

Hilmar Øverås Dalen

Kartlegging av egnede områder for boligutbygging i Sona i Stjørdal kommune

En GIS-basert multikriterieanalyse

Masteroppgave i Lektorutdanning i geografi

Veileder: Jan Ketil Rød

Mai 2019



Sammendrag

Masteroppgavens problemstilling er å kartlegge egnede områder for boligutbygging i Sona i Stjørdal kommune. En multikriterieanalyse (MKA) ved bruk av geografiske informasjonssystemer (GIS) ble benyttet for å avgrense aktuelle lokasjoner og bestemme egnetheten til disse. MKA er brukt i andre sammenhenger for å kartlegge egnede områder med andre formål. Metoden baserer kartleggingen på en rekke kriterier som peker ut egnede områder som tilfredsstillende kravene.

Høsten 2018 henvendte jeg meg til Stjørdal kommune. Vi kom fram til at lokalisering av boliger i Sona var en interessant sak å se nærmere på. Det fremkommer av kommuneplanens arealdel (KPA) for Stjørdal kommune at fremtidig boligutbygging i Sona er foreslått på et område sentralt i grenda. Representantene fra Stjørdal kommune ønsket en nøyere gjennomgang av området. Oppgavens problemstilling er basert på to forskningsspørsmål som oppstod under møtet med kommunen: Er kommunens foreslåtte område egnet for boligbygging? Finnes det andre steder i Sona som er mer egnede? Det foreslåtte området har en kjent historikk med utfordringer knyttet til flom. Klimaframskrivninger viser en markant økning i middelflommen for vassdrag langs norskekysten fra Østfold fylke til Troms fylke. Nedbøren har økt med 8 % i Norge siden år 1900 og flere områder har opplevd en økning i antall hendelser med kortvarig intens nedbør. Dette har ført til flere episoder med flom i små bratte vassdrag.

Analysen resulterte i fire lokasjoner innenfor studieområdet der boligutbygging kan foregå på i henhold til de gitte kriteriene. Indeksverdiene viser graden av egnethet for hver av disse lokasjonene. En lokasjon øst for kommunens foreslåtte område kom best ut i egnethetsanalysen. Dette området ble foreslått som alternativ lokasjon for boligutbygging i Sona.

Abstract

The aim of this master thesis is to map suitable areas for residential property development in Sona. By use of multi-criteria-analysis (MKA) in Geographic Information Systems (GIS), certain areas within the study area have been delineated and their suitability has been measured over an index value scale based on the given criteria. MKA has also been used in studies mapping suitability for other land uses. The method bases the mapping on several criteria that point out suitable areas that satisfy the requirements.

In the autumn of 2018, I contacted the municipality of Stjørdal. We decided to focus on locating suitable areas for residential properties in Sona. Stjørdal municipality has already proposed an area as location for further residential property development. The representatives from Stjørdal municipality wanted a more thorough review of the area. The main objective for this thesis is based on the following two research questions: Is the proposed area suitable even though the area has been exposed to flood events before? Should other locations in Sona be considered instead? The precipitation has increased by 8 % in Norway since the year 1900 and several areas have experienced an increase in flash floods. This has resulted in several flood events in steep and small river systems. The precipitation is expected to increase further in Norway towards the year 2100.

The analysis resulted in four locations within the study area that satisfies the demands given by the criteria. The index values indicate the degree of suitability within each location. A location east to the original area has been proposed as location for future residential property development in Sona.

Forord

Denne masteroppgaven markerer sluttstreken på min femårige lektorutdanning i geografi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Jeg vil beskrive prosessen bak masteroppgaven som lærerik, utfordrende og fin.

Jeg vil først rette en takk til min veileder Jan Ketil Rød for gode idéer og konstruktive tilbakemeldinger underveis i prosjektet. En takk gis også til Klas Kolden og Inger Theodora Kværnø ved Enhet for arealforvaltning i Stjørdal kommune for deres bidrag til utforming av problemstilling og informasjon om lokalisering av boliger.

Gode ord og støtte fra familie og venner har også hatt en stor betydning for realiseringen av masteroppgaven min.

Trondheim 9. mai 2019

Hilmar Øverås Dalen

Innholdsfortegnelse

Figurliste.....	xii
Tabelliste.....	xiii
Forkortelser.....	xiv
1 Innledning.....	15
1.1 Bakgrunn	15
1.2 Tema og samfunnsnytte	15
1.3 Problemstilling	16
1.4 Stjørdal kommunes fremgangsmåte for å foreslå boligutbygging på eiendommer i kommuneplanens arealdel	16
1.5 Multikriterieanalyse og geografiske informasjonssystemer	17
1.6 Tidligere studier og planleggingsanalyse i et historisk perspektiv	18
1.7 Oppgavens struktur.....	20
2 Områdebeskrivelse og motivasjon	23
2.1 Sona og studieområdet	23
2.2 Kommuneplanens arealdel	24
2.3 Observasjoner i Sona.....	25
2.4 Håndtering av utfordringer knyttet til klimaendringer.....	28
2.5 Flom i bekker og vassdrag.....	28
2.6 Sonavassdraget.....	29
3 Metode og material.....	31
3.1 Multikriterieanalyse.....	31
3.1.1 Lokaliseringsanalyse	31
3.1.2 Egnethetsanalyse	31
3.1.3 Vektet lineærkombinasjon	32

3.1.4 Analytisk hierarkisk prosess	34
3.2 Geografiske informasjonssystemer	36
3.3 Representasjon i GIS	37
3.3.1 Vektorrepresentasjon	37
3.3.2 Rasterrepresentasjon	38
3.3.3 Kartalgebra	38
3.3.4 Vektordatafunksjoner	40
3.4 Datainnsamling	40
3.4.1 Datasettenes opprinnelse og innhold	41
3.5 Dataanalyse	44
3.5.1 Avgrensing av studieområdet	44
3.5.2 Lokaliseringsanalysens material og gjennomføring	45
3.5.3 Egnethetsanalysens material og gjennomføring	49
3.5.4 Analytisk hierarkisk prosess	51
3.6 Etiske betraktninger	52
3.6.1 Personopplysninger	52
3.6.2 Betraktninger rundt GIS-analyser	53
3.6.3 Samfunnsmessige interesser	53
3.7 Metodekritikk	53
3.7.1 Metodekritikk rundt multikriterieanalyse	53
3.7.2 Betraktninger rundt datasettene	54
4 Resultater	57
4.1 Tilbakeblikk på problemstillingen	57
4.2 Studieområdet	57
4.3 Funn fra lokaliseringanalysen	58
4.4 Funn fra egnethetsanalysen	63
4.5 Lokaliseringsalternativene	66
5 Diskusjon	69
5.1 Hvordan besvarer resultatene problemstillingen?	69

<i>5.2 Metodens egnethet</i>	70
5.2.1 Betragtninger rundt lokaliseringsanalysen	70
5.2.2 Betragtninger rundt egnethetsanalysen.....	71
<i>5.3 Datatilgjengelighet og datakvalitet</i>	73
<i>5.4 Sterke og svake sider</i>	74
<i>5.5 Hva kunne vært gjort annerledes?</i>	75
<i>5.6 Videre forskning</i>	75
6 Avslutning	77
Litteraturliste	79
Vedlegg	85

Figurliste

Figur 1: Den foreslåtte eiendommen i KPA for framtidig boligutbygging i Sona.....	23
Figur 2: Kilnesbekken forlater eiendom (gnr. 220, bnr. 1) i et rør under jernbanen.....	25
Figur 3: Et av fire observerte elvetrinn i Sonelva.....	26
Figur 4: Opparbeidet jordvoll langs elvekanten	26
Figur 5: Bratte dalsider i Sona.....	27
Figur 6: Pilen angir det foreslåtte området i KPA.....	27
Figur 7: Stjørdalsvassdraget og Sonavassdragets utstrekning.....	30
Figur 8: Objekttyper innenfor vektorrepresentasjon	37
Figur 9: Høyde over havet kan representeres gjennom en DHM	38
Figur 10: Forskjellen mellom DHM og DOM	42
Figur 11: Studieområdet i Sona. Området er lokalisert sentralt i Stjørdal kommune.....	45
Figur 12: Data og verktøy benyttet i lokaliseringsanalysen	48
Figur 13: Inngangsdata og verktøy i prosessen bak egnethetsanalysen.	50
Figur 14: Studieområdets utbredelse.....	58
Figur 15: Områder utelukket av naturfarer, vann og dyrket mark.....	59
Figur 16: Områder utelukket av infrastruktur.....	60
Figur 17: Områder utelukket av bratt terrenghelning	60
Figur 18: Resultat fra lokaliseringsanalysen	61
Figur 19: Påviste naturfarer i den foreslåtte eiendommen i KPA.....	62
Figur 20: Kartene viser standardiserte verdier for kriteriene i egnethetsanalysen	64
Figur 21: Graden av egnethet for områdene som gikk videre til egnethetsanalysen.....	65
Figur 22: Fordeling av indeksverdier i hver av de fem kategoriene.....	66
Figur 23: Utbredelsen til den alternative lokasjonen for boligutbygging i Sona.....	68

Tabelliste

Tabell 1: Vektene til kriteriene i kartleggingen av sykkelfasiliteter i Milwaukee.....	20
Tabell 2: Minstekravene til uteoppholdsareal per boenhet etter type boenhet og sone.....	24
Tabell 3: Datasett som inngikk i analysen og hvor de er hentet fra.....	41
Tabell 4: Rangering av infiltrasjonsevnen til løsmassedatasettet og standardiserte verdier....	50
Tabell 5: Resultat fra parvis sammenligning av kriteriene i egnethetsanalysen.....	63
Tabell 6: Kriterievekter.....	63
Tabell 7: Gjennomsnittlig indeksverdi og areal til hver lokasjon.....	67

Forkortelser

AHP: Analytisk hierarkisk prosess

Bnr: Bruksnummer

Daa: Dekar (1 Dekar = 1000m²)

DHM: Digital høydemodell

DOM: Digital overflatemodell

Esri: Environmental Systems Research Institute

E14: Europaveg 14

FKB: Felles kartdatabase

FV20: Fylkesveg 20

FV26: Fylkesveg 26

GIS: Geografiske informasjonssystemer

Gnr.: Gårdsnummer

KPA: Kommuneplanens arealdel

LNFR-område: Landbruks-, natur-, friluftslivs- og reindriftsområde

MKA: Multikriterieanalyse

NGU: Norges geologiske undersøkelse

NSD: Norsk senter for forskningsdata

NTNU: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

NVE: Norges vassdrags- og energidirektorat

Regine: Register over nedbørfelt

SSB: Statistisk sentralbyrå

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

En masteroppgave er et stort stykke vitenskapelig arbeid. Av den grunn er valg av tema og metode viktig. Denne masteroppgaven står i stil med mine interesser og det jeg ønsket å fordype meg videre i. I starten av studiet ble vi introdusert for GIS (Geografiske informasjonssystemer). Jeg skjønnte raskt at masteroppgaven skulle være GIS-basert og jeg fordypet meg deretter i GIS-ennene som tilbys ved Institutt for geografi.

Arbeidet med prosjektet startet høsten 2018. Jeg kontaktet Stjørdal kommune og hørte om de hadde konkrete saker for en GIS-basert masteroppgave som jeg kunne ta utgangspunkt i. I et møte kom vi fram til at lokalisering av fremtidige boliger i grenda Sona var et passende prosjekt for begge parter å jobbe videre med i henhold til ressursene og tidsrammene avsatt til masteroppgaven.

