraft og en langsom overgang til fornybare energikilder forsterket dette [2]. Foreløpig har dette påvirket kraftsituasjonen og økt kraftprisene på kort sikt, men kan også virke inn i et langsiktig perspektiv [3]. Energiprisene har falt siden toppen i 2022, men er enda ikke tilbake til prisene før krigen [1, 4].

I forbindelse med kraftproduksjon og fordeling av ulike energikilder som brukes i Europa, beskriver figur 1 statistikk fra år 2000 og forutsetninger frem mot 2040. Det kommer tydelig frem at Europa er inne i en omstillingsprosess. I fremtiden er det forutsetninger å gå fra kjernekraft, kull og gass over til fornybare kilder som vannkraft, vindkraft på land, havvind og solkraft. Ved økt produksjon av fornybar energi, er det forventninger om at dette skal redusere kraftproduksjonen fra øvrige kilder. I praksis er det ikke slik, energisystemet i Europa må ofte ty til kilder som kull, kjernekraft og gass for å opprettholde energibalansen i markedet [3]. Basert på forutsetningene i figur 1 vil vindkraft på land ha stor vekst, og kommer til å spille en sentral rolle innenfor kraftsystemet i Europa.



Figur 1: Statistikk og forutsetninger frem mot 2040 for kraftproduksjon i Europa [3]

Birkelund et al. skriver i en rapport for langsiktig kraftanalyse [3] at det forventes økte kraftpriser i Norge. Vindturbiner er avhengig av vindressurs, dermed er det begrensede muligheter for å regulere kraftproduksjonen [5]. Derfor egner ikke vindkraft seg som den eneste kraftkilden i en energimiks, og kan eksempelvis kombineres med vannkraft. Tradisjonelt har vannkraft en lavere kWh pris enn vindkraft, men i de siste årene har utbyggingskostnadene for vindkraftverk hatt en markant nedgang [5]. Dette skyldes forbedret teknologi og stor omsetning av vindkraftverk, noe som har resultert i økt utbygging av vindkraft [5]. De siste to årene har Norge opprettet kraftforbindelser til både Storbritannia og Tyskland [3]. Kombinasjonen av den økte utvekslingskapasiteten mellom Norge og Europa, samt overgangen til fornybare energikilder, vil føre til endringer i dagens situasjon.

Videre skriver Birkelund et al. at forbruksveksten av elektrisitet i Norge antas å dobles de neste 20 årene sammenlignet med de 20 foregående årene. Forbruket vokser anslagsvis 26% i perioden 2021-2040, fra 138 TWh til 174 TWh. Forbruksøkningen skyldes i hovedsak en økning i landbasert industri, datasentre, transport, petroleumsnæringen og hydrogenproduksjon. Den største økningen er forventet å komme fra landbasert industri og datasentre på 16 TWh. Dette kan blant annet skyldes utbygging av batterifabrikker [3]. Videre kommer elektrifisering av transportsektoren, som har en forventet vekst på 13 TWh til 2040 [3]. Både petroleumsnæringen og hydrogenproduksjon forventes å ha en økning på 7 TWh [3]. Likevel er det antatt en minking i elektrisitetsforbruket til husholdninger, på bakgrunn av energieffektiviseringstiltak [3]. Vindkraft kan komme til å spille en sentral rolle for å tilfredsstille den økte etterspørselen.

## 2 Samfunnsperspektiv

Norge har sammen med en rekke andre land forpliktet seg til Parisavtalen, og har som mål at landet skal bli klimanøytralt innen 2100 [6]. Dette innebærer at det på landsbasis ikke slippes ut mer klimagasser enn det fanges opp. I tillegg har den norske regjeringen lagt frem en nasjonal handlingsplan for å nå FNs bærekraftsmål. Disse målene er utarbeidet av FN med mål om å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030 [7]. Vindkraft kan være et hjelpemiddel for å nå disse målene ettersom det er mye fokus på det grønne skiftet, og utvikling av fornybare energikilder. Likevel er det uenighet om vindkraft er løsningen på dette problemet. Det er en pågående debatt i Norge knyttet til utbygging av vindkraft, da det kreves betydelig inngrep i natur [8].

### 2.1 Bærekraftmålene

FN beskriver bærekraft som *En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov* [9]. I den sammenheng har de utviklet 17 mål med konkrete undermål for oppnåelse av en bærekraftig fremtid. Denne oppgaven omfatter tematikk som bidrar mot flere av disse målene. Det er trukket frem tre hovedmål, som vist nedenfor (figur 2). Av disse er det utvalgt fem undermål som berøres direkte. De utvalgte hoved- og delmål er beskrevet nedenfor.



Figur 2: Bærekraftsmål som er relevante for denne studien.

Mål 7: Sikre tilgang til pålitelig, bærekraftig og moderne energi til en overkommelig pris for alle

7.1) Innen 2030 sikre allmenn tilgang til pålitelige og moderne energitjenester til en overkommelig pris [10]

7.2) Innen 2030 øke andelen fornybar energi i verdens samlede energiforbruk betydelig [10]

På grunn av det økende energibehovet i verden, så vel som Norge, blir det mer utfordrende å dekke behovet til hver enkelt person [3]. Utbygging av vindkraftverk kan øke produksjonen og bidra til å sikre at flere har tilgang til ren energi. Økt produksjon av energi vil senke prisen, noe som vil gi flere folk mulighet til å dekke sitt energibehov. En artikkel fra 2022 viser til at vindkraft er den billigste formen for energi, med en energipris så lav som 30 øre per kilowatttime [11]. Å introdusere mer vindkraft vil dessuten diversifisere kraftforsyningen. Norge er primært forsynt med strøm fra vannkraft per 2023 [12]. Flere typer energi i forsyningskjeden vil være en sikkerhet da disse energikildene vil påvirkes av vær og klima.

Som nevnt ovenfor er Norges energiforsyning i hovedsak basert på vannkraft. Dette er en fornybar energikilde som har svært god utnyttelsesgrad [12]. På verdensbasis derimot, er bilde helt annerledes. Det desidert største energiforbruket i verden i dag forsynes av fossilt brensel [13]. Dersom Norge øker produksjon av fornybar energi, vil dette bidra til å øke andelen fornybar energi til verdens kraftforsyning. Et eventuelt energioverskudd vil kunne forsyne andre land, da nasjonale strømnnett ikke er isolerte systemer.

*Mål 8: Fremme varig, inkluderende og bærekraftig økonomisk vekst, full sysselsetting og anstendig arbeid for alle*

*8.1) Øke den økonomiske produktiviteten gjennom diversifisering, teknologisk fremgang og innovasjon, blant annet med vekt på lønnsomme og arbeidsintensive sektorer [14]*

En form for diversifisering allerede diskutert er knyttet til energimiksen. Medfølgende kommer også andre former for diversifisering. Å investere i vindkraft vil resultere i nye arbeidsplasser og dermed behøves teknisk kompetanse [15]. Dersom dette feltet blir lukrativt, vil det føre til flere arbeidsplasser. Det forskes stadig på effektivisering av vindkraft, som på sikt kan øke lønnsomhetsgraden [16]. Dette kan bidra til å stimulere forskning og opplæring blant utdanningsinstitusjoner og andre aktører i relevante industrier. Med mål om et klimanøytralt verdenssamfunn, vil satsing på bærekraftige industrier føre til utfasing av mer miljøbelastende energisektorer. Dette reflekteres blant annet i andre bærekraftmål, og er et fornuftig tankesett for å nå dette målet. I Norge er olje- og gassindustrien svært lønnsom og sysselsetter mange tusen mennesker i dag [17]. Velstanden denne næringen bidrar til, vil være en utfordring å gjenskape i andre industrisektorer. I de kommende årene vil innovasjon og nytenking på alternative løsninger være avgjørende for gjennomføring av denne omstillingen.

*Mål 9: Bygge solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon*

*9.1) Utvikle pålitelig, bærekraftig og solid infrastruktur av høy kvalitet, inkludert regional og grensekryssende infrastruktur, for å støtte økonomisk utvikling og livskvalitet med vekt på overkommelig pris og likeverdig tilgang for alle [18]*

*9.4) Innen 2030 oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk av ressurser og mer utstrakt bruk av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser, der alle land gjør en innsats etter egen evne og kapasitet [18]*

Ved utbygging av vindkraftverk, kommer også nødvendig infrastruktur. Selve kraftverket krever adkomstveier, oppstillingsplasser og et internt veinett [19]. Vindkraftverk krever transport av store komponenter og disse skal vedlikeholdes, repareres og utskiftes. På denne måten vil utbygging av vindturbiner føre til utbygging og opprettholdelse av robuste veier som kan eksistere i lang tid. Andre næringer, så vel som privatpersoner, kan utnytte dette tilbudet. Dette vil resultere i verdiskaping som vil stimulere økonomien. Bedre infrastruktur fører til at landet kan knyttes sammen internt så vel som til utland. Følgelig vil avsidesliggende områder bli mer tilgjengelige, der folk ikke har hatt de samme mulighetene på grunn av lokasjon.

Elektrisk infrastruktur må også bygges til vindkraftverk [20]. Der mål 7 dekker mye av utfordringen knyttet til enkeltpersoners rett, er det også viktig at næringsliv og industri omstiller seg. En forutsetning for at dette er mulig er at det er økonomisk lønnsomt for aktører å bygge ut vindkraftverk med tilhørende infrastruktur. Videre satsing på fornybar energi vil ha ringvirkninger i hele samfunnet. Dersom landet forsynes av bærekraftig energi, vil energibruket virke mindre miljøbelastende. Dette innebærer at Norge må avendes avhengighet av olje og gass, noe som krever nytenking og innovasjon av teknologi. Nærvind er et forholdsvis nytt begrep, der det utbygges vindturbiner i industriområder [21]. På den måten kan industrikomplekser produsere egen ren energi. Norge er i en gunstig posisjon til å overstige egne behov og bidra mot det grønne skifte, der andre land har større utfordringer.

## 2.2 Vindkraftdebatten - vind eller forsvinn

Vindkraft er et betent tema i Norge per dags dato, med mye engasjement i befolkningen [8]. For oppnåelse av FNs syvende bærekraftsmål er det ønskelig at kraftbehovet blir oppfylt av energikilder med lavest mulig karbonavtrykk [10]. Dermed er vindkraft blant de mest aktuelle alternativene. Likevel finnes det mye motstand fra flere fronter. Vindkraftutbygging krever store arealer, dette er ofte høytliggende områder som gjerne er kjent for sitt naturlandskap [22]. I tillegg kommer tap av fugleliv i disse områdene, noe som møter stor kritikk [22]. Det er to aspekter knyttet til vindkraft i den offentlige diskursen. Det ene aspektet er hvor kraftverkene skal plasseres, mens det andre omhandler hvorvidt vindkraft er nødvendig i det hele tatt. Det engelske fenomenet *Not in my backyard* (NIMBY) beskriver en typisk holdning knyttet til denne debatten [23]. Ofte er ikke befolkningen nødvendigvis imot vindkraft, men vil ikke ha det der de selv blir berørt. Dessuten er Norge i dag allerede nesten utelukkende forsynt av strøm fra fornybare energikilder i form av vannkraft [24].

Satsing på fornybar energi er ofte kombinert med reduksjon av mer miljøbelastende energikilder. Det grønne skiftet innebærer nedskalering eller utfasing av olje- og gassutvinning. Dette vil være en utfordring, da olje- og gassnæringen er den desidert største bidragsyteren for brutto nasjonalprodukt i Norge i dag. Hele 73,4% av norsk eksport i 2022 kom fra olje- og gassnæringen og i 2021 ble det eksportert for 879,1 milliarder kroner [17]. I tillegg er det 163 600 personer som direkte eller indirekte jobber innenfor olje- og gassnæringen [25], noe som tilsvarer 5,8% av samlet sysselsetting i Norge [25]. Det indikerer at dette er en stor industri, med mange arbeidsplasser, som må omstilles slik at utvikling og vekst foregår innenfor naturens tålegrenser.

Det er vanskelig å bedømme om vindkraft er verdt konsekvensene som følger. Et av hovedproblemene ved utbygging av vindkraft er det store arealbruket som kreves. En vindturbin kan under gode lysforhold være synlig fra avstander lengre enn 50 km unna [19]. Dette viser hvor store avstander den visuelle påvirkningen fra vindkraft har. I media har begrepet *nærvind* blitt mye omtalt. Det innebærer at det settes opp vindkraftverk langs store veier og områder som allerede er lagt av til industri [21]. Dette kan åpne opp for nye arealer hvor vindkraftverk kan plasseres. Norge er et arealrikt land, og dersom vindkraftverk settes opp i områder som er godt egnet, kan dette trolig veie opp for de påfølgende ulempene. Hvorvidt en utbygging er gunstig blir subjektivt, og følgelig vil vindkraftverk alltid skape debatt.



Debatten omhandler ofte hvordan naturarealene i Norge skal fordeles. Det er ofte konkurranse mellom reindrift og vindkraft om høytliggende områder [26]. Dette skyldes at høytliggende områder ofte har gode vindforhold og gode beite- og luftingsområder for reindrift [26]. Regjeringen har fastslått et nasjonalt mål: *Med bakgrunn i forpliktelser etter Grunnlovens § 110 a og folkerettens regler om urfolk og minoriteter har Regjeringen et særskilt ansvar for å ivareta det materielle grunnlaget for samisk kultur* [20]. På Norges fastland er det stort sett arten tundrarein som dominerer [27]. Over 90% av gjenværende villrein (tundrarein) i Europa anslås å være i Norge [27]. De er mest utbredt i Sør-Norge, mens mesteparten i Nord-Norge er tamrein. Utfordringene med reindrift er mange og komplekse, men den største utfordringen er arealene som kreves ved tradisjonell reindrift [20]. Dette fører til et stort konfliktpotensial mellom vindkraftutbygging og reindrift.

I Trøndelag er det utbygd flere store vindparker. Disse prosjektene har møtt mye motstand, og har hatt stor mediedekning i lengre tid [28]. Ikke bare på grunn av selve vindturbinene, men minst like kontroversielt er den omfattende infrastrukturen som er bygd ut [29]. En aktuell sak i Norge er Fosen-saken. Den handler om en konflikt mellom reindriftingsamers rettigheter og to vindkraftverk på Fosen i Trøndelag. I 2010 ga NVE konsesjon for å bygge vindkraftverk på Fosen, Roan og Storheia [30]. Vedtakene som ble avgjort ved Fosen-saken ble klaget på av blant annet reindrifutøverne ved Sør- og Nord Fosen, som senere gikk videre til høyesterett [30]. Saken ble holdt i storkammer med elleve dommere, noe som kun gjøres i særdeles viktige saker [31]. Høyesterett konkluderte med at *Konsesjonsvedtaket strider mot reineiernes rettigheter etter konvensjonsbestemmelsen* [30]. Det ble likevel ikke satt noen konkrete krav for hva som skulle skje med vindkraftverkene [30]. Den 23. februar 2023 startet *Natur og Ungdom* og *Norske Samers Riksforbund Nuorat* en demonstrasjon utenfor flere departementer i Norge [32]. Grunnen var å markere 500 dager siden dommen fra Høyesterett falt, uten vesentlige tiltak for vindkraftverkene [33]. Demonstrasjonen fikk stor internasjonal oppmerksomhet, og den verdenskjente svenske miljøaktivisten Greta Thunberg deltok også [34]. Målet med demonstrasjonen var å fjerne vindturbinene på Fosen, men de står per juni 2023 [34].

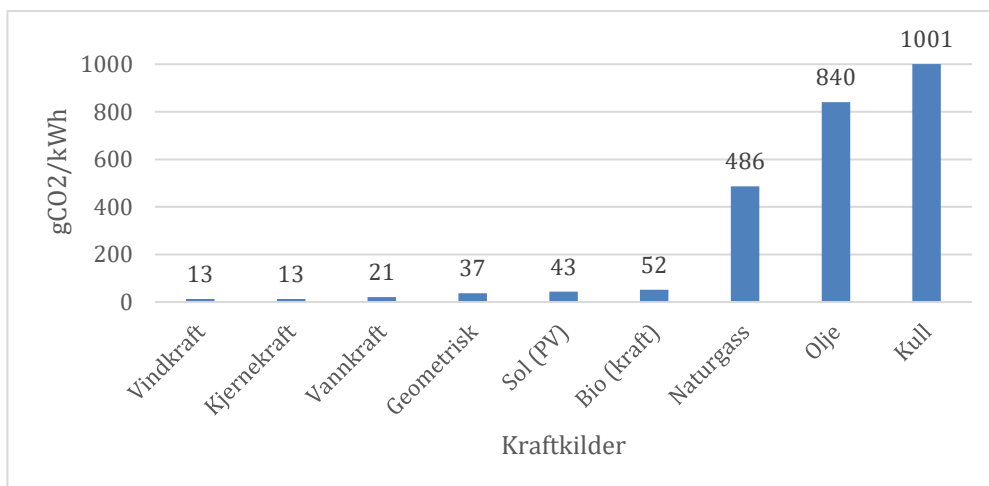
### 3 Kunnskapsbakgrunn

#### 3.1 Vindkraft

Vindkraft utnytter vindenergien og omformer den til elektrisk energi [35]. På verdensbasis har denne vindkraft opplevd en økning de siste årene. Dette er i samsvar med utviklingen av teknologi som gjør vindturbiner stadig mer effektive. Det kreves stadig mindre vindhastighet for å gjøre disse konstruksjonene økonomisk lønnsomme [16]. Dette åpner for utbygging av vindkraftverk i områder som tidligere var uaktuelle. Det er forventet at denne trenden vil fortsette, og det vil bli en økning i antallet egnede lokasjoner. I tillegg kommer et stadig økende energibehov i verden, så vel som et økende ønske om å bevege seg vekk fra fossilt brensel. Likevel har vindkraft potensiale til å skape omfattende negative konsekvenser for naturen og mennesker. Følgelig er det avgjørende å gjennomføre grundige undersøkelser ved aktuelle lokasjoner. På den måten kan risiko for ødeleggende naturinngrep, og negative konsekvenser for lokalbefolkningen reduseres.

Den vanligste typen vindturbin består av tre rotorblader festet på horisontal aksel, som kalles for HAWT (horizontal axis wind turbine). Dette er gjeldende også i Norge, hvor de fleste vindturbinene er av slik karakter [16]. Via den horisontale akselen er rotorbladene koblet sammen med en generator plassert i generatorhuset. Generatorhuset og rotorbladene er festet i toppen av et tårn som er fundamentert i grunnen. Vanligvis vil storskala vindturbiner starte å produsere elektrisitet ved vindhastigheter på 3-4 m/s, mens den maksimale effekten er på hastigheter mellom 11 og 15 m/s. Ved vindhastigheter på 25-28 m/s vil rotorbladene snus sideveis slik at rotasjonen stanser. Dette gjøres slik at overbelastning på komponentene unngås. I Norge ligger normalt høyden på tårnet til vindturbiner mellom 80-145 meter, og lengden på rotorblader er typisk 60-80 meter [36]. Videre har både størrelsen på turbinen og kraftproduksjonen økt de siste årene [16].

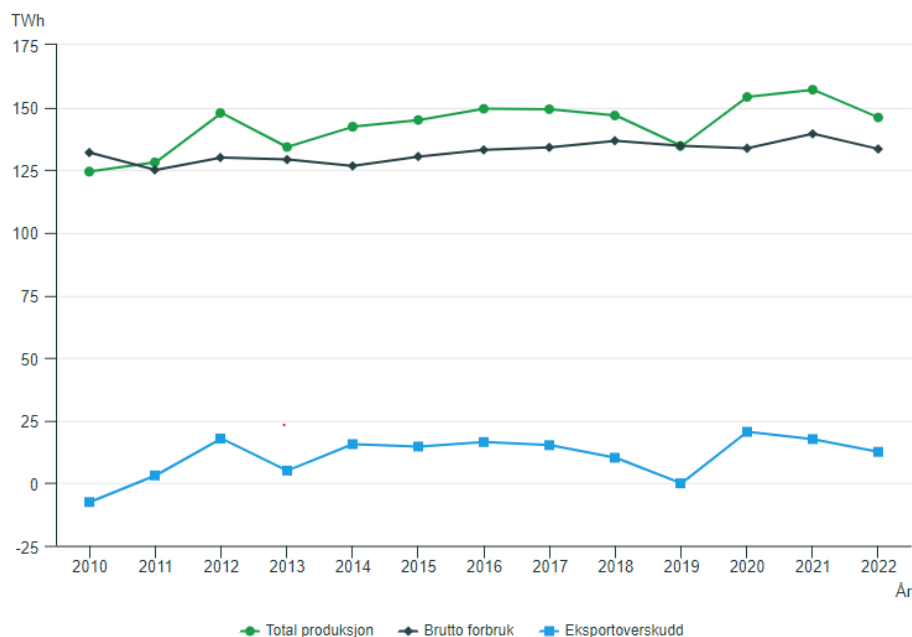
I følge NVE er landbasert vindkraft blant energiformene som i løpet av livssyklusen har lavest karbonavtrykk [37]. Her har de henvist til kunnskap ervervet fra den amerikanske NREL (National Renewable Energy Laboratory). De hevder at vindkraft, på en delt førsteplass med kjernekraft, er energikildene med lavest utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i løpet av den fulle livssyklusen. Begge har et utslipp på 13 CO<sub>2</sub> per kWh [37]. Videre kan en sammenligne dette med andre fornybare kilder som vannkraft, solenergi, termisk energi og biomasse, hvor alle har et større utslipp igjennom sin fulle levetid (figur 3).



Figur 3: Klimagassutslipp ved forskjellige kraftkilder over livsløpet [37]

Utslippsberegninger er svært komplekse, og det avhenger i stor grad av hvordan ulike komponenter er produsert, samt geografisk lokasjon. Følgelig har NVE sine egne anslag gjeldende for landbasert vindkraft, hvor det er estimert et utslipp på 9-14 gram CO<sub>2</sub> per kWh i løpet av livssyklusen [37]. Det er i samme størrelsesorden som vann- og solkraft, ifølge NVE. Uavhengig av hvilke estimater man velger å bruke er det snakk om minimale utslipp i forhold til fossilt brensel, hvor kull har høyest utslipp på omtrent 1000 gram CO<sub>2</sub> per kWh (figur 3).

I 2021 ble det produsert rundt 156,1 TWh elektrisitet i Norge, hvorav 16,9 TWh var vindkraft. Dette utgjorde omtrent 11% av totalproduksjonen. 2021 resulterte i et rekordår for vindkraft [38]. I 2015 var midlere kraftproduksjon fra vindturbiner 2,5 TWh, noe som har mer enn seksdoblet seg over seks år [38]. Dette er også den raskest voksende energikilden, og er et stort satsningsområde for energistaten Norge. Sammenlignet med resten av Norden, ligger Norge på andreplass i produksjon av vindkraft. Det er kun Sverige som har høyere produksjon med 27,1 TWh [39]. Danmark kommer på tredjeplass og hadde i 2021 en produksjon på 16,1 TWh [40]. Per dags dato er det 65 vindkraftverk i Norge, med totalt 1392 vindturbiner, der fire av kraftverkene ligger i Agder [38]. Trøndelag er fylket med mest vindkraft, og her finnes 436 vindturbiner med en samlet kraftproduksjon på 5,3 TWh [38]. Vannkraft er imidlertid fortsatt energikilden som dominerer, med et gjennomsnitt på 88,2% av den totale kraftproduksjonen [41]. Figur 4 nedenfor illustrerer strømforbruk, -eksport og -produksjon i Norge fra 2010 til og med 2022. Her vises en stabil økning over tid, med unntak av noen nedganger. Dette understreker et økende nasjonalt kraftbehov.



Figur 4: Produksjon, forbruk og eksportoverskudd av elektrisk kraft i TWh [41]

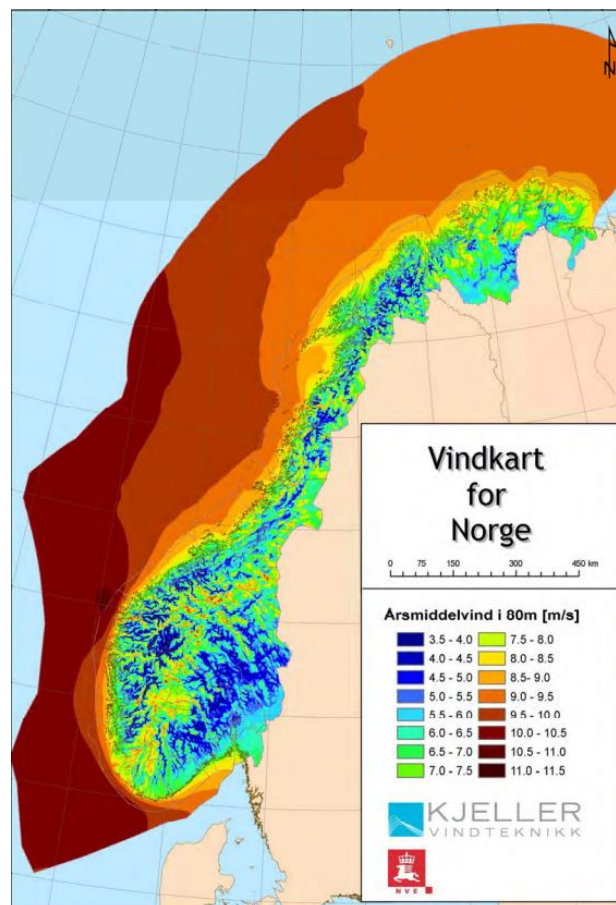
## 3.2 Plassering

For gunstig plassering av vindparker er det en rekke faktorer og krav som må oppfylles og vurderes i forhold til hverandre. Essensielle faktorer som må tas i betraktning er kostnad, miljøforurensning, lønnsomhet og krafttap [42]. Krafttap vil avhenge av distansen til forbruker, og det vil dermed være gunstig at vindkraftverk ikke plasseres for langt unna forbruker og eksisterende strømnett.

I tillegg burde vurderinger bli tatt angående sikkerhet, kvalitet, berørtes synspunkter, økologi, reguleringer og politikk [43]. NVE har i sin mulighetsstudie [44] ansett en rekke områder som uegnet for plassering av vindparker. Dette vil være områder som faller under vernede områder, nærmere enn 100 meter til kystlinje, nærmere enn 600 meter til bebyggelse, nærmere enn 1000 meter til tettsted, sterkt kupert områder, skog eller innsjøer. Det er mange ulike metoder for å bestemme lokasjon, og det finnes ingen fasit da dette avhenger av interessenters prioriteringer.

### 3.2.1 Klima og vær

Uten tilstrekkelige vindressurser på lokasjonen, vil det ikke bli lønnsomt å sette opp en vindpark uansett hvor gunstig lokasjonen skulle vært på andre områder. Et generelt minimumskrav for midlere vindhastighet i Norge er 6 m/s [20]. Ved 10% økning i vindhastighet kan en forvente 15-20% økning i kraftproduksjon. En vindpark vil ha økonomiske og miljømessige kostnader, og gode vindforhold senker disse kostnadene per produserte kWh. Sammenlignet med resten Europa har Norge meget gunstige vindforhold, spesielt gode forhold er det langs kysten. På figur 5 nedenfor vises den midlere vindhastigheten i Norge.



Figur 5: Årsmiddelvind i Norge [45]

Ved minusgrader kan det forekomme isdannelse på en vindturbin rotorblader [46]. Fra denne isen kan biter løsne, og kastes forholdsvis lange distanser. Dette fenomenet kalles iskast, og betraktes som en høy risiko ved vindkraftverk. Dette er fordi massen til prosjektilene, samt hastigheten og uforutsigbarheten av retningen fører til et stort potensial for materiell og menneskelig skade på omgivelsene. Dette er derfor en problematikk som står sentralt når sikkerhetsavstander skal dimensjoneres. Det finnes ingen standardisert formel for dimensjonering av sikkerhetsavstand. Grunnen til dette er at dynamikteorien er svært komplisert. Likevel er det en vanlig industripraksis å benytte summen av høyde og rotorlengde ganget med en sikkerhetsfaktor på 1,5. Denne formelen er blant annet anbefalt av NVE [46].

$$d_{max} = 1,5 * (r + H) \quad (1)$$

$$d_{max} = 1,5 * (2r + H) \quad (2)$$

Der:

- $d_{max}$  er sikkerhetsavstand til en vindturbin
- $r$  er lengden på rotorblad
- $H$  er høyden på tårnet til en vindturbin

Som formel 1 viser, behøves det ikke store vindturbiner for en sikkerhetsavstand på flere hundre meter. I sin studie fra 2003 foreslår Seifert et al. en variasjon av denne med enda større margin (formel 2), der bladlengdene dobles [47]. Uavhengig av formel, vil iskast være en faktor som kan begrense områdene der utbygging av vindturbiner er aktuelt, og NVE vurderer iskast som en risiko på kraftverk i hele landet. Derfor bør enhver interessent forholde seg til dette fenomenet. Formlene ovenfor er kun et estimat for vindturbiner med horisontal rotasjonsaksel (HAWT) [46, 48]. Blant vertikalakselturbiner (VAWT) finnes det større variasjon i design, og det er gjort mindre forskning på disse, da disse er langt mindre utbredt.

### 3.2.2 Logistikk og infrastruktur

Tilknyttet vindturbinene kommer nødvendig infrastruktur som må planlegges og bygges. Dette innebærer adkomstveier, drenering, fundamenter for vindturbinene, fundament/oppstillingsplass for kran, og bygninger tilhørende drift og vedlikehold [49]. Ytterligere kreves også elektrisk infrastruktur, som kabler, transformatorer og koblingsutstyr. Ifølge *The European Wind Energy Association* (EWEA) går en femtedel av kostnadene for utbygging av en vindpark til konstruksjon av den nødvendige infrastrukturen [49]. Mer nøyaktig er det den bygde infrastrukturen av veier, fundamenter og bygninger som står for 8%, imens den elektriske infrastrukturen står for 12% av vindparkens totale kostnader. Tabell 1 nedenfor viser typiske størrelser for infrastruktur som kreves for utbygging av vindkraftverk.

Tabell 1: Størrelse på typiske inngrep i forbindelse med infrastruktur [50]

Type inngrep	Enhet	Typiske størrelser	Typetall
Internvei (lengde) – 800 meter per turbin	m/MW	140 - 325	200
Adkomstvei (lengde)	m	1 500 - 15 000	4000
Kjørebanebredde (inkl. kurver)	m	6,0 - 7,5	7,0
Veiinngrep (gjennomsnittlig bredde) etter tildekking, tilbakeføring etc.	m	9,0 - 18,0	14,0
Veiinngrep (gjennomsnittlig bredde) berørt areal før tildekking, tilbakeføring etc.	m	15,0 - 25,0	20,0
Fundament m/kranoppstillingsplass	m <sup>2</sup> /turbin	1 500 - 2 500	2000
Drifts-/vedlikeholds senter og transformatorstasjon	m <sup>2</sup>	2 000 - 8 000	5000

En av de største utfordringene som må vurderes ved utbygging av vindkraftverk, er frakt av turbinens komponenter til oppstillingspunkt. Ofte blir komponentene fraktet med båt til havn som er egnet for mottak [51]. Deretter kommer det utfordringer videre med transport på vei. De fleste vindturbiner som bygges i Norge i dag har rotorblader med en lengde mellom 60- og 80 meter [36]. Samtidig kan komponentene veie opptil 70 tonn [52]. Av denne grunn er det nødvendig med en tilstrekkelig veikvalitet langs hele strekningen fra havn til oppstillingsplass. Dette innebærer bruk av eksisterende veinett, samt konstruksjon av ny infrastruktur om nødvendig. Hele denne veistrekningen må ha lav svingradius i kurvene, samt lav helning, for at rotorblader på 80 meter og komponenter på 70 tonn skal kunne fraktes av trailer til oppstillingsplass [51]. Agder er preget av kupert terreng, og helning kan dermed bli en utfordring. Dersom vindturbiner skal plasseres på en høy topp vil dette resultere i en lang vei med slak helning. Maksimal helning på adkomstvei varierer fra prosjekt til prosjekt, der det blir gjort en vurdering på hvilken helling som kan aksepteres. Det er ved utbygging av adkomstvei og kranoppstillingsplass at det største CO<sub>2</sub>-fotavtrykket knyttet til vindkraft oppstår [37]. Derfor er det en fordel at vindturbiner settes opp langs eksisterende veinett som er kapable eller trenger liten utbredelse for frakt av vindturbiner.

Etter bygging og overlevering av en vindpark er det forventet at kraftverket vil kunne ha operasjonell drift 97% av tiden [49]. Det er vanlig med en startperiode på seks måneder hvor tilgjengeligheten stiger fra 80-90%. Typisk trengs det et lag på to personer for å drifte en vindpark med 20-30 vindturbiner. For en mindre vindpark er det ikke nødvendigvis fast ansatt mannskap i parken, men heller ambulerende personell. Typisk er det nødvendig med 40 timer i året rutinemessig vedlikeholdsarbeid per vindturbin. I tillegg kommer vedlikehold som ikke involveres i den faste rutinen. Gjennom parkens levetid er det også nødvendig å gjennomføre diverse målinger i henhold til miljøpåvirkninger.

### 3.2.3 Naturinngrep

Vernede områder er beskyttet av ulike årsaker. Beskyttelsesstatus og forvaltning av slike områder er gjort av Miljødirektoratet [53]. Slike områder defineres under forskjellige klassifiseringer. Miljødirektoratet beskriver fem typer verneområder; nasjonalparker, landskapsvernområder, naturreservater, marine verneområder og annet vern. Disse kategoriene har ulike grad av områdevern, og må derfor tas hensyn til på forskjellig vis. Lignende beskyttelsesstatus og forvaltning av vernede områder finnes også i EU, som går under navnet Natura 2000 [54]. Konsekvensområdet til et byggeprosjekt kan være større enn selve byggeområdet, og konsekvensene for verneområder må utredes nøye for å godkjennes av blant annet Miljødepartementet og NVE. Dette vil også avhenge av størrelsen på de planlagte turbinene, samt vindparkens omfang. Heimseter fjellstue er et eksempel på et mindre kraftverk i en nasjonalpark [55].

Observasjon av vernede arter i et område der det er planlagt vindkraftverk kan være grunn til å ikke gi løyve for å bygge vindkraftverket. Den strengeste formen for verneområde er ifølge naturmangfoldloven naturreservat [56]. Naturreservat kan være sårbar natur, natur som har en vesentlig betydning for biologisk mangfold, verdifull geologisk forekomst eller har særskilt naturvitenskaplig betydning. Dersom vindturbiner settes opp i områder som er kritiske for reproduksjon av en art, vil konsekvensen kunne være stor. For større pattedyr som har leveområder over større geografiske områder, der vindturbiner er plassert, vil det ha mindre konsekvenser [57]. For mindre pattedyr, krypdyr og amfibier som mister sitt habitat vil konsekvensene være større, særlige hvis det er sårbare arter [57]. De største forstyrrelsene vindturbiner påfører dyrelivet er støy, menneskelig aktivitet under konstruksjon og økt trafikk i og nær området rundt adkomstveier. Det er generelt lite kunnskap om påvirkningsgraden fra vindturbiner på andre dyr enn villrein, fugl og flaggermus.

Fugler påvirkes av vindturbiner med tap av leveområde, kollisjon eller at turbinene oppleves som barriere for fugletrekk [58]. Tap av leveområdet kan føre til ubalanse av arter i et område. Noe som kan få konsekvenser for samspillet mellom rovdyr og byttedyr. Dette kan påvirke heksesuksessen til fugler. For eksempel ved at det blir overvekt av rev som godt tåler menneskelig påvirkning. Dermed blir det overvekt av rever som spiser egg fra hekkende fugl. Hvor mange kollisjoner som skjer, varierer mellom vindkraftverk. Dette vil avhenge av faktorer som fuglelivets utbredelse i området, høyden til vindturbinen og størrelsene på rotorbladene [58]. For fugler som er på trekk kan vindkraftverk oppleves som en barriere. Dette kan medføre økt energiforbruk for fuglene, og det spekuleres i om dette kan påvirke fuglers langsiktige overlevelse [58].

Samhandling mellom vindturbiner og insekter fører til flere konsekvenser. I 2019 publiserte NRK en artikkel som viser til at det dør omtrent 1 200 tonn insekter i Tyskland årlig som følge av vindturbiner [59]. Artikkelen er blant annet basert på en studie av Franz Trieb [60]. Dette tallet kan virke bekymringsfullt, men Trieb viser til en stor usikkerhet rundt hvor mange insekter som finnes, hvor mange som dør og dødsårsaker. Blant annet er det kjent at kjemikalier brukt i landbruk er svært skadelig for lokal insektbestand. Som nevnt er det lite forskning som knytter dette til håndfaste tall, og dermed er det utfordrende å konkludere hvor alvorlig dødstallene fra vindturbiner er [60]. Døde insekter på rotorblad til vindturbiner kan også ha en annen konsekvens. Ifølge en nederlandsk studie fra 2001 [61] kan insekter som dør på rotorblad redusere kraftproduksjonen til en vindturbin med opptil 50%. Rotorbladene er nøye utformet for å utnytte vinden på mest gunstig aerodynamisk vis,

og ifølge Corten og Veldkamp [61] kan en liten endring i tverrsnittet av rotorene påvirke utnyttelsesgraden av energien drastisk. Dette skjer ved at den akkumulerte biomassen fra døde insekter over tid endrer bladprofilen. På grunn av konsekvensene av dette fenomenet, har det i nyere tid oppstått en egen industri som spesialiserer seg på å vaske rotorblader for insekter [59]. Som nevnt er det lite forskning på dette feltet. Insektbestanden i verden er i kraftig reduksjon og videre forskning på dette feltet vil påvirke vindkraft fremover [62].

### 3.3 Konesjon

Utbygging av kraftverk krever etter norsk lov en spesiell type tillatelse med vilkår, kalt konsesjon [63]. Dermed er vindkraft mer innviklet enn andre byggeprosjekter å få innvilget. Konsesjonsbehandling ble stanset for all landbasert vindkraft i 2019, i påvente om ett nytt regelverk fra regjeringen [64]. Noen år senere ble det igjen åpnet for behandling (2020 og 2021), men fra da hadde kommunene en form for vetorett for realiseringer av slike prosjekter. Dette er i prinsippet en midlertidig ordning som skal avvikles når nye regelverk godkjennes politisk og trer i kraft. Dette kapitlet skildrer denne prosessen per 2023, men tar forbehold om at omstendighetene kan endres i årene fremover. NVE har levert en rekke anbefalinger til utforming av et nytt regelverk. Godkjenningsprosessen inneholder seks trinn, men for mindre kraftverk er ikke alle trinn obligatoriske (tabell 2). I tillegg kan kommunen der det aktuelle prosjektet befinner seg i å nekte for utbyggingen uavhengig av vurderingen til NVE.

Tabell 2: Saksgang for konsesjonsbehandling for ulike kraftverkstørrelser basert på installert effekt

Trinn	Beskrivelse	<1 MW	1-10 MW	>10 MW
1	Melding			x
2	Konsekvensutredning			x
3	Søknad		x	x
4	Vedtak		x	x
5	Klagebehandling		x	x
6	Oppfølging av konsesjon		x	x

Et vindkraftprosjekt starter med en melding (trinn 1). Dette er et skriv som tiltakshaver sender ut til alle interessenter, som vil si alle som er berørt av prosjektet. Interessentene har så anledning til å komme med innspill, slik at en oversikt over prosjektets omfang, samt berørte parter stilling til det, blir kjent. Miljøverndepartementet og Olje- og energidepartementet har samlet konkrete retningslinjer som bør betraktes [20]. Disse retningslinjene er gjeldende per 2023, men er skrevet i en tid der politisk landskap og offentlig diskurs var svært annerledes (2007).

I regelverket skiller det mellom små og store vindkraftverk. Et lite kraftverk er definert som et prosjekt med effekt under 10 MW. Slike prosjekter behøver ikke melding eller konsekvensutredning og byggherre kan i slike tilfeller direkte sende inn søknad (trinn 3). Konsekvensutredningen (trinn 2) er et svar på meldingen der NVE fastsetter et program for kartlegging og omfang av konsekvenser. Tiltakshaver er så ansvarlig for at disse blir adressert, og må velge fagkyndige personer i relevante fag. NVE har utarbeidet veiledere for viktige punkter som visualisering og skyggekast. Når tiltakshaver har utført de faglige utredningene, inkluderes disse i søknaden (trinn 3). Uavhengig av omfanget på kraftverket, skal konsesjonssøknaden inneholde grundige beskrivelser av konsekvenser



på tiltaket. Ved svært små prosjekter, der effekten er under 1 MW og det ikke er mer enn fem turbiner, kan kommunene selv godkjenne søknader.

Etter at NVE har vurdert søknaden, sendes vedtaket ut (trinn 4). Dette er en forholdsvis kompleks prosess i seg selv, men tiltakshaver trenger kun forholde seg til et «ja» eller «nei». Uavhengig av vedtaket kan dette påklages av alle berørte parter (trinn 5). Dette kan være, men er ikke begrenset til, tiltakshaver, kommune, lokal befolkning og annen industri. Eventuelle klager stilles til olje- og energidepartementet, men sendes via NVE. Dersom søknaden blir godkjent, og eventuelle klager avslått, sender tiltakshaver inn en miljø-, transport- og detaljplan (MTA), samt en detaljplan inn til NVE sitt eget miljøtilsyn for godkjenning. Først når planene blir godkjent kan byggingen begynne.

### 3.4 Geografisk informasjonssystem

En utbredt metode for å behandle og presentere plassbestemt data er geografiske informasjonssystemer (GIS). Dette er en type programvare som ved hjelp av kartgrunnlag og statistikk kan gjennomføre romlige analyser, kartlegging og undersøkelser av problemstillinger i den virkelige verden [65]. Dataen som undersøkes vil være koblet til en geografisk lokasjon. Enten kan det være direkte plassering av egenskaper eller verdier tilknyttet disse egenskapene. Dette anvendes i en rekke bransjer som arealplanlegging, forvaltning, miljøovervåking, smittesporing, bygg og anlegg [66]. En GIS-modell vil være en representasjon av virkeligheten, med ulik grad av forenkling. Metoden som brukes for å fremstille denne representasjonen består i hovedsak av to typer datafremstilling, vektordata og rasterdata.

Vektordata er diskrete objekter som blir representert i form av punkter, linjer eller polygoner [66]. Typiske representasjoner kan da være punktdata for avløpskummer, linjedata for veier og polygondata for bygninger. Gjeldende for punktdata og linjedata er at de ikke har areal, og disse brukes hovedsakelig for å fremstille beliggenhet, ikke utforming. Tilegnet alle objektene følger det en egenskapstabell. I denne tabellen ligger først og fremst objektets identitet representert med nummerering. Deretter kan det ligge alle relevante egenskaper for det spesifikke objektet. Hvis en for eksempel har linjedata for en vei, kan egenskaper som ligger i tabellen være gatenavn, lengde, bredde, fartsgrense, byggeår osv.

Rasterdata representerer verden i form av geografiske felter, delt opp i celler [66]. Det vil være varierende grad av nøyaktighet hvor et felt med små celler vil ha høyest nøyaktighet, mens et rutenett med større celler vil ha lavere nøyaktighet. Hver av disse cellene vil være tilegnet en verdi som representerer en egenskap fra den virkelige verden. Typiske bruksområder for rasterdata er fremstilling av vindhastighet eller høyde over havet. Hvis en eksempelvis ser på vindhastighet, kan dette være målt på værstasjoner på ulike lokasjoner. Disse målingene vil da gi en verdi som representerer vindhastigheten i den cellen hvor værstasjonen er lokalisert. Hvis en da eksempelvis skal kartlegge hele Norge, vil det ikke være realistisk å gjennomføre vindmålinger med det samme nøyaktighetsnivået en har valgt med cellestørrelse. Dermed brukes det interpolering for å tilegne verdi for cellene uten en gitt verdi. Dette kan føre til unøyaktigheter i rasterdata, avhengig av interpoleringsmetode og antall gitte verdier. En fordel med rasterdata er at den kan brukes i forbindelse med en rasterkalkulator, hvor en kan kombinere rasterlag og gjennomføre matematiske beregninger. Ved bruk av disse fremstillingsmetodene vil en da kunne lage modeller av den virkelige

verden. På disse modellene kan en da gjennomføre komplekse analyser eller enkle undersøkelser, alt etter hva som er behovet.

### 3.5 Multikriterium beslutningsanalyse

Det å sammenligne kriterier og alternativer, samt å rangere disse i en beslutningsprosess er en naturlig del av menneskelig natur. Multikriterium beslutningsanalyse (MCDA) er dette fenomenet satt i et teoretisk rammeverk for å skape oversikt og standardisere denne prosessen [67]. Målet med dette er å skape et verktøy for å få oversikt over komplekse situasjoner og komme frem til den mest gunstige løsningen [67]. Selv om dette i seg selv er en intuitiv prosess, finnes det mange varianter av denne typen analyse. Disse er tilpasset ulike behov og situasjoner for å få mer hensiktsmessige utdata. Likevel er det fire sentrale komponenter som er nødvendige.

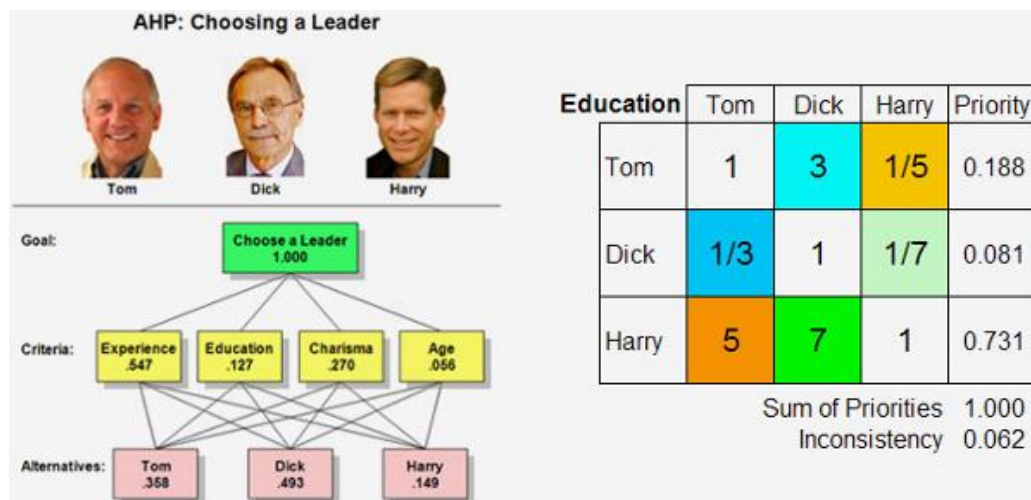
- Alternativer
- Kriterier
- Vektinger
- Beslutningstagere

Alternativer er valgmulighetene. Å identifisere disse er selve målet med analysen. En kan rangere de etter egnethet, eller velge ut en eller flere alternativer som et svar på beslutningsprosessen. Det er ingen øvre grense på hvor mange alternativer som kan inkluderes, men minst to alternativer må med. I en konvensjonell MCDA der alternativene er forhåndsdefinert, må antallet alternativer være et endelig tall. Dersom alternativene defineres i et spekter, eksempelvis i en lokasjonsstudie, vil det i praksis være et ubegrenset antall mulige alternativer [68]. Slike analyser krever større prosesseringskraft og må derfor ofte gjennomføres ved datamodellering.

Kriterier er parameterne, eller egenskapene, som alternativene vurderes opp mot [67]. Disse må nødvendigvis bestemmes på forhånd, da disse baserer seg på hva som vurderes som verdifullt i alternativene i den gitte beslutningsprosessen. Egeninteressen hos analysens beslutningstagere vil nødvendigvis reflekteres i de valgte kriteriene. Det vil derfor være en partiskhet knyttet til dette, som bør belyses i analysen. En utfordring med kriterier er at de ikke er presentert i en skala som gir mening i en modell. Det er derfor nødvendig å definere hvordan inndata skal oversettes til tall som kan benyttes til analysen. Eksempelvis kan ett kriterium for en ansettelsesprosess være relevant erfaring. Dette kan oppgis i antall år og må gjøre om til ett poengsystem der intervaller med år korresponderer med en forhåndsdefinert skala. Dersom inndata ikke er tallfestet, men heller definert i ord som «god» og «tilfreds», kan det bli mer utfordrende å tilegne poeng til kriteriene.

Med utvalgte kriterier knyttet opp mot definerte alternativer, kan en enkel analyse utføres. Dette er dog et svært simplifisert system som ikke tar høyde for at kriterier ikke prioriteres likt. Enkelte kriterier vil naturligvis vektlegges høyere enn andre. Dette kompliserer systemet, spesielt når antallet kriterier øker. Hvilke karakteristikk som bør prioriteres er et aspekt som kan være svært subjektivt og beslutningstageres egeninteresser vil påvirke dette i stor grad. Hvem en tillater å definere disse avgjørelsene vil påvirke utfallet. Det finnes flere metoder for å finne kriteriers relative vektlegging, som adresserer denne problematikken på ulikt vis. Blant disse er en *Analytical Hierarchy Process (AHP)* svært utbredt [68].

AHP er et matematisk verktøy som har vært utbredt i ledelsesteori i flere tiår, utviklet av Thomas Saaty i 1980 [68]. Dette er en oppskriftsmessig metode for å vurdere vektlegging fra flere kilder i ett og samme system. Dette verktøy kan benyttes for å finne parvis vektlegging av kriteriene i en MCDA. Kriterienes relative viktighet settes opp i en matrise, slik at parvis vektlegging føres opp for alle kriterier i ett system. Figuren nedenfor viser et enkelt eksempel på en AHP-analyse (figur 6). Til venstre vises selve hierarkiet med mål, kriterier og alternativer, samt vekting av disse. Til høyre finnes en matrise som viser parvis sammenligning av alternativene for et gitt kriterium. For å håndtere mer komplekse omgivelser, er det mulig å utvide denne prosessen ytterligere.



Figur 6: Eksempel på AHP-analyse [68].

### 3.6 Fuzzy-logikk og AHP

Datamaskiner og programvarer er hjelpsomme verktøy når store mengder data eller kompliserte utregninger skal gjennomføres. Mennesker derimot krever mer tid og gjør flere feil enn maskiner ved slike prosesser. Utfordringen er at datamaskiner krever god inndata som er knyttet til numerisk informasjon [69]. Slik er ikke virkeligheten, der informasjon kan være vag eller upresis. Eksempler på slike prosesser er å vurdere hvor god en restaurantmeny er eller løfting av skjøre gjenstander. Mennesker har ingen problem med å utføre slike oppgaver. Fuzzy-logikk er en matematisk disiplin som forsøker å oversette informasjon som dette slik at maskiner kan lese det [69]. Måten dette gjøres på er ved å tilegne et fenomen en grad av sannhet, heller enn sant eller usant. Det finnes flere implementeringer av fuzzy-logikk. Den mest aktuelle for denne studien er å *fuzzifisere* en AHP.

En Fuzzy AHP (FAHP) fungerer som en konvensjonell AHP, bare at AHP-verdiene er omgjort til et fuzzy set. Dette gjøres for å finne interpoleringsverdier i en AHP, som kun inneholder en diskret skala av verdier med tilhørende viktighet. Mer spesifikt har ikke en FAHP faste viktighetsgrader en må befinne seg i, men heller et kontinuerlig spekter. Følgelig vil det ikke finnes intervaller mellom verdier. Dette er en utbredt metode for å gjennomføre kompliserte MCDA-studier. FAHP kan tilpasses unike situasjoner eller forskningsfelt, og det finnes en rekke variasjoner som bygger på prinsippene i grunn. Blant disse er bruken av FAHP i GIS-MCDA [68]. En slik anvendelse vil ikke vurdere alternativer, som vist ovenfor (figur 6). Siden resultatet av en slik analyse er kart, vil det ikke være mulig å vurdere alternativer i en slik matrise. Isteden er det kriteriene som sammenlignes i parvise relasjoner.

## 4 Forskerspørsmål

Denne oppgaven har som formål å undersøke muligheter ved utbyggelse av vindkraftverk langs strekningen E18 Kristiansand-Grimstad. Derfor er følgende forskerspørsmål, med tre tilhørende underspørsmål, utarbeidet.

### Hvordan er egnetheten til områdene langs E18 Kristiansand-Grimstad for vindkraftverk?

- Hvilke faktorer er de mest betydningsfulle for valg av lokasjon til et vindkraftverk?
- Hvordan vektlegges de ulike faktorene?
- Hvordan påvirker lokale holdninger egnetheten?

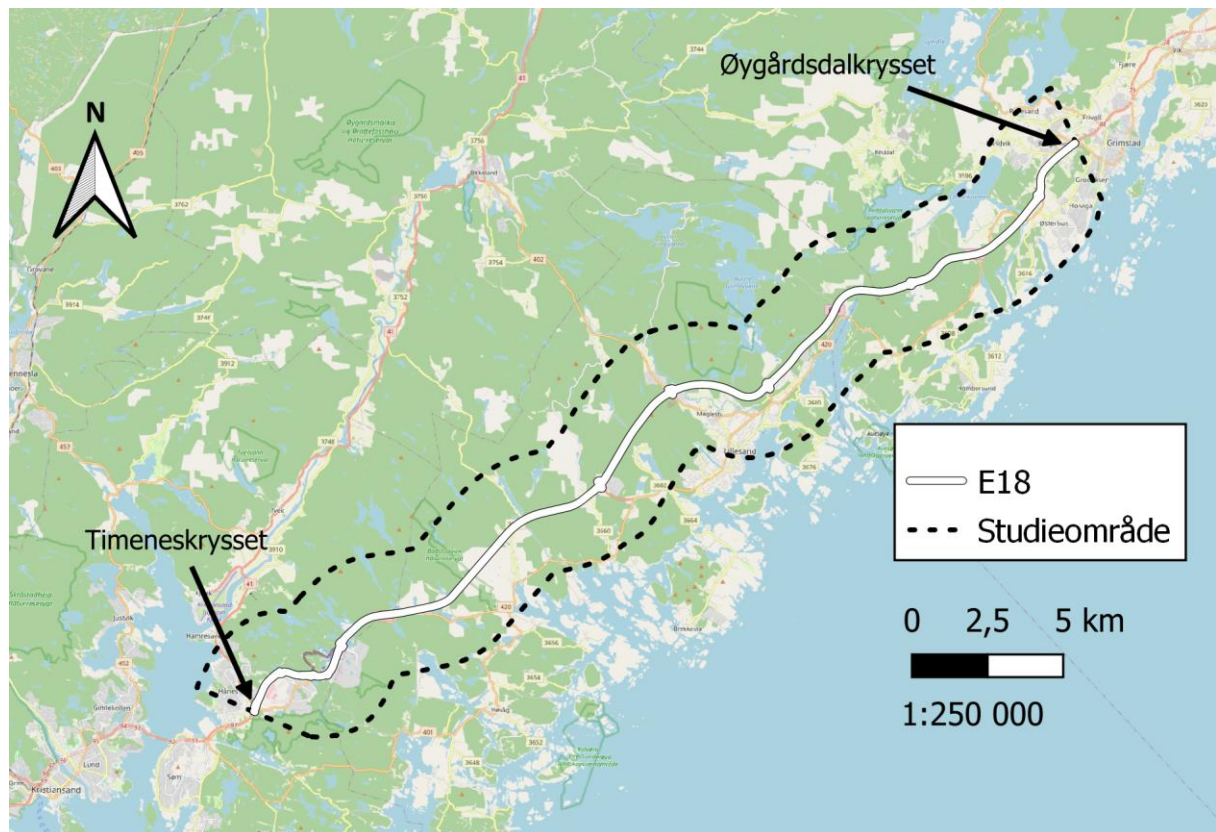
### 4.1 Avgrensninger

Denne studien er en masteroppgave i ingeniørfag innenfor bygg, og oppgaven er avgrenset slik at den blir relevant fra dette fagperspektivet. Dermed er det ikke undersøkt aspekter som energiberegninger, oppetid, vindparkdesign, maskin, elektro og andre aspekter som kunne vært relevant fra et vindkraftteknisk perspektiv. Det er heller ikke inkludert eiendomsproblematikk, økonomiske beregninger, kompensasjonsordninger, reguleringsplaner og lignende problemstillinger fra et administrativt perspektiv. Det er dermed blitt gjennomført en bygg-faglig lokasjonsstudie, som vil være gjeldende for tidligfase.

Utover de faglige avgrensningene er oppgavens omfang begrenset til en tidsperiode på et semester, og totalt 90 studiepoeng fordelt utover tre forfattere. Dette legger til grunn for at oppgaven er geografisk- og metodisk avgrenset. Studien er geografisk begrenset innenfor de tre kommunene Kristiansand, Lillesand og Grimstad. Det er heller ikke undersøkt offshore-arealer, da denne oppgaven kun ser på landbasert vindkraft. Videre er oppgavens metodikk avgrenset slik at alt har latt seg gjennomføre i løpet av det tilgjengelige tidsrommet. Dette har da minket omfanget på litteratursøket, samt intervjuprosessen. Det er heller ikke gjennomført noen form for befaring eller feltarbeid. Metodikken er likevel vurdert til å kunne gi en tilstrekkelig tidligfase lokasjonsstudie.

## 5 Case

Studieområdet er geografisk avgrenset slik at det gjelder områdene langs E18 mellom Grimstad og Kristiansand. Mer spesifikt er det i lengderetning valgt å sette studieområdet fra Øygårdskrysset i Grimstad til Timeneskrysset i Kristiansand, som vist i figur 7 under. Angående avgrensning ut fra veien, er det satt en lengde på 2000 meter på hver side langs strekningen. Dette gir et studieområde på omtrent 145 km<sup>2</sup>. Studieområdet befinner seg innenfor tre forskjellige kommuner; Kristiansand-, Lillesand-, og Grimstad kommune, som alle er i Agder fylkeskommune.



Figur 7: Illustrering av studieområdet

## 6 Metode

For å svare på forskerspørsmålet er det valgt en kombinasjon av flere ulike metoder; litteraturstudie, semistrukturert intervju, kvantitativ spørreundersøkelse og modellkjøring i form av en GIS-analyse. Litteraturstudien og de semistrukturerte intervjuene har til hensikt å oppdrive kunnskap på emnet. Kombinert vil disse metodene bidra til informasjon nødvendig for å produsere den kvantitative spørreundersøkelsen, samt gjennomføring av modellkjøringen, som i seg selv er en forholdsvis innviklet metode. Denne, så vel som litteratursøket og intervjuene, vil bli beskrevet i detalj i de kommende underkapitlene. Den primære metodikken i denne studien kan derfor beskrives som en modellkjøring, da alle overnevnte metoder har som hensikt å bidra til gjennomføring av modellen. Videre er det forsøkt å utføre metodikken med et objektivt syn på verden, der forskeren står utenfor og unngår påvirkning av forskningsobjektet. Dette betyr at antagelser og forutsetninger kan baseres på tidligere forskning og observasjoner. Selv om alle verk vil inneholde en grad av subjektivitet er dette en nødvendig tankegang for å sikre reproduserbarhet av forskningen som utføres.

### 6.1 Litteraturstudie

For å sikre kvalitet på informasjonen er det nødvendig med strenge krav til selve litteratursøket. Den brukte søkemotoren er Google Scholar, som er valgt fordi den inneholder et stort antall forskningsartikler. Det er deretter satt fokus på valg av litteratur som er publisert av troverdige forlag og som tidligere er sitert i flere studier. Likevel kan det gjøres unntak dersom en studie er svært relevant. I slike tilfeller er det lagt ekstra arbeid i kvalitetsvurdering og forfattere er undersøkt ytterligere. Dersom en studie er publisert nylig, vil det brukes skjønn i forbindelse med antall tidligere siteringer, og et lavere antall kan aksepteres. Dette kan bli aktuelt ettersom bruk av nyere publiseringer vil være en prioritering. Dette er gjort for å unngå utdatert informasjon, da det er kontinuerlige endringer innenfor tekniske fag, samt hyppige holdningsendringer rundt vindkraft. Publiserte universitetsoppgaver, type bachelor- og masteroppgaver, er ikke vurdert til pålitelige kilder og dermed ikke tatt i bruk.

Partene involvert i en akademisk prosess, forfatter, forlag eller leser, vil ha en underliggende partiskhet i ulik grad. Dette kan gi uønskede påvirkninger på resultatene. For å unngå partiskhet fra publiserende part er informasjon fra ulike kilder sammenlignet slik at eventuelle subjektive interesser avdekkes. Også fra leserens hold vil det være en partiskhet knyttet opp til forventninger av innhold, noe som kan påvirke tolkingen av informasjon. Derfor er alle gruppens lesere på forhånd gjort seg kjent med sine forventninger slik at en er bevisst på dette. Videre er den anskaffede informasjonen diskutert innad i gruppen slik at eventuelle mistolkninger knyttet til partiskhet blir avdekket.

Til å begynne med er det primært gjort litteratursøk for å anskaffe tidligere lokasjonsstudier tilknyttet vindkraft hvor det også er brukt en GIS-MCDA tilnærming. Det er undersøkt en rekke publiseringer og valgt ut seks studier ansett som svært relevante i forbindelse med videre modellkjøring. Relevansen til en studie ble avgjort ved å først lese sammendraget. Deretter ble det besluttet om studien var relevant i forhold til lokalisering av vindkraft ved bruk av GIS og MCDA. Hvis studien viste seg å ta i bruk en slik metodikk, med et slikt formål, ble den utvalgt til videre bruk. I utvelgesprosessen har det også vært fokus på å finne studier fra ulike geografiske lokasjoner. De utvalgte studiene har undersøkt studieområder i seks forskjellige land, lokalisert i Europa, Midtøsten



og Øst-Asia. Dette vil bidra til en bred dekning av ulike lokale problemstillinger som klima og politiske bestemmelser. I tabell 3 nedenfor vises de gjennomførte søkene i Google Scholar, hvor det er gjort treff og anskaffet litteratur i forbindelse med GIS-MCDA. Resterende litteratursøk er i vedlegg 4.

Tabell 3: Søkeord brukt i litteratursøket

Søkeord	Resultater	Dato
Wind farm suitability	89 400	15.02.23
Wind energy location GIS onshore	19 200	15.02.23
MCDA wind farm location	3 000	28.02.23

De utvalgte studiene ble deretter lest i sin helhet av samtlige gruppemedlemmer, og det ble gjort en beslutning på hvilke resultater som var aktuelle å ta i bruk. Resultatene som er anskaffet fra de valgte GIS-MCDA studiene er inndataen som er brukt i de undersøkte GIS-analysene. Dette inkluderer faktorer som ble brukt i forbindelse med lokasjonsbestemmelse av vindkraft, samt vekleggelse og begrunnelse av disse faktorene. Videre er det også hentet ut egnethetsvurdering av de ulike faktorene der dette var gitt. Disse egnethetsvurderingene tilegner en vurdering i form av poeng til en faktor basert på dets egenskaper. Deretter ble det gjort en vurdering angående hvilke faktorer som skulle inkluderes videre i modellkjøringen. Dette er også brukt som kunnskapsgrunnlag for både de semistrukturerte intervjuene og den kvantitative spørreundersøkelsen. Videre er metodikken brukt i forbindelse med kalkulering av faktorvektning hentet fra Ali et al. [70] sin studie gjennomført i Sør-Korea.

Etter gjennomført undersøkelse av litteratur knyttet opp mot GIS-MCDA, er det gjort ytterligere litteratursøk. Fokuset for det videre søket har vært anskaffelse av informasjon knyttet til utbygging av vindkraft i Norge, hvis mulig mer spesifikt på Sørlandet eller i studieområdet. I utvelgelsesprosessen av disse studiene er først sammendrag lest. Dersom studiene viste seg å omhandle holdninger til vindkraft innad i Norge, ble de tatt med til videre bruk. I dette søket har dermed studienes tema vært det primære fokuset, mens metodikken ikke har vært avgjørende. Det er blitt anskaffet to studier, hvor den første har Agder som studieområde, mens den andre gjelder for Norge generelt. I tabell 4 nedenfor vises søkeordene som har ført frem til de valgte studiene.

Tabell 4: Søkeord brukt i litteratursøket.

Søkeord	Resultater	Dato
Vindmøller Agder	573	21.03.23
Vindkraft Sørlandet	206	11.05.23

De utvalgte studiene er lest igjennom i sin helhet og relevante resultater er hentet ut. Fra disse studiene er det anskaffet holdninger knyttet til utbygging av vindkraft i Norge. Hvor studien *Perspektiver på landbasert vindkraft i Agder* [71], er basert på elleve intervjuer med politisk og administrativ ledelse fra syv ulike kommuner i Agder. Fra denne studien er det hentet ut holdninger til vindkraft på Sørlandet blant befolkningen, samt de intervjuede kommunenes perspektiver om temaet. Studien *Medvind for landbasert vindkraft eller stille før ny storm?* [72], har gjennomført spørreundersøkelser blant den norske befolkningen. Resultatene som er hentet ut fra denne studien

er folks meninger om hvor nært vindkraft kan være deres bolig. Dermed har det blitt anskaffet holdninger til vindkraft både på et administrativt nivå, samt blant befolkningen.

I tabell 5 nedenfor vises en oversikt over de utvalgte studiene som er blitt inkludert under gjennomføringen av litteratursøket. I oversikten vises alle forfattere, samt utgivelsesår og studieområde. Studiene 1-6 er anskaffet til bruk for modellkjøringen og omhandler GIS-MCDA, mens 7-8 omhandler holdninger til utbygging av vindkraft i Norge.

Tabell 5: Utvalgt litteratur til oppgaven.

Nr.	Tittel	Forfattere	Utgivelsesår	Studieområde
1	Onshore wind farms GIS-Assisted suitability analysis using PROMETHEE II [73]	Sotiropoulou, Kalliopi F Vavatsikos, Athanasios P	2021	Thrace, Hellas
2	GIS-based method for wind farm location multi-criteria analysis [74]	Szurek, Michał Blachowski, Jan Nowacka, Anna	2014	Prusice, Polen
3	A GIS-MCDA based assessment for siting wind farms and estimation of the technical generation potential for wind power in Serbia [75]	Doljak, Dejan Stanojević, Gorica Miljanović, Dragana	2021	Serbia
4	Multi-Criteria GIS-Based Analysis for Mapping Suitable Onshore Wind Farms in Southeast France [76]	Ifkirne, Mohammed El Bouhi, Houssam Acharki, Siham Pham, Quoc Bao Farah, Abdelouahed Linh, Nguyen Thi Thuy	2022	Provence-Alpes-Côte d'Azur, Frankrike
5	GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi-Arabia [77]	Baseer, MA Rehman, S Meyer, Josua P Alam, Md Mahbub	2017	Saudi-Arabia
6	Determination of the most optimal on-shore wind farm site location using a GIS-MCDM methodology: Evaluating the case of South-Korea. [70]	Ali, Sajid Lee, Sang-Moon Jang, Choon-Man	2017	Sør-Korea
7	Perspektiver på landbasert vindkraft i Agder [71]	Nadja Kühn og Mikaela Vasstrøm	2022	Agder, Norge
8	Medvind for landbasert vindkraft eller stille før ny storm? [72]	Henrik Lindhjem, Anders Dugstad, Kristine Grimsrud, Gorm Kipperberg, Ståle Navrud	2022	Norge



## 6.2 Intervjuprosess

I denne studien ble det brukt både semistrukturerte intervjuer og en kvantitativ spørreundersøkelse. Semistrukturerte intervju innebærer at det i forkant av intervjuene vil være forhåndsbestemte temaer og åpne spørsmål som skal dekkes [78]. Dette gir respondentene mulighet til å selv styre samtalen, for å samsvare med deres ekspertise og belyse temaer hvor deres kompetanse er sterkest. Innenfor kvalitativ forskning er dette et svært vanlig virkemiddel for å få informasjon fra individer med spisskompetanse på et særskilt område. Videre er det brukt en kvantitativ spørreundersøkelse. I kontrast med et semistrukturert intervju, har en kvantitativ spørreundersøkelse forhåndsbestemte og fastsatte spørsmål som intervjuer skal holde seg til. Denne kvantitative intervjuformen er mer egnet for masseutsendelse og en kan enklere sammenligne resultater direkte.

### 6.2.1 Semistrukturert intervju

Hensikten med det semistrukturerte intervjuet var å danne et kunnskapsfundament, og anskaffe innspill fra respondenter i industrien som er utfordrende å oppdrive via litteratursøk. Spesielt er det relevant for denne oppgaven å hente informasjon fra erfaringer som er gjort ved liknende prosjekter i Norge, da litteraturen om dette emnet ofte er fra andre land. Det er tilstrebet å inkludere respondenter fra både offentlige og private virksomheter. Det ble kun gjennomført to intervjuer av denne typen, da det var begrenset med respons og tid. Totalt ble det sendt ut seks forespørsler om deltagelse til intervju, hvorav kun to aksepterte. Disse var representanter fra NVE og RES-Group. NVE er et offentlig direktorat som driver med konsesjoner og godkjenning av prosjekter, mens den private virksomheten RES-Group var direkte involvert i et skrinlagt vindprosjekt i Lillesand [79].

Til å starte med ble det søkt til *Sikt*, som er en sammenslåing av *Norsk senter for forskningsdata (NSD)*, *Uninett* og *Unit*, om meldeskjema for personopplysninger i forskning. *Sikt* ga deretter godkjenning til behandling av personopplysninger, lydopptak og bakgrunnsopplysninger som ville kunne identifisere intervjuobjekt (vedlegg 1). Det ble mottatt samtykkeerklæring med underskrift fra begge intervjuobjektene angående dette (vedlegg 1). Spesifikt ble det informert om at det ville bli gjort opptak og transkribering av intervjuet, men at dette skal slettes etter innlevering av oppgaven (05.06.23).