1.2 Tema og samfunnsnytte

I skrivet Konsekvensvurdering Vedlegg til planbeskrivelsen for Stjørdal kommune kommer det fram at i «formannskapssak 143/12 er det gjort vedtak som forutsetter ytterligere grendefeltutbygging. Resultatet av vedtaket er: (...) nytt felt i Sona» (Stjørdal kommune, 2014, s. 41). Videre foreslås, med Stjørdal kommune som forslagstiller, at omtrentlig 11 dekar (daa) omdisponeres fra landbruks-, natur-, friluft og reindriftsområde (LNFR-område) til nytt grendefelt av boliger i Sona. Etter rådmannens vurdering kommer det frem at formannskapet over lengre tid har uttrykt ønske om videre opptrapping av boligutbygging i Sonaområdet. Det må gjøres tilrettelegginger dersom dette skal realiseres. Lokaliseringen bør være lagt så sentralt som mulig og det forutsees minimum fem boligenheter (Stjørdal kommune, 2014).

I kommuneplanens arealdel (KPA) 2013–2022 for Stjørdal kommune står det at boligutbygging i grendefelt Sona ikke kan finne sted før det er etablert tilfredsstillende vannforsyning og avløp. Området må også være sikret mot flom (Stjørdal kommune, 2017). På bakgrunn av vedtaket om ytterligere boligutbygging, og et ønske om vurdering av

risikobildet fra Stjørdal kommunes side, er det av samfunnsnyttig karakter å foreta en multikriterieanalyse (MKA) for dette området i Sona. Det er allerede utført noen sikringstiltak mot flom ved Sonelva. I tillegg renner stupbratte Kilnesbekken gjennom det aktuelle området og en undersøkelse av trusselen den eventuelt kan utgjøre, ved en ekstrem nedbørshendelse, er interessant å inkludere i analysen.

Valg av tema endte på lokalisering av fremtidig boligutbygging i Sona. Kommunen har vedtatt et nytt felt i Sona på eiendom med gnr. 220 og bnr. 1. Det ble utformet to hovedspørsmål tilknyttet denne saken. Spørsmålene ble hovedsakelig utformet på bakgrunn av manglende risiko- og sårbarhetsanalyse for området. Spørsmålene er:

1. Er videre boligutbygging på den foreslåtte eiendommen forsvarlig med tanke på flomfare?
2. Finnes det andre områder i Sona som egner seg bedre for boligutbygging?

1.3 Problemstilling

Masteroppgaven har som mål å besvare følgende forskningsspørsmål:

Hvilke områder i Sona fremkommer som egnede områder for boligutbygging ved bruk av GIS-basert multikriterieanalyse?

1.4 Stjørdal kommunes fremgangsmåte for å foreslå boligutbygging på eiendommer i kommuneplanens arealdel

Ifølge min kontaktperson i Stjørdal kommune skal foreslåtte eiendommer for boligutbygging i KPA utformes i tråd med en rekke krav. Man skal bruke kjent kunnskap, da må den ansvarlige involvere personer fra relevante fagområder. Administrasjonen kommer med forslag, men det er politikerne som tar beslutninger om hvilke områder som skal inn i planen. Utvelgelse av områder er hovedsakelig basert på private innspill. Kommunen unngår å foreslå

arealer som tilhører en grunneier som ikke ønsker utbygging på sin eiendom. Ekspropriasjon brukes kun dersom det er av stor samfunnsmessig betydning.

Fremtidig boligutbygging bør skje i nærheten av eksisterende bygninger og infrastruktur. Det anbefales ikke fra kommunens side å åpne opp for nye boligfelt på steder der det er ingenting fra før. Nye boligområder bør støtte opp om lokalmiljøet, ikke konkurrere med det. Det er formannskapet som leder prosessen. Planprogrammet og sluttproduktet utformes gjennom politiske prosesser. Det er formannskapet som legger begge dokumentene til høring, men kommunestyret vedtar planprogrammet og den endelige planen. Kommunens GIS-avdeling involveres i analysearbeidet. Konsekvensutredninger og risikoanalyser for alle områder baseres på offentlige data. Dersom en sak er kontroversiell blir det igangsatt dialog med offentlige myndigheter. Da vil vurderingene være basert på myndighetenes innsigelser.

Min kontaktperson har ansvar for neste rullering av KPA og vil foreslå følgende fremgangsmåte for politikerne: Først veiledningsmateriale med informasjon om kriterier som utarbeides av administrasjonen. Dette vedtas politisk og offentliggjøres. Alle kriteriene blir vurdert og innspillene som passer best blir lagt til i planen. Dette danner basis for planforslaget. Det er viktig å huske på at alt dette er politikk – faglige og objektive vurderinger kan lett avfeies. Siden det er politikerne som bestemmer prosessen, vil ofte denne prosedyren variere mellom kommuner.

1.5 Multikriterieanalyse og geografiske informasjonssystemer

Metoden som benyttes i kartleggingen er en MKA. Metoden stedfester områder som egner seg til et bestemt formål (Eastman, 1999). Egnetheten vurderes på bakgrunn av kriterier som det utvalgte området skal tilfredsstillere. Et kriterium gir grunnlag for bedømmelse eller klassifisering ("Kriterium," 2018). Hvilke kriterier man skal benytte i en sak og vektene til hvert kriterium varierer. For et udisponert naturområde vil eksempelvis formålet til et firma være å utnytte en ressurs for maksimal profitt. Mens en miljøorganisasjon vil trekke inn andre kriterier og vektlegge dem annerledes. Anvendelser av MKA kan være å bestemme den mest egnede lokaliseringen for et industrianlegg som tilfredsstiller de gitte kriteriene (Rikalovic, Cosic & Lazarevic, 2014). En annen anvendelse av metoden er å ta utgangspunkt i et område

og kartlegge hvilke arealbruk området egner seg til. Eksempler på kart som viser egnethet kan være for boligutbygging, industri og landbruk (Joerin, Thériault & Musy, 2001).

En GIS-basert MKA består vanligvis av to deler. I den første delen blir alle kriterier tilegnet en boolsk sann- eller usann-verdi. Disse verdiene er vanligvis 0 eller 1. Områder med verdien 0 tilsvarer uegnede områder og verdien 1 betegner egnede områder for videre analyse (Eastman, 1999). Uttrykket «Boolsk» kommer fra den engelske matematikeren George Boole (1815–1864). Han er kjent for å skille ut de grunnleggende lovene om mengdelære på midten av 1800-tallet. I praksis brukes dette ofte til å avgrense områder som ikke er egnet for videre vurdering. Den andre delen av en GIS-basert MKA tar for seg målbare kriterier som evalueres over kontinuerlige skalaer. Her foregår en egnethetsanalyse av områdene som gikk videre fra første del av MKA'en (Eastman, 1999).

1.6 Tidligere studier og planleggingsanalyse i et historisk perspektiv

Tradisjonen for natur- og kulturgeografiske analyser er lang. Mens landskapsanalyser for planlegging ble vanlig på 1900-tallet. Camillo Sittes (1834–1903) analyse av byrom kom ut i 1901 og er det første eksempelet på lag-på-lag-teknikk med formål om å analysere et områdes potensial (Stahlschmidt & Nellemann, 2009). En annen stor skikkelse innenfor arealplanlegging er Ian McHarg (1920–2001). Han tok sin mastergrad i byplanlegging i 1951 og arbeidet som universitetslektor ved universitetet i Pennsylvania hvor han etablerte instituttet for landskapsarkitektur. Han la fundamentet for økologi som basis for design og planlegging (The Cultural Landscape Foundation, 2018). I boka *Design with Nature* presenteres en stegvis fremgangsmåte for å utføre en planprosess. Hans metoder utviklet seg videre og anvendes i dag ved bruk av GIS ("Ian L. McHarg," 2009). Utviklingen av GIS åpnet opp for nye og forbedrede metoder til landskapsanalyse, samtidig bidrar GIS til å forenkle integreringen av analyseresultatene i planleggingen (Stahlschmidt & Nellemann, 2009).

Det er blitt utført lignende studier før ved bruk av GIS i egnethetsanalyser. Når det gjelder å kartlegge egnetheten for boligutbygging har en studie fra Yemen blitt utført. Her ble egnetheten for boligutbygging i byen Sana kartlagt. Kriteriene i MKA'en ble vektet ved bruk av analytisk hierarkisk prosess (AHP) (Al-Shalabi, Mansor, Ahmed & Shiriff, 2006). AHP ble også benyttet som metode for å bestemme vektene til kriteriene i egnethetsanalysen gjort i

Sona. Å vekte et kriterium vil si å bestemme den relative viktigheten til kriteriene. AHP kjennetegnes ved at vektene bestemmes av personer med spesiell ekspertise. Vektleggingen skjer gjennom parvis sammenligning av kriteriene, gjerne i et utfyllingsskjema. Kriteriene i studien fra Yemen ble kombinert sammen til en egnethetsindeks og resultatet er et kart som viser egnetheten for boligutbygging i studieområdet. Generelt kan egnethetsindekser bestå av ulikt antall nivåer. I studien fra Yemen er det fem nivåer: Svært godt egnede områder, godt egnede områder, egnede områder, mindre egnede områder og uegnede områder. Joerin et al. (2001) brukte også GIS-basert MKA for å kartlegge egnetheten for boligutbygging. Denne analysen ble utført i en liten region i Sveits. Forskerne bak studien skriver at planleggere står ovenfor kompliserte avgjørelser som skal tas kjapt siden de må ta hensyn til bærekraftig utvikling og økonomisk konkurransevne. Et sett med kart som viser egnethet er nyttige i slike situasjoner, da man kan kombinere en rekke kriterier og integrere meningene til personer med relevant ekspertise. I likhet med studien fra Sana i Yemen ble det laget et kart som viser graden av egnethet for boligutbygging.

I USA har Steiner, McSherry og Cohen (2000) utført en egnethetsanalyse der formålet var å kartlegge egnede områder for fire ulike arealbruk: rekreasjon, industri, kommersiell drift og spredt boligutbygging. Studieområdet er et nedbørsfelt på 62 160 km² på grensen mellom statene Arizona og New Mexico. I denne egnethetsanalysen ble en rekke matriser brukt for å bestemme viktigheten til hvert kriterium. Her ble det satt opp tre typer matriser. Den første viste sammenhengen mellom arealbruk og behovene til arealbrukene. Matrisen viser hvilke behov som er nødvendige for de ulike arealbrukene. For boligutbygging er god dreneringsevne i grunnen nødvendig. De to andre matrisene viser hvilke faktorer som må være på plass for at behovene kan dekkes. For å ha god dreneringsevne kreves det rett type jordsmonn og andre fysiografiske egenskaper. Resultatet av studien er en tabell som viser alle de spesifikke faktorene og hvor høyt de er vurdert mot hver av arealbrukene. Eksempelvis er lav terrenghelning en fordel for boligutbygging og fikk dermed en høy verdi. Men dårlig dreneringsevne fikk lav verdi. De opprinnelige matrisene ble vurdert av en komité med ekstra kjennskap til området, denne komitéen bestemte disse verdiene. Det ble ikke laget noen kart på grunn av studieområdets størrelse.