Intervjuspørsmål ble produsert utfra kunnskap anskaffet i forbindelse med litteraturstudiet, og det ble satt et fokus på at disse spørsmålene skulle fylle ut eventuelle kunnskapshull. Ettersom dette var et semistrukturert intervju, var spørsmålene åpne og kunne tolkes i flere ulike retninger. Likevel dekket spørsmålene temaer som var vurdert som relevante. Dette førte til at selve intervjuet ble en kontinuerlig flytende samtale rundt vindkraft. Her sto intervjuobjekt fritt til å fortelle om sine erfaringer fra sitt arbeidsområde innenfor vindkraft. På slutten av intervjuet ble det derimot stilt mer spesifikke spørsmål dersom det var noen områder hvor det trengtes mer informasjon. Intervjuene ble gjennomført med videomøte på Microsoft Teams og opptaket ble gjort her. Transkriberingen av intervjuene er gjort med AI-transkriberingsfunksjonen til Microsoft Teams. Deretter er dette skrevet om slik at det skal være forståelig, ettersom funksjonen ikke egner en fullstendig transkribering. Transkriberingen var på 21 sider for RES-Group og 49 sider for NVE. Videre er det undersøkt hvilken informasjon som vil være aktuell for studiens problemstilling, og denne informasjonen er valgt ut. Intervjuobjektene ble deretter tilsendt transkriberingen, og et utklipp av hva som ble inkludert i studien slik at intervjuobjektene fikk mulighet til å komme med innspill, og godta eller ikke godta innholdet. Etter godkjenning er den valgte informasjonen lagt som resultat og brukt videre i studien.

### 6.2.2 Kvantitativ spørreundersøkelse

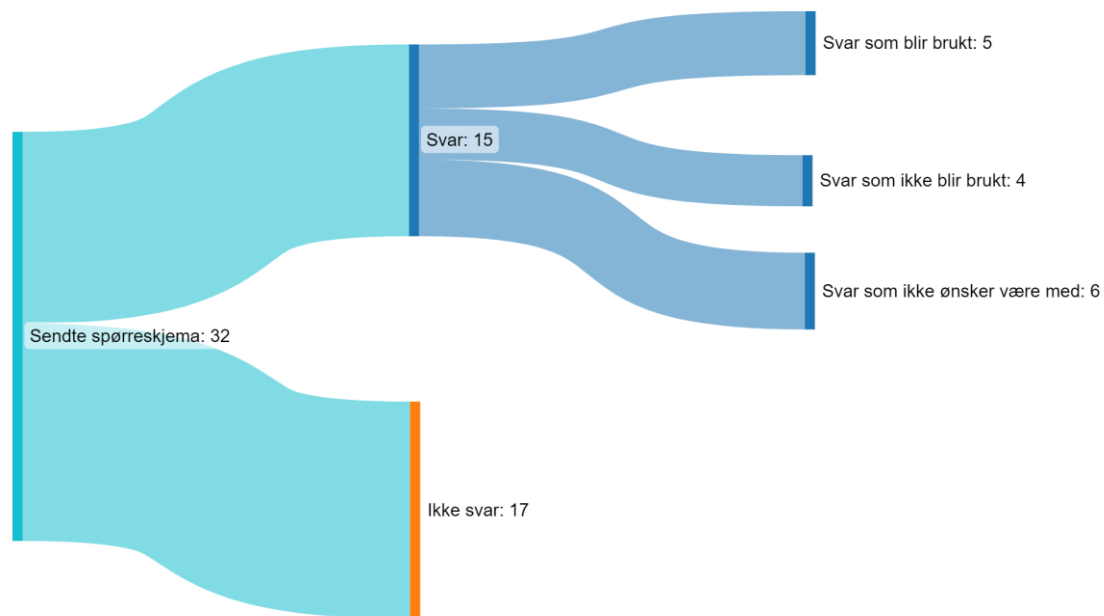
Formålet med den kvantitative spørreundersøkelsen har vært å anskaffe inndata som skal brukes videre i forbindelse med FAHP. Det har blitt undersøkt individuelle eksperters prioriteringer angående ulike kriterier knyttet til lokalisering av vindkraftverk. Spørreundersøkelsen fungerer slik at respondenten gjør en parvis sammenligning mellom alle de ulike kriteriene og rangerer viktigheten i forhold til hverandre på en skala 1-9. Dette gir en matrise som viser relativ viktighet mellom alle de ulike kriteriene, og denne brukes videre for å finne vektlegging av hvert kriterium. Denne metodikken forklares i mer detalj i kapittel 6.3.1.

Ved gjennomføring av selve undersøkelsen er det forsøkt å diversifisere de ulike respondentene innenfor ulike yrker med relevans for vindkraft. Det er dermed forsøkt å inkludere et utvalg fra både det offentlige, samt private virksomheter. Videre er det tenkt at universitetsprofessorer innehar et overblikk over temaet, samt nyere forskning. Privat ansatte ingeniører og rådgivere vil i større grad være direkte involvert i prosjekter. De kan dermed bidra med detaljer og utfordringer ved spesifikke prosjekter. I tabell 6 nedenfor vises de deltagende ekspertene med tilhørende profesjon.

*Tabell 6: Ekspertes som har deltatt i spørreundersøkelse og deres profesjon*

Ekspert	Profesjon
1	Rådgivende ingeniør, bærekraftig energi
2	Rådgivende ingeniør, vindkraft
3	Rådgivende ingeniør, veiteknologi (erfaring med vei i vindkraftverk)
4	Professor, industriell økonomi og ledelse, energi
5	Professor, vindkraft

Det ble sendt ut totalt 32 forespørsler om deltagelse i spørreundersøkelsen, av disse ble det mottatt 15 svar. Det var seks stykker som ikke ønsket å delta og fire svar som ble forkastet. Blant de forkastede svarene var det tre som svarte for sent. Den siste som ble forkastet var en feilutsendelse, noe som skyldes en misforståelse hvor en journalist ble antatt til å være en professor med bakgrunn i vindkraft. Dermed holdt ikke dette svaret opp til kravet om kompetanse innenfor vindkraft, og ble ekskludert. Med dette i bakgrunn er kun fem svar inkludert. Figur 8 illustrerer hvordan prosessen av utsending og respons av spørreskjemaene har forløpt.



Made with SankeyMATIC

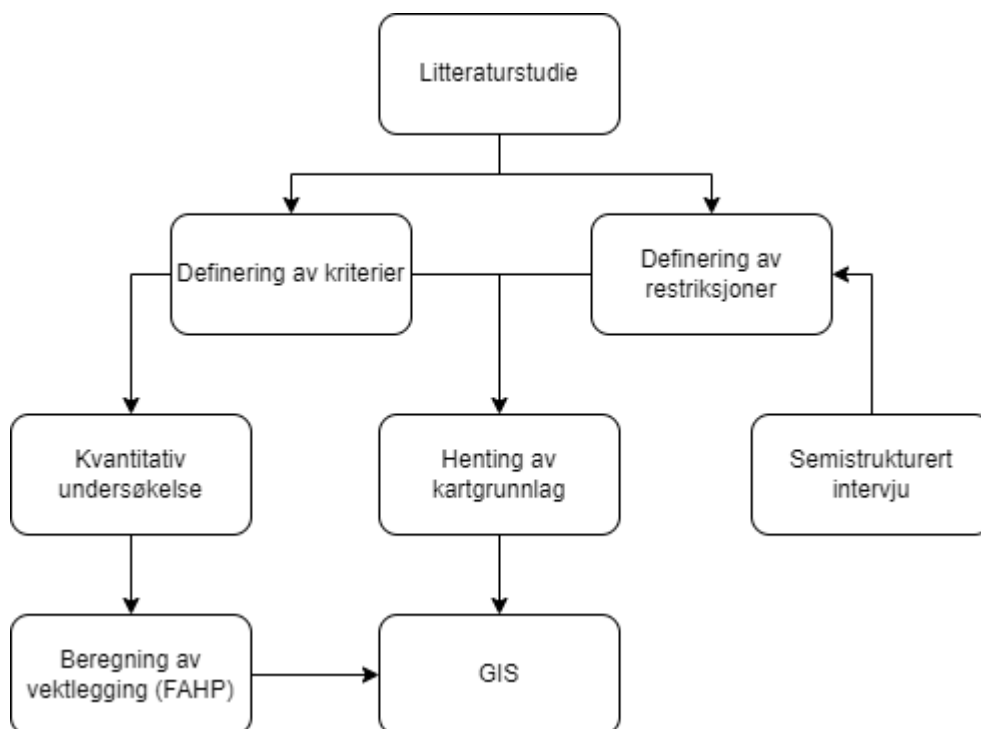
Figur 8: Prosessen fra utsendte spørreskjema til svar, laget ved hjelp av SankeyMATIC [80]

### 6.3 Modellkjøring

For å undersøke lokasjoner til vindkraft er det brukt en GIS-MCDA metodikk som innebærer at det gjennomføres en multikriterium beslutningsanalyse ved bruk av GIS-modellering. Dette er valgt ettersom denne oppgaven er satt opp på en måte som gjør at det i praksis finnes et ubegrenset antall alternativer. Dette fordi det ikke defineres gunstige lokasjoner (alternativer) på forhånd, men heller betraktes et avgrenset og kontinuerlig geografisk område. Dermed vil det være et nærmest ubegrenset antall lokasjoner som må vurderes, noe som blir muliggjort ved hjelp av GIS-modellering.

Resultater fra de tidligere metodene er videreført som inndata brukt i modellkjøringen.

Litteraturstudiet og de semistrukturerte intervjuene er brukt for å velge ut hvilke faktorer som skal inkluderes i modellen. Disse faktorene er deretter delt opp i kriterier og restriksjoner. Videre er kriteriene brukt i den kvantitative spørreundersøkelsen og FAHP-metoden, som deretter har resultert med en vekting av disse kriteriene. De vektlagte kriteriene er deretter brukt sammen med restriksjonene og nødvendig kartgrunnlag til å lage en GIS-modell. Til slutt er det gjennomført en analyse av denne modellen som har resultert i kart som viser egnetheten over de ulike områdene. Dette er dermed en forholdvis innviklet metodikk som kan presenteres i et flytdiagram for å bedre gi oversikt over hvordan de tidligere metodene leder til den avsluttende GIS-modellen (figur 9).



Figur 9: Flytskjema for metode for modellkjøring.

### 6.3.1 FAHP

Før det var mulig å gjennomføre GIS-analysen, var det nødvendig å undersøke hvordan de utvalgte kriteriene vektlegges. Denne vektingen ble kalkulert ved bruk av AHP, hvor inndata var svarene fra den gjennomførte kvantitative spørreundersøkelsen. Disse svarene inneholder språklige utsagn som beskriver viktigheten et kriterium holder over et annet kriterium, som samsvarer med et tall mellom 1-9 på en AHP skala. Alle de ulike kriteriene er sammenlignet med hverandre slik at alle kombinasjoner av to ulike kriterier er dekket. Inndatakilden er utsatt for partiskhet, noe som bør adresseres. Dette er løst ved en såkalt *Fuzzy AHP* (FAHP). Der en konvensjonell AHP tilegner et tall til en påstand, vil en FAHP tilegne et område med en nedre, midle og øvre verdi. Hvilke verdier som samsvarer med hvilke språklige utsagn, samt interpoleringsverdier, er vist i tabell 7 nedenfor.

Tabell 7: Skala for AHP og FAHP, samt de korresponderende språklige utsagnene.

AHP Skala	Språklig utsagn	FAHP Skala
1	Like viktig	(1, 1, 1)
3	Noe viktig	(2, 3, 4)
5	Ganske viktig	(4, 5, 6)
7	Veldig viktig	(6, 7, 8)
9	Absolutt viktig	(9, 9, 9)
2	Interpoleringskala	(1, 2, 3)
4		(3, 4, 5)
6		(5, 6, 7)
8		(7, 8, 9)

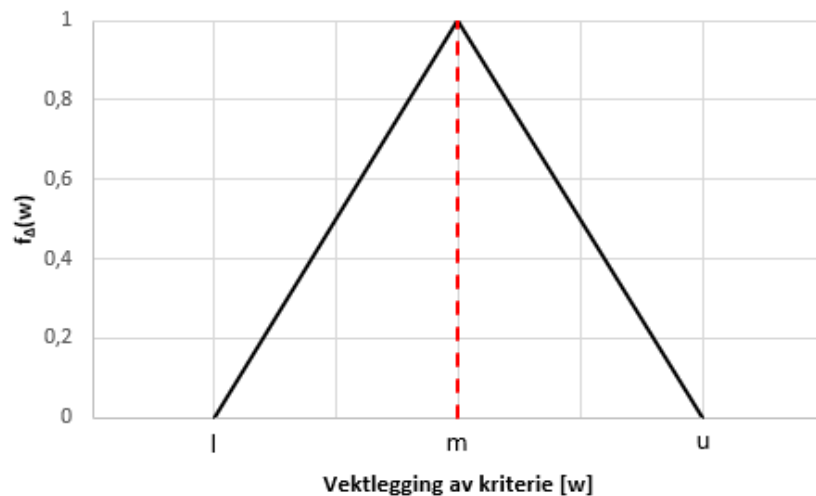
Disse verdiene ble deretter benyttet til å lage trigonometriske figurer til å estimere verdier basert på de språklige utsagnene, som er forhåndsdefinert i rammeverket av det utsendte spørreskjemaet (vedlegg 2). Funksjonene er definerte som vist nedenfor, basert på metoden fra studien til Ali et al. [70].

$$f_{\Delta}(w) = \begin{cases} 0 & w \leq l \\ \frac{w-l}{m-l} & l \leq w \leq m \\ \frac{u-w}{u-m} & m \leq w \leq u \\ 0 & w \geq u \end{cases} \quad (3)$$

Der:

- $f_{\Delta}$  er funksjonen til en gitt uklar trekant
- $w$  er vektleggingsfaktoren
- $l, m$  og  $u$  er henholdsvis nedre, midle og øvre vektleggingsverdi

Med definisjonen ovenfor kan en generell trekant tegnes (figur 10). Disse grafene er tegnet for hvert kriterium for hver ekspert. En høyere gjennomsnittsverdi av vektleggingen vil gi en høyere prioritering i forhold til andre kriterier. Bredere trekanter korrelerer med en større usikkerhet knyttet til vektleggingen, mens en spissere trekant gir et klarere svar. Dette gir en oversikt over validiteten til svarene, som er fordelten FAHP har over AHP.



Figur 10: Et generelt uttrykk for en uklar trekant.

For å lage disse funksjonene måtte inndata fra den kvantitative undersøkelsen plasseres i en matrise, der den relative viktigheten av alle kriteriene vurderes i forhold til hverandre.

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \cdots & \tilde{C}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{C}_{n1} & \cdots & \tilde{C}_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Der:

- $\tilde{M}$  er matrisen som setter alle kriteriene opp mot hverandre
- $\tilde{C}$  er den relative viktigheten av et kriterium med hensyn på et annet

Totalt trengtes færre inndataverdier enn det totale antallet celler i matrisen, noe som simplificerte spørreundersøkelsen. For det første er den motsatte relative viktigheten bestandig den inverterte (formel 5). I tillegg vil naturligvis alle verdier som sammenlignes med seg selv være definert som *like viktig* (formel 6).

$$\widetilde{C}_{21} = \widetilde{C}_{12}^{-1} \quad (5)$$

$$\widetilde{C}_{11} = \widetilde{C}_{22} = \dots = \widetilde{C}_{nn} = (1, 1, 1) \quad (6)$$

På bakgrunn av dette er verdiene i matrisen (formel 4) forenklet som vist nedenfor (formel 7).

$$\widetilde{M} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \dots & \widetilde{C}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{C}_{1n}^{-1} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \dots & (l_i, m_i, u_i) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{1}{u_i}, \frac{1}{m_i}, \frac{1}{l_i}\right) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Når matrisen var satt opp, ble det estimert det geometriske gjennomsnittet av trekanten ved formel 8 nedenfor.

$$\widetilde{g}_i = \left( \prod_{j=1}^n \widetilde{C}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

Der:

- $\widetilde{g}_i$  er det estimerte geometriske gjennomsnittet av  $i$
- $\widetilde{C}_{ij}$  er den relative viktigheten av kriterium  $i$  med hensyn på kriterium  $j$

Den relative vektningen for hvert kriterium som en fuzzy verdi kan estimeres ved tre steg:

1. Beregne summen av det estimerte geometriske gjennomsnittet, som vist ovenfor (formel 8).
2. Invertere summen og sortere verdiene innad i vektorene i stigende rekkefølge. Alle vektorer  $(l, m, u)$  i denne fremgangsmåten må omrokkers for å oppfylle  $l \leq m \leq u$ .
3. Estimere den uklare vektningen ved å multiplisere den inverterte vektoren med den korresponderende snittverdien:

$$\widetilde{w}_i = \widetilde{g}_i * (\widetilde{g}_1 + \widetilde{g}_2 + \dots + \widetilde{g}_n)^{-1} = (l_i, m_i, u_i) \quad (9)$$

Der:

- $\widetilde{w}_i$  er den sammenlagte estimerte vektlegging av kriterium  $i$
- $l_i, m_i$  og  $u_i$  er henholdsvis nedre, midle og øvre vektleggingsverdi for kriterium  $i$

For å oppdrive fornuftige tall til modellkjøringen, måtte de til nå fuzzy (estimerte) verdiene omgjøres til klare verdier. Dette ble gjort ved å benytte gjennomsnittet av de tre verdiene for vektlegging for hvert kriterium (formel 10):

$$A_i = \frac{l_i + m_i + u_i}{3} \quad (10)$$

Der:

- $A_i$  er middelveien for trekanten som dannes av vektleggingsverdiene

Ettersom verdiene er utredet fra estimater vil ikke summen av vektene bli én. Derfor måtte disse verdiene normaliseres.

$$w_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (11)$$

Der:

- $w_i$  er den normaliserte middelveien for vektleggingen av kriterium i

Til slutt er det presentert konkrete vektleggingsforhold mellom kriteriene, som er en viktig del av modellkjøringen i GIS. Denne prosessen er utført med resultatene fra hver ekspert som har deltatt i den kvantitative spørreundersøkelsen. De trigonometriske figurene kan sammenlignes med studien til Ali et al. [70]. Selve resultatet av analysen ble deretter sammenliknet med vektingene av kriteriene fra øvrig litteratur. På den måten kan eventuell partiskhet drøftes.

For å sikre kvalitet av denne metoden, ble det gjort en kalibrering av modellen i Excel. Det ble brukt inndata fra Ali et al. sin studie [70], som en forsikring på at de samme resultatene kunne oppdrives. Kalibreringen lyktes, og denne modellen ble benyttet til all modellkjøring. Denne kalibreringen, samt alle utregninger er inkludert i vedlagt Excel-fil (vedlegg 3). I resultatkapittelet finnes et utregningseksempel som viser stegene i denne metodikken (7.4.3).

### 6.3.2 GIS

Til gjennomføringen av analysen er dataprogrammet QGIS brukt. Dette programmet er valgt ettersom det er kostnadsfritt og tilgjengelig for alle. Til tross for at det er gratis, er det et anerkjent program som også brukes av profesjonelle aktører [81], og det er blitt anbefalt av veileder på Universitetet i Agder.

Det første som ble gjort var å dele alle de inkluderte faktorene opp i kriterier og restriksjoner. Ved gjennomføring av analysen er det en vesentlig forskjell på hvordan kriterier og restriksjoner er brukt. Kriteriene er blitt tilegnet en egnethetsvurdering basert på litteraturstudie og intervju. Denne vurderingen har gitt hvert enkelt kriterium en poengsum på en skala fra 1-5, hvor vurderingene henholdsvis er *veldig uegnet*, *uegnet*, *middelmådig*, *egnet* og *veldig egnet*. Disse verdiene er videre brukt for gjennomføring av egnethetsanalysen. De utvalgte kriteriene og egnethetsvurdering er vist som et resultat under kapittel 7.3 (tabell 18). Når det gjelder restriksjonene, er disse ansett som egenskaper som gjør et område uaktuelt for vindkraft. Det er dermed ikke gjort noen egnethetsvurdering for disse. Restriksjonene er derimot slått sammen til et eget lag, som deretter er brukt for å sette disse områdene til en verdi på 0 i sluttresultatet. Noen av kriteriene vil også ha minstekrav og dermed ende opp både som kriteriet og restriksjon. Faktorene som er kategorisert som restriksjoner er vist i kapittel 7.3 (tabell 19).

Det neste steget for modellkjøringen har vært å anskaffe nødvendig kartdata slik at alle kriterier og restriksjoner kan analyseres. I hovedsak er det blitt brukt tjenesten Geonorge, en nasjonal database for kartdata og stedfestet informasjon. Geonorge driftes av Kartverket, som er Norges eldste tekniske etat [82]. Dermed regnes dette som en pålitelig kilde som historisk sett innehar god erfaring med kartdata. Attpåtil inneholder tjenesten store mengder data innenfor en rekke forskjellige områder og kategorier. Inkludert i databasen til Geonorge er det ikke kun Kartverkets egne datasett. Den inneholder også datasett fra en rekke eksterne leverandører. Ettersom Kartverket er en seriøs aktør kan det antas at de er kritiske og stiller krav til resten av leverandørene. Det er likevel lagt vekt på at leverandøren anses som en seriøs aktør før det aktuelle datasettet inkluderes i modellen. En utfordring med QGIS er at det ikke støtter bruk av SOSI-filer, som er utbredt i Norge, men ikke brukes internasjonalt. Det er forsøkt å laste ned et tilleggsverktøy og å bruke konverteringsverktøy på internett, men dette har ikke fungert. Dermed er det kun brukt filtyper støttet av QGIS i modellen. Nedenfor (tabell 8) er det listet opp de forskjellige kartdataene som er brukt i GIS-modellen.

Tabell 8: Brukte datasett for GIS-analyse

Navn på datasett	Filtype	Leverandør	Bruk	Koordinatsystem
Jernbane - Banenettverk [83]	GML	Bane Nor SF	Jernbanens plassering	UTM 32N
Forsvarets skyte- og øvingsfelt land [84]	GML	Forsvarsbygg	Begrenset område	UTM 32N
Naturvernområder [56]	GML	Miljødirektoratet	Begrenset område	UTM 32N
Lufthavner Flyplasser [85]	GML	Kartverket	Begrenset område	UTM 32N
Vindressurser [86]	TIF	NVE	Vind i 80m høyde	UTM 33N
Nettanlegg [87]	GML	NVE	El-kablers plassering	UTM 32N
Kulturminner - Freda bygninger [88]	GML	Riksantikvaren	Begrenset område	UTM 32N
Kulturminner - Kulturmiljøer [89]	GML	Riksantikvaren	Begrenset område	UTM 32N
Kulturminner - Lokalteter, Enkeltminner og Sikringssoner [90]	GML	Riksantikvaren	Begrenset område	UTM 32N
Elveg 2.0 [91]	GML	Kartverket	Veiens plassering	UTM 33N
Administrative enheter kommuner [92]	GML	Kartverket	Avgrensning av kommuner	UTM 32N
Arealbruk 2022 [93]	FGDB	SSB	Bebyggelse	UTM 32N
Vannforekomster [94]	FGDB	Miljødirektoratet	Begrenset område	UTM 33N
DTM 50 [95]	TIF	Kartverket	Høydedata	UTM 33N
REGINE enhet [96]	GML	NVE	Nedbørsfelt	UTM 32N



Etter alle de nødvendige datasettene er anskaffet, er de blitt klippet ned til områdene som dekkes av kommunene Kristiansand, Lillesand og Grimstad slik at hele studieområdet er inkludert. Det er valgt å inkludere hele arealet av disse kommunene til tross for at det dekker et større areal enn selve studieområdet. Grunnen til denne beslutningen er for å unngå grenseeffekten [97] langs de fastsatte grensene av studieområdet. Denne effekten kan påvirke resultatene i områdene langs grensen ved gjennomføringen av en romlig analyse og en metode for å unngå dette er å gjøre analysen over et større område enn selve studieområdet. Dessuten er mye geografisk data allerede avgrenset til kommunenivå, og arbeidet blir dermed mer effektivt.

Bebyggelse areal er hentet fra datasettet *arealbruk 2022*. Dette er et tilgangsbegrenset datasett som krever at man innehar GeoID [98]. Det er kun parter i *Norge Digitalt* som har mulighet til denne identifikasjonen. Dermed har det ikke vært mulig å anskaffe denne dataen på normalt vis og man har måttet bruke en kontaktperson på Universitetet i Agder. Denne kontaktpersonen har da lastet ned datasettet og videresendt det, slik at det kunne brukes i analysen. En rekke utdanningsinstitusjoner og offentlige etater har tilgjengelig slike kontaktpersoner, og listen ligger tilgjengelig som kilde [99].

For å finne ut hvilke nedbørsfelt som måtte legges som begrensede områder, er det først undersøkt hva som er drikkevannskildene til de relevante kommunene. Disse listes i kapittel 7.3 (tabell 20). Deretter er nedbørsfeltene studert, og de som har avrenning til de relevante drikkevannskildene er lagt som restriksjoner.

Deretter er det sørget for at alle de individuelle datasettene bruker det samme koordinatsystemet. Det er anbefalt å bruke UTM sone 32N i Norge sør for Trøndelag [100]. Dette er derfor valgt som koordinatsystemet for modellkjøringen. Dermed er de datasettene som har et annet koordinatsystem transformert til det korrekte. Dette gjelder for «Vindressurser», «Elveg 2.0», «Vannforekomster» og «DTM 50» som er blitt transformert fra UTM sone 33N.

Deretter ble det opprettet et «raster-lag» for hvert av kriteriene og restriksjonene. Alle datasett som ikke har filtype TIF (tabell 8) er fremstillinger i vektorformat og disse måtte dermed konverteres. Raster-lagene har en celle-størrelse satt til 50x50 meter, dette gjelder for alle lagene utenom «Vindressurser» som fra før av brukte 1x1 km. I datasettet «Vindressurser» er det raster-laget med verdier for 80 meter høyde som er blitt brukt.

Analysen er deretter gjennomført ved hjelp av raster-kalkulator. Først er raster-lagene tilegnet de valgte verdiene med poengsetting fra tabell 18. Deretter er hvert lag multiplisert med den gitte vektningen funnet ved hjelp av FAHP-metoden nevnt tidligere, og summert sammen slik som vist i formel 12. Til slutt er alle områdene med restriksjoner satt til en celleverdi lik 0. Denne prosessen er gjentatt for hvert sett med vektninger. Dermed blir det et resultat per ekspert. I tillegg så er det kalkulert et gjennomsnitt av resultatene.

$$E_{\text{celle}} = \sum_{i=1}^5 K_i * w_i \quad (12)$$

Der:

- $E_{\text{celle}}$  er egnethetsvurderingen per celle i raster-laget
- $K$  er egnethetsvurderingen per celle i raster-lagene for kriterier

Det er hensiktsmessig å gjennomføre en sensitivetsanalyse av GIS-modellen, slik at en ser hvor mye resultatene påvirkes dersom de anvendte faktorene endres [68]. Ettersom GIS-modellen inneholder fem forskjellige sett med vektninger kan dette anses som en sensitivetsanalyse i seg selv. Dette gjør at en i resultatene kan observere hvilke endringer som dukker opp ved de ulike vektningene.

Alle raster-lagene for de valgte kriteriene har diskrete verdier mellom 1 og 5. Etter kalkulasjonen ble gjennomført ble disse diskrete verdiene endret til kontinuerlige verdier for alle cellene. Dermed er poengskalaen endret slik at en får diskrete verdier på resultatet fra analysen. I tabell 9 nedenfor vises konverteringen. De nye diskrete verdiene vil ha samme egnethetsvurdering som tidligere.

*Tabell 9: Konverteringstabell av kontinuerlige til diskrete verdier, med egnethetsvurdering*

Kontinuerlig verdi	Diskret verdi	Egnethetsvurdering
$0 < x \leq 1$	1	Veldig uegnet
$1 < x \leq 2$	2	Uegnet
$2 < x \leq 3$	3	Middelmådig
$3 < x \leq 4$	4	Egnet
$4 < x \leq 5$	5	Veldig egnet

Etter gjennomføring av analysen står man igjen med et kart-resultat gjeldende for hver ekspert som har gjennomført spørreundersøkelsen til FAHP-prosessen. Disse resultatene er deretter undersøkt innenfor det avgrensede studieområdet og det er gjort vurderinger av relevante lokasjoner for utbygging av vindkraft. Videre er det undersøkt egnethetsvurdering og størrelse på ikke-begrensede områder. Det er også gjort sammenligninger mellom de forskjellige resultatene. Dette er gjort for å finne egnede områder hvor det er konsensus på tvers av ulike prioriteringer av kriterium. Det er deretter valgt ut områdene som viser seg å ha høyest egnethet og har en betydelig størrelse. Så er det dannet et nytt lag i QGIS som viser grensene på disse områdene. Dette laget er dannet ved hjelp av frihåndstegning og brukes dermed bare til visualisering og ikke analyse. Følgelig er karttjenesten «FINN kart» [101] brukt til å skaffe flyfoto av de relevante områdene, som senere har blitt importert inn i modellen og georeferert. Det brukte flyfotoet heter «Agder-og-Telemark-2021». Denne georefereringen er gjort ved hjelp av programutvidelsen «Freehand raster georeferencer». Utvidelsen kan aktiveres direkte i QGIS. Flyfotoene er undersøkt for å avdekke egenskaper hos de valgte områdene som ikke har vært inkludert i de brukte datasettene. Deretter er det gjort en vurdering av alle de valgte områdene, som videre er brukt til å finne en endelig konklusjon.

## 7 Resultat

### 7.1 Resultater fra litteraturstudiene

I dette delkapittelet blir det presentert resultater fra de undersøkte GIS-MCDA studiene. Dette i form av begrunnelse for valgte kriterier, krav for kriterier og restriksjoner, vektlegging av kravene og egnethetscore for valgte kriterier. Tittelen til hver av studiene er forkortet til dets geografiske lokasjon. For eksempel er *GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia* heretter referert til som *Saudi Arabia*. Litteraturstudiene er hentet fra områdene Sør-Korea [70], Nordøst-Hellas [73], Polen [74], Serbia [75], Sørøst-Frankrike [76] og Saudi-Arabia [77].

#### 7.1.1 Begrunnelse av kriterier

Noen av studiene har gitt en begrunnelse på hvorfor de har inkludert ulike kriteriene og restriksjonene. Disse blir henholdsvis presentert i tabellene under. Begrunnelsene er tatt ut fra litteraturstudiene. Deretter er de oversatt og skrevet om slik at det som er relevant kommer frem.

Tabell 10: Begrunnelse på kriterier fra litteraturstudiene

<b>Vindhastighet</b>	<b>Nordøst-Hellas [73]:</b> Gjennomsnittlig vindhastighet i et studieområde er en nøkkelfaktor for økonomisk levedyktige vindparkinvesteringer.
	<b>Serbia [75]:</b> Den viktigste økonomiske faktoren å vurdere når man bygger et vindkraftverk er vindhastigheten på det stedet.
	<b>Sørøst-Frankrike [76]:</b> Gjennomsnittlig vindhastighet har vært den høyest prioriterte faktoren i flere vurderte studier for vindparkplassering. Denne parameteren er direkte relatert til prosjektets lønnsomhet.
	<b>Saudi-Arabia [77]:</b> Gjennomsnittlig interpolert vindhastighet er det viktigste og høyest vektete kriteriet for å lokalisere en vindpark i nesten alle gjennomgåtte studier.
<b>Avstand til strømnett</b>	<b>Nordøst-Hellas [73]:</b> Vindparker bør plasseres i nærheten av strømmettet for å unngå tap av kraftoverføring, unødvendige bruk av kabler og driftskostnader.
	<b>Serbia [75]:</b> En av de viktigste faktorene når det gjelder å redusere kostnadene ved utbygging av vindparker er reduksjon av kostnadene knyttet til elektrisk infrastruktur. Når du velger en lokasjon, er det nødvendig å vurdere tilgjengeligheten og tilgangen til eksisterende elektriske kraftledninger.
	<b>Saudi-Arabia [77]:</b> Lange overføringslinjer mellom vindparker og strømmettet er forbundet med kostnader knyttet til kabling og strømtap. Vindparker bør plasseres i umiddelbar nærhet av strømmettet.
<b>Avstand til vei</b>	<b>Nordøst-Hellas [73]:</b> For å evaluere tilgjengeligheten til hver lokasjon for vindkraft, er preferansen større jo nærmere veinettet.
	<b>Sørøst-Frankrike [76]:</b> Veiens nærhet er en kritisk parameter i ulike studier. Det er spesielt relevant for studier knyttet til søk etter egnede steder for et stort prosjekt som krever massivt utstyr for å holde transportkostnadene, samt konstruksjons- og vedlikeholdskostnadene, lave.
	<b>Saudi-Arabia [77]:</b> For å minimere konstruksjons- og vedlikeholdskostnadene til vindparker, er det nødvendig at avstanden mellom den foreslåtte vindparkens plassering og veinettet skal være så liten som mulig.

<b>Avstand til bebyggelse</b>	<b>Sørøst-Frankrike [76]:</b> Vindparker nær urbane områder kan ha negative konsekvenser for lokalbefolkningen. For å minimere negative påvirkninger på miljøet anbefales det at vindparker er i størst mulig avstand fra urbane områder.
	<b>Saudi-Arabia [77]:</b> Bufferavstander fra er nødvendig boligområder for å unngå støy, sjenanse og naturomgivelser skal defineres. Dette er et svært viktig kriterium ved lokalisering av vindkraftverk. Samtidig er det viktig at vindparken ligger innenfor rimelig nær avstand fra tettsteder for å minimere overføringstap.
<b>Helning i terreng</b>	<b>Nordøst-Hellas [73]:</b> Områder med bratte bakker byr på flere utfordringer, som for eksempel begrenset tilgjengelighet for kraner og lastebiler; slike steder er også utsatt for turbulens, noe som fører til høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader.
	<b>Sørøst-Frankrike [76]:</b> Rent fysisk bør vindparken plasseres på egnede steder. Områder med bratte bakker anses generelt som mindre egnet på grunn av de ekstra kostnadene som kommer ved utbygging og vedlikehold.
	<b>Saudi-Arabia [77]:</b> Tilgjengeligheten for installasjon og vedlikehold av vindturbiner kan hindres av bratt helning i terrenget.