Det finnes eksempler på andre studier der GIS-basert MKA er benyttet for å kartlegge andre arealbruksformer enn boligutbygging. Hanssen, May, van Dijk og Rød (2018) utførte en konsensusbasert MKA der egnede plasseringer for høyspentlinjer og vindmøller på land i

Trøndelag fylke ble kartlagt. I en studie fra Milwaukee i Wisconsin i USA (Rybarczyk & Wu, 2010) ble MKA benyttet for å planlegge lokalisering av nye sykkel fasiliteter. Seks kriterier avgjorde hvor utbyggingen av sykkelstier skulle foregå. Kriteriene ble valgt ut og rangert på bakgrunn av sykkelplanleggingshåndboka i Wisconsin, relevant litteratur, og intervjuer med ansatte fra den lokale sykkel foreningen og ansatte samferdselsdepartementet i Wisconsin. Hvert kriterium fikk en rangering. Kriterienes vekter var basert på rangeringen og antallet kriterier i analysen. Kriteriet med høyest rangering fikk høyest vekt (se tabell 1). Her ble det benyttet normaliserte vekter. Det vil si at summen av vektene er 1 (Rybarczyk & Wu, 2010).

Tabell 1: Vektene til kriteriene i kartleggingen av sykkel fasiliteter i Milwaukee, Wisconsin (Rybarczyk & Wu, 2010).

Kriterium	Rangering	Vekt
Unngå områder med kriminalitet	1	6/21
Forretninger	2	5/21
Skoler	3	4/21
Rekreasjonsområder	4	3/21
Parker	5	2/21
Befolkningstetthet	6	1/21

Fra tabell 1 har eksempelvis skoler fått tildelt vekten 4/21 ($\approx 19\%$), det vil si at skoler skulle vektlegges 19 % i forbindelse med lokalisering av nye sykkelstier.

1.7 Oppgavens struktur

Denne oppgaven er delt inn i seks kapitler og er basert på IMRoD-modellen: **Innledning**, **Metode og material**, **Resultat og Diskusjon**. I denne oppgaven er det to kapitler i tillegg: **Områdebeskrivelse** og **Avslutning**.

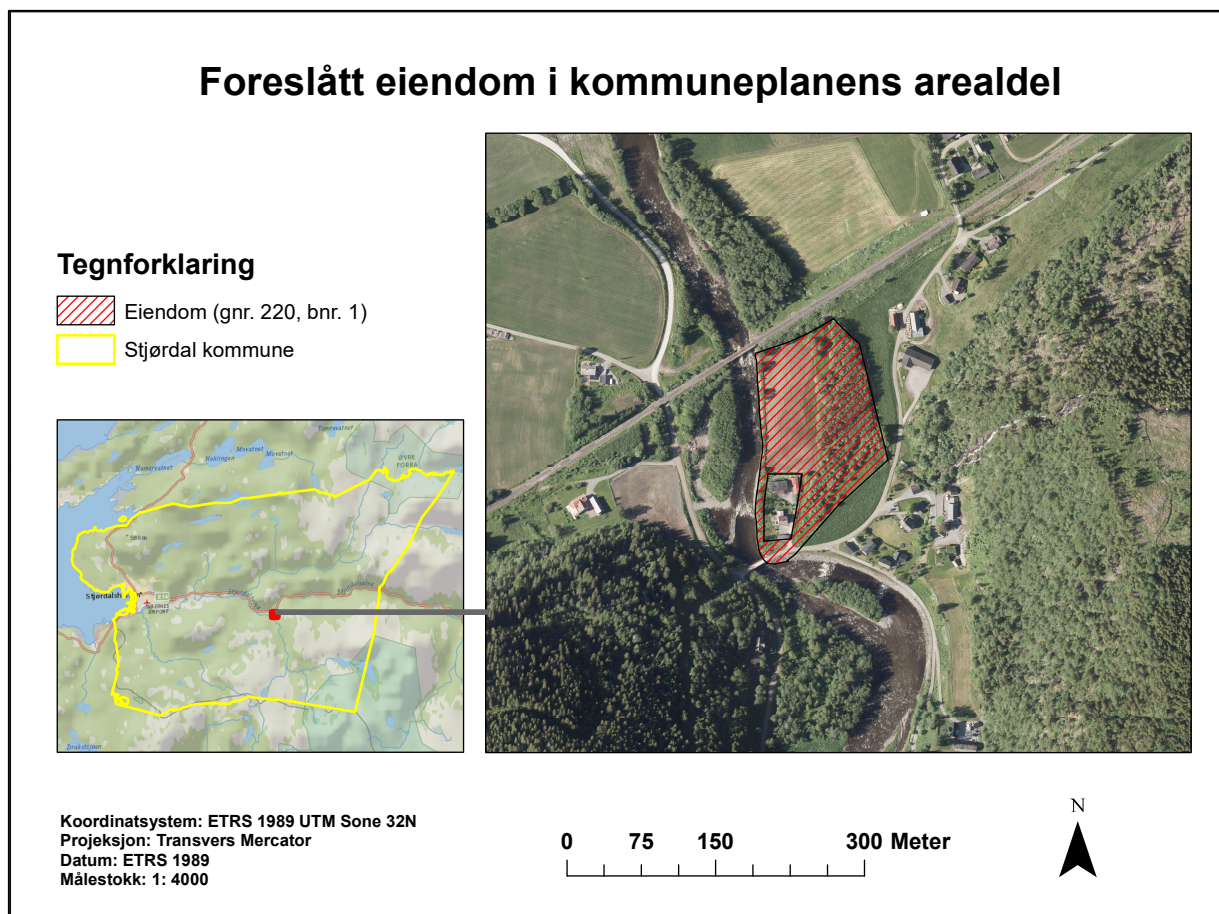
Det første kapitlet presenterer oppgavens tema, bakgrunn for valg av tema og problemstilling. Metodene som benyttes og tidligere forskning er nevnt for å sette saken fra Sona i en større sammenheng. Kapittel 2 gir en beskrivelse av studieområdet basert på observasjoner. Her nevnes også tiltak som er blitt iverksatt for å redusere den lokale flomfaren. Motivasjonen for å skrive oppgaven er også beskrevet i dette kapitlet. Kapittel 3 tar for seg metode og material. Her presenteres innhentede data som inngår i analysen, samt en beskrivelse av hva disse dataene innebærer og representerer. Det gis også beskrivelser av

prosessen bak datainnhenting og hvordan analysearbeidet ble utført. Lokaliseringsfaktorene og egnethetskriteriene defineres i dette kapitlet. Avslutningsvis trekkes det frem gode og dårlige sider med metoden. Kapittel 4 inneholder delresultat og hovedresultatet. Her kommer resultatet fra lokaliseringsanalysen som viser hvilke områder som gikk videre til egnethetsanalysen. Vektene til kriteriene i den påfølgende egnethetsanalysen presenteres i resultatkapitlet. Samt resultatet fra egnethetsanalysen som ble utført på områdene som gikk videre fra lokaliseringsanalysen. En lokasjon kom best ut under analysen og denne lokasjonen er svaret på problemstillingen. I Kapittel 6 drøftes betydningen av resultatet og metodens egnethet. Det kommer forslag til hva som kunne vært gjort annerledes og forslag til videre forskning innenfor anvendelse av GIS-basert MKA for lokalisering av boligutbygging. Kapittel 6 oppsummerer oppgaven.

2 Områdebeskrivelse og motivasjon

2.1 Sona og studieområdet

Grenda Sona er i Stjørdal kommune i Trøndelag fylke. Studieområdet utgjør nedre del av Sondalen og delen av Stjørdalen innenfor Sona grunnkrets. Den foreslåtte utbyggingen av boliger fra kommunens side er på eiendommen med gnr. 220 og bnr. 1. Det kommer frem av KPA at formannskapet i Stjørdal kommune har et ønske om videre utbygging i Sona. Minimum fem boligenheter (Stjørdal kommune, 2014). Den foreslåtte eiendommen er lokalisert i sentrale strøk av grenda og det står to boliger innenfor den foreslåtte eiendommen. Eiendommen er avmerket i figur 1. Området er på en elveør langs Sonelva. Kilnesbekken renner gjennom området. Grunneier har gitt sin tillatelse til at eiendommen kan omtales i dette prosjektet.



Figur 1: Lokaliseringen til den foreslåtte eiendommen i KPA for framtidig boligutbygging i Sona.

2.2 Kommuneplanens arealdel

I henhold til Plan- og bygningslovens § 11-5 Kommuneplanens arealdel kommer det frem at alle landets kommuner skal ha en arealplan. Den skal vise sammenhengen mellom fremtidig samfunnsutvikling og arealdisponering. Den skal angi hovedtrekkene i arealdisponeringen og rammebetingelsene for tiltak og arealbruk som kan igangsettes, samt viktige hensyn som må tas. KPA skal bestå av plankart, bestemmelser og planbeskrivelse der de nasjonale målene, retningslinjene og overordne arealbruksplaner er ivaretatt (Plan- og bygningsloven, 2008).

I KPA for Stjørdal kommune kommer det frem at frittliggende småhusbebyggelse krever 250 m² med uteoppholdsareal i Sone D. Sone D er definert som boliger i områder avsatt til LNFR-område. For hver boenhet kommer et tilleggsareal på 50 m². Tallene er hentet fra tabell 2 (Stjørdal kommune, 2017). Sonaområdet er definert som grendefelt. Alle grendefelt tilhører Sone D. I KPA foreslås det minimum fem boligenheter i det foreslåtte området. Her forstås boligenhet som enebolig. En alternativ lokalisering med plass til fem boligenheter må ha et sammenhengende areal på $5 \times 250 \text{ m}^2 + 5 \times 50 \text{ m}^2 = 1500 \text{ m}^2$ med uteoppholdsareal.

Tabell 2: Minstekravene til uteoppholdsareal per boenhet etter type boenhet og sone (Stjørdal kommune, 2017).

Krav til m ² minste uteoppholdsareal per boenhet	Sone A (Sentrumssone)	Sone B (Sentrum)	Sone C (Lokalsentrum)	Sone D (LNFR-område)
Frittliggende småhusbebyggelse (en- og tomannsboliger)	50 m ²	100 m ²	150 m ²	250 m ²
- tillegg per boenhet	15 m ²	20 m ²	30 m ²	50 m ²
Konsentrert småhusbebyggelse (tre- og firemannsboliger, kjede-/rekkehus mv.)	25 m ²	75 m ²	100 m ²	150 m ²
Blokkbebyggelse (horisontalt og vertikalt delt med flere enn fire boenheter)	25 m ²	50 m ²	75 m ²	150 m ²
Hybel i hybelbygg	15 m ²	20 m ²	30 m ²	50 m ²
Institusjoner, per pasientrom	15 m ²	15 m ²	15 m ²	15 m ²

I veileder til tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven (Miljøverndepartementet, 1997) presenteres verdier for grad av utnyttning for ulike typer bebyggelsesformer. For spredt småhusbebyggelse er god arealbruk ansett som 0,9–1,6 boliger per daa. Minstearealet til hver bolig vil være 1 daa i dette prosjektet på bakgrunn av anbefaling fra Stjørdal kommune. Det vil si at området der alle fem boligene skal lokaliseres må være minst 5 daa (5000 m²).

2.3 Observasjoner i Sona

Alle data som inngår i analysen er hentet fra databaser. Deres innhold og opphav er nærmere beskrevet i Metode og material (Kapittel 3). Uansett var det viktig for meg å se området med mine «geografibriller», for som Fjær (2015) skriver, geografi og feltarbeid henger sammen. Da får man muligheten til å vurdere hvilke utfordringer som kan være gjeldende for den foreslåtte eiendommen dersom det bygges boliger der. Jeg reiste til Sona den 22. november 2018 for å bli kjent med området. Det foreslåtte området ligger nært Sonelva og lavt i forhold til elva. Kilnesbekken renner på motsatt side av eiendommen.



Figur 2: Kilnesbekken forlater eiendom (gnr. 220, bnr. 1) i et rør under jernbanen (her fra oppstrømssiden). Røråpningen er fortettet av biologisk materiale.

Kilnesbekken renner ut fra eiendommen i et rør under jernbanen. I tillegg var røråpningen tettet igjen av gress og kvister. En jordvoll har blitt bygget ved elvekanten ved Sonelva. Det er også tydelig at elva har fått gravd ut flere trinn. Et trinn i elva er et lite menneskeskapt fossefall som resulterer i tregere fart på vannet. Grunneier har bekreftet dette. Jeg har i tillegg vært i kontakt med lokale innbyggere som er kjent med utfordringene i området knyttet til flom og ras. Topografisk sett er områdene nederst i Sondalen og Stjørdalen flate, mens dalsidene preges av bratt terreng.



Figur 3: Et av fire observerte trinn i Sonelva. Dette trinnet er rett nedenfor den foreslåtte eiendommen.



Figur 4: Opparbeidet jordvoll langs elvekanten. Kilnesbekken er nedfrosset i dalsiden oppe til venstre.



Figur 5: Bratte dalsider i Sona.



Figur 6: Pilen angir det foreslåtte området i KPA. Det omfatter en åker ved Sonelva og et skogholt.

På bakgrunn av observasjoner i Sona, informasjon fra kommunen under møter høsten 2018 og tidligere flomhendelser i Sona, ser det ut til at de største utfordringene for den foreslåtte eiendommen er fare for flom.

2.4 Håndtering av utfordringer knyttet til klimaendringer

Det er allment kjent at menneskelig aktivitet har ført til større forekomster av karbondioksid i atmosfæren over de siste 200 årene og betraktelig mer de siste 50 årene. Karbondioksid absorberer varmestråling fra jordens overflate. Det fører til at mer varme holdes igjen i atmosfæren enn det ellers ville ha gjort. En økning i den globale temperaturen vil føre til klimaendringer (Houghton, 2015). De siste 40 årene har vært de varmeste siden nøyaktige målinger ble utført. Hyppigheten og omfanget av ekstremvær har også bemerket seg i denne perioden (Houghton, 2015). Parisavtalens formål er å styrke den globale innsatsen mot trusselen klimaendringer fører med seg. Dette skal foregå ved hjelp av bærekraftig utvikling og utryddelse av fattigdom. Ifølge avtalens Artikkel 2 skal dette skje ved å begrense den globale temperaturøkningen til under 2°C i forhold til før-industrielle nivåer, og strebe mot å holde temperaturøkningen under 1,5°C i forhold til før-industrielle nivåer, samt å anerkjenne at disse tiltakene vil forminske risikoen og følgende av klimaendringene. Tilpasningsevnen i forhold til konsekvensene av klimaendringene skal forsterkes. Det totale utslippet av drivhusgasser skal reduseres (United Nations Climate Change, 2015). Årsaker og effekter til klimaendringer kan endres gjennom reduksjon av utslipp og klimatilpasning. Reduksjon av utslipp har som mål å begrense årsakene til klimaendringene. Klimatilpasning har som mål å begrense effektene av klimaendringene (Houghton, 2015). Klimaendringer er et globalt fenomen, men påvirkningene av klimaendringene vil ramme mennesker og områder lokalt. Derfor er det nødvendig å ha kunnskap om de lokale forholdene når det gjelder å tilpasse seg og håndtere katastrofesituasjoner (Lujala, Lein & Rosvoldaune, 2014).

2.5 Flom i bekker og vassdrag

Nedbøren har allerede økt med 8 % i Norge siden 1900 og flere områder har opplevd en økning i antall hendelser med kortvarig intens nedbør. Dette har ført til flere episoder med flom i små bratte vassdrag. Vannføringen om vinteren og våren har økt, og snøsmeltingen starter tidligere (NVE, 2016a). Det er vanligvis i forbindelse med slike hendelser at Sonelva går over sine bredder og skaper problemer ifølge de lokale.

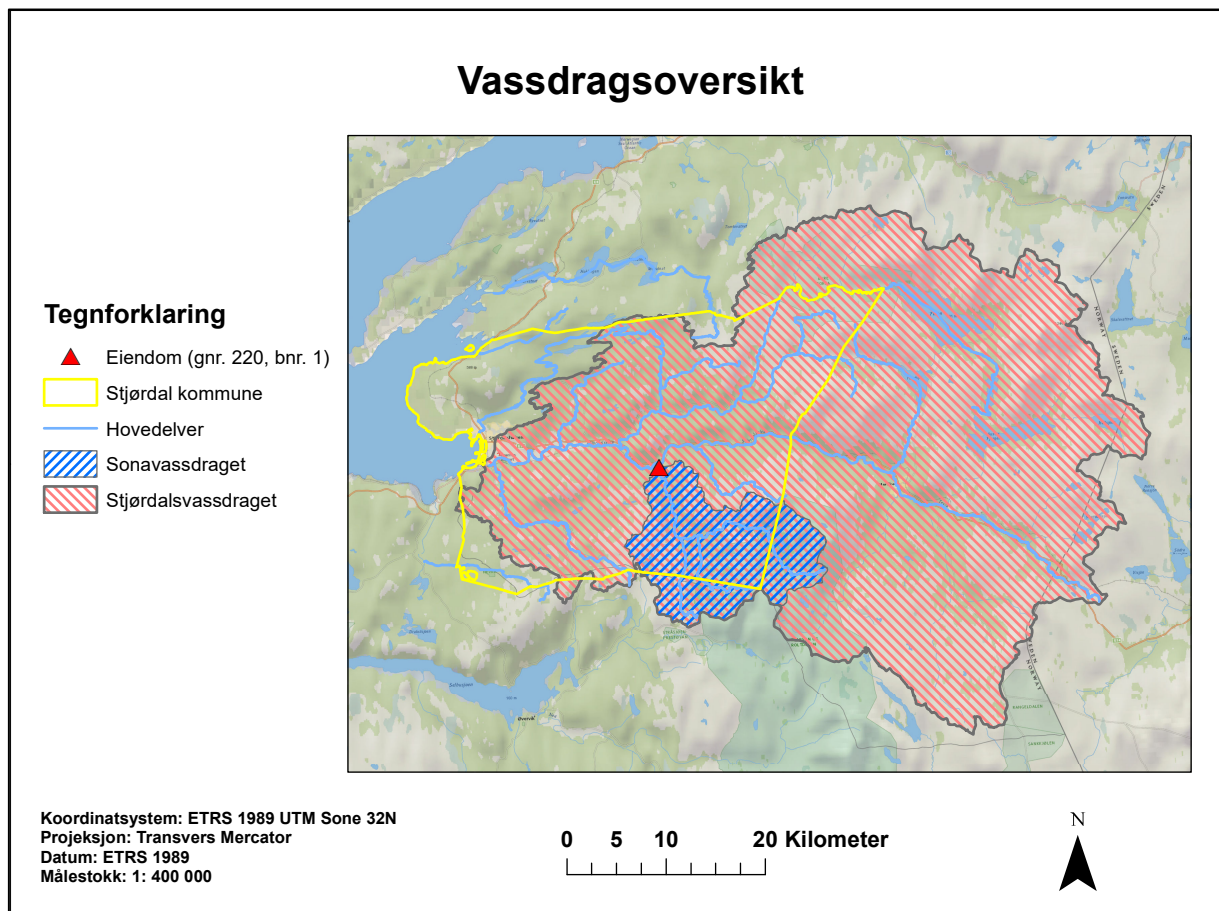
Flom er en av de mest skadelige naturkatastrofene for mennesker og miljø i et globalt perspektiv (Tiryaki & Karaca, 2018). Ifølge Dilley, Chen, Deichmann, Lerner-Lam og Arnold (2005) rammer flomhendelser mer enn en tredjedel av verdens landareal. Innenfor dette området bor 82 % av verdens befolkning. Flom er en direkte konsekvens av værhendelser. Mest sannsynlig påvirker klimaendringer intensiteten, frekvensen, varigheten og omfanget av nedbør på lokalt nivå (Trenberth, Dai, Rasmussen & Parsons, 2003). Alnes, Berg, Clapp, Lannoo og Pillay (2018) skriver at man forventer en nedbørsøkning i Norge fram mot år 2100 som resultat av endringer i klimaet. Det er uansett variasjoner mellom regioner og årstider. De største absolutte økningene i nedbør er beregnet til å være om vinteren og høsten på Vestlandet, i Midt-Norge og i Nordland. Vassdrag langs norskekysten fra Østfold fylke til Troms fylke ser ut til å få en markant prosentvis økning i middelflommen (Vatne, 2013). Antall dager med kraftig nedbør er ventet til å øke over hele landet for alle årstider (Lawrence, 2016).

2.6 Sonavassdraget

Sonavassdraget er et av Stjørdalselvas sidevassdrag. Nedbørsfeltet er på 201 km² og høydenivået er fra 20–1171 m. Det er utført sikringstiltak mot flom ved utløpet av vassdraget. Vassdraget ble vernet i 1986 (NVE, 2009). Sonavassdraget er blant de største sidevassdragene til Stjørdalselva og området er preget av granskog i dalsidene. Ved vassdraget er det rike løvskoger. Oppover mot de slakere områdene på fjellet finnes det furuskog blandet med flere myrsystemer. Sonavassdraget har to fosser av betydelig størrelse og den med høyest fall er Sonfossen i Sondalen. Sonfossen har en fallhøyde på 60 meter. Bebyggelsen er hovedsakelig lokalisert ved nedre deler av vassdraget og i Sondalen (NOU, 1986).

I mars 2012 ble flere områder i Trøndelag rammet av flom. Grenda Sona i Stjørdal kommune var et av disse stedene. Stjørdalselva gikk over sine bredder og bekker fant nye løp. Dette førte til skader på infrastruktur og bebyggelse i grenda. I tillegg oppstod flere løsmasseskred på grunn av vannmassene. Det har blitt iverksatt tiltak i nedre del av Sonelva for å redusere elvas evne til å gå over sine bredder og skade omkringliggende infrastruktur og bebyggelse. Dette har skjedd gjennom å lage trinn i elva for å skape treghet i vannet. Det er også bygd

forhøyninger langs elvekanten og det er spor av gamle vannavledninger i elva. I tillegg har elva blitt gravd i midten for å bli dypere og forhindre at den går over sine bredder.



Figur 7: Stjørdalsvassdraget og Sonavassdragets utstrekning. Den foreslåtte eiendommen er 450 m sør for punktet der Sonelva renner ut i Stjørdalselva.

Fra figur 7 ser man at den foreslåtte eiendommen er ved utløpet til Sonavassdraget. Alt vann som samler seg etter ekstremnedbør renner forbi eiendommen.