Tabell 11: Begrunnelse på restriksjoner fra litteraturstudiene

<b>Naturvernområde</b>	<b>Nordøst-Hellas [73]:</b> EUs politikk for biologisk mangfold inkluderer direktiver for beskyttelse av fugler og naturtyper, som resulterte i Natura 2000-nettverket for store områder. Det er vedtatt spesifikk lovgivning som definerer tilrettelegging for akseptable arealbrukstyper innenfor disse områdene, med sikte på å beskytte truede arter av planter og dyr.
	<b>Sørøst-Frankrike [76]:</b> For å unngå ødeleggelse av disse områdene, samt negativ innvirkning fra vindkraft på naturen til disse områdene er det nødvendig med en god bufferavstand.
<b>Lufthavner</b>	<b>Nordøst-Hellas [73]:</b> Sikkerhetsavstander må vurderes for å opprettholde sikten, unngå mulig turbininterferens med radarsignaler og beskytte mot ulykker.
	<b>Saudi-Arabia [77]:</b> Vindturbiner kan forstyrre radarsignalet og vil kreve en betydelig buffer rundt flyplasser. De fleste lignende studiene viser en bufferavstand rundt flyplasser.

### 7.1.2 Vektlegging av kriterier

Kriteriers vektlegging fra studiene som resultat av litteratursøket er fremlagt her. Tomme celler betyr at den aktuelle kilden ikke referer til data på det punktet.

Tabell 12: Vektlegging av restriksjoner og kriterier fra øvrige studier.

	<b>Nordøst-Hellas [73]</b>	<b>Polen [74]</b>	<b>Serbia [75]</b>	<b>Sørøst-Frankrike [76]</b>	<b>Saudi Arabia [77]</b>
<b>Kriterium</b>	<b>Vekt (%)</b>	<b>Vekt (%)</b>	<b>Vekt (%)</b>	<b>Vekt (%)</b>	<b>Vekt (%)</b>
Vindhastighet	20		36.175	38.96	60
Avstand til høyspent	10	11	16.74	13.15	13.5
Avstand til veier	10	2	11.955	13.1	7.5
Helning	5	4	21.276	5.03	
Sandige områder	1				
Radarer og telekommunikasjon stasjoner	1				
Industriområder og gruver	2				
Beiteområder	4				
Landbruksområder	4				
Urbane områder og bebyggelser	5	24	6.976		13.5
Motorveier og hovedveier	4				
Naturvernområde	8	22			
Kulturminne	4				
Kystlinje	8				
Andre ikke plasserbare land typer	1				
Overflate som inneholder vann	5	10			
Lufthavner	6				5.5
Elektrisk kraftverk	2				
Jernbanenetverket		3			
Distanse til skog		10			
Distanse til elver		10			
Vinkling (i himmelretning på helning)		4			
Distanse til telefon-linjer		2			
Distanse til beskyttet område				26.24	
Høyde over havet			2.82	3.47	
Landdekke			4.058		

Tabell 13: Vektlegging av restriksjoner og kriterier fra den sørkoreanske studien.

Kriterium	Sør-Korea [70]				
	Ekspert 1 (Vekt %)	Ekspert 2 (Vekt %)	Ekspert 3 (Vekt %)	Ekspert 4 (Vekt %)	Ekspert 5 (Vekt %)
Vind hastighet	42.71	31.25	39.06	42.95	38.2
Avstand til høyspent	9.26	6.42	6.46	5.62	10.12
Avstand til veier	4.98	9.83	4.36	10.13	6.4
Helning	28.17	26.38	25.66	19.98	18.66
Sandige områder					
Radarer og telekommunikasjon stasjoner					
Industriområder og gruver					
Beiteområder					
Landbruksområder					
Urbane områder og bebyggelser	3.84	16.73	10.94	7.54	18.03
Motorveier og hovedveier					
Naturvernområde					
Kulturminne					
Kystlinje					
Overflate som inneholder vann					
Lufthavner					
Elektrisk kraftverk	9.26	9.42	11.16	11.75	6.4
Jernbanenettverket	1.79	2.97	3.35	2.03	2.18
Distanse til skog					
Distanse til elver					
Vinkling (i himmelretning på helning)					
Distanse til telefon-linjer					
Distanse til beskyttet område					
Høyde over havet					
Landdekke					

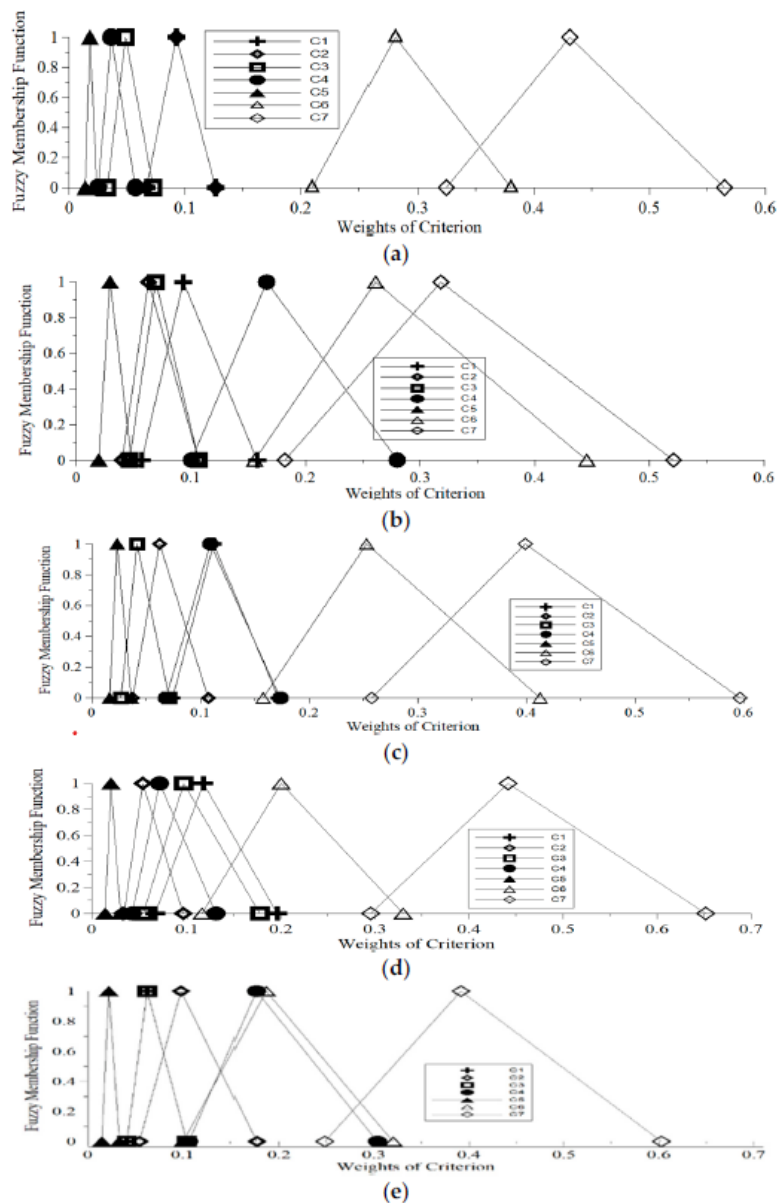
### 7.1.3 FAHP-funksjoner

Den sørkoreanske studien vurderer i alt syv ulike kriterier (tabell 14).

Tabell 14: Kriteriene inkludert i analysen til Ali et al.[70].

Kriterium	Betegnelse
Kraftstasjoner, spenning	C1
Strømnett og kabler	C2
Veinett	C3
Byer og tettsted	C4
Jernbanenett	C5
Helning	C6
Vindhastighet	C7

Ved bruk av FAHP danner disse kriteriene triangulære funksjoner som vist i figur .



Figur 11: FAHP-funksjoner for de fem ekspertene (skjermdump) [70].

#### 7.1.4 Krav for kriterier og restriksjoner

Tabell 15 presenterer forskjellige krav for restriksjoner og kriterier. Den Sørkoreanske studien er ikke med fordi denne ikke inneholder verdier på minimum og maksimum krav.

Tabell 15: Minimum og maksimums krav for restriksjoner og kriterier

	Nordøst-Hellas [73]	Polen [74]	Serbia [75]	Sørøst-Frankrike [76]	Saudi Arabia [77]
Kriterium	Krav	Krav	Krav	Krav	Krav
Vind hastighet	>4 m/s		>3,5 m/s	>5 m/s	>5 m/s
Avstand til høyspent	>0.2 km	>250 m	>200 m	<1500 m	<10 000 m
Avstand til veier	>0.2 km	>50 m	>200 m	<2000 m	<10 000 m
Helning	<30 %	<10°	<12°	<15°	
Sandige områder	>1 km		>1000 m		
Radarer og telekommunikasjon stasjoner	>0.25 km				
Industriområder og gruver	>0.5 km		>300 m		
Beiteområder	>0.2 km				
Landbruksområder	>0.2 km				
Urbane områder og bebyggelser	>1 km	>500 m	>500 m	>500 m	>500 m
Motorveier og hovedveier	>0.5 km				
Naturvernområde	>1 km	>2000 m	>1000 m		
Kulturminne	>0.5 km		>500 m		
Kystlinje	>1.5 km				
Overflate som inneholder vann	>0.15 km		>300 m		
Lufthavner	>0.5 km		>1500 m		>2500 m
Elektrisk kraftverk	>0.3 km		>200 m		
Jernbanenetverket		>200 m	>200 m		
Distanse til skog		>200 m			
Distanse til elver		>200 m	>200 m		
Distanse til telefon-linjer		>200 m			
Distanse til beskyttet område				>2000 m	
Høyde over havet			<1500 m	<1000 m	
Vannmasse			>300 m		
Kanaler og grøfter			>200 m		
Våtmark			>400 m		
Kulturminne av eksepsjonell viktighet			>1000 m		
Flyplass – internasjonal/militær			>3000 m		
Fritidsområder			>500 m		
Gruve			>200 m		
Sjøpelfylling			>100 m		



### 7.1.5 Egnethetscore for valgte kriterier

Her presenteres de utvalgte kriteriene, samt deres vurdering fra studiene om Saudi-Arabia og Polen.

Tabell 16: Egnethetsvurdering av valgte kriterier for Saudi-Arabia

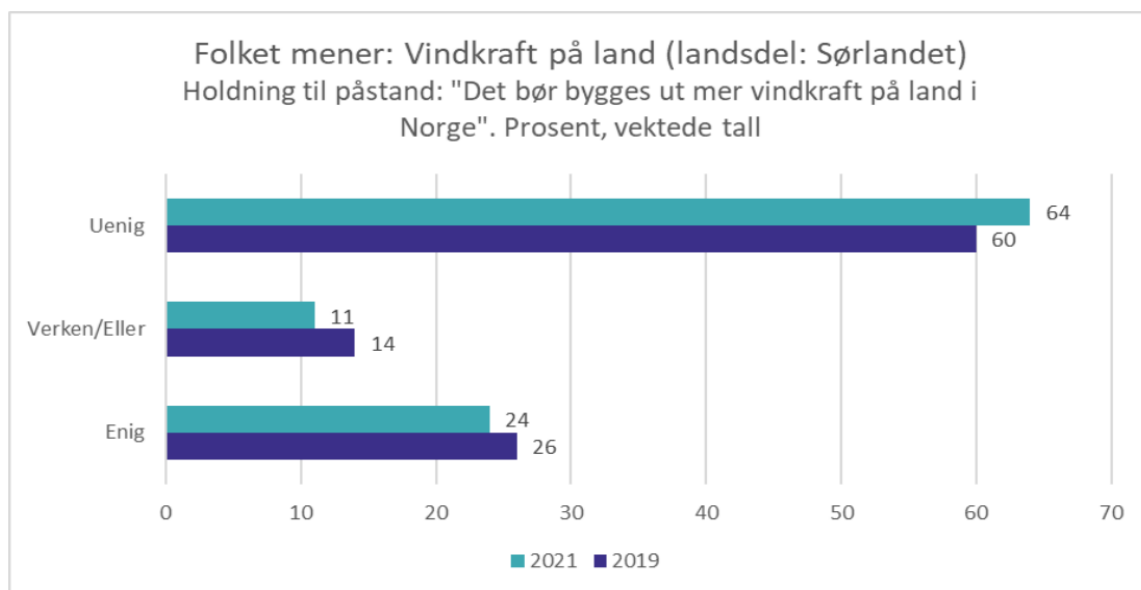
Kriterium	Enhet	Utmerket (6)	Veldig bra (5)	Bra (4)	Middelmådig (3)	Dårlig (2)	Veldig dårlig (1)
Høy gjennomsnittlig vindhastighet	m/s	> 6	6 – 5.8	5.8 – 5.6	5.6 – 5.4	5.4 – 5.2	5.2 – 5
Avstand til veier	m	< 2000	2000 - 4000	4000 - 5500	5500 - 7000	7000 - 8500	8500 - 10,000
Avstand til strømmettet	m	< 2000	2000 - 4000	4000 - 5500	5500 - 7000	7000 - 8500	8500 - 10,000
Avstand til bebyggelse	m	2000 - 4000	4000 - 5500	5500 - 7000	7000 - 8500	8500 - 10,000	<2000

Tabell 17: Egnethetsvurdering av valgte kriterier for Polen

Kriterium	0	1	2	3	4	5
Naturresevat	< 2000m					> 2000m
Distanse til befolket område	< 500m			501m – 1000m		> 1000m
Distanse til el-kabler	< 250m	> 1250m	1001m – 1250m	751m – 1000m	501m – 750m	251m – 500m
Distanse til skog	<200m	201m – 350m	351m – 500m	501m – 650m	651m – 800m	> 800m
Distanse til elver og overflatevann	<200m	201m – 350m	351m – 500m	501m – 650m	651m – 800m	> 800m
Helning		> 10°	7.5° – 10°	5° – 7.5°	2.5° – 5°	0° – 2.5°
Vinkling (I himmelretning på helning)		Øst Sør-Øst		Nord Nord-Øst Sør Sør-Vest		Vest Nord-Vest Flatt
Distanse til jernbanenett	< 200m	201m – 350m	351m – 500m	501m – 650m	651m – 800m	>800m
Distanse til telefon-linjer	< 200m	201m – 350m	351m – 500m	501m – 650m	651m – 800m	>800m
Distanse til veier	< 50m	> 1000m	751m – 1000m	501m – 750m	251m – 500m	51m – 250m

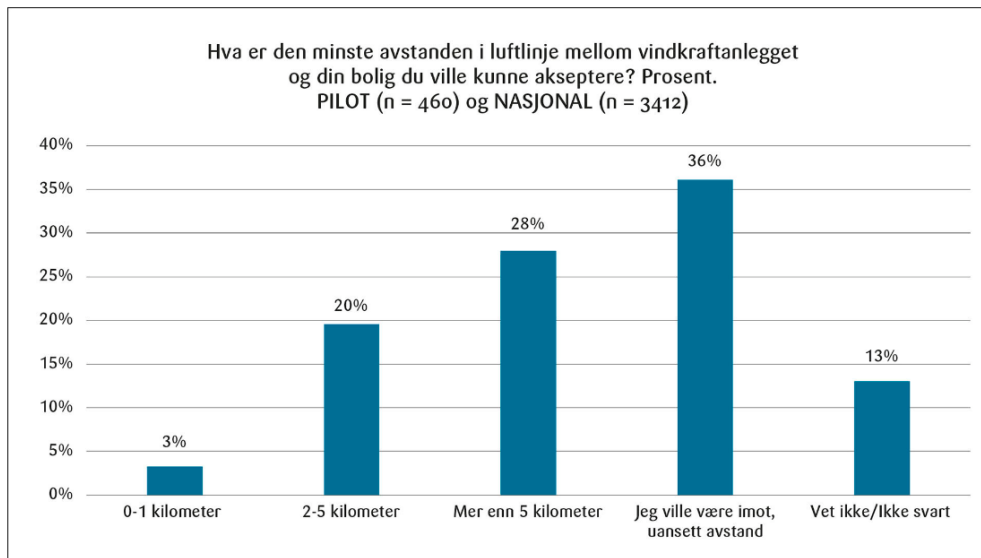
### 7.1.6 Resultater fra «Perspektiver på landbasert vindkraft i Agder»

Fra denne studien kommer det frem at respondentene er enige om at det vil være et økende behov for fornybar energi i Norge i årene som kommer. Likevel er de uenige hvorvidt landbasert vindkraft i deres kommuner i Agder vil være med i løsningen av dette. Blant respondentene åpner omtrent halvparten opp for vindkraft i egen kommune dersom betingelsene er riktig. Et fåtall svarer også at det vil være en nødvendighet for å løse fremtidige energibehov. Samtidig påpekes det at teknologien kan utvikle seg raskere enn prosessene, som fører til at endelig resultat kan avvike fra de innledende premissene, som igjen påvirker holdninger negativt. Videre påpekes en sannsynlighet om at motstand mot vindkraft kan være i ferd med å avta. Dette på grunn av samfunnskonteksten og en generell utmattelse mot vindkraftdebatten [71]. Nedenfor (figur 12) vises holdningene til landbasert vindkraft på Sørlandet, både i 2019 og 2021.



Figur 12: Holdninger til landbasert vindkraft på Sørlandet 2019 og 2021 [71]

7.1.7 Resultater fra «Medvind for landbasert vindkraft eller stille før ny storm?»  
Nedenfor vises resultatene fra en spørreundersøkelse hvor den norske befolkningen er stilt spørsmålet «Hva er den minste avstanden i luftlinje mellom vindkraftanlegget og din bolig du ville kunne akseptere?». [72]



Figur 13: Minsteavstand fra vindturbin til egen bolig folk er villig til å akseptere i Norge [72]

## 7.2 Resultat fra semistrukturerte intervju

### 7.2.1 Nedbørsfelt

Fra intervju med NVE [102] kom nedbørsfelt til drikkevann frem som en restriksjon.

*For å ta hensyn til drikkevannskilder er plassering av vindturbiner viktig. Mattilsynet fraråder plassering av vindturbiner i nedbørsfelt som brukes til drikkevannsforsyning. Omsynet til drikkevann kan være en grunn til å ikke gi løyve til å bygge et vindkraftverk. [102]*

I et annet intervju med RES-Group [103] som tidligere har levert inn flere konsesjonssaker for utbygging av vindkraftverk. Ble det også nevnt nedbørsfelt til drikkevannskilde som en viktig restriksjon å vurdere.

### 7.2.2 Avstand til bebyggelse

Fra intervju med NVE [102] anbefales det at vindturbiner utbygges med en minimumsavstand på 600-800 meter fra bebyggelse. Dette er nødvendig for å unngå støy. Vindturbiner har en desibel på rundt 45, og dersom du er 600-800 meter unna vindturbin kommer en som regel under støygrensen. Dersom vindturbiner settes opp nærmere en vei må støyen summeres fra både vei og turbin.

### 7.2.3 Lokal aksept

I intervjuet med RES-Group [103] ble det informert om at vindkraftprosjekter ofte undervurderer motstanden til lokale innbyggere. Der deres dømmekraft kan være avgjørende for om en melding blir godkjent eller ikke. RES-Group forklarer videre at det er vanskelig å komme med ny informasjon etter melding er sendt inn, det resulterer i at førsteinntrykk kan være avgjørende.

### 7.3 Utvalgte faktorer til GIS-modell

Dette delkapittelet inneholder alle faktorene som er brukt i forbindelse med GIS-modellen. Dette inkluderer da alle brukte kriterier med tilhørende betegnelse og egnethetsvurdering (tabell 18), og de brukte restriksjonene, samt hvor de pålegger en begrensning (tabell 19). Videre presenteres også de aktuelle drikkevannskildene innenfor studieområdet, dette gjelder da drikkevannskildene til Kristiansand, Lillesand og Grimstad kommune (tabell 20).

Tabell 18: Kriterier inkludert i GIS-analyse og valgt vurdering

Kriterium	Betegnelse	Veldig uegnet	Uegnet	Middelmådig	Egnet	Veldig egnet
Vindhastighet [m/s]	C1	< 6,5	6,5-7	7-7,5	7,5-8	>8,5
Avstand til strømnett [m]	C2	> 1250	1000–1250	750 – 1000	500 – 750	250-500
Avstand til vei [m]	C3	> 1250	1000–1250	750 – 1000	500 – 750	250-500
Avstand til bebyggelse [m]	C4	600 - 800	800 - 1000	1000 - 1200	1200 - 1400	> 1400
Helning i terreng [°]	C5	> 10	7.5 – 10	5– 7.5	2.5 – 5	0 – 2.5

Tabell 19: Restriksjoner inkludert i GIS-analyse

Restriksjon	Begrensning
Avstand til høyspent	Ikke nærmere enn 250m
Avstand til vei	Ikke nærmere enn 250m
Avstand til bebyggelse	Ikke nærmere enn 600m
Flyplass	Ikke nærmere enn 2500m
Jernbane	Ikke nærmere enn 250m
Naturvernområde	Hele områdets areal
Kulturminner	Sikringssoner og kulturmiljøers areal
Nedbørsfelt til drikkevann	Hele områdets areal
Militære områder	Hele områdets areal
Vannforekomster	Hele områdets areal

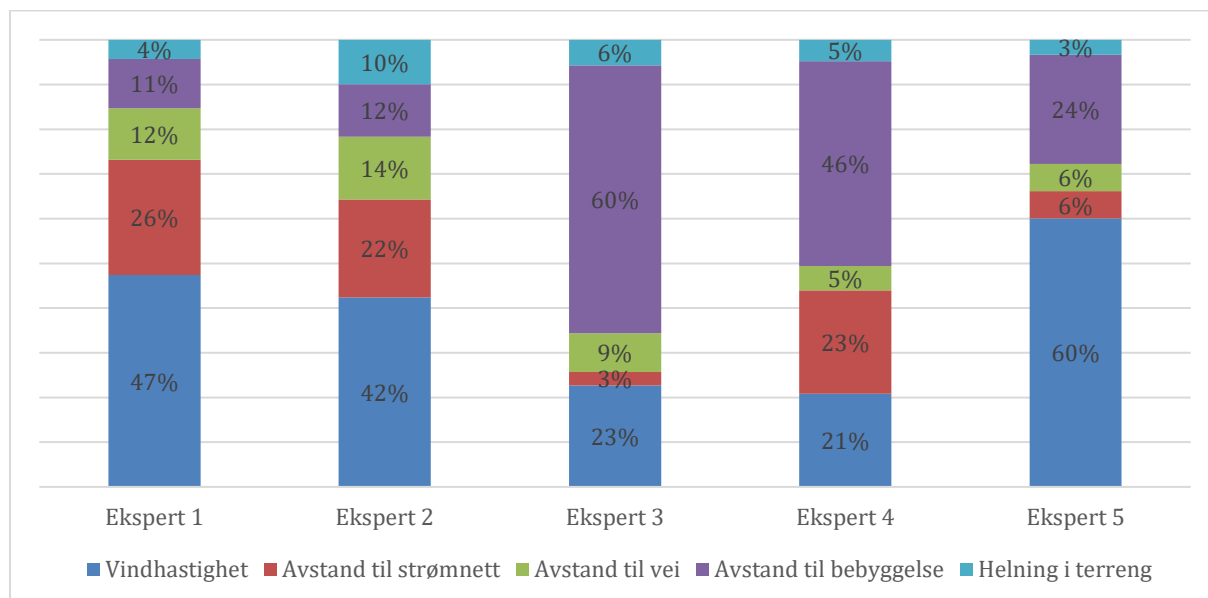
Tabell 20: Drikkevannskilder for valgte kommuner

Kommune	Drikkevannskilde
Kristiansand	Rossevann og Tronstadvann [104]
Lillesand	Østre Grimevann [105]
Grimstad	Rore [106]

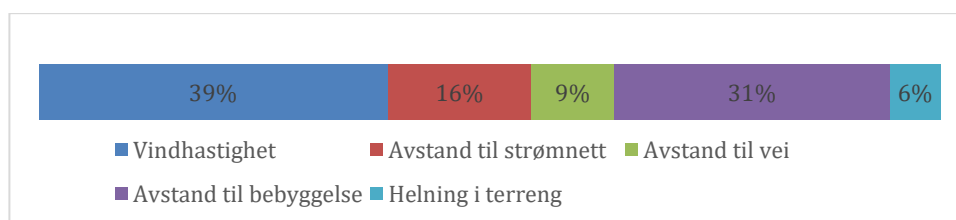
## 7.4 Resultat fra kvantitativ undersøkelse

### 7.4.1 Oversikt

Ekspertenes vektlegging av de fem kriteriene avrundet til hele prosentpoeng (figur 14), samt gjennomsnittet av alle verdiene (figur 15).



Figur 14: Vektlegging av kriterier fra alle ekspertene.



Figur 15: Gjennomsnitt av vektlegginger.

## 7.4.2 Matriser for relativ viktighet

Matrisene fra resultatet av den kvantitative undersøkelsen for hver ekspert.

Tabell 21: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 1.

Ekspert 1	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)
C2	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)	(1, 2, 3)	(6, 7, 8)
C3	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)
C4	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
C5	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)

Tabell 22: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 2.

Ekspert 2	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)
C2	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(5, 6, 7)	(1, 1, 1)
C3	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(2, 3, 4)
C4	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
C5	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)

Tabell 23: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 3.

Ekspert 3	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(1/9, 1/8, 1/7)	(5, 6, 7)
C2	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/9, 1/8, 1/7)	(1/5, 1/4, 1/3)
C3	(1/7, 1/6, 1/5)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)	(1/9, 1/8, 1/7)	(2, 3, 4)
C4	(7, 8, 9)	(7, 8, 9)	(7, 8, 9)	(1, 1, 1)	(7, 8, 9)
C5	(1/7, 1/6, 1/5)	(3, 4, 5)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/9, 1/8, 1/7)	(1, 1, 1)

Tabell 24: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 4.

Ekspert 4	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(1/4, 1/3, 1/2)	(2, 3, 4)
C2	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(1/4, 1/3, 1/2)	(4, 5, 6)
C3	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	(2, 3, 4)
C4	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(1, 1, 1)	(5, 6, 7)
C5	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1, 1, 1)

Tabell 25: Matrise for relativ viktighet basert på svar fra ekspert 5.

Ekspert 5	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1, 1, 1)	(9, 9, 9)	(9, 9, 9)	(6, 7, 8)	(7, 8, 9)
C2	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	(2, 3, 4)
C3	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/8, 1/7, 1/6)	(2, 3, 4)
C4	(1/8, 1/7, 1/6)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)
C5	(1/9, 1/8, 1/7)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)

For å illustrere hvordan FAHP-modellen anvendes, presenteres et eksempel på utregning. Eksempelet gjelder kriterium 1 (C1) fra ekspert 1. Dette er gjort ved hjelp av makroer i Excel for å spare tid, men fremgangsmåten vises her.

$$\begin{aligned} \tilde{g}_i &= \left( \prod_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \\ &= [(1 * 2 * 6 * 2 * 6)^{1/5}; (1 * 3 * 7 * 3 * 7)^{1/5}; (1 * 4 * 8 * 4 * 8)^{1/5}] \\ &= [2,70; 3,38; 4,00] \end{aligned} \tag{12}$$

Formel 12 benyttes så for alle kriteriene og føres i en tabell, som vist i tabell 26 nedenfor.

Tabell 26: Geometrisk snitt for fuzzy verdier for alle kriterier fra ekspert 1.

Kriterium	Geometrisk snitt		
C1	2,70	3,38	4,00
C2	1,35	1,80	2,27
C3	0,63	0,81	1,00
C4	0,49	0,70	1,08
C5	0,24	0,29	0,37
Sum	5,42	6,98	8,72
1/Sum	0,185	0,143	0,115
Stigende	0,115	0,143	0,185

Videre benyttes formel 9 til å finne verdiene til trekanten til hvert kriterium.

$$\tilde{w}_1 = [(2,70 * 0,185); (3,38 * 0,143); (4,00 * 0,185)] = [0,31; 0,484; 0,739] \tag{13}$$

Også dette gjøres for alle kriteriene, som vist i tabell 27. FAHP-funksjonene er basert på disse datasettene.

Tabell 27: Nedre, midle og øvre vektleggingsverdi for ekspert 1.

Kriterium	l	m	u
C1	0,31	0,484	0,739
C2	0,155	0,257	0,419
C3	0,072	0,117	0,185
C4	0,056	0,1	0,2
C5	0,028	0,042	0,068

Ved hjelp av formel 10 og 11, kan kriterienes relative klare vektingsverdier utledes (A) og normaliseres (w). De er listet i tabell 28 nedenfor.

*Tabell 28: "Ikke-fuzzy" verdier for vektlegging, samt normaliserte verdier for ekspert 1.*

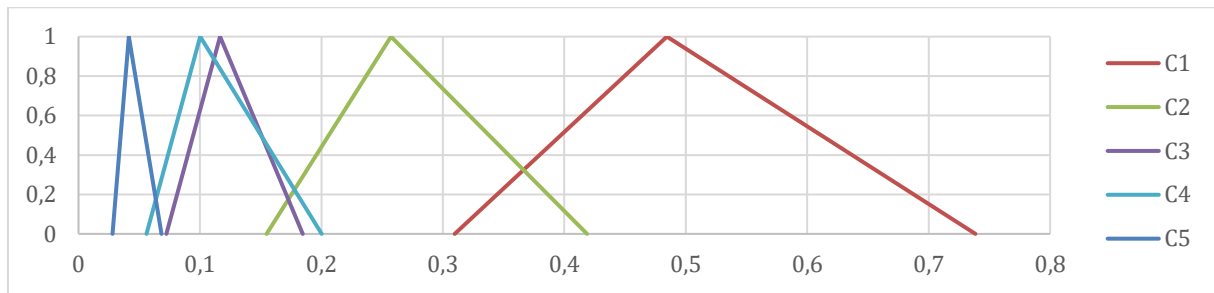
Kriterium	A	w
C1	0,511	0,474
C2	0,277	0,257
C3	0,125	0,116
C4	0,119	0,11
C5	0,046	0,043
Sum	1,077	1

Denne prosedyren utføres for alle eksperter og med det kan alle funksjoner og matriser lages utfra disse utledete verdiene.

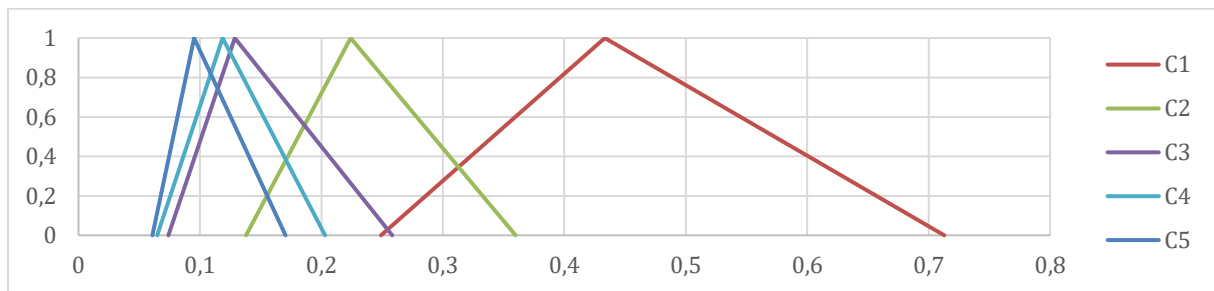


### 7.4.3 FAHP-funksjoner fra egen tilvirkning

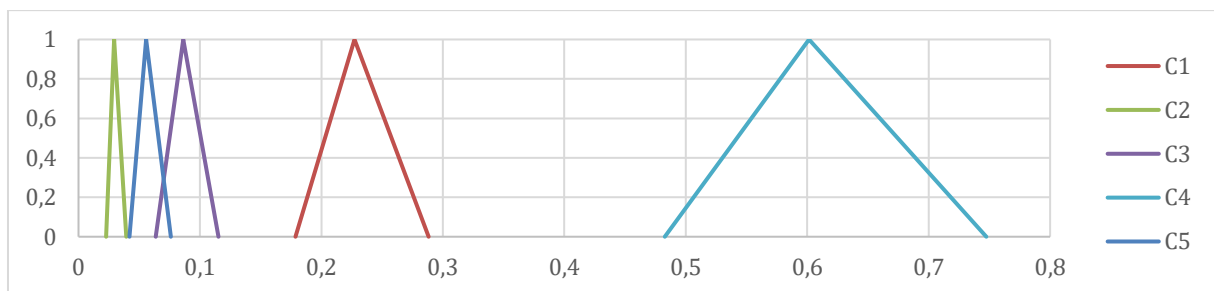
Resultatet fra MCDA basert på inndataverdier fra hver ekspert i den kvalitative undersøkelsen.



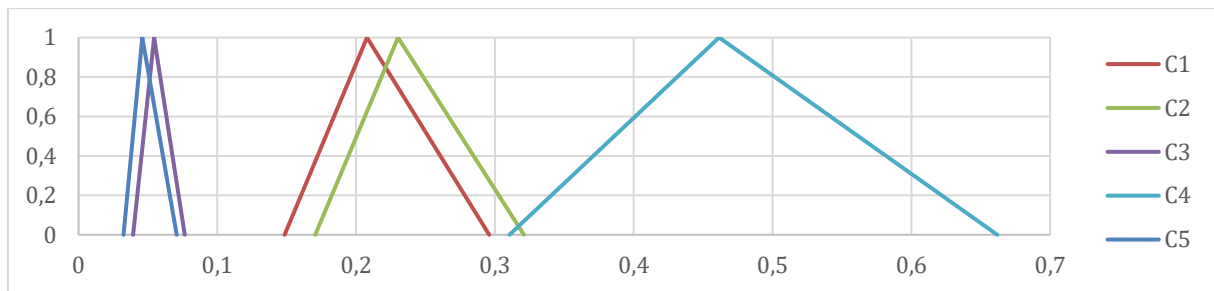
Figur 16: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 1.



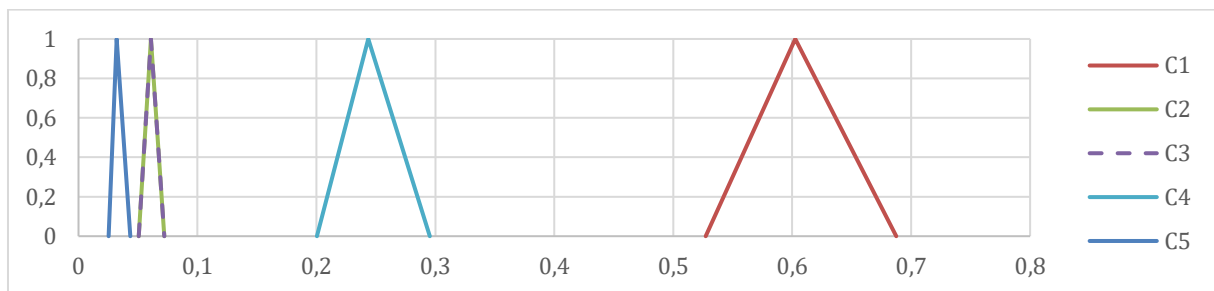
Figur 17: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 2.



Figur 18: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 3.



Figur 19: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 4.