3 Metode og material

3.1 Multikriterieanalyse

Ifølge Eastman (1999) handler MKA om å stedfeste områder som egner seg til et bestemt formål. Dette gjøres på bakgrunn av kriterier som det utvalgte området skal tilfredsstillere. I GIS-basert MKA er det to fundamentale steg. Det første er å utføre en lokaliseringsanalyse. Hver av lokaliseringsfaktorene representeres som et temalag. Et temalag er en representasjon av et kriterium i GIS. Områder i hvert temalag som går videre til egnethetsanalysen har celleverdi 1. Områder som ikke går videre har celleverdi 0. Alle temalagene til lokaliseringsfaktorene multipliseres med hverandre der resultatet er områder som går videre til neste del av analysen. Den andre delen er en egnethetsanalyse der kriteriene har verdier over en kontinuerlig skala. Disse verdiene strekker seg på en skala fra 0 til 100. Der 0 er lavest egnethet og 100 er høyest egnethet. Disse er de mest vanlige brukte tilnærmingene for å utføre en egnethetsanalyse (Malczewski, 2006).

3.1.1 Lokaliseringsanalyse

Før egnethetsanalysen kan finne sted foretas en lokaliseringsanalyse. Ifølge Stahlschmidt og Nellemann (2009) forstås lokaliseringsanalyse som en systematisk utvelgelse av lokaliseringsmuligheter for et planlagt formål. I en lokaliseringsanalyse kan man se på store landområder og betrakte kriterier som stiller krav til henting av store datamengder og datahåndtering. I dette prosjektet vil lokaliseringsanalysen være første steg i MKA'en. Her vil en rekke lokaliseringsfaktorer avgrense området som betraktes i egnethetsanalysen. En lokaliseringsfaktor er en faktor som er avgjørende under lokalisering. Det kan være elementer som for eksempel støy og nærhet til parker for å nevne noen (Stahlschmidt & Nellemann, 2009).

3.1.2 Egnethetsanalyse

Etter at studieområdet er definert og uegnede områder er valgt bort er de gjenværende områdene klare for egnethetsanalysen. Ifølge Stahlschmidt og Nellemann (2009) er studieområdet allerede definert før egnethetsanalysens begynnelse. Formålet er å finne ut hvilken status arealet har i forhold til formålets egnethet. I dette prosjektet utgjør egnethetsanalysen delen av MKA'en der kriterier evaluerer gjenværende områder fra

lokaliseringsanalysen over kontinuerlige skalaer. Hvilken viktighet hvert enkelt kriterium har i analysen skjer ved å vekte dem mot hverandre. Vektingen kan utføres på ulike måter. I denne oppgaven benyttes AHP. Resultatene fra AHP er basert på meningene til personer med relevant fagkompetanse eller personer med ekstra kjennskap til de lokale forholdene. Duc (2006) skriver at til tross for at GIS har blitt et nyttig verktøy for å bearbeide romlige data i egnethetsanalyser, er ikke bruk av verktøyet alene tilstrekkelig for å vurdere viktigheten av de ulike kriteriene opp mot hverandre. En løsning på problemet er å benytte seg av AHP i kombinasjon med GIS. AHP består av tre steg. Første steg går ut på å bestemme relevante kriterier. Andre steg er parvis sammenligning av kriteriene, dette ble gjort av representanter fra reguleringsplan, kommunalteknikk, park og idrett og folkehelsekoordinatoren i Stjørdal kommune. Det siste steget er matriseberegninger som resulterer i vektorer for hvert kriterium. Vektene er basert på resultatene fra den parvise sammenligningen (Duc, 2006).

3.1.3 Vektet lineærkombinasjon

Vektet lineærkombinasjon er ofte brukt i egnethetsanalyser, stedsbestemmelser og ressursevalueringsproblemer. Vektet lineærkombinasjon er utbredt siden metoden er enkel å implementere i GIS. Dette skjer ved bruk av kartalgebra og kartografisk modellering (Malczewski, 2000). Her benyttes vektet lineærkombinasjon som metode for å kombinere de ulike kriteriene i analysen sammen. Slik at graden av egnetheten for boligutbygging i Sona kan uttrykkes i ett og samme kart.

I denne analysen vil bruk av AHP i kombinasjon med vektet lineærkombinasjon være fremgangsmåten for å bestemme og uttrykke vektene til hvert kriterium i egnethetsanalysen. Dette skjer i tre trinn (Chang, 2010):

1. Den relative viktigheten for hvert kriterium veies parvis mot et annet kriterium. Deretter blir resultatene fra sammenligningene plassert i en matrise som gir en oversikt over den relative viktigheten mellom alle kriteriene. Dersom kriterium A er tre ganger så viktig som B, da er $A/B = 3$, da vil også $B/A = 1/3$.
2. Dataverdier til kriteriene standardiseres og med det menes at de får en felles skala fra 0 til 1. Dette er nødvendig for at de ulike kriteriene skal være sammenlignbare. Her benyttes minimum-maksimum-transformasjon

$$S_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.1)$$

der S_i er den standardiserte verdien for originalverdien x_i . x_{max} og x_{min} er henholdsvis maksimums- og minimumsverdien blant originalverdiene. Formel 3.1 kan ikke brukes dersom verdiene enten er nominale eller ordinale. I disse tilfellene kan standardisering foregå ved hjelp av å referere til kilder og en verdi tilegnes etter rangeringen. Da vil man benytte seg av samme prinsipp i studien fra Milwaukee (Rybarczyk & Wu, 2010) der vektene til kriteriene var basert på rangering. Nominale og ordinale data kan deretter konverteres til en standardisert skala med verdier fra 0 til 1.

3. Indeksverdien for hvert område bestemmes ved å summere vektene multiplisert med de standardiserte verdiene for alle kriteriene og dividere dette på summen av alle vektene. Indeksverdien er et tall som sier hvor egnet et område er for boligutbygging. Indeksverdiskalaen strekker seg fra 0 til 100, der 0 er lavest egnethet og 100 er høyest egnethet:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n w_i s_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \times 100 \quad (3.2)$$

der I er indeksverdien, n er antall kriterier, w_i er vekten for kriterium i og s_i er den standardiserte verdien for kriterium i (Chang, 2010).

Vektene fungerer som forholdstall. Absoluttverdiene til vektene kan endres på så lenge forholdstallet forblir uendret. Summen av vektene er satt til å være 1 slik at indeksverdien er et tall mellom 0 og 100. Dermed kan formel 3.2 skrives om til:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i s_i \times 100 \quad (3.3)$$

3.1.4 Analytisk hierarkisk prosess

AHP ble utviklet av universitetsprofessor Thomas L. Saaty (1926–2017). Saaty (2008) skriver at AHP er brukt i flere studier for å bestemme vekter. Han viser til 24 tilfeller der metoden har vært i bruk. Metoden ble brukt i 2001 som del av kartleggingen for hvor den jordskjelvrammede byen Adapazari i Tyrkia skulle gjenoppbygges. For å bestemme viktigheten til hvert kriterium kan personer med ekspertise konsulteres for å bedømme kriterienes relative viktighet. AHP er en teknikk der disse bedømmingene blir konvertert til vekter w_i . Den vektete lineærkombinasjonen av w_i og s_i (se formell 3.3) angir indeksverdien for hver celle i kartet. AHP består av tre steg:

1. Bestemme kriterier:

Analysen må inneholde kriterier som er nødvendige for formålet skal kunne tilfredsstilles. Kriteriene kan være tema som for eksempel miljø eller økonomi. Kriteriene kan både være generelle og spesifikke.

2. Parvis sammenligning:

Da kriteriene er valgt ut må den relative viktigheten bestemmes parvis mellom kriteriene (Duc, 2006). Her benytter man en rangeringsskala for å gjøre vurderingen. Det er vanlig å benytte seg av en ni-punkts-skala. Med ni-punkts-skala menes det at viktigheten mellom to kriterier har ni ulike nivåer. Verdien 1 betyr at begge kriteriene er like viktige. Verdien 9 er høyest og sier at det viktigste kriteriet er 9 ganger viktigere enn det andre. I et utfyllingsskjema er det vanlig at man tar utgangspunkt i det ene kriteriet og ber om en verdi som uttrykker den relative viktigheten det har i forhold til det andre kriteriet. I prosjektet fra Sona skal blant annet den relative viktigheten mellom solforhold og terrenghelning sammenlignes. Her er et eksempel på en parvis sammenligning mellom disse kriteriene: *Hvor mange ganger viktigere er solforhold enn terrenghelning i forhold til boligutbygging?* Da skal man velge ett av de følgende verdiene: 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 eller 9. Man velger en av brøkene dersom terrenghelning er viktigere. Avkrysning på 1/2 vil si at solforhold er halvparten så viktig som terrenghelning. AHP omfatter vanligvis meningene til grupper bestående av flere individer. Her brukes synergistisk gruppe og det vil si at man betrakter den kollektive meningen til deltagerne, istedenfor å betrakte hver mening isolert. I praksis vil det si at gruppen må komme til et felles svar når verdien i de parvise sammenlikningene skal bestemmes (Ishizaka & Nemery, 2013).

Antall nødvendige sammenligninger for n kriterier er

$$\frac{n^2 - n}{2} \quad (3.4)$$

dersom fire kriterier skal gjennomgå en parvis sammenligning, må det ifølge formel 3.4 utføres seks parvise sammenligninger, siden $\frac{4^2 - 4}{2} = 6$.

3. Skjematisering av den relative viktigheten i en sammenligningsmatrise og utregning av kriterievekter:

Resultatene fra de parvise sammenligningene av de n kriteriene skjematiseres i en kvadratisk sammenligningsmatrise A :

$$A = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1j} & \cdots & p_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1/p_{1j} & \cdots & p_{ii} & \cdots & p_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1/p_{1n} & \cdots & 1/p_{in} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

der p_{ij} er sammenligningsverdien mellom kriterium i og j . Dersom $p_{ij} = 2$ er kriterium i to ganger viktigere enn kriterium j . Det vil si at kriterium j er halvparten ($1/p_{ij} = 1/2$) så viktig som kriterium i . $p_{11}, \dots, p_{nn} = 1$ fordi her sammenlignes samme kriterium med seg selv. Matrise A kan dermed forenkles til:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & p_{1j} & \cdots & p_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1/p_{1j} & \cdots & 1 & \cdots & p_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1/p_{1n} & \cdots & 1/p_{in} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Metoden bak utregning av kriterievekter heter tilnæringsmetoden og består av to steg (Ishizaka & Nemery, 2013):

1. Addisjon av alle elementene i hver rad i sammenligningsmatrisen:

$$r_i = \sum_j p_{ij} \quad (3.7)$$

2. Deretter normaliseres radsummene, slik at vi ender opp med vektene w_i til hvert kriterium i :

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_i r_i} \quad (3.8)$$

Da er alle variablene i formell 3.3 beskrevet. De standardiserte verdiene er på en skala fra 0 til 1. Formell 3.3 ble som tidligere vist multiplisert med 100 slik at indeksverdiene er fordelt på en skala fra 0 til 100. Formell 3.3 presenteres igjen:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i s_i \times 100 \quad (3.3)$$

Formell 3.3 angir indeksverdiene til alle områdene som vurderes i egnethetsanalysen.