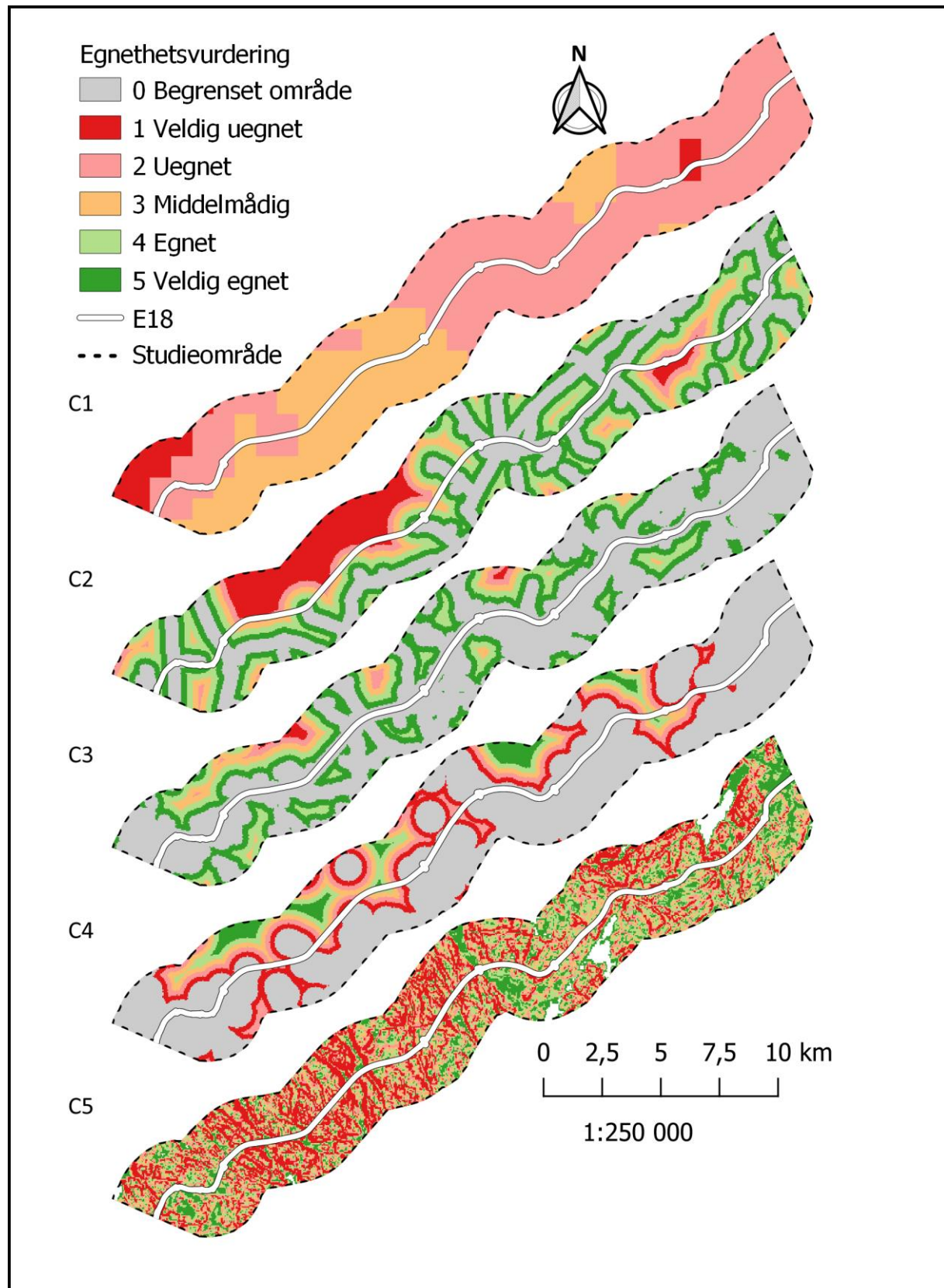


Figur 20: FAHP-funksjoner for kriterier basert på svar fra ekspert 5.

## 7.5 Resultater fra GIS-analyse

### 7.5.1 Uvektede egnethetsvurderinger av inkluderte kriterier

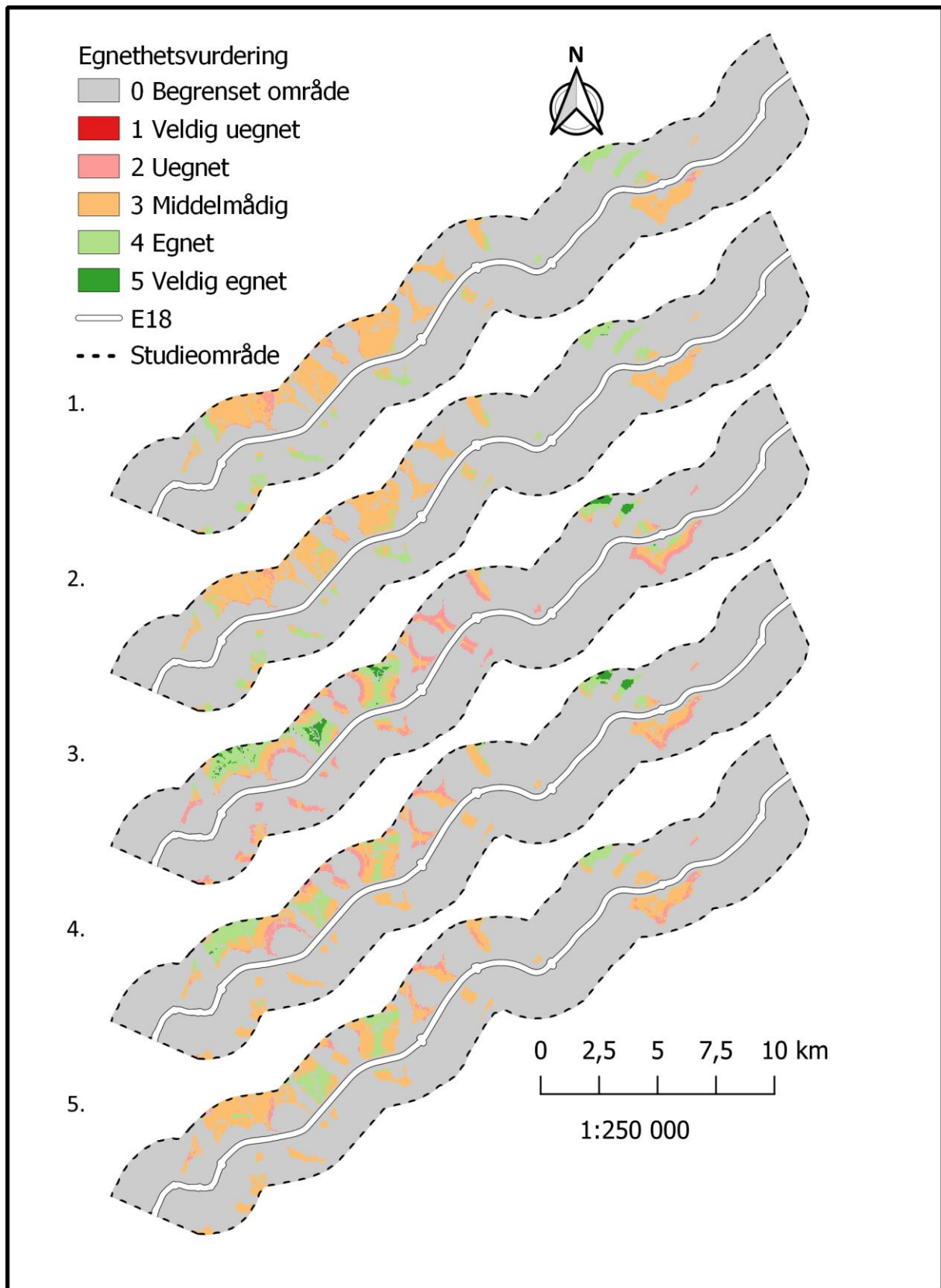
Her viser egnethetsvurderingen til de ulike kriteriene C1-C5 uten vektlegging og restriksjoner.



Figur 21: Uvektede egnethetsvurderinger av inkluderte kriterier

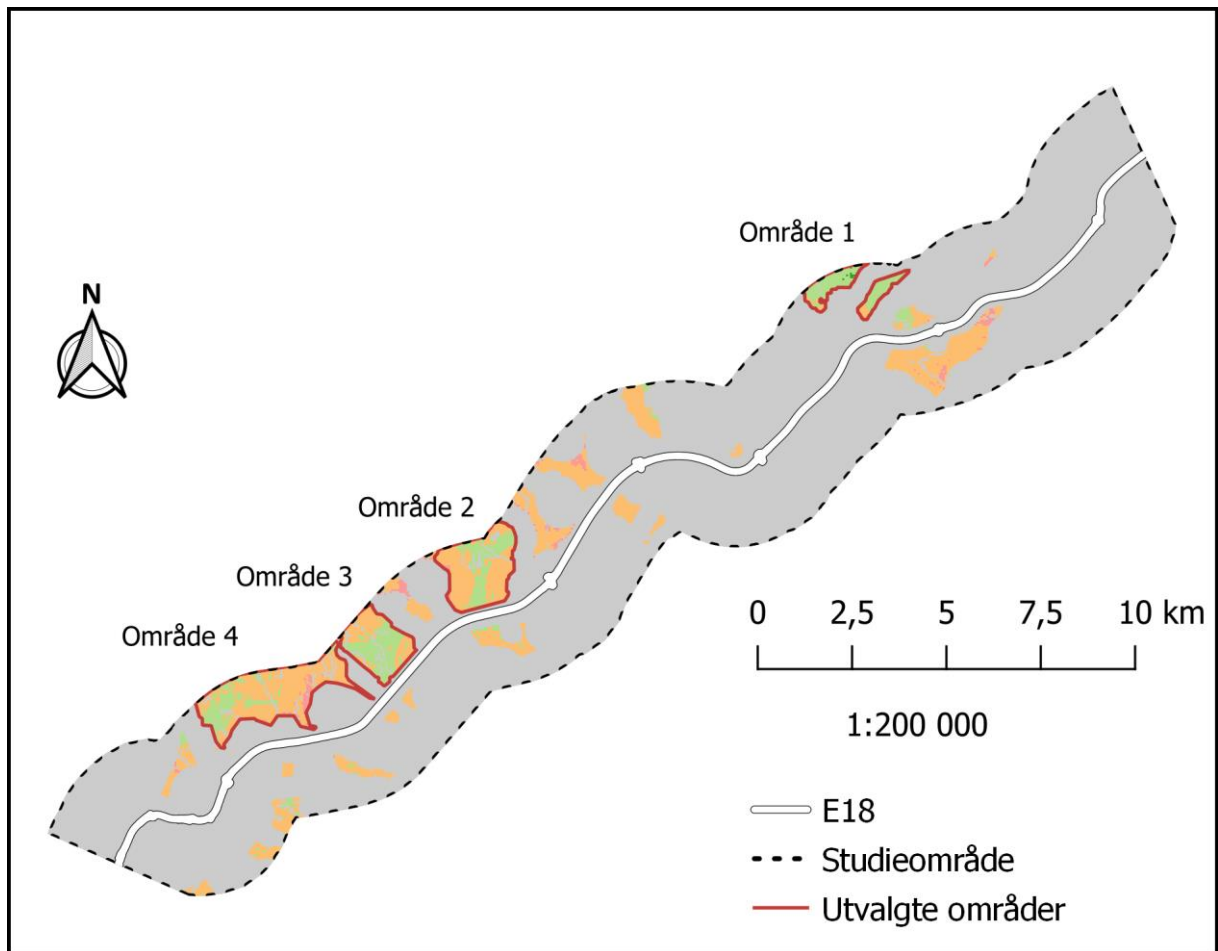
### 7.5.2 Resultater fra fullført GIS-MCDA gjennomføring

Her vises resultatene fra modellkjøringen, hvor det er et resultat per ekspert, samt et gjennomsnitt.



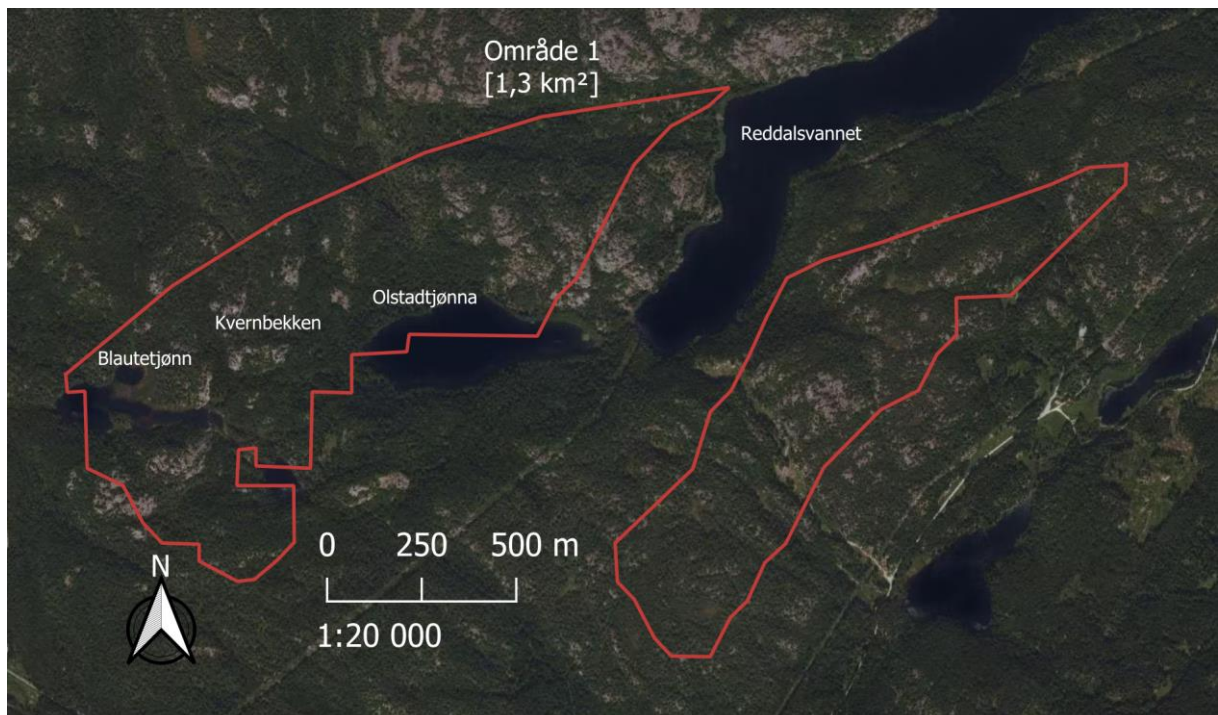
Figur 22: Resultater fra GIS-analyse, analyse 1-5 (egen tilvirkning)





Figur 23: Resultater fra GIS-analyse, gjennomsnitt og utvalgte områder

### 7.5.3 Undersøkelse av flyfoto

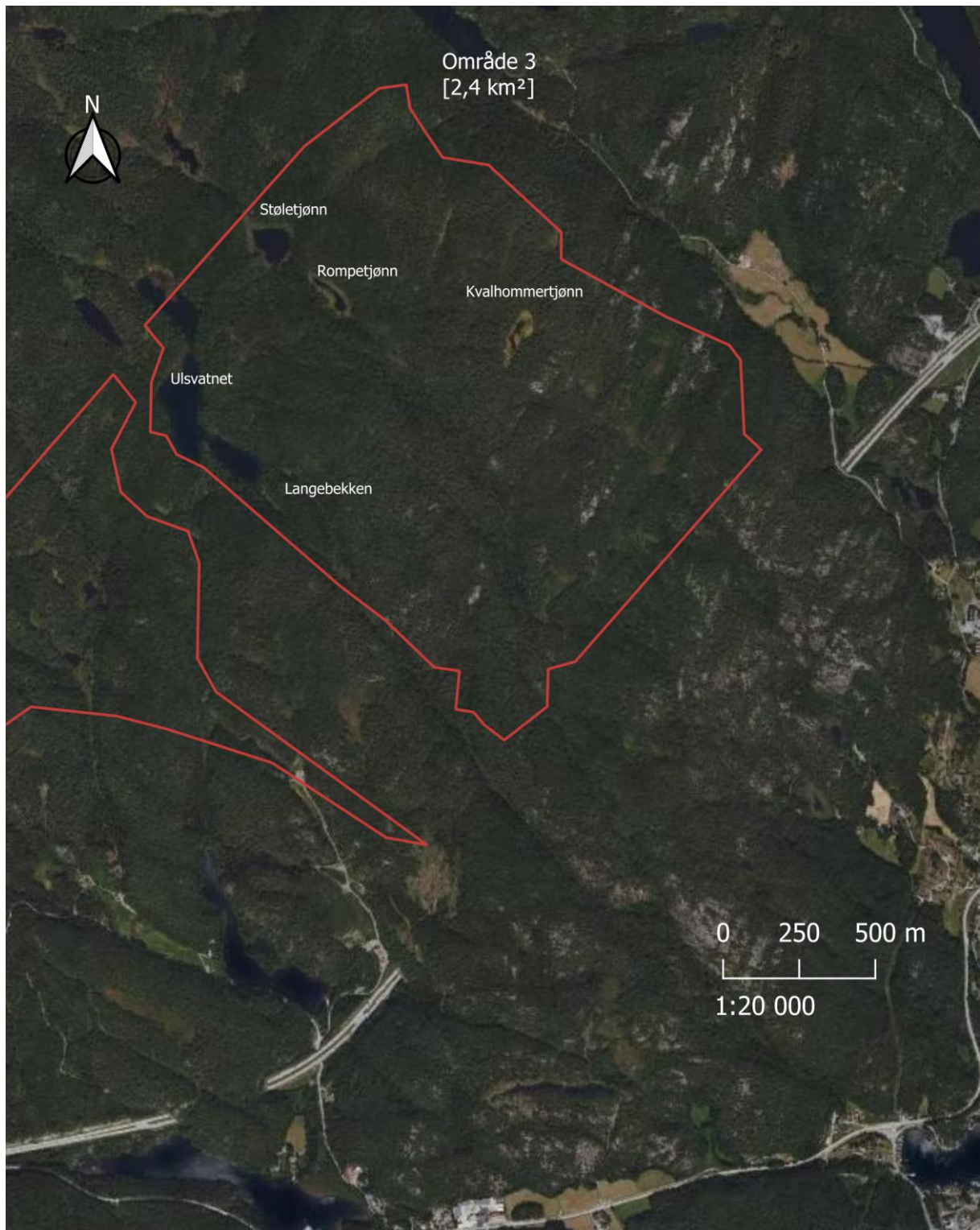


Figur 24: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 1 med flyfoto



Figur 25: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 2 med flyfoto





Figur 26: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 3 med flyfoto



Figur 27: Resultater fra GIS-analyse, utvalgte område nummer 4 med flyfoto. Bildet er rotert.



## 8 Diskusjon

### 8.1 Valg av kriterier og restriksjoner

Kriteriene som ble anvendt i denne studien er basert på studiene fra litteratursøket. De seks MCDA-studiene nevner i alt 23 kriterier. Disse er rangert etter hvor mange studier som har inkludert dem (tabell 29). De fem mest nevnte kriteriene ble valgt ut til FAHP-analysen i denne oppgaven. Disse er avstand til strømmnett, avstand til veier, avstand til bebygde områder, vindhastighet og helning i terreng. Andre kriterier fra rangeringen blir også inkludert i denne oppgaven i form av restriksjoner. Disse er derfor ikke med i FAHP-metoden, men implementert direkte i GIS. Grunnen til dette er at disse vurderes som binære egenskaper, og derfor ikke innehar nyanser. I tillegg har gruppen lagt til restriksjonene nedbørsfelt og militære soner som ikke er hentet fra litteraturen.

Tabell 29: Vurderte kriterier og restriksjoner i litteraturstudiene

Kriterium/restriksjon	Antall studier
Avstand til høyspent	6/6
Avstand til veier	6/6
Urbane områder og bebyggelser	6/6
Vindhastighet	5/6
Helning	5/6
Jernbanenettverket	4/6
Naturvernområde	2/6
Lufthavner	2/6
Høyde over havet	2/6
Sandige områder	1/6
Radarer og telekommunikasjon stasjoner	1/6
Industriområder og gruver	1/6
Beiteområder	1/6
Landbruksområder	1/6
Motorveier og hovedveier	1/6
Kulturminne	1/6
Kystlinje	1/6
Distanse til skog	1/6
Distanse til elver	1/6
Vinkling av helning	1/6
Distanse til telefon-linjer	1/6
Distanse til beskyttet område	1/6
Landdekke	1/6

Flere kriterier kunne ført til produksjon av en mer omfattende og nøyaktig analyse. På den andre siden har det vært hensiktsmessig å minimere antallet kriterier slik at den utsendte spørreundersøkelsen ikke blir for omfattende. Etersom FAHP metodikken baseres på en parvis sammenligning mellom alle kriteriene, vil et økt antall kriterium føre til en eksponentiell vekst i antallet sammenlikninger intervjuobjektet blir nødt til å gjennomføre. Det er tiltenkt at en mer omfattende spørreundersøkelse kan føre til en høyere terskel for deltagelse blant respondentene. Videre er det vurdert som en risiko at intervjuobjektene vil gi en respons av lavere kvalitet dersom det blir et tidkrevende arbeid. Av denne grunn er antallet kriterier begrenset til fem. Det kan antas at



inkludering av enda flere restriksjoner kunne gitt en bedre analyse, men da risikerer en overbegrensning av områder. Dermed er det heller valgt å undersøke flyfoto dersom det skulle vært øvrige restriksjoner i de aktuelle områdene.

### 8.1.1 Vindhastighet

Vindhastighet er en fundamental egenskap ved utbygging av vindkraftturbiner, og må derfor oppfylles. Dermed er det naturlig å vektlegge denne faktoren høyt i en egnethetsstudie. Det er bred enighet blant litteraturen om å prioritere vindhastighet høyst. Selv om samtlige studier understreker viktigheten av vindhastighet, er det fortsatt ulike grader av vektlegging for denne faktoren. Studiene om Nordøst-Hellas [73], Serbia [75] og Sørøst-Frankrike [76] begrunner den høye prioriteringen med at vindhastighet er den viktigste økonomiske faktoren for utbygging av vindkraft. Baseer et al. [77] spesifiserer, i sin studie om Saudi-Arabia, at vindhastighet er det viktigste og høyest vektlagte kriteriet for lokalisering av vindkraftverk. Denne påstanden viser ikke bare til viktigheten, men også den grad den er viktigere enn andre faktorer. Dette reflekteres i analysen, der Baseer et al. vektet vindhastighet på 60%.

Fra litteraturstudiene er det satt minimumskrav på 3,5 m/s [75], 4 m/s [73] og 5 m/s [76, 77] som årsmiddelvindhastighet (tabell 15), for at det skal være økonomisk gjennomførbart. Fra nasjonale retningslinjer er minimumskravet for vindhastighet på 6 m/s [20]. Disse retningslinjene er fra 2007, og teknologien kan dermed ha utviklet seg siden den tid. Derfor vil dette gi muligheter for lavere vindhastighet. Videre er midlere vindhastighet i hele studieområdet over 6 m/s, som vil si at det er innenfor samtlige krav. En rapport fra Kjeller Vindteknikk viser til en årsmiddelvindhastighet på 6,5- til 8,5 m/s langs E18 i Agder, inkludert studieområdet [45]. Med bakgrunn i denne rapporten ble det valgt å bruke intervallet 6,5-8,5 m/s for dette kriteriets egnethetsvurdering. Poengsummen er gitt stigende med vindhastigheten, og 8,5 m/s er satt som høyeste vurdering i studieområdet.

GIS-analysen viser at studieområdes midlere vindhastighet har verdier i intervallet 6,3 – 7,4 m/s. Det er likevel valgt å beholde egnethetsvurderingen basert på rapporten til Kjeller Vindteknikk [45]. Dette begrunnes med at dersom analysen skulle utvides større enn studieområdet, vil det være mulig å bruke den samme GIS-modellen som er brukt i denne oppgaven. Siden vindhastighetene i resten av Agder vil kunne gå utenfor intervallet til GIS-analysen. Når vindhastighetene i studieområdet sammenlignes med resten av landet kommer det frem at hastigheter som er betegnet som *egnet (4)* eller *veldig egnet (5)*, ikke nødvendigvis ligger i toppsjiktet med tanke på nasjonalt nivå. Dette gjelder også for de laveste vurderingene, *veldig uegnet (1)* og *uegnet (2)*, ettersom det finnes vesentlig lavere vindhastigheter spredd utover landet.

Tilgjengelige data fra NVE inneholdt vindmålinger på 50, 80 og 120 meters høyde over bakkenivå. Det var dermed gunstig å gjennomføre GIS-analysen med data som korresponderer til relevant turbinhøyde. Det skrinlagte prosjektet i Lillesand hadde planlagt en turbinhøyde mellom 69 og 94 meter [52, 79, 103]. Med bakgrunn i det skrinlagte prosjektet i Lillesand er det valgt en høyde på 80 meter over bakkenivå, da dette kan anses som en aktuell turbinhøyde for området. Det bør dog understrekes at turbiner opptil 140 meter ikke er uvanlig.

### 8.1.2 Avstand til eksisterende infrastruktur

Studiene angående Nordøst-Hellas [73], Serbia [75] og Saudi-Arabia [77] trekker avstand til strømnnett frem som et viktig kriterium, ettersom en nærmere plassering vil gi kostnadsbesparelser [75]. Kriteriet er inkludert i samtlige av de undersøkte studiene knyttet opp mot GIS-MCDA, og er vektlagt mellom 10 og 20 %. I studien om Sør-Korea [70] deles denne egenskapen i to, avstand til høyspent og avstand til elektriske kraftstasjoner. Det er valgt å konsolidere disse til kriteriet *avstand til strømnnett*, på grunn av at det anses som tilstrekkelig med ett kriterium som omhandler strøm. I tillegg er dette en praksis øvrige GIS-studier fra litteratursøket også har utøvd.

Det er en bred enighet i litteraturen om at en mindre avstand til strømnnett er mer gunstig, såfremt sikkerhetsavstanden blir opprettholdt. Denne avstanden varierer mellom 200-250 meter for de fleste studiene, og ansees derfor som en aktuell avstand [73-75]. Sotiropoulou og Vavatsikos bruker i sin studie om Nordøst-Hellas [73] en minsteavstand på 1.5 multiplisert med rotordiameter. Videre har de brukt en rotordiameter på 85 meter som resulterer i en minsteavstand på omtrent 130 meter. Likevel har de brukt 200 meter som minimumskrav (tabell 15). Grunnen til dette kan være at formelen ikke tar til betraktning turbinens høyde, noe som NVE gjør i sin anbefalte formel for iskast [46]. Maksavstand varierer i større grad. Ifkirne et al. [76] og Baseer et al. [77] inkluderer maksimal distanse på henholdsvis 1500 meter og 10 km fra strømnettet, men ingen minsteavstand.

I studiene om Sørøst-Frankrike [76] og Saudi-Arabia [77] beskrives et ønske om å minimere konstruksjons- og vedlikeholdskostnadene ved å plassere vindparken i nærheten av veinettet. Sotiropoulou og Vavatsikos [73] spesifiserer at kortere avstand til veinettet øker preferansen. Det er likevel inkludert en minsteavstand i de fleste studier. Studien som er gjort om Polen [74] har det laveste minimumskravet på 50 meter (tabell 15). Studiene av Nordøst-Hellas [73] og Serbia [75] bruker derimot 200 meter. Samtidig viser studiene om Sørøst-Frankrike [76] og Saudi-Arabia [77] ingen minimumskrav, kun en maksimal avstand på henholdsvis 2000 og 10 000 meter. Dette betyr at det teoretisk sett kan settes vindturbiner inntil veinettet. Poengscoren for nærhet til vei benyttet i studiene om Polen [74] og Saudi-Arabia [77] er stigende desto nærmere en plasserer turbinene. Som nevnt i kunnskapsbakgrunn er det behov for omfattende vedlikeholdsarbeid på vindturbiner. Ved å plassere vindkraftverk nærme veier vil turbinene bli mer tilgjengelige.

En viktig årsak til at det legges inn bufferavstand fra vindturbiner i kalde områder er iskast. Ved bruk av formel 1 er det mulig å regne ut sikkerhetsavstand i forhold til iskast. Med utgangspunkt i de vindturbinene som skulle plasseres i Lillesand, gir dette en omtrentlig turbinhøyde på 80 meter pluss en rotorlengde på 55 meter [52, 79]. Dette resulterer i en sikkerhetsavstand på 202,5 meter. Det er vurdert som ønskelig å bruke en større sikkerhetsmargin enn dette. Derfor er det valgt å øke dette tallet ytterligere til 250 meter. Med bakgrunn i resultatene til litteraturen og bufferavstand for iskast er det valgt å benytte denne avstanden for kriteriene avstand til strømnnett og avstand til vei. Det er ikke satt noen grense for maksimal avstand fra strømnnett eller vei. Likevel vil lavest mulig poengscore tildeles avstander til vei eller strømnnett som overskrider 1250 meter. Poengskalaen defineres mellom 250 og 1250 meter, der mindre avstand gir økt egnethet.

### 8.1.3 Urbane områder og bebyggelser

Baseer et al. sin studie om Saudi-Arabia [77] begrunner bufferavstander til boligområder med risiko for støy, sjenanse og naturomgivelser. Samtlige studier vurderer dette kriteriet som viktig ved lokalisering av vindkraftverk, da dette aspektet skaper mye engasjement i befolkningen [77]. Videre hevder Ifkirne et al. [76] at vindparker nær urbane områder kan ha konsekvenser for lokalbefolkningen, og er knyttet til lavere livskvalitet. For å minimere negative påvirkninger på miljøet anbefales det at vindparker er i størst mulig avstand fra urbane områder [76]. Alle undersøkte studier definerer disse avstandene konkret. Imidlertid er selve bufferavstandene forskjellig i studier, og valg av dem må begrunnes fra sak til sak av relevante nasjonale myndigheter. På den andre siden er det viktig at vindparkplasseringer ligger innenfor rimelig nær avstand fra tettsteder for å minimere overføringstap. Fra studiene som er gjort om Polen [74], Serbia [75], Sørøst-Frankrike [76] og Saudi-Arabia [77] er det brukt en minimumsavstand på 500 meter (tabell 15). Det er kun studien om Hellas [73] som skiller seg ut med en minimumsavstand på 1 000 meter fra urbane områder og bebyggelser. I intervju med NVE [102], samt deres nettside [36], beskrives en anbefalt grenseverdi for avstand til bebyggelse på 600-800 meter. Anbefalingen begrunnes med støy fra vindturbiner. Dette er grunnen til at det er valgt en minimumsavstand på 600 meter. Poengskalaen er definert stigende fra 600 opptil 1400 meter, som er maksimal poengscore.

### 8.1.4 Helning i terrenget

Studiene som undersøker Nordøst-Hellas [73], Sørøst-Frankrike [76] og Saudi-Arabia [77] påstår at områder med bratte bakker burde unngås. Dette begrunnes med at tilgjengelighet er kritisk for å unngå ekstra kostnader ved utbygging. Videre er økt helning knyttet sammen med større naturinngrep, ettersom adkomstveiene blir mer omfattende. Dette fordi tyngre transport krever en flatere veibane frem til oppstillingsplass. En veistrekning med mindre helning må nødvendigvis være lengre for å komme til samme høydenivå. Det er satt maksimal krav på 10° helning fra studien om Polen [74], 12° fra studien om Serbia [75], 30% fra studien om Nord-Hellas [73] og 15° fra studien om Sørøst-Frankrike [76] (tabell 15). Baseer et al. [77] har utelatt konkrete krav, men beskriver likevel et behov for mindre helning. En liknende tilnærming til denne faktoren er valgt i denne oppgaven. Det er ikke satt noen minimum- eller maksimumkrav. Det er heller utarbeidet en synkende poengscore for å understreke at flatere mark er mer gunstig. Konkret er skalaen definert ved at 10° er laveste score og 0° høyeste.

### 8.1.5 Nedbørsfelt

Det er ikke ulovlig å plassere vindturinder i, eller i nærheten av nedbørsfelt til en drikkevannskilde. I intervjuet med NVE [102] ble det likevel sagt at det høyst sannsynlig vil komme negative høringsinnspill fra blant annet Mattilsynet dersom dette skjer. Negative høringsinnspill er ikke direkte avgjørende for om en får konsesjon eller ikke, men er med å minke sannsynligheten betraktelig. Derfor er det valgt å inkludere dette som en restriksjon, slik at det ikke blir satt opp vindkraftverk innenfor nedbørsfelt som fører til drikkevannskilder. Det er ingen av studiene som har vurdert nedbørsfelt som en restriksjon eller kriteriet.

### 8.1.6 Sikkerhetsavstand

Det er nødvendig med en bufferavstand til jernbane, i likhet med vei og strømnett, for å unngå iskast og forhindre ulykker. Det er kun studiene om Polen [74] og Serbia [75] som har tatt med bufferdistanse til jernbane. I begge er det brukt en minimumsavstand på 200 meter. Siden Norge har et kaldere klima enn Polen og Serbia, bestemte gruppen seg for å bruke iskast-bufferavstanden som minimumskrav. Som nevnt, vurderer NVE hele Norge som utsatt for iskast [46]. Dermed er det satt en bufferavstand på 250 meter til jernbane. Ali et al. inkluderer avstand til jernbanenett som et kriterium i sin MCDA (tabell 14) [70]. Dette er fordi de vurderer jernbane som en nyttig infrastruktur ved vindkraftprosjekter. Det er ikke valgt å ta denne stillingen i denne oppgaven.

Militære soner er satt som restriksjoner i denne studien. Kjevik flyplass har militær tilknytning ved at luftforsvaret har skoler på disse områdene [107]. Nasjonal sikkerhetsmyndighet har et kart over sensorforbudsområder der området for Kjevik er markert [107]. Det er ingen registrerte områder med sensorforbud annet enn Kjevik innenfor studieområdet. Militære soner er vurdert som en restriksjon i GIS-modellen, som vil si at det er uaktuelt å bygge turbiner der. Restriksjonen er ikke vurdert i noen av de undersøkte GIS-studiene, men det er nevnt av Ali et al. [70] at vindkraftverk ikke kan settes opp i militær sone. Studien har ikke oppgitt begrunnelse på hvorfor restriksjonen er med, vektlegging eller minimums- og maksimumskrav. Det er uansett behov nærmere undersøkelse for utbygging av vindkraft nær militærområder.