3.2 Geografiske informasjonssystemer

Alle beregninger i analysen foregår i GIS¹. Ved bruk av GIS kan man vise og tolke datasett for et studieområde. I tillegg kan man legge til symboler og lage layout som publiseres. GIS er også applikasjonen der man skaper og endre datasett. GIS representerer geografisk informasjon. Denne informasjonen er temalag og andre elementer. Det er vanlig å inkludere målestokk, nordpil, tittel, tegnforklaring og beskrivelse av det kartet viser (ESRI, 2018b).

De siste tiårene har GIS fått en stor utbredelse innenfor flere fagområder. Det finnes flere definisjoner på GIS, siden det er så utbredt. Uansett fagområde, har alle til felles at programvaren betrakter en unik type geografiske data som beskriver jordoverflaten (Rød, 2015).

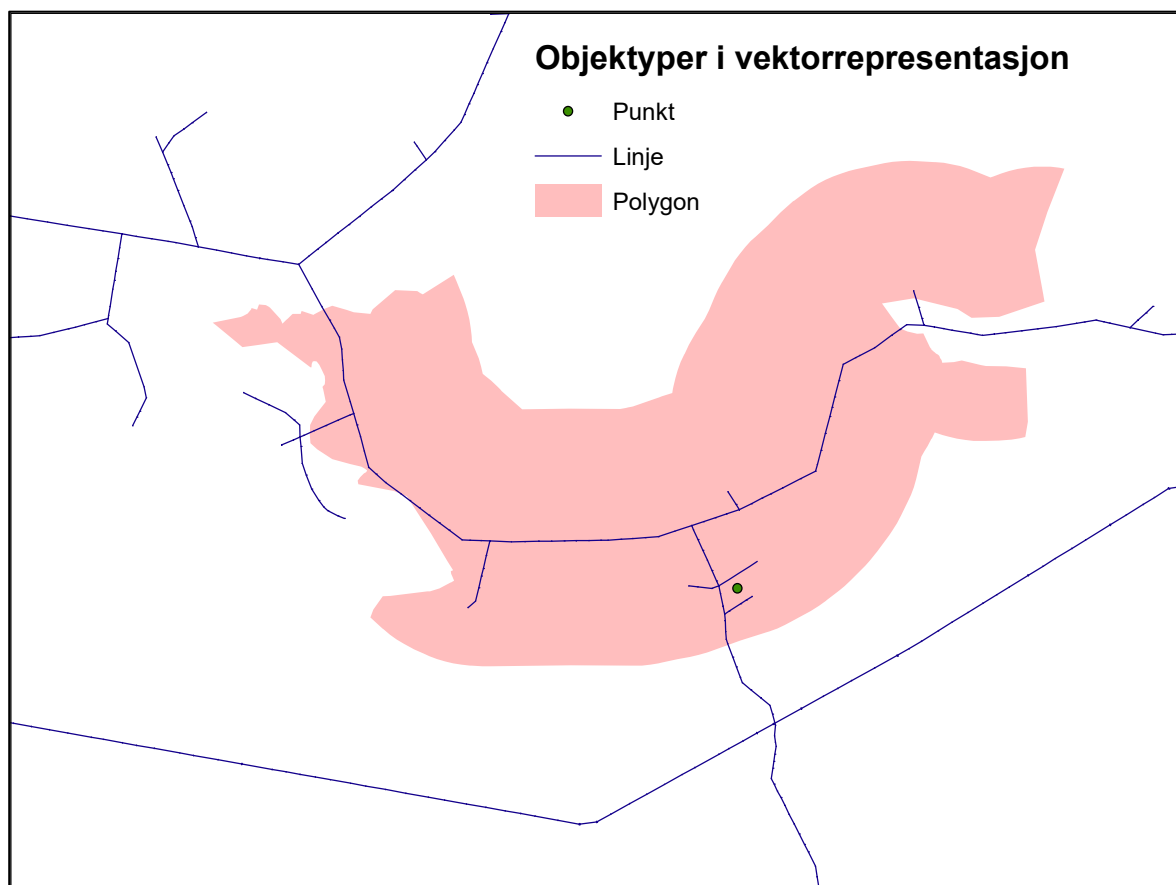
¹ Esri (Environmental Systems Research Institute) er et globalt selskap som tilbyr produktet ArcGIS Desktop. Innenfor ArcGIS Desktop er det flere applikasjoner. I dette prosjektet ble programvaren ArcMap 10.6 benyttet. ArcMap er en av mest sentrale applikasjonene brukt i ArcGIS Desktop (ESRI, 2018b).

3.3 Representasjon i GIS

Representasjoner i GIS klassifiseres i enten vektor- eller rasterrepresentasjon (Winter, 1998).

3.3.1 Vektorrepresentasjon

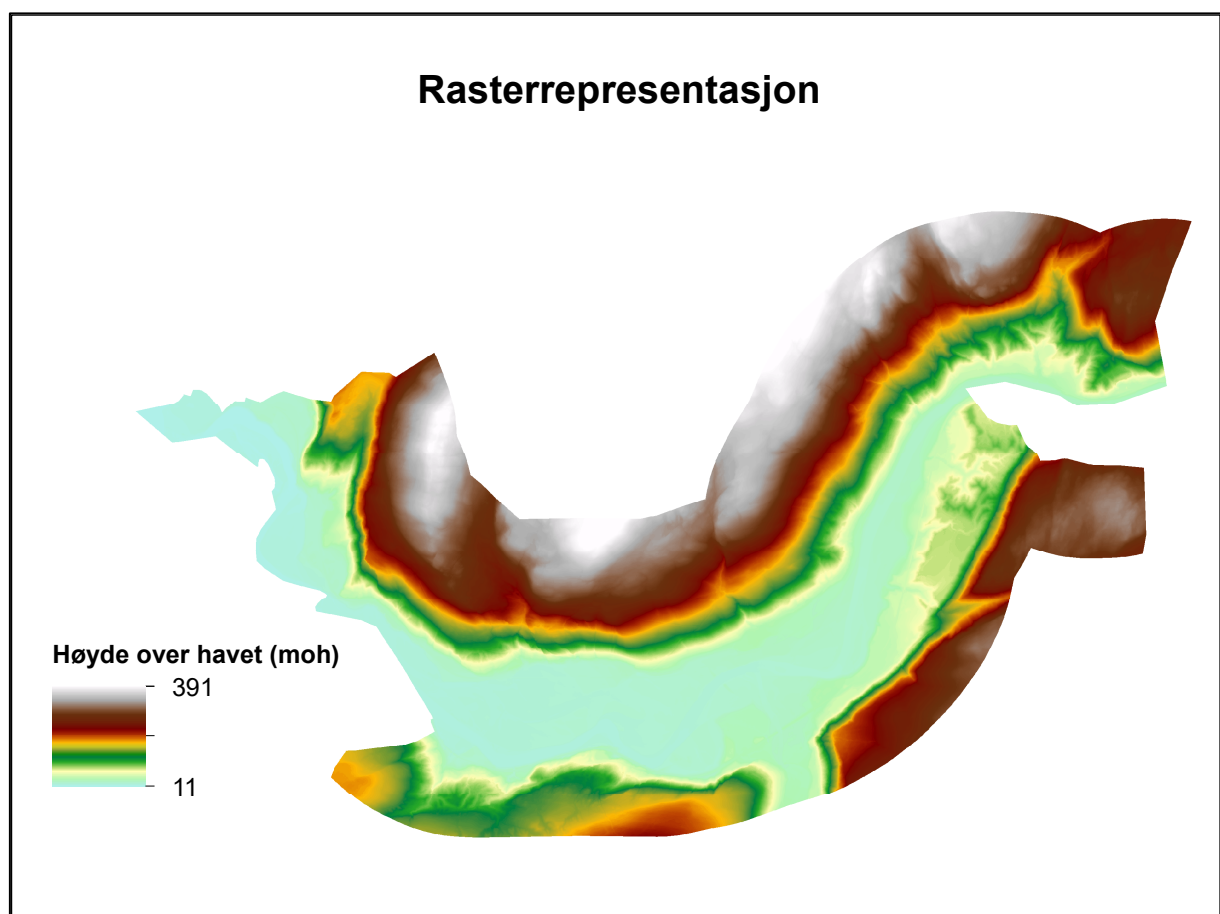
Virkeligheten er kompleks med mange forskjellige former. Vektorrepresentasjon i GIS er en forenkling av virkeligheten og assosieres ofte med diskret objektsanskuelse. Fenomener fra virkeligheten kan representeres i tre objekttyper: punkt, linje og polygon. Punkter kan representere storbyer på et verdenskart, linjer kan representere landegrenser og polygoner kan representere areal typer. Det er alltid en kobling mellom vektordata og attributtabel (Rød, 2015). I denne analysen er følgende datasett på vektorrepresentasjon: Flom, jord- og flomskred, steinsprang, kvikkleireskred, naturvernområder, inngrepsfire naturområder, løsmasser og datasett fra Felles kartdatabase (FKB).



Figur 8: Objekttyper innenfor vektorrepresentasjon. Punktet angir kommunens foreslåtte område. Linjene er strømlijenett. Polygonet er studieområdet.

3.3.2 Rasterrepresentasjon

Innenfor rasterrepresentasjonen er pikselen minste enhet. En raster er oppbygd av et rutenett med like store piksler. Digitale flyfoto og satellittbilder er eksempler på billedraster med geografisk informasjon. Det vil si at hver piksel har en forankring til et bestemt sted på jordoverflaten (Rød, 2015). Raster egner seg godt til å representere kontinuerlige data, for eksempel høyde over havet. Digitale høydemodeller (DHM) og digitale overflatemodeller (DOM) kan brukes i GIS-sammenheng og gir muligheter for romlige analyser (Stahlschmidt & Nellemann, 2009). I denne oppgaven er følgende datasett rasterrepresentasjon: DHM og DOM.



Figur 9: Høyde over havet kan representeres gjennom en DHM. Hver celle i denne rasteren har en verdi som angir høyden over havet i meter.

3.3.3 Kartalgebra

I analysen foregikk både raster- og vektorbaserte operasjoner. Derfor nevnes de ulike typene og hva som skjer kjennetegner operasjonene. Rasterbaserte operasjoner kan foregå på enkelte celler, grupper av celler med samme egenskaper eller alle celler i en raster. Noen kartalgebrafunksjoner bruker én raster som inngangsdata, mens andre bruker flere raster som

inngangsdata. Operasjonene som utføres i kartalgebra kan deles inn i fire familier: Lokale, naboskaps, sonale og globale funksjoner (Chang, 2010).

Lokale funksjoner:

Lokale operasjoner er celle-til-celle-operasjoner. En lokal operasjon skaper en ny raster fra to andre raster eller fra en raster og en konstant. De nye celleverdiene er beregnet ut ifra verdiene til det gamle i en funksjon eller så skjer dette gjennom en klassifiseringstabell (Chang, 2010). I denne analysen ble funksjonen Summering av vektorer benyttet for å kombinere alle kriteriene fra egnethetsanalysen i en og samme raster. Dette er et eksempel på en lokal operasjon.

Naboskapsfunksjoner:

Naboskapsoperasjoner kjennetegnes ved at ny celleverdi beregnes på grunnlag av naboceller. Metoden bruker vanligvis et nabolag på 3×3 eller 5×5 i rektangelform, der 3×3 er mest vanlig, for å regne ut nabolagets verdi. Terrenganalyser er avhengig av nabolagoperasjoner. Et eksempel er Terrenghelning. En celles terrenghelning kalkuleres ved å ta utgangspunkt i høyden til de tilgrensede cellene, det vil si de ytterste cellene i 3×3 rektangelet (Chang, 2010).

Sonale funksjoner:

I sonale operasjoner tar man for seg regioner som har en felles egenskap. Det er ofte celler med samme verdi. Disse regionene kalles soner. Sonene trenger ikke å være sammenhengende. Sonale operasjoner egner seg for å beregne deskriptiv statistikk for regionene (Chang, 2010). Her ble sonal statistikk benyttet for å beregne gjennomsnittlig indeksverdi og areal for de alternative lokasjonene for boligutbygging i Sona.

Globale funksjoner:

En global funksjon er en prosess der alle cellene i resultatet er basert på alle cellene i den opprinnelige rasteren. Et eksempel er Evklidsk avstand som viser hvor langt unna hver celle er fra celler med en bestemt egenskap. Dette verktøyet ble brukt for å beregne nærhet til veg som er ett av kriteriene i egnethetsanalysen. Solinnstrålingsverktøyet som er en del analysen tilhører også denne familien. Dette verktøyet ble benyttet for å beregne antall soltimer. Solforhold er også ett av kriteriene i egnethetsanalysen (GISGeography, 2018b).

3.3.4 Vektordatafunksjoner

Vektordatamodeller bruker punkt og deres x-, y-koordinater for å danne romlige objekter som punkt, linje og polygoner. Dermed tas det utgangspunkt i de geometriske egenskapene til objektene når man utfører funksjoner med vektordata. I dette prosjektet ble følgende verktøy benyttet (Chang, 2010):

Buffer:

Dette verktøyet er basert på nærhet til et bestemt objekt. Det dannes to områder etter å ha gjennomført funksjonen. Et område som er innenfor en spesifisert avstand fra objektet og et område som er utenfor.

Klipp:

Klippfunksjonen lager et nytt temalag som inkluderer områdene som faller sammen med klippelaget.

Union:

Attributtdata og polygoner til inngangsdataene vil bli skrevet i et og samme resultat.

Selektering:

Dette er en GIS-operasjon der spørringer velger ut objekter med en spesifikk egenskap.

Krysning:

Dette er en funksjon der sammenfallende områder er resultatet.

3.4 Datainnsamling

Arbeidet med å besvare problemstillingen startet med å hente inn tilgjengelige data som representerer kriteriene. Dette skjedde hovedsakelig ved å legge inn bestillinger på nettsidene til aktører som har geografiske data. Noen datasett krever lisens. Disse ble hentet inn ved hjelp av ansatte med lisens ved Institutt for geografi på NTNU.

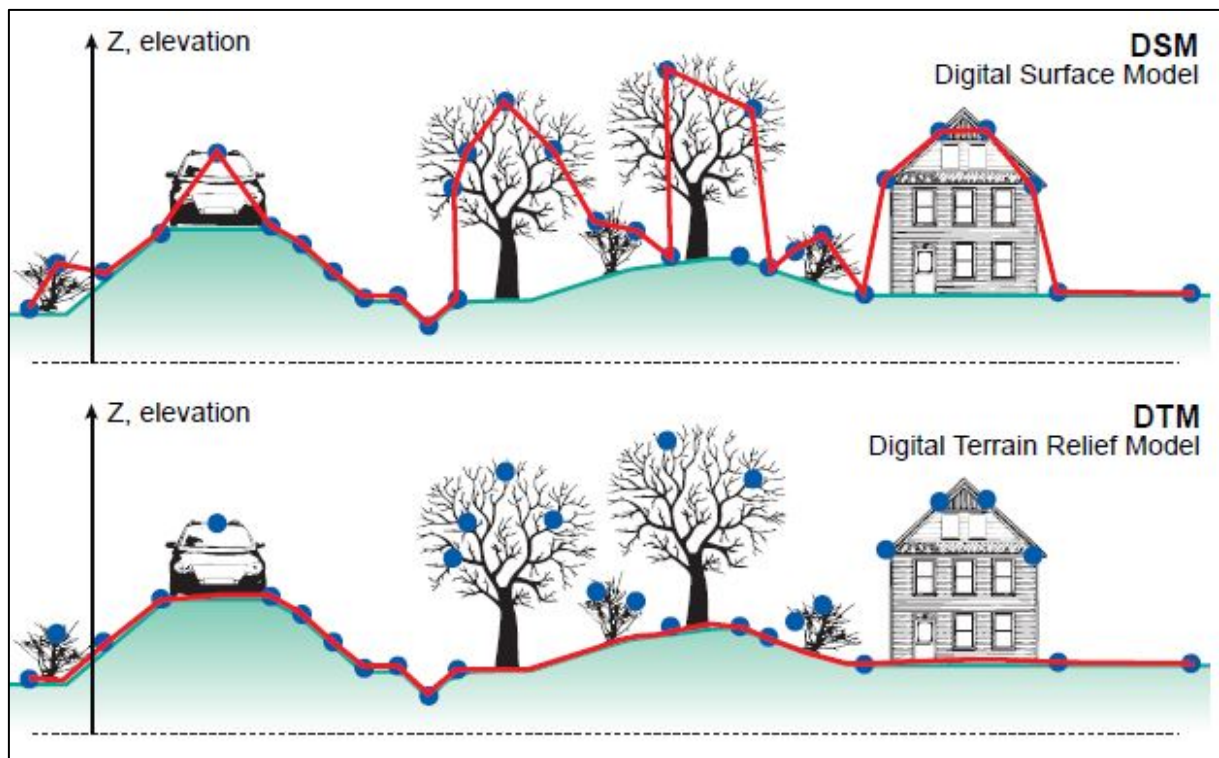
3.4.1 Datasettenes opprinnelse og innhold

Alle nedlastede data var lagret i koordinatsystem ETRS 1989 UTM Sone 32N. En stor andel av datasettene er hentet fra FKB. FKB er en samling av topografiske datasett. Datasettene kom vanligvis som leveranser fra Geovekst-prosjekt og består av: Høyde (høydekurver og høydepunkt), områder med vann, arealbruk, bygninger og infrastruktur for å nevne noen (Kartverket, 2014). De resterende datasettene ble hentet fra geonorge.no slik som FKB. Samt hoydedata.no, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Miljødirektoratet. Tabell 3 gir en helhetlig oversikt over innsamlede data og deres opphav.

Tabell 3: Datasett som inngikk i analysen og hvor de er hentet fra.

Datasett:	Kilde:
DHM og DOM	Kartverket (2015 og 2016)
Matrikkelen eiendomskart	Kartverket (2010a)
Grunnkretser	Kartverket (2017g)
Kommunegrenser	Kartverket (2017a)
FKB-Veg	Kartverket (2017f)
FBK-Vann	Kartverket (2017e)
FKB-Bygning	Kartverket (2017b)
FKB-Jernbane	Kartverket (2017d)
FKB-AR5	Kartverket (2017c)
Flom aktsomhetskart	NVE (Ukjent år)
Jord- og flomskred aktsomhetskart	NVE (Ukjent år)
Steinsprang	NVE (Ukjent år)
Kvikkleire faresonekart	NVE (Ukjent år)
Nedbørfelt	NVE (Ukjent år)
Ortofoto WMS	Kartverket (2016)
Naturvernområder	Kartverket (2010b)
Inngrepssvone naturområder	Miljødirektoratet (2014)
Løsmasse	NGU (2015)

Både DHM og DOM ble lastet ned fra kartverkets sider med høydedata (Kartverket, 2015 og 2016). Begge rasterene har celledimensjon på 1×1 meter. Både DHM og DOM var hentet fra prosjektene Stjørdal 2015 og Malvik-Stjørdal 2016. En DHM består av et rutenett med jevnt fordelte celler med høyde over havet som pikselverdi (Chang, 2010). En DOM har mange likhetstrekk med DHM, hovedforskjellen er at pikslene til en DOM viser høyden over havet til objekter som er naturlige og menneskeskapte på jordas overflate. Det kan være tretopper, strømmaster og bygninger (GISGeography, 2018a). Forskjellene mellom DHM og DOM er vist i figur 10.



Figur 10: Forskjellen mellom DHM (DTM på engelsk) og DOM (DSM på engelsk). Den røde linjen angir hvor målingene er registrert. ("The difference between DSM and DTM,," U.å.)

Matrikkelen eiendomskart ble lastet ned fra kartverkets sider om Matrikkelen Eiendomskart (Kartverket, 2010a). Datasettet inneholder gårds- og bruksnummer. Teiger og areal er tilknyttet eiendommens bruks- og gårdsnummer. Datasettet «Statiske enheter grunnkretser 2017» er et digitalt datasett med grunnkretsinnstillingen i Norge. Grunnkretser er stabile statiske enheter som er et resultat av samarbeid mellom kommune og Statistisk sentralbyrå (SSB) (Kartverket, 2017g). Datasettet Administrative enheter kommuner viser kommuneinndelingen i landet (Kartverket, 2017a).

Datasettet «FKB-Veg» har som formål å skape et godt og detaljert kartbilde for å ivareta Statens vegvesens behov for kartdata. Datasettet brukes til planlegging av utbedringer og nyanlegg (Kartverket, 2017f). Datasettet «FKB-vann» viser utbredelsen av bekker, elver, kanaler, grøfter, innsjøer, isbreer og den topografiske delen av kyst og sjø (Kartverket, 2017e). Datasettet FKB-Bygning består av detaljert bygningsinformasjon. Datasettet viser alle typer bygninger, takoverbygg, samt bygningsvedheng (Kartverket, 2017b). FKB-Bane omfatter i hovedsak jernbanens infrastruktur (Kartverket, 2017d).

FBK-AR5 inneholder blant annet arealtype. Arealtypene er fulldyrket jord, overflatedyrka jord, skog, åpen fastmark, myr, ferskvann, hav, bre, bebyggelse og samferdsel (NIBIO, 2019).

NVE tilbyr både aktsomhetskart og faresonekart. Aktsomhetskart er GIS-baserte og viser områder som kan være utsatt skred og flom. Faresonekart er også GIS-baserte og inneholder erfaringsbaserte beregninger. Faresonekart har høyere detaljeringsnivå enn aktsomhetskart. I Sona er det kun utført faresonekartlegging av kvikkleireskred. Aktsomhetskart for flom, jord- og flomskred, steinsprang, faresonekart for kvikkleire og kart over nedbørfelt er hentet fra NVEs nedlastingsside (NVE, Ukjent år). Aktsomhetskart for jord- og flomskred angir områder som kan være utsatt for jord- og flomskred. Kartene kan brukes direkte for å identifisere og angi steder med potensiell skredfare. Aktsomhetskartet gir ikke informasjon om faregraden i sannsynlighet eller omfang for skredtypen den omhandler (NVE, 2017a). NVEs aktsomhetskart for flom viser hvilke områder som kan være flomutsatt. Kartet gir en indikasjon på hvilke områder som må vurderes nærmere dersom det er utbyggingsplaner. Aktsomhetsområder for flom er laget av hydrologiske modeller, erfaring fra norske vassdrag og en digital høydemodell (NVE, 2018). Aktsomhetskart for steinsprang viser områder som er potensielt løsne- og utløpsområder. Dette kartet sier heller ikke noe om sannsynligheten eller omfanget for steinsprang. Kartet er basert på digital høydemodell fra Kartverket med oppløsning på 25 × 25 meter. Denne oppløsningen gjør at aktsomhetskartet for steinsprang ikke viser løsneområder mindre enn 20 meter i høydeforskjell. Til og med mindre lokale skråninger med høydeforskjell opp til 50 meter kan bli utelukket i aktsomhetskartet (NVE, 2017b). Områder med potensiell kvikkleireskred blir kartlagt på regionalt nivå. I 2016 var 1800 soner kartlagt. Hver sone er kategorisert med faregrad, konsekvensklasse og risikoklasse (NVE, 2016b). Register over nedbørfelt (REGINE) definerer den hydrologiske inndelingen i Norge. Datasettet viser inndelingen av nedbørfelt på flere nivåer, fra de største vassdragene til de minste enheter (NVE, 2017c).