I studiene som undersøker Nordøst-Hellas [73] og Saudi-Arabia [77] kommer det frem at sikkerhetsavstander må vurderes for å unngå forstyrrelser av luftfartssignaler. Det er tre forskjellige bufferavstander til flyplasser fra litteraturstudiene der minimumskravet er 500- [73], 1500- [75] og 2500 meter [77]. Den eneste aktuelle flyplassen i området er Kjevik som er over 2,5 km fra E18. Som nevnt ovenfor, er Kjevik også et militært område. Med bakgrunn i dette, samt studien fra Saudi-Arabia og den store avstanden fra E18 til flyplassen, er minimumskravet satt til 2500 meter.

### 8.1.7 Vernede områder og vannforekomster

I både studien om Nordøst-Hellas [73] og Sørøst-Frankrike [76] brukes Natura 2000 verneområder for å minimere den negative påvirkningen på dyrelivet og naturmiljøet. Siden Norge ikke er med i EU gjelder ikke Natura 2000 i landet. Likevel er det strenge restriksjoner fra miljødirektoratet i Norge for å opprettholde det biologiske mangfoldet. I GIS-modellen er det lagt inn kart for naturvernområde. Undersøkes disse på miljødirektoratet [53] sine nettsider kommer det fram at de fleste verneområdene faller under kategorien naturreservat. Det er den strengeste kategorien for vernede områder. Med dette i bakgrunn har gruppen satt restriksjoner slik at det ikke kan settes opp vindkraftverk i vernede områder.

Det er lite erfaringer rundt utbygging av vindkraft i vannforekomster, og det følger en risiko for forurensing [22]. Med dette i bakgrunn har gruppen satt restriksjon til at det ikke kan bli bygget vindkraftverk i områder med vannforekomster. Likevel trengs det en nærmere undersøkelse for hvert av de aktuelle områdene.

## 8.2 Ekskluderte faktorer

Fra litteraturen ble det hentet ut 23 faktorer, blant disse ble kun et utvalgt inkludert videre i modellen. De elleve faktorene som er utelatt er ikke ansett som relevante for studien, og begrunnelsen for ekskluderingen er forklart i dette delkapittelet.

### 8.2.1 Høyde over havet

Denne faktoren er nevnt i to av seks litteraturstudier. Doljak et al. skriver i studien om Serbia [75] at høyder under 1000 moh. anses som gode lokasjoner, siden det ofte mangler nødvendig infrastruktur over denne høyden. I Norge har det tidligere blitt foreslått vindturbiner over denne høyden, og mindre kraftverk er allerede bygd godt over denne grensen [55]. I tillegg er infrastruktur allerede inkludert i modellen ved flere kriterier (tabell 18). Dermed vurderes ikke høyde over havet som en begrensende faktor for valg av lokasjon, og inkluderes følgelig ikke i modellen. Uavhengig av denne vurderingen, finnes det ingen områder over denne grensen i det aktuelle studieområdet.

### 8.2.2 Sandige områder

Støv fra sandige områder kan negativt påvirke kraftproduksjon ved at det øker ruheten på overflaten til rotorbladene [73]. Sotiropoulou et al. skriver i studien om Nordøst-Hellas [73] at sandige områder vil kunne føre til støv som blåser opp i turbinene, noe som kan bidra til å øke drifts- og vedlikeholdskostnader. Studien som omhandler Saudi-Arabia [77] inneholder ikke sandige områder som en faktor, til tross for at store deler av landet er dekket av ørken. Dette kan dermed tyde på at dette ikke er en begrensende faktor, og at lønnsomme vindprosjekter kan utføres også i disse områdene. Innenfor studieområdet er det ingen sandige områder. Det ligger dog et pukverk inne i studieområdet, hvor det kan dannes støv. Hvordan dette påvirker eventuelle vindturbiner er usikkert, og nærmere undersøkelser er nødvendig for oppklaring. På bakgrunn av disse årsakene er det dermed ikke vurdert som aktuelt å inkludere denne faktoren i GIS-modellen.

### 8.2.3 Distanse fra industrielle områder og gruver

Fra studien som ble undersøkt angående Nordøst-Hellas [73] kommer det frem at det ikke ønskes vindturbiner i nærheten av industrielle områder eller gruver. Dette begrunnes med at de ikke vil havne i konflikt med andre forhåndsetablerte investeringer tilknyttet industri. Denne begrunnelsen står i kontrast til begrepet nærvind, som er aktuelt i Norge [21]. Derfor er det valgt å ekskludere faktoren fra denne studien.

### 8.2.4 Distanse til skog

Faktoren distanse til skog er tatt med i studiet fra Polen [74]. Studieområdet er i kommunen Prusice, der landskapet er preget av landbruksområder og noe skog. I studien er det ønsket å verne skogsområdene og dermed er denne faktoren inkludert. I Norge er situasjonen annerledes. Skog preger store deler av studieområdet utenfor tettbebygde områder. Dermed er denne faktoren utelatt, ettersom det ville resultert i en stor overbegrensning av områder.

### 8.2.5 Andre ekskluderte faktorer

De undersøkte studiene viser til andre faktorer (tabell 29) som av flere årsaker ikke inkluderes i modellen. Faktorene beiteområder, landbruksområder, kystlinje, himmelretning på helning, distanse til telefonlinje, distanse til beskyttet område og landdekke er alle kun inkludert i en av seks

undersøkte studier. Av denne grunn, inkluderes ikke disse faktorene i denne studien. Faktorene distanse til elver og motor- og hovedveier er også ekskludert, men det begrunnes med at faktorene henholdsvis går inn under restriksjonene vannforekomster og avstand til vei.

### 8.3 Litteratur- og ekspertvekting

Fra litteraturstudiet er det anskaffet vekting av deres kriterier (tabell 12 og tabell 13) som er brukt som sammenligningsgrunnlag for å kontrollere de egenproduserte vektingene. Det er undersøkt likhet for de kriteriene som er til felles med kriteriene undersøkt i GIS-analysen. Det kommer frem fra litteraturstudiet at vindhastighet er vektlagt som den viktigste faktoren i samtlige studier hvor dette er inkludert. Dette gjelder med unntak av en studie, hvor vindhastighet ikke har vært en inkludert faktor. I gjennomsnitt er vindhastighet vektlagt til 38,8 % blant disse studiene. Ekspertvektingene fra FAHP resulterte i et gjennomsnitt på 39%. Forskjellen i disse tallene vurderes som neglisjerbar. Dette kan bety at de egenkalkulerte resultatene stemmer godt overens med typiske prioriteringer. Likevel kan dette være en tilfeldighet, ettersom det kun er fem eksperter i FAHP-analysen. En høy vekting av vindhastighet er forventet, da dette er avgjørende for realisering av et lønnsomt vindkraftprosjekt [20].

Ser en videre på de intervjuede ekspertenes vekting, er ikke vindhastighet prioritert som den viktigste faktoren hos alle. Dette står i kontrast til litteraturen, der det er bred enighet om vindforhold som den viktigste faktoren. Derimot har *Avstand til bebyggelse (C4)* toppet listen hos ekspert 3 og 4, med henholdsvis 60% og 46% relativ vekting. Her er det signifikante forskjeller hos ekspertene hvor den laveste kun har dette kriteriet vektlagt til 11%. Dette viser til den store uenigheten en ser i dagens vindkraftdebatt, hvor mange vil ha vindkraft så langt unna bebyggelse som mulig, mens andre prioriterer tekniske og økonomiske aspekter i større grad. Den gjennomsnittlige vektingen blir her 31% i forhold til 11,8% fra den undersøkte litteraturen. Dette kan tyde på ulike prioriteringer i forskjellige kulturer og politiske landskap, ettersom alle GIS-studiene fra litteratursøket er utenlandske. Samtidig kan det også begrunnes med usikkerhet knyttet opp imot subjektivitet av svarene fra ekspertene. Til tross for en stor forskjell i vektingen på dette kriteriet, er det lagt tillit til de egenproduserte vektene ettersom de er vurdert som mer relevant for Norge.

*Avstand til strømnnett (C2)* er det tredje mest vektlagte kriteriet blant ekspertene. I gjennomsnitt har dette kriteriet en vekt på 16%, men det finnes stor ulikhet blant de individuelle svarene. Svarene varierer fra 3% på det laveste, opp til 26% på det høyeste. Dette viser en svært ulik prioritering i henhold til dette kriteriet. Alle resultatene fra litteraturstudiet ligger innenfor det samme intervallet, men med mindre avvik. Disse strekker seg fra 5,62% til 16,74%, med et gjennomsnitt på 10,2%. Hvis en sammenligner gjennomsnittene, vil det ikke være noen betydelig differanse.

Det nest minst vektete kriteriet har vært *Avstand til veinett (C3)* med en gjennomsnittlig vekting på 9% i GIS-analysen, mot 8,03% fra den undersøkte litteraturen. Her kan en se at hverken ekspertvurderingene eller litteraturen vektlegger avstand til veinett som en spesielt viktig faktor, til tross for fordelene dette vil kunne gi under utførelsen av vindturbinene. En kan også legge merke til at det er lite forskjell i de to gjennomsnittene.

*Helning (C5)* er kriteriet som har blitt lavest prioritert, og samtlige av de intervjuede ekspertene mener dette er det minst viktige kriteriet. Basert på ekspertutvalget ligger den gjennomsnittlige

vektingen på kun 6%. Dette tyder på en bred enighet om at helning ikke er svært avgjørende ved valg av lokasjon for vindturbiner. Når en derimot ser på resultatene fra den undersøkte litteraturen kommer det frem en gjennomsnittlig vektning på hele 17,13%. Mer oppsiktsvekkende er at de fem ekspertene fra studien til Ali et al. gjennomført i Sør-Korea enstemmig hevder at helning i terreng er det nest viktigste etter vindhastigheten. Det er uklart hva denne forskjellen kan skyldes, da studien ikke viser til hvordan informasjonen er oppdrevet. Vinklingen og konteksten av metoden for svar kan være annerledes. Utfra svarene som er gitt kan det tyde på at kriteriene vinkles i kontekst av et mer teknisk aspekt. Det kan også igjen være forskjeller i kultur og politisk landskap som står for det. En annen forklaring kan være at de undersøkte studiene har hatt studieområder på en betraktelig større skala enn denne oppgaven. Dette kan dermed være greit å ha i bakhodet når GIS-analysen undersøkes.

Fra den undersøkte litteraturen er det også en rekke andre kriterier som er vektlagt. Noen av disse er lagt som restriksjoner i GIS-analysen, og er dermed regnet som uaktuelle lokasjoner uavhengig av vekt. Dette er kriterier som jernbane, vannforekomster, lufthavner og kulturminner. Andre kriterier er ikke vurdert, verken som kriterier eller restriksjoner, ettersom de er ansett som irrelevante for denne egnethetsvurderingen. Med bakgrunn av disse ulikhetene på tvers av studiene, er det trygt å anta at dette kan bidra til forskjeller i vektning. Dette fordi ikke alle har samme antall kriterier inkludert. En studie med flere kriterier vil ha færre prosentpoeng å dele ut per kriterium, og vil da ende med en gjennomsnittlig lavere vektning av de ulike kriteriene.

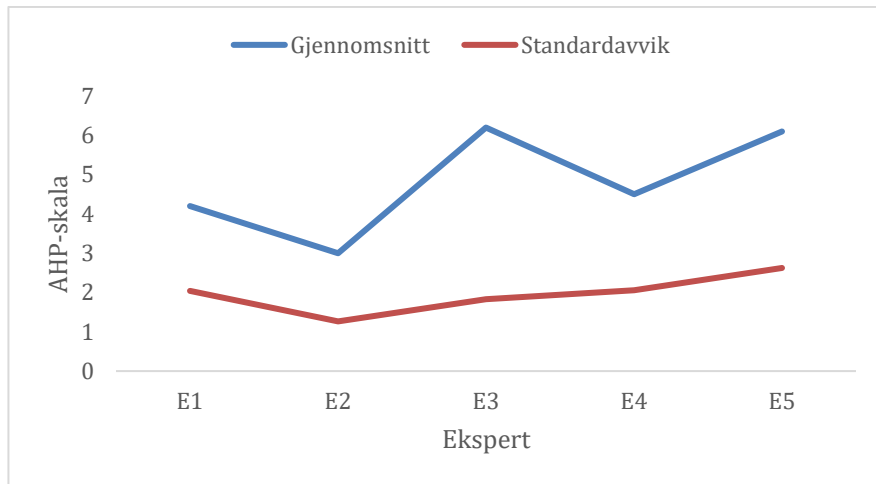
#### 8.4 Usikkerhet og FAHP

Basert på svar fra ekspertene, er det utledet håndfaste vektleggingstall for kriteriene. FAHP-metoden viser til usikkerheten i disse tallene, som ytterligere viser hvilken grad av konfidens en kan ha for utdata fra utregningene. En gjennomgående trend i resultatene er at kriterier med høyere vektning ofte resulterer i en høyere usikkerhet (figur 16-figur 20). Ali et al. får liknende resultater i sin studie (figur 11), som også viser til en korrelasjon mellom økt viktighetsgrad og økt usikkerhet. Matrisene for relativ viktighet viser til hva ekspertene har svart på tilsendt skjema (tabell 21-tabell 25). Resultatene viser at kriterier sjeldent blir vurdert som *absolutt viktig*. Et absolutt viktig kriterium defineres som noe som skal oppfylles for enhver pris, uavhengig av eventuelle andre faktorer som dette går utover. Dersom et kriterium er absolutt viktig, impliserer dette også en absolutt uviktighet for den motsatte relasjonen. Således vil en slik påstand være dristig, og det er naturlig at personer vil nøle med å svare slikt. På andre siden av skalaen er vurderingen *like viktig*. I en kompleks situasjon som denne, kan det være utfordrende å vurdere kriteriers viktighet i forhold til hverandre. Dermed kan en lavere relativ viktighet være et mer konservativt svar. Dersom en vurderer en parvis vektlegging som er vanskelig å besvare, er det naturlig å svare lavere på skalaen. Det fremkommer ingen klar korrelasjon mellom usikkerhetsgraden til besvarelsen og profesjon hos ekspertene.

Figur 28 viser gjennomsnittet av verdiene for hver ekspert. I tillegg er standardavviket på disse snittet vist. Kombinert gir dette en oversikt over hvordan respondentene besvarer undersøkelsen. Følgelig avslører dette eventuell partiskhet til deler av AHP-skalaen hos objektene. Som vist i grafen, er det noe variasjon i besvarelsen, men ekspert 3 og 5 skiller seg ytterligere ut (figur 28). Disse vurderer relasjoner i snitt høyere enn resterende. I tillegg har ekspert 5 store avvik i sin besvarelse. Dette er den eneste respondenten som har benyttet seg av AHP-utsagnet absolutt viktig (9), og gjorde dette på to punkter. I tillegg kommer to tilfeller av *like viktig*. Dette reflekteres i de triangulære



funksjonene, hvor det er en distinkt rangering av kriterier med forholdsvis lav usikkerhet. Ettersom standardavviket er forholdsvis likt hos respondentene, kan det tenkes at de språklige utsagnene har blitt tolket ulikt. Dette er en problematikk som FAHP-modellen har hensikt å adressere ved å inkludere usikkerhetsaspektet.



Figur 28: Snitt verdier for besvarelse til respondenter, samt korresponderende standardavvik.

## 8.5 Utvalgte områder

De utvalgte områdene er basert på egnethet og størrelse. Egnetheten har bakgrunn i kriteriene og restriksjonene fra GIS-MCDA-analysen. I tillegg kreves det at områdene er av betydelig størrelse. Over hele studieområdet finnes sporadiske flekker vurdert til høy egnethet. På grunn av spredningen og størrelsen, vurderes ikke disse som egnede områder. Det er tilstrebet å fremheve områder, med forholdsvis sammenhengende egnethetscore. Videre beskrives områdene i detalj, både egnetheten fra GIS-kartet, og områdets terreng ved hjelp av flyfoto. Vedlagt beskrivelsen er en forstørrelse av det aktuelle området som illustrerer egnetheten i området for hver analyse, samt et gjennomsnitt. For utbygging av vindturbiner kreves en omfattende analyse av de utvalgte områdene. Dermed kan det ikke med stor konfidens hevdes at analysen viser ekspertens korrekte mening i spesifikke områder. Av denne grunn er modellen presentert som en analyse av respondentenes svar, heller enn eksperters faktiske meninger. Følgelig blir resultatene fra ekspert 1, 2, 3, etc., henholdsvis omtalt som analyse 1, 2, 3, etc.

### 8.5.1 Område 1

Dette er et delt område som er splittet langs midten av en kraftlinje med en sikkerhetsdistanse på 250 meter (figur 24). Med de implementerte restriksjonene, er det dermed en kanal på 500 meter som deler området i to. Dette fører til fordeler og ulemper ved dette områdets egnethet. Det er en risiko for at iskast potensielt kan gjøre skade på denne kraftlinjen. Dermed må sikkerhetsdistansen undersøkes nærmere, slik at denne risikoen håndteres på fornuftig vis. Likevel er det fordelaktig å plassere kraftverk nær eksisterende elektrisk infrastruktur. Dette vil kunne spare utbyggingskostnadene av nye kabler, samt hindre nedbygging av naturområder. Det er dog ikke undersøkt hvorvidt det er ledig kapasitet på det lokale strømmettet. Følgelig anbefales en nærmere



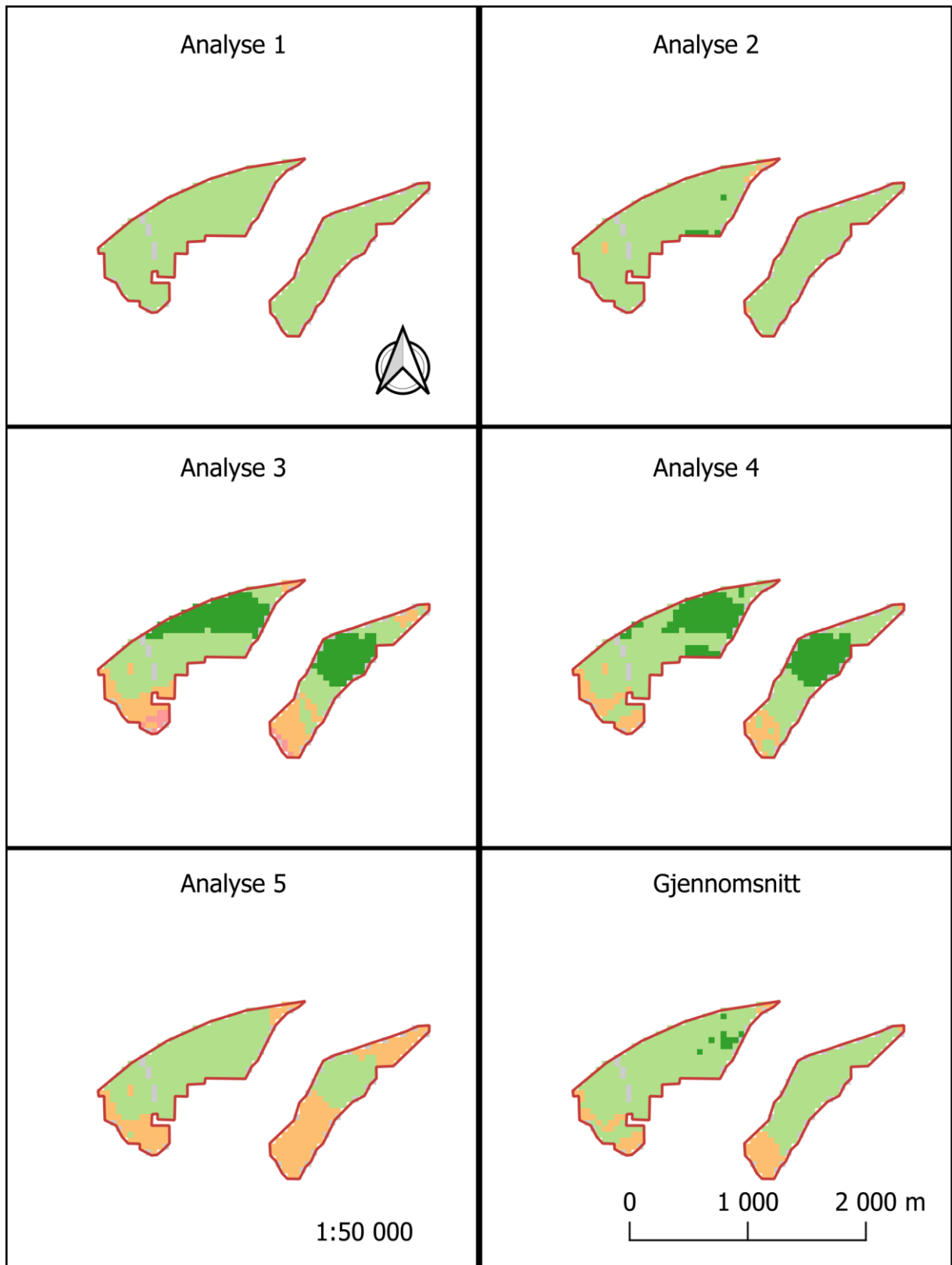
undesøkelse på gjennomførbarhet her. Det er plassert en vei som strekker seg delvis mellom områdene. Denne gir liknende fordeler og ulemper, og bør derfor behandles likt som kraftlinjen.

I tillegg til å være et todelt område, er det også det minste området av de fire som er utvalgt i analysen. Det totale arealer på de to delene er 1,3 km<sup>2</sup>, hvorav vestre del er 0,8 km<sup>2</sup> og østre del er 0,5 km<sup>2</sup>. Grunnet den mindre størrelsen, vil omfanget på en eventuell vindpark være begrenset. Dette behøver ikke nødvendigvis å være et problem, men avhenger av kraftbehovet. Vindkraftverk med lavere effekt har en enklere saksgang med NVE [64]. Studieområdet er avgrenset til 2000 meter fra E18, av denne grunn er det utelatt områder i nordvest som muligens kunne vært inkludert. Disse områdene må også analyseres før en fullstendig vurdering kan bli gjort for lokasjonen. Plasseringen av området ligger på grensen mellom Lillesand og Grimstad kommune. Dermed blir dette en sak for befolkningen i begge kommunene, noe som kan påvirke prosjektet begge veier. Hvis det er en enighet mellom kommunene om å utføre et vindprosjekt vil det kunne ha en bredere finansiering. På den andre siden kan det føre til politiske problemer dersom kommunene ikke er enige.

Områdene er ikke bare delt av krafttraseen og veien, men også av Reddalsvannet i nord. Dette vannet er også regnet som et naturvernområde. Dermed er det grunn til å tro at utbygging i nærheten av denne innsjøen kan møte mye motstand. I den vestre delen av området ligger det også to vann som ikke var inkludert i datasettet for vannforekomster brukt i GIS-analysen, Blautetjønn og Olstادتjønn. Dette vil være uaktuelle arealer for plassering av vindturbiner. I tillegg renner Kvernbekken igjennom vestre del av området og burde undersøkes nærmere. I analysen er denne bekken kategorisert som en elv, og begrenser dermed en del areal i området. Bekken er ikke synlig fra flyfoto, og det vil være nødvendig med en befarings før nye vurderinger kan legges til grunn.

Det kommer frem fra undersøkelsen av flyfoto at det er en del områder bestående av kupert terreng med bratte klipper. Dette kan ha blitt utelatt fra GIS-analysen som er basert på 50x50 meter cellestørrelse i laget for helning. Samtidig kan høydemålingene som helningsanalysen er basert på være unøyaktige i forhold til virkeligheten. Det avhenger av metoden som er brukt for kartleggingen av høydene, noe som er uvisst. Dette kan trekke områdes egnethetsvurdering ned, men helning viser seg å være en lavt prioritert egenskap. Dermed er det usikkert hvor stor konsekvens dette vil ha for en utførelse.

Den gjennomsnittlige GIS-analysen viser at området er vurdert til *egnet (4)* for mesteparten av arealet, med noen *middelmådig (3)* områder i periferien (figur 29). De individuelle analysene viser til en bred enighet, der analyse 1 og 2 regner hele området som *egnet (4)*, mens i analyse 3 og 4 er sentrum av områdene vurdert som *veldig egnet (5)*. Hos de sistnevnte er det en lavere vurdering i periferien, hvor analyse 3 har vurdert små arealer i sør som *uegnet (2)*. Bakgrunnen for dårlig egnethet i sør, er en nærliggende gård i området, og at analyse 3 har *avstand til bebyggelse (C4)* som et svært viktig kriterium med 60% vekt. Fra analyse 5 er mesteparten av østre del regnet som *middelmådig (3)*, og vestre del i hovedsak *egnet (4)*. Ettersom gjennomsnittsanalysen gir en vurdering på *egnet (4)*, og ingen av analysene har kategorisert betydelige områder som hverken *uegnet (2)* eller *veldig uegnet (1)*, kan dette området anses som en aktuell lokasjon.



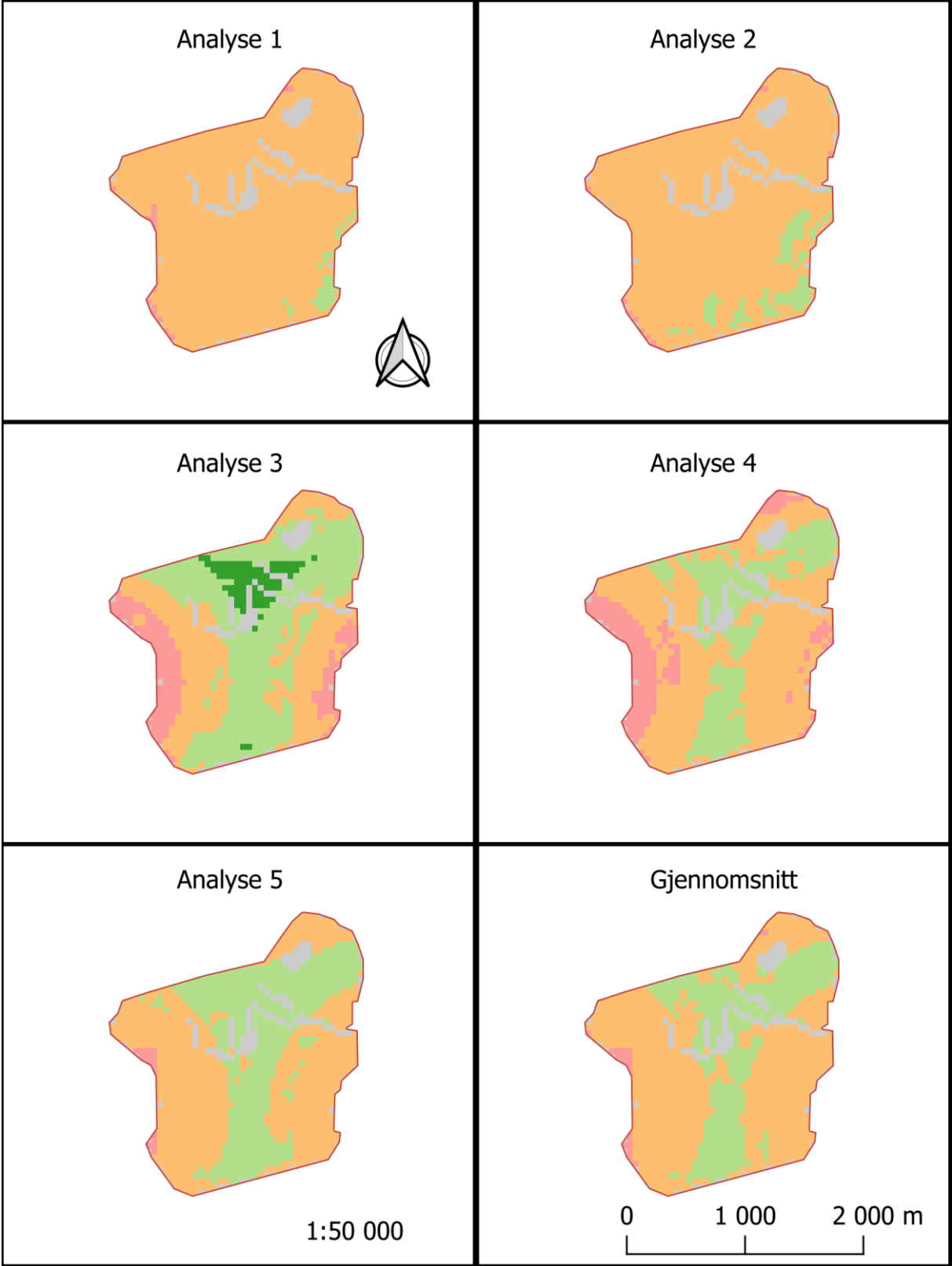
Figur 29: Område 1 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22.

### 8.5.2 Område 2

Området har en størrelse på 3,3 km<sup>2</sup>, og er preget av kupert terreng, elveforekomster og to vannforekomster (figur 30). E18 går gjennom en tunnel sør for området, noe som ikke er tatt med i betraktning i GIS-analysen. Den har kun tatt hensyn til bufferavstand på 250 meter fra vei. Dermed kunne området vært utvidet lengre sør. Det er mulig at denne utvidelsen kan strekke seg omtrent én kilometer ned på sørsiden av E18, hvor det ligger en gård som må tas i betraktning. På nordsiden av området er det studieområdet som avgrenser. Her kan det også være gode lokasjoner hvis området utvides og det gjennomføres nødvendige undersøkelser. Både på nordsiden og sørsiden ligger det eksisterende småveier som går innover i skogen før de avsluttes. Disse veiene kan ha en positiv effekt vedrørende frakt av turbinkomponenter ved bygging og vedlikehold. Både økonomisk og miljømessig, ettersom det kan hindre nødvendigheten for konstruksjon av nye adkomstveier. Dette vil avhenge av størrelse og kvalitet på disse veiene, noe som må undersøkes nærmere. Ettersom de avsluttes i skogen, antas det at disse veiene har en lav trafikkbelastning. Hele området ligger innenfor Lillesand kommune, som dermed ville blitt en viktig aktør ved utbygging her.

På området ligger to vannforekomster. I nord ligger et lite tjern med navnet Sauetjønn, og sentralt ligger Flubergtjønn, et større tjern. Disse arealene vil være uaktuelle for plassering av vindturbiner. Tilknyttet begge tjernene ligger Flubergbekken. Størrelsen på denne bekken er ukjent, og i GIS-modellen er den kategorisert som elvevannsforkomst. Vannføringen i denne bekken kan være avgjørende på hvor mye areal som må begrenses for utbygging, samt hvor bekken renner videre utenfor området. Nordøst for Sauetjønn ligger et lite begrenset areal. Ved nærmere undersøkelser av GIS-modellen og flyfoto, er det kommet frem til at dette er en vernet myr. Dette arealet vil dermed være uaktuelt for utbygging. I tillegg kan det begrense mulighetene for utbygging i myrens nærliggende områder. Fra flyfoto kommer det også frem at det ligger et myrlignende område sør for Flubergtjønn, noe som ikke har blitt inkludert i GIS-modellen. Det trengs nærmere undersøkelser av dette myrområdet før en fullstendig vurdering av området kan gjennomføres.

Ifølge analyse 1 og 2 er mesteparten av området *middelmådig (3)*, bakgrunnen for dette kan være den høye vektingen av *vindhastighet (C1)* samt nærliggende bebyggelse (figur 30). Analyse 3 og 4 har en høy vekting på *avstand til bebyggelse (C4)*. Dette kommer tydelig frem i GIS-analysen, hvor området har en gradvis økning fra vestre- og østre kant som har scoren *uegnet (2)* innover mot øvre sentrum hvor det er en høyere egnethet. Fra analyse 3 vurderes områdene i øvre sentrum til toppscore, *veldig egnet (5)*. Fra den gjennomsnittlige analysen er omtrent halvparten *egnet (4)* og andre halvdel *middelmådig (3)*. Mesteparten av *egnet (4)* område er sentralt, mens det er *middelmådig (3)* i utkanten. Forskjellene mellom gjennomsnittsanalysen og analyse 5 er minimale. Sammenlikner en forstørret området (figur 30) med flyfoto (figur 25) kommer det frem at analyse 3, 4 og 5 har vurderingen *egnet (4)* der det er myrområder, noe som kan skape utfordringer. Med tanke på grenseeffekten vil det kunne være forstyrrelser i analysene øverst i venstre hjørne av område. Fra flyfoto observeres ingen nærliggende bebyggelse eller infrastruktur som ikke er tatt hensyn til. Det kan dermed antas at den eventuelle forstyrrelsen er irrelevant, men dette må undersøkes nærmere før en fullstendig vurdering kan gjøres.



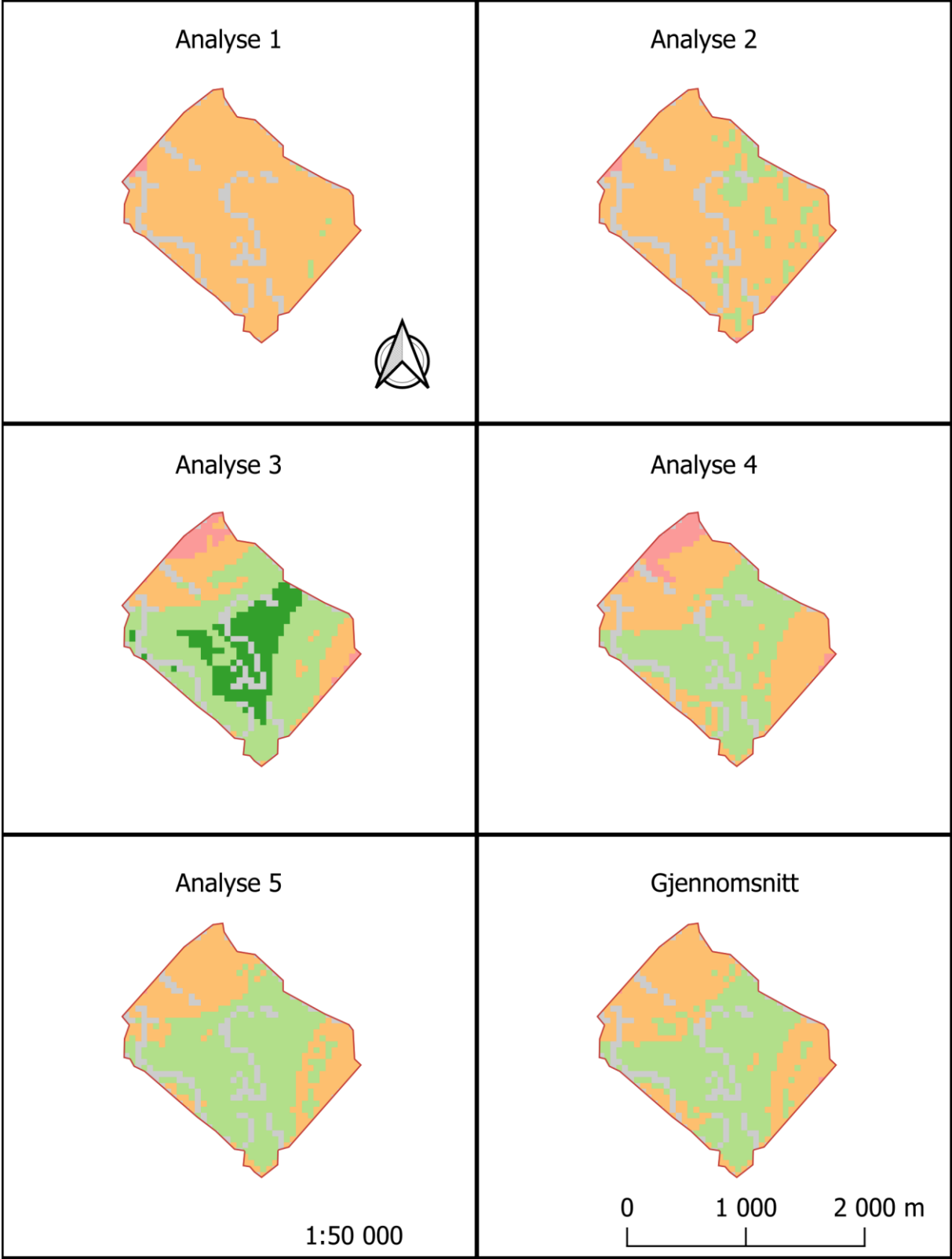
Figur 30: Område 2 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22.

### 8.5.3 Område 3

Dette området ligger svært tett på område 4, men de er adskilt av et naturvernområde som strekker seg fra nord til sør. Naturvernområder har i GIS-analysen kun satt restriksjoner for selve arealet det opptar. Likevel kan det være upopulært å plassere vindturbiner i nærhet av grensen til slike områder, noe som må tas hensyn til. Generelt er området preget av tett skog (figur 26). Arealet til området ligger på 2,4 km<sup>2</sup>, det nest minste av de utvalgte områdene. Det kan potensielt være muligheter for en utvidelse av arealet. I sørøst ligger E18 i tunnel, noe som ikke ble inkludert i GIS-analysen. I likhet med område 2 kan det tenkes at arealene over tunnelen kan være egnede for vindkraft. Samtidig har studieområdet avgrenset området i nordvest, og det kan være muligheter for en utvidelse av området i denne retningen også. Den nordligste delen av området kan være under påvirkning av grenseeffekten. Dette burde dermed undersøkes videre hvis området skulle vise seg å være aktuelt. Hele områdets areal ligger innenfor kommunegrensene til Lillesand kommune. Dette vil dermed bli en viktig aktør ved en eventuell utførelse.

Innenfor grensene til område 3 er en del areal begrenset av elver i GIS-analysen. Ved nærmere undersøkelser av flyfoto kommer det frem at det som ligger kategorisert som elver, i realiteten er en rekke forskjellige vannforekomster (figur 26). Herunder Ulsvatnet som den største av dem. Dette er et vann som ligger helt vest i området. Sjørover fra dette vannet renner Langebekken. I tillegg er det spredd tre mindre vann utover området, Støletjønn, Rompetjønn og Kvalhommertjønn. I GIS-analysen kommer det frem en del begrenset areal fra kategorien elvevannforekomster som ikke er synlig på flyfoto. Det er dermed usikkert på omfanget av disse vannforekomstene som ligger i midten av området.

Når en undersøger egnethetsanalysene ser en at analyse 1 og 2 vurderer området som *middelmådig* (3) i tilnærmet hele arealet, med sporadiske celler vurdert til *egnet* (4) fra analyse 2 (figur 31). Fra analyse 3 er området vurdert som *veldig egnet* (5) sentralt i området, der noe areal nord og øst er vurdert som *uegnet* (2) og *middelmådig* (3). Dette er igjen grunnet stor vektning av kriteriet *avstand til bebyggelse* (C4). I analyse 4 og 5 kommer det frem en bred enighet om at mesteparten av de sentrale arealene er regnet som *egnet* (4), med *middelmådig* (3) i nord og øst. Eneste forskjell er at analyse 4 vurderer noe areal i nord til *uegnet* (2). Den gjennomsnittlige analysen er tilnærmet lik analyse 5.



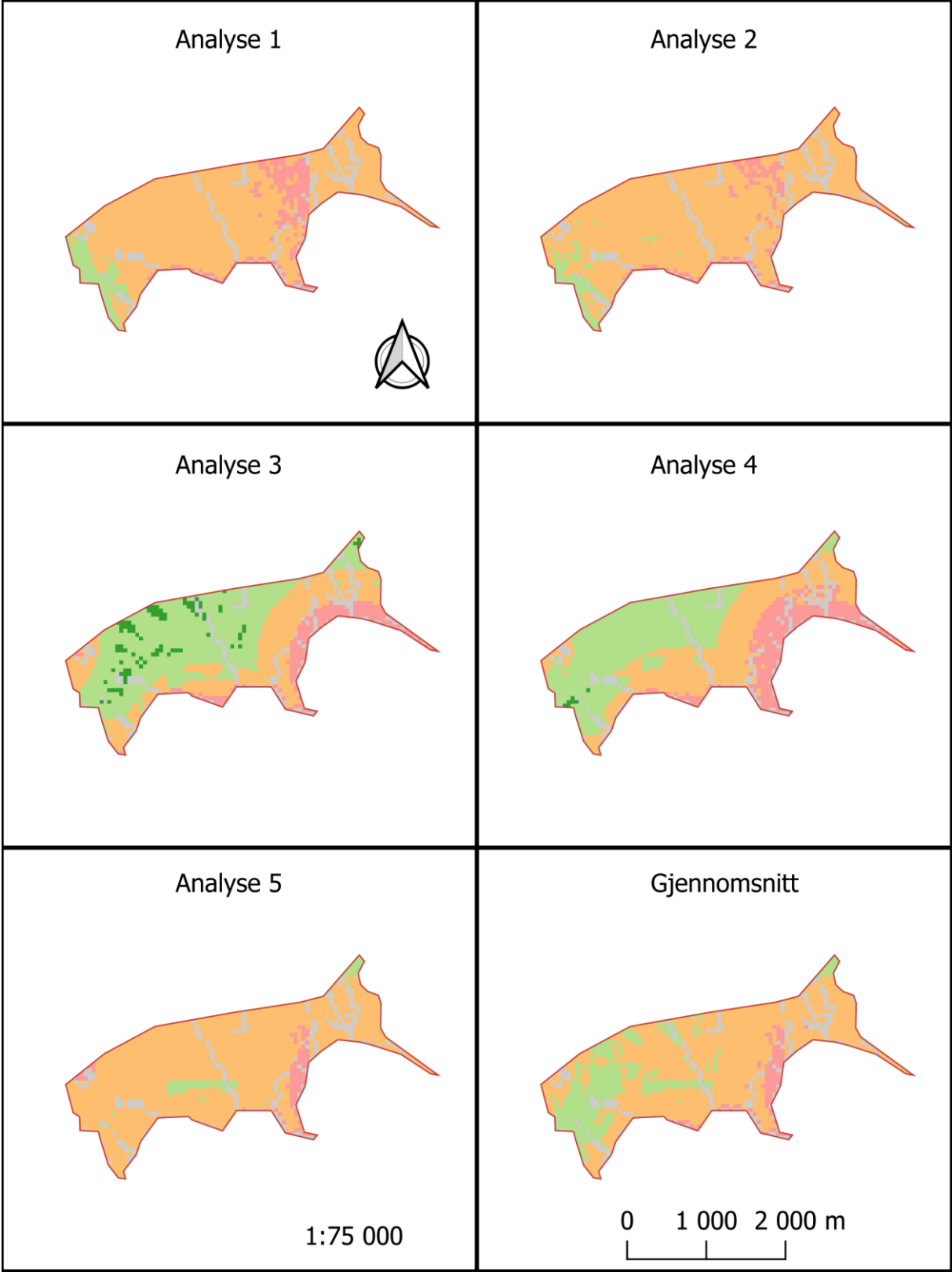
Figur 31: Området 3 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22.

#### 8.5.4 Område 4

Dette er det største området med et areal på 4,7 km<sup>2</sup>, og det kan være gode muligheter for å utvide området ytterligere. Dette gjelder nordover hvor det er avgrenset av studieområdet. Området er preget av en rekke vannforekomster, inkludert noen elver (figur 32). Sentralt i området ligger Karlsvatnet, som er den største innsjøen innenfor området. Karlsvatnet er kategorisert som en elv i GIS-analysen, men fra flyfoto kommer det frem at vannet er av betydelig størrelse. Det vil dermed bli større begrensede arealer enn det som kommer frem i GIS-analysen. Samtidig er det inkludert en rekke elvevannforekomster i GIS-analysen, som ved nærmere undersøkelser av flyfoto kan antas å være mindre bekker. Størrelsen og viktigheten av disse krever befarings med nærmere undersøkelser før en vurdering kan gjøres. Område 4 er delt mellom Kristiansand- og Lillesand kommune, dermed vil disse kommunene måtte samarbeide og finne enighet ved et eventuelt prosjekt.

Helt øst observeres det på flyfoto at det går en vei inn på området. Denne veien har ikke vært inkludert i GIS-modellen, da den ikke er inkludert i det brukte datasettet. Dessuten går det en rekke veier mellom E18 og oppover mot området. Dette spiller positivt inn med tanke på frakt av turbinkomponenter. I tillegg ligger Ringknuten pukkverk inntil grensen sørøst i området. I GIS-modellen er det ingen registrert bygninger i forbindelse med pukkverket. Fra flyfoto ser det ut til at pukkverket kun har maskiner og teltlagre på området, som kan være grunnen til at det ikke blir regnet som bebyggelse. Det at Ringknuten pukkverk ligger så nært er et positivt tegn med tanke på at område allerede er regulert for industri. Det åpner opp for muligheter for å bruke vindkraft som energi til industri i nærheten (nærvind).

I den sørøstlige delen av området kan en se at grensene er påvirket av en gård som ligger i nærheten. Gården vil i stor grad påvirke kriteriet *avstand til bebyggelse (C4)* (figur 32). Fra analyse 1 og 2 kommer det fram at nesten hele området er *middelmådig (3)*, med en del helt vest i området som er *egnet (4)*. Det er *uegnet (2)* i den sørøstlige delen av området, som mest sannsynlig skyldes bebyggelse. Ut fra analyse 3 er det store deler av området er *egnet (4)* med sporadiske flekker med *veldig egnet (5)*. Østlig utkant har deler som er *middelmådig (3)* og noe av området er *uegnet (2)*. Dette kan ha en sammenheng med at analyse 3 har vektlagt kriteriet avstand til bebyggelse veldig høyt. Analyse 4 har nokså lik betraktning av området, men med en generelt lavere vurdering. Resultatene fra analyse 5 viser at omtrentlig hele området er *middelmådig (3)*. Fra den gjennomsnittlige analysen er området mest *middelmådig (3)*. Noen deler er *egnet (4)* i nordvest, og sørøst ligger noen deler som er *uegnet (2)*. Det ville vært mest aktuelt å sette opp vindturbiner i det vestlige området dersom område 4 skulle blitt valgt. Den lave vurdering øst i området kan skyldes gården som ligger såpass nært. Dermed kan det tenkes at de østlige delene kan være egnet dersom det er mulig å inngå en avtale med gårdseier.



Figur 32: Området 4 forstørret for hver analyse, zoomet inn på figur 22



## 8.6 Dyre- og planteliv

Restriksjonen *naturvernområde* er inkludert i GIS-modellen, og pålegger begrensinger på hele arealet det opptar. Disse vernede områdene inkluderer beskyttelse av blant annet biologisk mangfold, hvor dyre- og planteliv er inkludert. Av denne grunn er det tiltenkt at begrensning av disse områdene vil gi en beskyttelse til det mest sårbare dyre- og plantelivet. Likevel er det kun selve arealet til naturvernområdene som er begrenset, ikke de nærliggende områdene. En vindpark vil kunne gi konsekvenser utad selve parken. Dermed kan det tenkes at lokalisering i umiddelbar nærhet til naturvern, vil spille negativt inn på dyre- og planteliv innad i naturvernområdet. Dette på grunn av støy, skyggekast, menneskelig aktivitet, tap av leveområde og kollisjonsproblematikk.

En bufferavstand til naturvernområdene kan dermed være aktuelt, noe som ikke har vært inkludert i analysen. Flere av de undersøkte GIS-MCDA-studiene har inkludert slike bufferavstander, hvor verdiene varierer mellom 1 og 2 km (tabell 15). De undersøkte studiene er gjennomført på en betydelig større geografisk skala. Det betyr at dersom dette skulle inkluderes i denne studien ville disse verdiene tilegnet overdrevne begrensninger, da det undersøkte område kun strekker seg 2 km utfra E18. Samtidig er det en rekke mindre naturvernområder sporadisk spredd utover studiearealet, noe som nødvendigvis krever en lavere bufferavstand dersom dette skal inkluderes. Michał Szurek et al. bruker en minsteavstand på 200 meter til skog, noe som begrunnes med naturvern [74]. Den samme distansen kan være aktuell å innføre i forbindelse med naturvernområdene uten at det fører til overbegrensninger.

Til tross for inkluderingen av naturvernområder for å verne blant annet dyrelivet, er studieområdet preget av mye skog. Eventuell utbygging i skogsområdene vil frembringe ødeleggelse av naturområder. Dyre- og plantelivet som eksisterer i disse skogsområdene, vil dermed trues av en eventuell vindkraftutbygging. Nødvendigvis må det gjøres undersøkelser hvorvidt lønnsomheten utveier konsekvensene. Videre kan det tenkes at områdene nært E18 allerede har tatt disse konsekvensene, ettersom motorveien har medbrakt støy, menneskelig aktivitet og nedbygd natur. Basert på denne tankegangen vil konsekvensene på dyre- og plantelivet være av mindre betydning, dersom vindkraft bygges ut i områder allerede preget av høy menneskelig aktivitet.

Kollisjonsproblematikk knyttet mot fugler og insekter [61] er heller ikke inkludert i GIS-modellen. Dette er utfordrende å finne data på, samtidig som det er en problematikk som vil være aktuell uavhengig av et kraftverks plassering. Likevel er det nødvendig å vurdere dette ved planlegging av kraftverksutformingen, med tanke på turbinplassering innad i vindparken, samt hvilke turbindimensjoner som skal brukes. Ved saksgang for konsesjon til et prosjekt vil fauna og flora uansett bli utredet for [64].

## 8.7 Lokal aksept

Den lokale befolkningens holdninger til vindkraft vil være avgjørende for realisering av et vindkraftprosjekt [103]. Inkludering av denne faktoren i en MCDA-modell er problematisk, fordi dette er et aspekt som ikke lett kan kvantifiseres. Dette er ikke modellert i de undersøkte GIS-MCDA-studiene. Likevel er det nødvendig å adressere at denne variabelen vil ha svært store utslag for egnetheten. En annen utfordring er at slike meninger varierer mellom lokasjoner og kan endres over tid. Dette kommer frem i resultatene fra litteratursøket som er gjennomført. Studiene viser til at

befolkningen har økt fiendtlighet til landbasert vindkraft på Sørlandet, hvor studieområdet er lokalisert, fra 2019 til 2021 (figur 12). Det har vært en økning på 4 prosentpoeng av Sørlandets befolkningen som er uenige at det burde bygges ut mer landbasert vindkraft i Norge. Andelen har gått fra 60% til 64%. Holdninger endres raskt i dagens debattklima og det kan tenkes at undersøkelsen fra 2021 allerede er utdatert. Dermed vil det være nødvendig å oppdrive lokalbefolkningens holdninger i nær tid før en eventuell oppstart av et vindkraftprosjekt.

I forbindelse med lokalbefolkningens holdninger til vindkraftprosjekter blir utsikt og skyggekast viktige faktorer. Selv om en vindturbin står utenfor alle begrensede områder og utenfor støysone, er det fortsatt mulig at turbinen gir visuelle forstyrrelser for lokalmiljøet. Dette blir påvirket av topografi og arealbruk. I GIS-analysen er dette ikke tatt i betraktning, og det blir dermed ikke mulig å konkludere med en lokasjon før eventuelle visuelle forstyrrelser er undersøkt. Til hvilken grad en turbin vil gi visuelle forstyrrelser avhenger også av turbinens størrelse. Som nevnt tidligere er det ikke vurdert spesifikke turbinhøyder. Det vil dermed ikke være mulig å gjøre en nøyaktig analyse på de visuelle forstyrrelsene uten at det er gjort en beslutning på turbinhøyde.

Dersom det blir en lang konsesjonsprosess kan prosjekteringen av vindparken som var planlagt ha blitt utdatert [71]. Det omhandler primært hvilke turbinmodeller som skal brukes. Utviklingen de siste årene har ført til en økning i dimensjonene på turbinene [16]. Den økte størrelsen leder til høyere kraftproduksjon, men vil igjen trenger større adkomstveier og oppstillingsplasser. Samtidig vil de nyere turbinene med større høyde og lengre rotorblader føre til en langt større visuell forurensning. Dermed kan det ved langvarige konsesjons og byggeprosesser skje store endringer i det prosjekterte forslaget fra start til slutt. Lokalbefolkningen kan ha hatt gode holdninger til vindturbiner ved første vurdering, men disse holdningene kan endre seg i løpet av prosjektet, med bakgrunn i større turbiner. Denne varierende faktoren er noe som ikke kan inkluderes i en GIS-modell med teknisk fokus, og dette er noe som må undersøkes nærmere ved eventuelt aktuelle områder.

Slik prosessen fungerer i Norge i dag, har berørte innbyggere stor makt til å stanse utbygging. Fra intervjuet med RES-Group [103] kom det frem at det er vanlig å undervurdere motstanden mot vindkraft i befolkningen. Videre forklarer intervjuobjektet at det er vanskelig å komme med en ny konsesjonsmelding etter et avslag på grunn av motstand fra innbyggere. Det er viktig å gjøre det rett første gang, fordi førstegangsinntrykket vil være avgjørende. Dermed bør det oppdrives informasjon på hvor det tidligere er gjort konsesjonssøknader og hvorvidt de er godkjent eller avslått.

Fra litteratursøket om Norge, er det hentet ut resultater fra en spørreundersøkelse som viser distansen folk er villig til å ha mellom bolig og vindkraftverk [72]. Fra denne undersøkelsen kommer det frem at kun 3% av den norske befolkningen vil akseptere et vindkraftverk under 1 km distanse fra bolig (figur 13). Denne distansen vil være i det samme intervallet som har verdiene *begrenset*, *veldig uegnet (1)* eller *uegnet (2)* i forbindelse med kriterium *avstand til bebyggelse (C4)*. Derfor kan en anta at i de fleste tilfeller vil områder i dette intervallet bli utelukket i GIS-analysen. Likevel kan det i analysene der *avstand til bebyggelse (C4)* er lavt vektet, komme frem områder i dette intervallet som blir vurdert høyt på egnethetsskalaen. Dette er mest aktuelt i forbindelse med analyse 1 og 2, som dermed burde undersøkes nærmere dersom en skulle lent seg på disse resultatene i en beslutningsprosess.

Videre ser en fra samme studie at 20% og 28% vil akseptere henholdsvis 2-5 km og mer enn 5 km distanse fra bolig til vindpark. Omtrent halvparten vil akseptere en vindpark dersom den ligger mer enn 5 km fra boligbebyggelse. Samtidig svarer 36% at de ville vært imot, uansett avstand. Dermed kan dette tyde på at hvis en vil ha majoritetens aksept, burde minstekravet for avstand til boliger ligge på minst 5 km. Dette ligger langt over tallene brukt i GIS-analysen hvor alt over 1400 meter regnes som *veldig egnet* (5). Av denne grunn er det nødvendig å gjøre ytterligere vurderinger dersom boligbebyggelse ligger innenfor en distanse på 5 km til det aktuelle området.

Fra studien *Perspektiver på landbasert vindkraft i Agder* [71] kommer det frem i konklusjonen at motstand mot vindkraft blir påvirket av samfunnskonteksten. Her spiller energisituasjonen i Norge og verden inn. Strømprisene har økt, og dette kan igjen føre til at folk endrer sine prioriteringer. Samtidig er det bred enighet blant administrativ og politisk ledelse innad i studiens utvalgte kommuner at det blir et økt behov for fornybar energi fremover. Innad i disse kommunene åpner omtrent halvparten opp for utbygging av vindkraft under de rette betingelsene. Likevel mener minoriteten av disse at det er en nødvendighet. Dermed er det mulig at økt kraftbehov, og villighet i kommuneledelse kombinert med en generell utmattelse forbundet med vindkraftdebatten, kan føre til at motstanden vil avta noe. I samme studie observeres det også at motstanden kan avta basert på tall fra 2022 [108]. Her har det vært en økning fra 33% til 39% som sier ja til vindkraft på land fra 2021 til 2022. Samtidig har andelen som sier seg helt uenig, sunket fra 24% til 20%.

## 8.8 Kraftverkutforming

En av ekspertene som avsto fra å svare på spørreskjemaet mente forutsetningene var for vage. Mer spesifikt mente vedkommende at det ikke var mulig å prioritere de foreslåtte kriteriene uten å ta til betraktning hvor stort det aktuelle vindkraftverket er. Et kraftverk som er større vil returnere en høyere verdiskapning over tid, og det antas at aktører vil derfor være villig til å akseptere større oppstartskostnader. Dette betyr at et større prosjekt kan bygges med større avstander fra eksisterende infrastruktur, da lønnsomheten over tid vil være større enn utbyggelsen av eventuell infrastruktur. Dessuten vil større ikke-okkuperte områder ofte være mer avsidesliggende annen bebyggelse. I Norge er de største vindkraftverkene i Trøndelag [38]. Disse befinner seg på tomter som ligger forholdsvis langt unna mennesker. Dette er gjort for å blidgjøre befolkningen, siden folk generelt ikke ønsker å se vindturbiner i nærheten av der de bor [72]. I den grad en velger å bevege seg vekk fra bebyggelse og menneskeberørte områder, er det ofte mer uberørt natur. Dermed oppstår et dilemma der det må velges mellom å redusere sjenanse og å verne natur.

Dersom intensjonen er å produsere tilsvarende kraft nærmere bebyggelse, er det sannsynligvis nødvendig å bygge flere mindre kraftverk som begrenser sjenanse [21]. Skal det bygges vindturbiner ved urbane strøk må også lydforurensing tas til betraktning. Det å oppdrive data på lydnivået til en vindturbin kan være trivielt. En utfordring vil være at støy fra andre kilder må adderes, på grunn av fenomenet konstruktiv resonans. Representanten fra NVE forklarer i intervjuet at dersom vindkraftverk bygges ved siden av en vei, må støyproduksjonen fra turbinene legges sammen med støyen som allerede kommer fra veien [102]. Støynivåer må derfor overvåkes konstant, ettersom forskrifter har maksverdier for støy i urbane strøk. Veier er ofte lagt nært tettsteder for å gi best mulig transporttilbud. Derfor skal det ofte lite til for å overskride maksnivåer.

Resultatene fra denne analysen viser at områdene som blir aktuelle for vindkraftutbygging er spredd ut. Heller enn å ha et stort samlet felt, viser analysen til flere mindre områder. Å ha turbinene så utspredd vil ha konsekvenser gjennom hele livsløpet til kraftverket. Ali et al. [70] beskriver et ønske om å fremlegge ett fåtall gunstige lokasjoner som sammenlignes. Disse feltene må nødvendigvis ha en viss størrelse for å kunne produsere en hensiktsmessig mengde elektrisitet. Flere felt med et fåtall turbiner i hver, kan by på utfordringer med infrastruktur. Dette er en konsekvens av de strenge begrensningene som inngikk i analysen og de korresponderende sikkerhetsavstandene. Det vurderes som en høyere prioritet å realisere prosjektet, enn å optimalisere lønnsomheten. En av grunnene til dette er at det ved tidligere anledning ikke lyktes å realisere liknende prosjekter i studieområdet [103].

### 8.9 Vindkraft langs motorvei (E18)

Det kan være gunstig å plassere vindkraft i nærheten av eksisterende motorveier, både av tekniske og samfunnsmessige årsaker. De tekniske årsakene inkluderer nærhet til eksisterende infrastruktur som allerede er inkludert i GIS-modellen. Likevel er ikke størrelsen på veier spesifisert i denne modellen. Dermed er det ikke åpenbart at alle eksisterende veier er egnet til transport av turbinkomponenter. Av denne grunn er det tiltenkt at nærhet til motorveien E18 i studieområdets sentrum burde vurderes til en høyere egnethet, da denne veien er antatt til å være egnet for komponenttransport [51].

Plassering langs eksisterende motorvei kommer ikke bare med tekniske fordeler. Videre observeres fordeler knyttet til de samfunnsmessige temaene, lokal aksept og vindkraftdebatten. En middelmådig lokal aksept for landbasert vindkraft, samt vindkraftdebattens medieoppmerksomhet, fører til at lokasjoner med et lavere konfliktnivå burde vurderes. Videre observeres det at avstand til bolig og naturinngrep er de største pådriverne for denne motstanden. Det er generelt få boliger i umiddelbar nærhet til E18, og videre kan disse områdene allerede anses som uattraktive i forbindelse med videre utbygging. Dette på grunn av støy og visuelt ubehag. Samtidig er dette områder hvor den nærliggende naturen i stor grad er berørt av motorveiens konsekvensutsreking. Det kan dermed tenkes at den lokale aksepten vil være større i slike områder, samtidig som det vil gi tekniske fordeler.

## 8.10 Metodekritikk

I dette delkapittelet presenteres en evaluering av de forskjellige metodene som er brukt i oppgaven. Evalueringen skal inneholde begrensinger, potensielle feilkilder og avdekke svakheter.

### 8.10.1 Litteratursøk

Det begrensede antall studier med denne metoden (GIS-MCDA) som undersøker Norge som studieområde førte til at studier fra utlandet ble undersøkt. Disse studiene vurderes som sterke med relevante metoder og referanser. Likevel vil forskjellige land ha forskjellig utgangspunkt. Klima og natur er en åpenbar forskjell, men også sosiale og politiske aspekter vil variere. Land med høyere grad av autoritet vil ikke behøve de samme forholdsreglene, og trenger ikke forholde seg til holdninger hos lokal befolkning. Avgjørelser på hvor kraftverkene skal bygges kan tas basert kun på optimal kraftproduksjon. Dermed kan systemet forenkles. I tillegg vil ulike land bli påvirket av forskjellige forskrifter og regelverk, samt holdning til vindkraft. Utfallet av slike studier påvirkes i stor grad av disse fenomenene. Dette er tatt til betraktning i denne oppgaven, men det fører til at direkte sammenlikninger kan være utfordrende.

Det gjennomførte litteratursøket har vært noe begrenset ved at den kun omfatter åtte studier. På den andre siden er innholdet i den utvalgte litteraturen vurdert som svært relevant i forhold til oppgavens metodikk. Dette gjelder spesielt GIS-MCDA, hvor det for hver av de undersøkte studiene ble flere gjentakelser som bekreftet funnene. Dermed ble det gjort en antagelse på at de viktigste faktorene var dekket, og arbeidet gikk videre til modellkjøringen. Litteratursøket kunne vært utvidet på flere måter. Blant annet kunne ytterligere studier og søkemotorer blitt inkludert i søket. Dette ble ikke gjort på grunn av oppgavens omfang, samt at de øvrige metodene i denne studien viste seg å være tidkrevende.

### 8.10.2 Semistrukturert intervju

Denne intervjuutypen ble benyttet for å oppdrive informasjon som ellers var vanskelig å finne i litteratur. Grunnen til at intervju av semistrukturert karakter ble valgt, er at det er et kompromiss av utfall. Strukturerte intervjuer krever konkrete forhåndsbestemte spørsmål. Dette kan frata intervjuobjektens mulighet til å svare fritt og bidra med sin kompetanse. Likevel er dette en god mulighet til å strukturere intervju slik at det kan oppdrives eksakt ønskelig informasjon. Dette krever dog høy faglig kompetanse, og er en risiko som er valgt å unngå. Videre var det en mulighet å benytte seg av ustrukturerte intervjuer. En slik metode er oppsatt mer som en uformell samtale, og det risikeres at en ikke mottar informasjon av høy nok kvalitet. Fordelen med denne intervjuvarianten er at det krever lite til ingen forberedelsesarbeid.

Denne metodikken omfatter kun to intervjuobjekter i denne studien. Dette er forholdsvis få, men ikke nødvendigvis utilstrekkelig. Manglende informasjon fra øvrige metoder ble dekket av disse intervjuene. Dermed ble det nødvendige grunnarbeidet for modellkjøringen ferdigstilt ved hjelp av disse. Likevel ble det ikke hentet mange resultater fra intervjuene. Det er derfor mulig mer informasjon kunne blitt hentet, dersom metoden var utvidet eller en annen intervjuform ble benyttet. Dette ble ikke gjort, da fokuset i denne studien har vært å gjennomføre modellkjøringen.

### 8.10.3 Sensitivitetsanalyse

Som tidligere nevnt er sensitivitetsanalyse en viktig del av en MCDA-gjennomføring. Inkludert i en slik analyse er endring av de anvendte faktorene, samt observasjon av påvirkningen dette gir på resultatene. Fra de fem gjennomførte GIS-analysene observeres det forventede endringer i resultatene ved endring av de ulike kriterienes vektinger, hvor en kan se at kart-resultatene sammenfaller med ekspertenes prioriteringer. Til tross for at sensitiviteten er undersøkt ved at ulik vekt er tatt i bruk, er det mulig at sensitivitetsanalysen kunne blitt utført grundigere. Bakgrunnen for denne påstanden er den manglende endringen av poengscorekravene til de ulike kriteriene. Ved en mer fullstendig undersøkelse ville det vært hensiktsmessig å undersøke hvordan endringer av disse egenskapene ville påvirket de endelige resultatene.

### 8.10.4 FAHP og spørreskjema

Selv om inkludering av FAHP-prinsippet i modellen har som formål å adressere partiskhet hos ekspertene, vil det fremdeles være subjektivitet knyttet til de ulike språklige utsagnene. Eksempelvis kan det være ulikt hvordan en tolker utsagnet *noe viktigere*. I tillegg er det inkludert de interpolerte verdiene 2, 4, 6 og 8 som ikke er tilknyttet noe språklig utsagn. Den manglende forklaringen på disse verdiene kan lede til videre ulikhet i tolkning.

Det kan også være forstyrrelser i resultatet grunnet misforståelser mellom intervjuer og respondent. I forbindelse med gjennomføringen av FAHP-undersøkelsene, kan det oppstå misforståelser avhengig av spørreskjemaets formulering. Eksempelvis kan *Avstand til veinett (C3)* tolkes som utnyttelse av eksisterende veinett som infrastruktur til frakt, konstruksjon og vedlikehold. Altså at kriteriet vil ha en bedre vurdering desto mer nærliggende, avhengig av at det ligger utenfor sikkerhetsdistansen. Det er en slik tolkning som er tatt i bruk ved egnethetsvurderingen i denne studien. På den andre siden er det mulig å tolke dette kriteriet slik at egnetheten øker med avstanden. Grunner til dette kan være risikoer knyttet til iskast eller visuell forurensning i nærhet av trafikk.

Produksjon av et vagt spørreskjema kan føre til tvetydighet. Samtidig kan det ved overdrevne forklaringer og spesifiseringer føre til påvirkning av intervjuobjektene. Derfor kreves en balanse i formuleringen slik at intervjuobjektet får frie tøyler til å bidra med sin kompetanse. Dette er grunnen til at skjemaet har den valgte detaljgraden, til tross for risikoen knyttet til subjektivitet.

### 8.10.5 Poengsetting av kriterier

Poengene som definerer egnethet i modellen, er et usikkerhetsmoment i studien. Først og fremst er egnethetsutsagnene, som poengene er basert på, utsatt for subjektivitet. Det er eksempelvis vanskelig å definere hva en uegnet avstand til bebyggelse er. Videre benytter annen litteratur flere nivåer enn de fem brukt i denne studien. Dette er fordi det ble valgt å bruke større intervaller for hvert poeng for å unngå for mange nyanser, som kan gå utover lesbarheten. Minimum- og maksimumsverdier i skalaen er definert og dokumentert grundig. Disse er basert på studier fra litteratursøket, samt informasjon fra kapittelet for kunnskapsbakgrunn. En større svakhet er hvordan mellomnivåene defineres. Disse er forholdvis jevnt fordelt for verdiene til de fleste kriteriene. Dette fører til at mesteparten av skalaene befinner seg innenfor verdier som eksisterer i studieområdet. Det er mulig dette gjør denne modellen spesifikk for dette området, og dermed ikke er like gunstig å benytte ved undersøkning av andre områder. Dersom modellen hadde vært utformet for bruk i hele

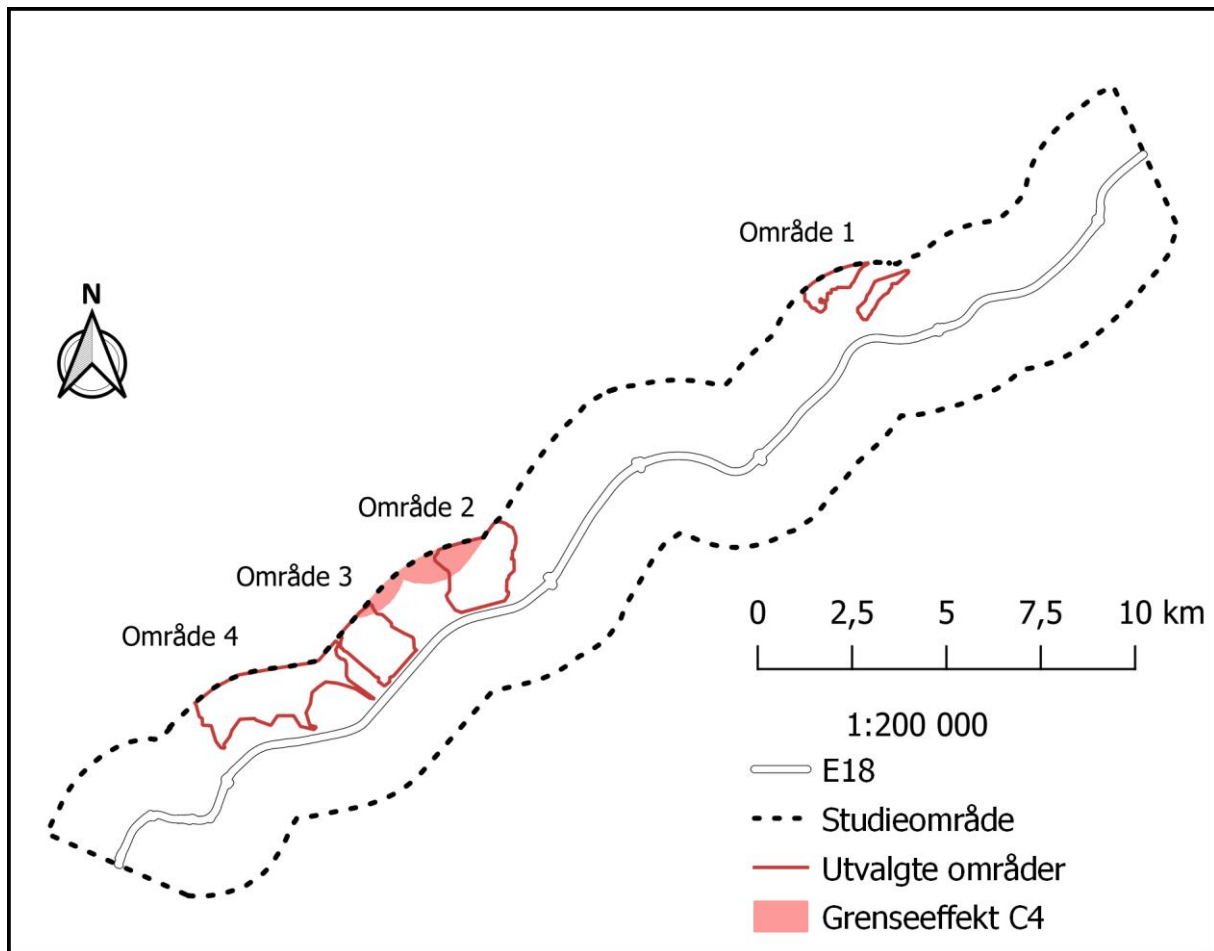
Norge, hadde studieområdet resultert i ensfarget kart. Derfor ble denne skalaen brukt for å øke kvaliteten av resultatene for det aktuelle studieområdet.

#### 8.10.6 Grenseeffekten

Grenseeffekten kan påvirke romlige analyser slik at resultatet blir endret i områdene nær analysens geografiske grense [97]. For å minimere denne problematikken er det god praksis at analysen gjennomføres over et større område enn selve studieområdet. Her er analysen gjennomført over hele arealet til kommunene Kristiansand, Lillesand og Grimstad. Dette til tross for at studieområdet er avgrenset til et mindre område langs E18. Bakgrunnen for at en avgrensning på 2000 meter ut fra veien ble valgt, er at dette gir en bufferavstand på over 600 meter fra kommunegrense til studieområdet på det korteste. Ettersom dette er lengre enn minstekravet til distanse for de fleste restriksjonene, vil eventuelle restriksjoner som skulle vært i grenseområde bli irrelevante. Dette vil være gjeldende for sikkerhetsdistansen til vei, strømnnett, jernbane og bygg som alle har minstekrav på mindre enn 600 meter. Lufthavn har en sikkerhetsavstand på 2500 meter, og det kunne dermed tenkes at studieområdet burde ligge på denne distansen fra kommunegrense. Denne bufferavstanden er likevel ikke brukt ettersom undersøkelser er gjennomført angående lufthavner, og det er fastslått at lufthavner ikke vil påvirke resultatet i det valgte studieområdet. Angående resten av restriksjonene er de gjeldende for hele arealer i motsetning til sikkerhetsdistanser, dermed vil disse restriksjonene ikke bli påvirket av grenseeffekten.

Til tross for at grenseeffekten er motvirket i forbindelse med de valgte restriksjonene, vil den fortsatt kunne påvirke egnetheten for de kriteriene der poeng er gitt basert på distanser på over 600 meter. Dette gjelder da for *Avstand til veinett (C3)*, *Avstand til strømnnett (C2)* og *Avstand til bebyggelse (C4)*. Kriteriene *C2* og *C3* har en synkende egnethet desto lengre avstand, dette gjelder så lenge avstanden er større enn sikkerhetsdistansen. Dermed kan områder nær kommunegrensene ha blitt tilegnet en lavere egnethet enn det som stemmer overens med realiteten, og at både vei og strømnnett ligger nærmere enn det kommer frem fra analysen. *C4* har derimot en poengsetting som gir lavere poengsum desto nærmere bebyggelse en er. Derfor vil kriteriet kunne inneha en lavere egnethet enn det som presenteres fra analysen.

Det er gjennomført en undersøkelse ved bruk av QGIS for å fastsette hvilke områder som kan være under påvirkning av grenseeffekten, slik at disse områdene kan undersøkes hvis aktuelt. Det er gjort en analyse for påvirkningsområde angående kriteriene *C2* og *C3* hvor det er undersøkt hvilke deler av arealet til studieområdet som ligger nærmere kommunegrensen enn 1250 meter, som er laveste grense for poengsetting i disse kriteriene. Dette er også gjort for kriterium *C4* hvor denne grensen er satt til 1400 meter, som er distansen som gir høyest poengsum til dette kriteriet. For *C4*, som er kriteriet utsatt for størst påvirkning, vil det være omtrent 1,8 km<sup>2</sup> som kan være under mulig påvirkning av grenseeffekten. Dette tilsvarer 1,24 % av det totale studieområdet, og anses dermed ikke som en stor konsekvens. Av denne grunn er studieområde uendret fra 2000 meter ut ifra E18. Det er gjort grundigere undersøkelser der områder innenfor grenseeffektens påvirkning blir vurdert som aktuelle for vindkraft. På de undersøkte flyfotoene dukker det ikke opp noen umiddelbare egenskaper som vil kunne gi en stor konsekvens. Figur 33 nedenfor visualiserer områdene under påvirkning av grenseeffekten i forbindelse med *avstand til bebyggelse (C4)*, ettersom dette er kriteriet med høyest rekkevidde.



Figur 33: Områder som kan bli påvirket av grenseeffekten

#### 8.10.7 Strømnettets kapasitet og datagrunnlag

Kriteriet *Avstand til strømnett (C2)* er i gjennomsnitt vektlagt som det tredje viktigste kriteriet av de fem som er involvert i analysen. Dessuten har det en vektning på over 20 % hos ekspert 1, 2 og 4. Av denne grunn anses C2 som en faktor av betydelig viktighet, og de eksisterende manglene i datagrunnlaget kan dermed anses som en svakhet.

Datasettet «Nettanlegg» [87] er brukt for å analysere avstand til strømnett. Datasettet inneholder ikke tilgjengelig kapasitet for kablene. Dette gjør at eksisterende kabler ikke nødvendigvis kan brukes til transport av energi fra nye vindkraftparker selv om de er nærliggende. Dermed kan lokasjoner i realiteten være mindre egnet enn de er vurdert til i GIS-analysen. Likevel kan det antas at det vil være enklere å oppgradere eksisterende strømnett fremfor å bygge nye traseer. Annen manglende informasjon er beliggenheten til jordkabler, ettersom dette regnes som sensitiv informasjon. Dermed kan det være tilgjengelig kabelnett i områder som ikke er vurdert som nærliggende til strømnett. Dermed kan det i realiteten være lokasjoner som er mer egnet enn det som kommer frem i resultatene.

Inkludert i «Nettanlegg» ligger også beliggenheten til master, sjøkabler og transformatorstasjoner. Dette er ikke tatt hensyn til i analysen. Mastene følger samme trasé som kablene og vil dermed ikke gjøre noe utslag i analysen som er gjennomført. Transformatorstasjonene er heller ikke undersøkt



Ettersom disse ikke er tatt hensyn til i den undersøkte litteraturen, og er dermed ikke regnet som å inneha en høy viktighet. Sjøkablene er også utelatt fra analysen ettersom dette ville vært mer relevant hvis oppgaven ikke var avgrenset til vindkraft på land.

#### 8.10.8 Overbegrensning

Denne oppgaven inkluderer alle restriksjonene i forkant av modellkjøringen. Dette gjør at man utelukker uegnede områder med en gang, og man ser tidlig om vindkraft er gjennomførbart i det aktuelle studieområdet. En ulempe med denne fremgangsmåten er at en ikke får noe resultat som viser egnetheten i de begrensede områdene. Dette gir utfordringer dersom unntak i restriksjonene skal vurderes til fordel for god egnethet. Følgelig må en ny analyse gjennomføres dersom endringer eller unntak i restriksjonene skulle fremtre. Det er mulig at områder, vurdert som begrenset fra GIS-analysen, i praksis kan brukes til vindkraft dersom unntak gjøres.

Ali et al. [70] har brukt en annen tilnærming for å løse denne problemstillingen. I deres studie fra Sør-Korea er det ikke inkludert restriksjoner i forkant av GIS-analysen. De velger heller å kjøre modellen uten, for så å velge ut en håndfull lokasjoner som har et maksnivå på en definert egnethetsskala. Etter at disse er identifisert, undersøkes det om disse lokasjonene inneholder områder som er uaktuelle. Dette fører til at en i praksis får to modeller. Den første modellen finner egnede lokasjoner med deres syv kriterier tatt til betraktning. Den andre vil undersøke om det finnes begrensede områder som forhindrer utbygging av turbiner. Det blir deretter gjort en vurdering i etterkant hvorvidt de begrensede områdene kan vike for vindkraft eller ikke.

Som det kommer frem fra GIS-analysen er mesteparten av studieområdet begrenset for vindkraft. Det kan dermed være gunstig å gjøre en mer undersøkende analyse hvor man kategoriserer veiene og bygningene i større grad. Det er mulig at flere av bygningene som ligger utenfor byer og tettsteder kan være enkeltstående skur, lagringsplasser osv. I GIS-modellen er alle bygninger kategorisert likt, med samme vurderingskrav. Ettersom hovedargumentet for det valgte minstekravet til avstand er basert på støy, vil dette være av mindre viktighet for bygninger der mennesker ikke oppholder seg. Alle disse enkeltstående bygningene vil da med en minsteavstand på 600 meter begrense et område på 1,13 km<sup>2</sup> for kun en bygning. Når en undersøker den uvektede egnetheten for kriteriet *avstand til bebyggelse (C4)*, som visualisert i figur 21, observeres flere grå sirkler. Altså områder hvor det er en enkeltstående bygning med sin buffersone av begrenset område. Ved nærmere undersøkelser av denne bebyggelsen kan det dukke opp muligheter for å tilgjengeliggjøre mer areal. Samme problemstilling kan også oppstå i forbindelse med sikkerhetsavstand til veier, hvor en kan observere i figur 21 at det dannes en 500 meter bred kanal med begrenset område langs alle veier. Det er mulig at flere av veiene er i sjelden eller ingen bruk, og at kravet dermed ikke vil inneha en like stor viktighet. Det vil dessuten ikke være nødvendig med de samme kravene dersom det besluttes at eksisterende vei skal brukes som adkomstvei til en eventuell vindpark.

#### 8.10.9 Nybygg

Kartet *Agder og Telemark 2021* er brukt for alle flyfoto. Dette kartet er brukt slik at en får et kart som dekker hele studieområdets areal. Likevel finnes det et nyere kart, *Kristiansand 2022*, men det dekker kun Kristiansand kommune [101]. På dette kartet observeres det at i område 4 har det dukket opp et nytt bygg innenfor det nevnte pukkverket [101]. Siden pukkverket ligger på grensen til området ville dette hatt stor påvirkning på kriteriet avstand til bebyggelse. Samtidig kan det

argumenteres for at dette anses som et industriområde og dermed vil lokasjonen være bedre egnet for vindturbiner i nærheten. Det er mulig det er flere slike tilfeller i studieområdet.

## 9 Konklusjon

I dette kapitlet presenteres konklusjonene som er tatt i forbindelsene med forskerspørsmålene i kapittel 4. Først besvares de tre underspørsmålene før det avsluttes med hovedspørsmålet.

### 9.1 Hvilke faktorer er de mest betydningsfulle for valg av lokasjon til et vindkraftverk?

De mest betydningsfulle faktorene ved lokalisering av et vindkraftverk vil være tilgjengelig vindressurs, avstand til bebyggelse, nærhet til veinett, samt strømnnett og helning i terrenget. Videre må det tas hensyn til lokale holdninger, flyplasser, naturvernområder, kulturminner, militære områder, nedbørsfelt til drikkevann og generelle vannforekomster. En bufferavstand for iskast vil også være nødvendig å ha for hver enkelt turbin i hele Norge.

### 9.2 Hvordan vektlegges de ulike faktorene?

Blant fagfolk er de ulike faktorene vektlagt forskjellig, og vektingen vil avhenge av subjektive interesser. Det kan konkluderes med at vindressurs og avstand til bebyggelse vektet tyngst. Videre er vindressursene nødt til å være tilstrekkelig for at et vindkraftprosjekt blir lønnsomt. Blant øvrige faktorer er det stor ulikhet i prioritering.

### 9.3 Hvordan påvirker lokale holdninger egnetheten?

Lokal aksept er avgjørende i forbindelse med gjennomføringen av et vindkraftprosjekt og holdningene vil påvirke egnetheten i svært høy grad. Motstand hos lokalbefolkning er tilstrekkelig for å skrinlegge et vindkraftprosjekt, uavhengig av øvrig egnethet i området. Disse holdningene er utsatt for kontinuerlige endringer, og må vurderes for hvert enkelt prosjekt.

### 9.4 Hvordan er egnetheten til områdene langs E18 Kristiansand-Grimstad for vindkraftverk?

Ved besvarelse av underspørsmålene, samt gjennomføring av en GIS-MCDA-studie, er det konkludert med at studieområdet i hovedsak har en begrenset egnethet for vindkraft. Likevel er det trukket frem fire utvalgte områder (figur 23) som vil være de mest egnede innenfor studieområdet. Disse områdene er vurdert som egnede i henhold til detaljnivået brukt i denne studien, som er gjeldende for vindkraftprosjekt i tidligfase.

## 10 Anbefalinger

Ettersom den gjennomførte studien er en lokasjonsstudie gjeldende for tidligfase, vil det være nødvendig å gjennomføre ytterligere arbeid dersom det skulle blitt aktuelt å bygge ut vindkraft i studieområdet. Det videre arbeidet som må gjøres vil være kartlegging av lokal aksept og kraftbehov. Disse aspektene er nødvendig å adressere for å sikre konsesjon til realisering av vindkraftprosjekter. Videre vil det være nødvendig å gjøre grundigere vurderinger av de utvalgte områdene. Dette inkluderer vindkraftteknikk, eiendomsproblematikk og reguleringsplaner som alle er aspekter som er utenfor denne studiens omfang. Hvis lokal aksept og energibehov ligger til grunn, i tillegg til at de grundigere undersøkelsene viser en fortsatt god egnethet på de valgte områdene, vil en kunne gå videre i prosessen. Dette innebærer design av kraftverksutforming og iverksettelse av konsesjonssøknad.

Denne GIS-MCDA-studien fungerer som en universell modell som kan bruke brukes på et nasjonalt nivå. Dette på bakgrunn av at de inkluderte faktorene, og den brukte metodikken ikke er spesifikk kun for studieområdet. Det vil også være mulig for videre utvikling. Eksempelvis kan det legges til flere faktorer eller produseres stedsspesifikke vektinger og poengvurderinger. Videre kan samme metodikk også iverksettes i forbindelse med andre lokasjonsstudier som lokalisering av solkraft, kjernekraft, generell infrastruktur ol. Riktignok med sine egne tilhørende faktorer, vektinger og poengvurderinger.

## 11 Referanser

- [1] NRK. "Russland og EU." <https://www.nrk.no/nyheter/russland-og-eu-1.11807268> (accessed 19.05, 2023).
- [2] H. T. Skjeseth. "Slik løser de energikrisen i Europa." nrk. <https://www.nrk.no/urix/slik-loser-de-energi-krisen-i-europa-1.16060757> (accessed 14.05, 2023).
- [3] F. A. Henriette Birkelund, Jarand Hole, Dag Spilde, Silje Jelsness, and F. H. A. o. I. E. Haukeli, "LANGSIKTIG KRAFTMARKEDSANALYSE 2021 – 2040," 2021. [Online]. Available: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021\\_29.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_29.pdf).
- [4] M. Holstad. "Rekordhøy strømpris i 2022 – dempet av strømstøtte." <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/rekordhoy-strompris-i-2022--dempet-av-stromstotte> (accessed 19.05, 2023).
- [5] K. Hofstad. "Vindkraftverk." <https://snl.no/vindkraftverk> (accessed 15.05, 2023).
- [6] FN-sambandet. "Parisavtalen." FN-sambandet. <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (accessed 20. april, 2023).
- [7] FN-sambandet. "FNs bærekraftsmål." FN. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (accessed 14.04, 2023).
- [8] NRK. "Debatten 4. juni 2020 - Stormfullt om vindraft." <https://kildekompasset.no/references/online-video/> (accessed 27.02, 2023).
- [9] FN-sambandet. "Bærekraftig utvikling." <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling> (accessed 27.02, 2023).
- [10] FN-sambandet. "Ren energi til alle." FN. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle> (accessed 27.04, 2023).
- [11] B. Amundsen. "Nå er vindkraft den billigste energiformen i Norge." <https://forskning.no/finans/na-er-vindkraft-den-billigste-energiformen-i-norge/2081656> (accessed 12.05, 2023).
- [12] Norges vassdrag- og energidirektorat. "Vannkraft." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vannkraft/> (accessed 12.05, 2023).
- [13] International Energy Agency. "World Energy Balances: Overview." <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview/world> (accessed 12.05, 2023).
- [14] FN-sambandet. "Anstendig arbeid og økonomisk vekst." FN. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/anstendig-arbeid-og-oekonomisk-vekst> (accessed 19.04, 2023).
- [15] T. C. C. Dorothy Sutherland Olsen, Pål Børing, and K. Rørstad, "Digitalisering og fremtidige kompetansebehov i kraftnæringen," Tech Rep April 2019 2019. [Online]. Available: <https://www.fornybarnorge.no/contentassets/59e38ee195ac430bae957e4ed2da9665/nifuarbeidsnotat2019-4.pdf>
- [16] Norges vassdrags- og energidirektorat. "Kraftproduksjon fra vindturbiner." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kraftproduksjon-fra-vindturbiner/> (accessed 06.02, 2023).
- [17] Statistisk sentralbyrå. "Inntekter fra olje og gass." <https://www.ssb.no/energi-og-industri/faktaside/olje-og-energi> (accessed 07.02.23).
- [18] FN-sambandet. "Industri, innovasjon og infrastruktur." FN. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur> (accessed 28.04, 2023).
- [19] NVE. "Arealbruk for vindkraftverk." NVE. <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/arealbruk-for-vindkraftverk/> (accessed 10.04, 2023).
- [20] "Retningslinjer for planlegging og lokalisering av vindkraftanlegg," 2007.
- [21] K. Vigen. "Vindkraften venter på nye regler." <https://frifagbevegelse.no/nettverk/vindkraften-venter-pa-nye-regler-6.158.854752.5aed03ab51> (accessed 13.04, 2023).

- [22] S. K. Sissel B. Jakobsen *et al.*, "FORSLAG TIL NASJONAL RAMME FOR VINDKRAFT," NVE, Teknisk rapport 01.04 2019. [Online]. Available: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019\\_12.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_12.pdf)
- [23] K. Hofstad. "NIMBY." <https://snl.no/NIMBY> (accessed 29.05, 2023).
- [24] NVE. "Kraftproduksjon." <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/> (accessed 06.03, 2023).
- [25] Norskpetroleum. "ARBEIDSPASSER." <https://www.norskpetroleum.no/okonomi/arbeidsplasser/> (accessed 10.04, 2023).
- [26] NVE. "Samisk reindrift og annen utmarksbruk." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/samisk-reindrift-og-annen-utmarksbruk/> (accessed 10.05, 2023).
- [27] Villrein. "Om villrein." Norsk villreinsenter. <https://villrein.no/om-villrein/> (accessed 10.05, 2023).
- [28] I. L. Stranden. "Protesterer mot vindmøller - melder seg inn i Norges Naturvernforbund." NRK. <https://www.nrk.no/trondelag/protesterer-mot-vindmoller---melder-seg-inn-i-norges-naturvernforbund-1.14416169> (accessed 27.02, 2023).
- [29] I. L. Stranden. "24 mil ny vei skjærer gjennom vill natur." NRK. <https://www.nrk.no/trondelag/24-mil-med-vill-natur-ma-vike-for-gigantutbygging-i-kystfjell-1.14400167> (accessed 07.02, 2023).
- [30] S. F. Skogvang. "Fosen-saken." <https://snl.no/Fosen-saken> (accessed 15.05, 2023).
- [31] N. Høyesterett. "Høyesterett i storkammer og plenum." <https://www.domstol.no/no/hoyesterett/om/behandlingen/plenum-og-storkammer/> (accessed 08.05, 2023).
- [32] M. B. Emrah Senel, Eilif Andreas Aslaksen, Lena Marja Myrskog. "Ekte mennesker lever med dette overgrepet hver dag." [https://www.nrk.no/sapmi/500-dager-siden-fosen-dommen\\_-na-aksjonerer-ella-marie-haetta-isaksen-departementet-1.16307645](https://www.nrk.no/sapmi/500-dager-siden-fosen-dommen_-na-aksjonerer-ella-marie-haetta-isaksen-departementet-1.16307645) (accessed 15.05, 2023).
- [33] O. S. Bergersen. "Departementet mener Fosen-dommen ikke gir grunnlag for å rive vindturbiner." <https://www.alinget.no/artikkel/departementet-mener-fosen-dommen-ikke-gir-grunnlag-for-aa-rive-vindturbiner> (accessed 09.05, 2023).
- [34] K. Hanssen. "Fosen-aktivister trapper opp. Politiet fjerner demonstranter utenfor Finansdepartementet." <https://www.aftenposten.no/norge/i/13J5vA/fosen-aktivister-trapper-opp-politiet-fjerner-demonstranter-utenfor-finansdepartementet> (accessed 09.05, 2023).
- [35] Wind Energy Technologies Office. "How Do Wind Turbines Work?" <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work> (accessed 10.04, 2023).
- [36] NVE. "Støy." NVE. <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/stoey/> (accessed 01. mars, 2023).
- [37] NVE. "Klima." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/klima/> (accessed 06.03, 2023).
- [38] Norges vassdrags- og Energidirektorat. "Data for utbygde vindkraftverk i Norge." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/data-for-utbygde-vindkraftverk-i-norge/> (accessed 23.02, 2023).
- [39] Energimyndigheten. "Produktion och utbyggnad." <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/marknadsstatistik/> (accessed 27.02, 2023).
- [40] Energistyrelsen. "Monthly Energy Statistics." <https://ens.dk/en/our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/annual-and-monthly-statistics> (accessed 27.02, 2023).
- [41] M. Holstad. "Betydelig nedgang i strømforbruket i 2022." Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet/artikler/betydelig-nedgang-i-stromforbruket-i-2022> (accessed 19.01, 2023).
- [42] J.-H. Teng and C.-L. Yu, "Assessments for the impacts and benefits of wind farm placement," in *TENCON 2005-2005 IEEE Region 10 Conference*, 2005: IEEE, pp. 1-6.

- [43] T.-M. Yeh and Y.-L. Huang, "Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP," *Renewable Energy*, vol. 66, pp. 159-169, 2014.
- [44] I. H. Waagaard, E. B. Christophersen, and I. Slungård, "Feasibility study for land-based wind power 2015 and 2025; Mulighetsstudie for landbasert vindkraft 2015 og 2025," 2008.
- [45] K. Vindteknikk, "Vindkart for Norge " 2009. [Online]. Available: [https://www.nve.no/media/2460/vind\\_120m\\_kartbok1b\\_4141.pdf](https://www.nve.no/media/2460/vind_120m_kartbok1b_4141.pdf).
- [46] Norges vassdrags- og energidirektorat. "Iskast fra turbiner." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/iskast-fra-vindturbiner/> (accessed 16.03, 2023).
- [47] H. Seifert, A. Westerhellweg, and J. Kröning, "Risk analysis of ice throw from wind turbines," *Boreas*, vol. 6, no. 9, pp. 2006-01, 2003.
- [48] M. Drapalik, L. Zajicek, and S. Purker, "Ice aggregation and ice throw from small wind turbines," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 192, p. 103399, 2021.
- [49] EWEA, *Wind Energy - The Facts*. UK: Earthscan, 2009.
- [50] NVE. "Direkte fysiske inngrep." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/arealbruk-for-vindkraftverk/direkte-fysiske-inngrep/> (accessed 08.02, 2023).
- [51] "Personlig kommunikasjon," ed, 2023.
- [52] Vestas. "V112-3.45 MW®." Vestas. <https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/V112-3-45-MW> (accessed 24.03, 2023).
- [53] Miljødirektoratet. "Norges verneområder." Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vernet-natur/norges-verneomrader/> (accessed 06.03, 2023).
- [54] EU. "Natura 2000." [https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm) (accessed 22.05, 2023).
- [55] Heinseter fjellstue. "Velkommen til fjells." <https://www.heinseter.no> (accessed 16.04, 2023).
- [56] Miljødirektoratet. *Naturvernområder*. [Online]. Available: <https://register.geonorge.no/produktspesifikasjoner/naturvernomrader>
- [57] NVE. "Dyreliv." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/dyreliv/> (accessed 08.02, 2023).
- [58] NVE. "Fugl." <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/fugl/> (accessed 08.02, 2023).
- [59] I. E. Fjeld. "Tysk vindkraft dreper 1200 tonn insekter årlig." <https://www.nrk.no/norge/tysk-vindkraft-dreper-1200-tonn-insekter-arlig-1.14565780#:~:text=1200%20milliarder%20insekter%20årlig.,etterlater%20synlige%20rester%20på%20rotorbladene.&text=1200%20tonn%20insekter%20dør%20i,som%20tyske%20forskere%20har%20gjort> (accessed 08.05, 2023).
- [60] F. Trieb, "Interference of Flying Insects and Wind Parks. Study Report," *Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt (DLR)*, 2018.
- [61] G. P. Corten and H. F. Veldkamp, "Insects can halve wind-turbine power," *Nature*, vol. 412, no. 6842, pp. 41-42, 2001.
- [62] R. K. Didham *et al.*, "Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward," *Insect Conservation and Diversity*, vol. 13, no. 2, pp. 103-114, 2020.
- [63] Knut A. Rosvold and J. H. Halleraker. "konsesjon." [https://snl.no/konsesjon\\_-\\_kraftanlegg](https://snl.no/konsesjon_-_kraftanlegg) (accessed 09.05, 2023).
- [64] Norges vassdrags- og energidirektorat. "Konsesjonsbehandling av vindkraftverk på land." <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-og-oppfoelging-av-vindkraft-paa-land/konsesjonsbehandling-av-vindkraftverk-paa-land/> (accessed 08.04, 2023).
- [65] C. Dempsey. "What is GIS?" GISlounge. <https://www.gislounge.com/what-is-gis/> (accessed 25.04, 2023).
- [66] E. Ørstavik. "geografisk informasjonssystem." SNL. [https://snl.no/geografisk\\_informasjonssystem\\_-\\_GIS](https://snl.no/geografisk_informasjonssystem_-_GIS) (accessed 25.04, 2023).



- [67] J. S. Dodgson, M. Spackman, A. Pearman, and L. D. Phillips, "Multi-criteria analysis: a manual," 2009.
- [68] S. Ryan. and E. Nimick. "Multi-Criteria Decision Analysis and GIS." <https://storymaps.arcgis.com/stories/b60b7399f6944bca86d1be6616c178cf> (accessed 05.05, 2023).
- [69] Pail Bjørn Andersen. "Fuzzy-logikk." <https://snl.no/fuzzy-logikk> (accessed 16.05, 2023).
- [70] S. Ali, S.-M. Lee, and C.-M. Jang, "Determination of the most optimal on-shore wind farm site location using a GIS-MCDM methodology: Evaluating the case of south korea," *Energies*, vol. 10, no. 12, p. 2072, 2017.
- [71] N. S. B. Kühn and M. Vasstrøm, "Perspektiver på landbasert vindkraft i Agder," 2022.
- [72] H. Lindhjem, A. Dugstad, K. Grimsrud, G. Kipperberg, and S. Navrud, "Aktuell analyse Medvind for landbasert vindkraft eller stille før ny storm?."
- [73] K. F. Sotiropoulou and A. P. Vavatsikos, "Onshore wind farms GIS-Assisted suitability analysis using PROMETHEE II," *Energy Policy*, vol. 158, p. 112531, 2021.
- [74] M. Szurek, J. Blachowski, and A. Nowacka, "GIS-based method for wind farm location multi-criteria analysis," *Mining science*, vol. 21, 2014.
- [75] D. Doljak, G. Stanojević, and D. Miljanović, "A GIS-MCDA based assessment for siting wind farms and estimation of the technical generation potential for wind power in Serbia," *International Journal of Green Energy*, vol. 18, no. 4, pp. 363-380, 2021.
- [76] M. Ifkirne, H. El Bouhi, S. Acharki, Q. B. Pham, A. Farah, and N. T. T. Linh, "Multi-Criteria GIS-Based Analysis for Mapping Suitable Sites for Onshore Wind Farms in Southeast France," *Land*, vol. 11, no. 10, p. 1839, 2022.
- [77] M. Baseer, S. Rehman, J. P. Meyer, and M. M. Alam, "GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia," *Energy*, vol. 141, pp. 1166-1176, 2017.
- [78] U. Malt and S. Grønmo. "strukturert intervju." [https://snl.no/strukturert\\_intervju](https://snl.no/strukturert_intervju) (accessed 22.04, 2023).
- [79] Multiconsult, "Lillesand vindkraftverk, Aust-Agder," E18 Vindpark AS,, Konsesjonssøknad 121193-TVF-RAP-0001 25.02.15; 2015. [Online]. Available: <https://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201501190/1382527>
- [80] SankeyMATIC. <https://sankeymatic.com/build/> (accessed 20.05, 2023).
- [81] Norkart. "KAN VI PLANLEGGE MER BÆREKRAFTIG MED GODE GIS-ANALYSER?" <https://www.norkart.no/2021/05/20/baerekraft-med-gis-analyser/> (accessed 28.03, 2023).
- [82] Kartverket. "Om Kartverket." <https://www.kartverket.no/om-kartverket> (accessed 23.02, 2023).
- [83] B. n. SF. *Jernbane - Banenettverk*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/jernbane-banenettverk/c3da3591-cded-4584-a4b1-bc61b7d1f4f2>
- [84] Forsvarsbygg, "Forsvarets skyte- og øvingsfelt land," ed. Geonorge, 2021.
- [85] Kartverket. *Lufthavner Flyplasser*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/lufthavner-flyplasser/8de1886c-2c54-4f1a-a527-566987ae7fbd>
- [86] NVE. *Vindressurser*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/vindressurser/21079f3d-81b8-405b-bfb1-c213d732fcfb>
- [87] Norges vassdrags- og energidirektorat, "Nettanlegg," ed. Geonorge, 2022.
- [88] Riksantikvaren. *Kulturminner - Freda bygninger*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/kulturminner-freda-bygninger/a4bfd879-120f-490e-9907-68ba870664b1>
- [89] Riksantikvaren. *Kulturminner - Kulturmiljøer*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/kulturminner-kulturmiljoer/17adbacac-bbb2-4efc-ab51-756573c8f178>
- [90] Riksantikvaren, "Kulturminner - Lokalteter, Enkeltminner og



Sikringssoner," ed. Geonorge, 2022.

- [91] Kartverket. *Elveg 2.0*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/elveg-20/77944f7e-3d75-4f6d-ae04-c528cc72e8f6>
- [92] Kartverket. *Administrative enheter kommuner*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/administrative-enheter-kommuner/041f1e6e-bdbc-4091-b48f-8a5990f3cc5b>
- [93] Statistisk sentralbyrå. *Arealbruk 2022*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/arealbruk-2022/a965a979-c12a-4b26-90a0-f09de47dbecd>
- [94] Miljødirektoratet. *Vannforekomster*. [Online]. Available: <https://register.geonorge.no/register/versjoner/produktark/norges-vassdrags-og-energidirektorat/vannforekomster>
- [95] Kartverket. *DTM 50*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/dtm-50/e25d0104-0858-4d06-bba8-d154514c11d2>
- [96] Norges vassdrags- og energidirektorat. *REGINE enhet*. [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/regine-enhet/8721cdac-f959-4adc-9d54-d3b770e5fa1e>
- [97] esri. "boundary effect." <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/boundary-effect#:~:text=%5Bdata%20quality%5D%20A%20problem%20created,nondiscrete%20or%20unbounded%20spatial%20phenomena>. (accessed 07.03, 2023).
- [98] Geonorge. "Tilgang og passord." <https://www.geonorge.no/kartdata/tilgang-og-passord/> (accessed 22.03, 2023).
- [99] Geonorge. "Oversikt over nasjonale parter i Norge digitalt." <https://www.geonorge.no/globalassets/geonorge2/partner/nasjonale-partner-i-norge-digitalt.pdf> (accessed 22.03, 2023).
- [100] Geonorge. "Brukerveiledning." [https://www.geonorge.no/aktuelt/om-geonorge/brukerveiledning/#slik\\_bruker\\_du\\_SOSI-filer](https://www.geonorge.no/aktuelt/om-geonorge/brukerveiledning/#slik_bruker_du_SOSI-filer) (accessed 07.03, 2023).
- [101] "FINN kart, Agder-og-Telemark-2021." <https://kart.finn.no/> (accessed 24.04, 2023).
- [102] NVE, "Intervju vindmøller," in *Masteroppgave*, K. O. Nicolai Neuman, Aleksander Maisenhølder, Ed., ed, 2023, p. 49.
- [103] RES-Group, "Intervju vindkraftverk," in *Masteroppgave*, K. O. Nicolai Neuman, Aleksander Maisenhølder, Ed., ed, 2023, p. 21.
- [104] Kristiansand kommune. "Vannforsyning." <https://www.kristiansand.kommune.no/navigasjon/bolig-kart-og-eiendom/vann-og-avlop/vannforsyning/> (accessed 16.03, 2023).
- [105] Lillesand kommune. "Drikkevann." <https://www.lillesand.kommune.no/drikkevannskvalitet.512922.no.html#:~:text=Drikkevann%20hentes%20via%20inntaksledninger%20i,og%20utgj%C3%B8r%2068%20km2>. (accessed 16.03, 2023).
- [106] Grimstad kommune. "Drikkevannet i Grimstad." <https://www.grimstad.kommune.no/tjenester/vann-avlop-og-renovasjon/drikkevann/> (accessed 16.03, 2023).
- [107] N. sikkerhetsmyndighet. "Forbudsområder for luftbårne sensorsystemer." NSM. <https://nsm.no/tjenester/kart-over-forbudsomrader-for-luftbarne-sensorsystemer/> (accessed 20.03, 2023).
- [108] NTB. "Nordmenn er blitt mer positive til vindkraft på land." <https://forskning.no/energi-klima-ntb/nordmenn-er-blitt-mer-positive-til-vindkraft-pa-land/2081065> (accessed 16.05, 2023).

## 12 Vedlegg

Alle vedlegg er lagt i tilhørende zip-fil.

Vedlegg 1: Godkjenning fra sikt med intervjuguide og samtykkeerklæring

Vedlegg 2: Norsk spørreskjema og engelsk questionnaire

Vedlegg 3: Utrekninger for FAHP-vektinger. (Excel-fil)

Vedlegg 4: Søkelogg for litteraturstudie

Vedlegg 5: A3-poster