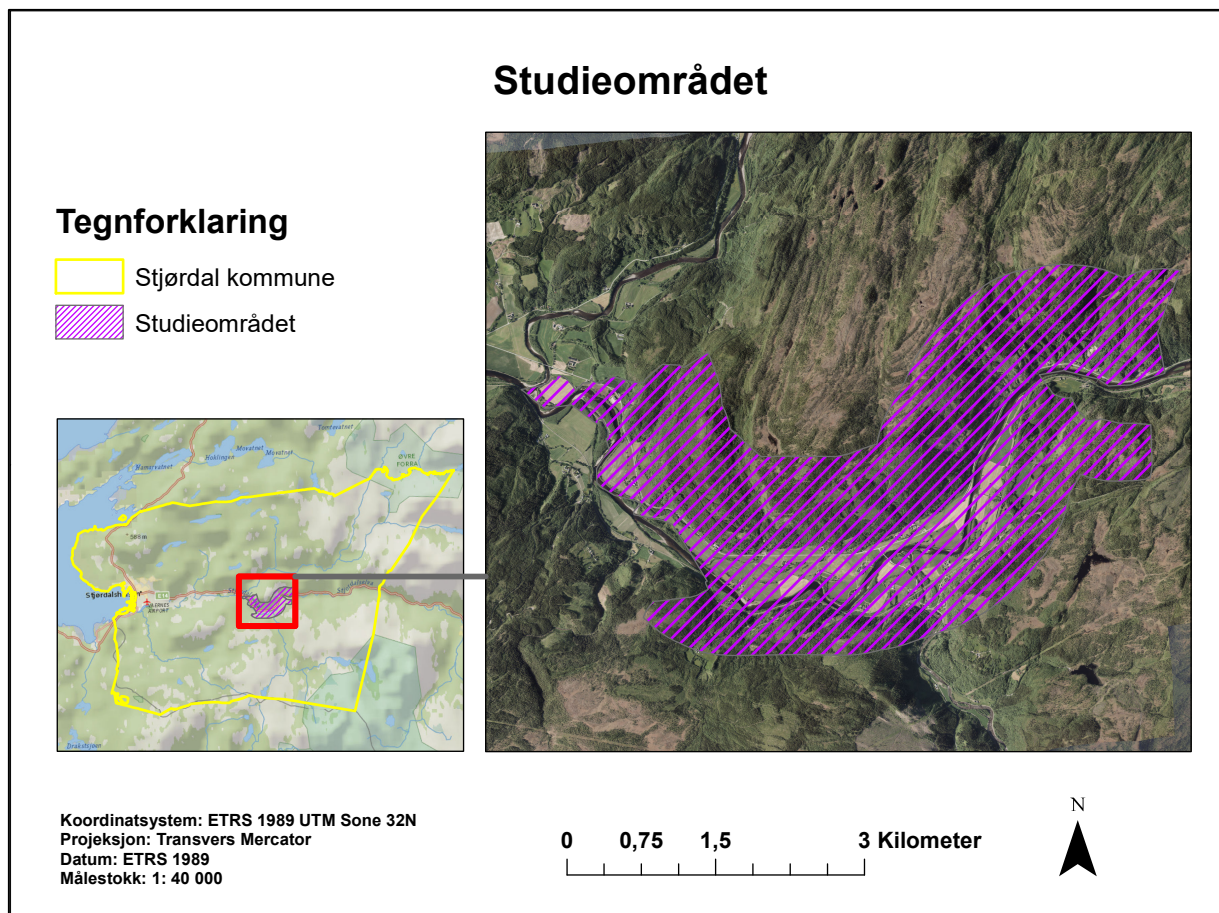
Norge i bilder WMS-ortofoto egner seg som bakgrunnskart (Kartverket, 2016). Datasettet Naturvernområder inneholder verneområder og vernede enkeltobjekt. Datasettet gir også en oversikt hvilke lover hvert område ble vernet ut ifra: Naturmangfoldloven av 2019, biotopvern etter viltloven fra 1981, naturvernloven fra 1970, naturvernloven fra 1954 og lov om naturfredning fra 1910 (Kartverket, 2010b). Datasettet Inngrepsfrie naturområder viser områder som ikke er berørt av tyngre tekniske inngrep. Inngrepsfrie områder er én kilometer eller mer i luftlinje unna tyngre tekniske inngrep, veier, kraftlinjer, vassdragsinngrep m.fl. (Miljødirektoratet, 2014). Løsmassedatasettet viser i utbredelsen av løsmassetyper. Datasettet viser utbredelsen av 71 ulike løsmassetyper. Mesteparten av løsmassene ble dannet etter siste istid. Dataene viser kun hvilke jordarter de øverste meterne i løsmassene består av. Datasettet

kan anvendes i arealplanlegging ved å vurdere grunnforhold, grunnvannspotensiale og infiltrasjonsmuligheter (NGU, 2015).

3.5 Dataanalyse

3.5.1 Avgrensing av studieområdet

Analysen startet med å avgrense studieområdet. To forutsetninger var med på å avgrense studieområdet. Den første forutsetningen ble avgjort i møter med Stjørdal kommune høsten 2018. Jeg og representantene fra Plan og miljø kom fram til at lokalisering av fremtidige boliger i Sonaområdet egnet seg som problemstilling for mitt prosjekt. Fra Stjørdal kommunes Konsekvensvurdering (Stjørdal kommune, 2014) kommer det fram at formannskapet har et ønske om opptrapping av boligutbygging i Sonaområdet. En videre undersøkelse av det foreslåtte området var ønskelig på grunn av usikkerhet knyttet til flomfaren. Denne lokaliseringen bør være sentralt plassert i bygda. Stjørdal kommune og jeg kom fram til at første avgrensning bør være grunnkrets 0101 Sona. Grunnkretsen omfatter ca. 7 kilometer av Stjørdalen, samt hele Sondalen opp til fjellene som avgrenser grunnkretsen i vest, sør og øst. Kommunen foreslo at videre avgrensning innenfor grunnkretsen kunne foregå ved å definere en kvote. I Konsekvensvurderingen (Stjørdal kommune, 2014) står det at utenom skoleskyss er det begrenset kollektivtilbud langs europavei 14 (E14). På grunn av lange avstander til skole og forretninger er man avhengig av motorisert fremkomstmiddel dersom man bosetter seg i Sona. Likevel er det viktig med nærhet til en transportåre med et kollektivtilbud slik at man kan bo i området uten å være for avhengig av bil. Dermed anses en viss nærhet til E14 som viktig. Det er også viktig at nybyggingen ikke berører inngrepsfri natur. Inngrepsfri natur defineres som områder én kilometer eller mer i luftlinje unna tyngre tekniske inngrep (Miljødirektoratet, 2014). Dermed avgrenses studieområdet til å være maks én kilometer unna E14 innenfor Sona grunnkrets.



Figur 11: Studieområdet i Sona. Området er lokalisert sentralt i Stjørdal kommune.

Ved bruk av GIS avgrenses studieområdet ved å velge ut grunnkrets Sona gjennom en spørring fra grunnkretsdatasettet. Datasettet FKB-Veg består av hele veinettverket i Norge og E14 er en del av dette linjetemaet. Verktøyet Buffer brukes for å lage en sone rundt E14, der yttersidene er 1 kilometer unna E14. Buffersonen og grunnkretsen legges oppå hverandre og snittet, området der de overlapper, defineres som studieområdet. Figur 11 viser studieområdet.

3.5.2 Lokaliseringsanalysens material og gjennomføring

3.5.2.1 Lokaliseringsfaktorene

Lokaliseringsfaktorene ble valgt av meg. Valgene er basert på det som anses relevant i forhold til naturfarer i Sona. I tillegg er det bestemmelser i lovverket med føringer om hvor boligutbygging kan foregå.

Avstand til veg:

Langs offentlig veg er det fastsatt byggegrenser med hjemmel i Veglova (2018), hvis ikke annet er oppgitt i KPA eller reguleringsplanen etter plan- og bygningsloven. Byggegrense fra

riks- og fylkesveg skal være 50 meter. Byggegrense fra kommunal veg er 15 meter. Avstanden regnes fra midtlinja i kjørebane og skal måles vannrett og i rett linje. Dermed er maksimal avstand fra E14, fylkesvei 20 (FV20) og fylkesvei 26 (FV26) satt til 50 meter. Andre veier i områder har maksimal avstand 15 meter. Her ble verktøyet Buffer i GIS benyttet for å definere områder for nært veg.

Avstand til jernbane:

Ifølge jernbanelovens § 10 (Byggegrenser mv. Under, over og langs jernbanen) står følgende «Det er forbudt uten tillatelse fra kjøreveiens eier å oppføre bygning, anlegg eller annen installasjon, foreta utgraving eller oppfylling mv. innen 30 meter regnet fra nærmeste spors midtlinje» (Jernbaneloven, 2017). Videre i § 10 kommer det frem at dersom det finnes en reguleringsplan med andre byggegrenser med grunnlag i en annen lov innenfor 30 meter regnet fra nærmeste midtspors midtlinje skal byggetillatelse alltid gis dersom det ikke finnes grunner for avslag. Dermed ble områder innen 30 meter fra jernbanens midtsporslinje utelukket under lokaliseringsanalysen. Området ble definert ved bruk av verktøyet Buffer.

Terrenghelning:

Christophersen og Denizou (2009) definerer bratt terreng som helninger over 12 grader. Skråninger med helning over 12 grader byr på en rekke byggetekniske utfordringer. Det må også tas hensyn til veisystemer. Veiene må ha akseptable stigningsforhold. Bratt helning kan også føre til problemer med bortledning av overflatevann, stabilitet og rassikring. Rørlegging og ledninger er også vanskeligere å plassere i bratt terreng. Områder som har en terrenghelning større enn 12 grader er utelukket for videre analyse. Områder som er over bratte dalsidene i Sona er også masket ut. Byggeprosjekter over de bratte dalsidene anses som ikke økonomisk hensiktsmessige siden det krever bygging av veg og annen infrastruktur i krevende terreng. I kapittel 2 i Forskrift om avkjørsler fra offentlig veg (2003) kommer det frem at på de første 50 meter fra offentlig veg skal avkjørselen ha en maksimal stigning eller fall på 1:8 (7,1 grader). De bratte dalsidene og høyereliggende områder ble utelukket med utgangspunkt i rasteren som viser terrenghelning. Denne rasteren er basert på DHM. Verdiene ble klassifisert i to kategorier, områder med større helning enn 12 grader og de med lavere helning. De bratte dalsidene kom tydelig frem etter klassifiseringen. De bratte dalsidene og fjellområdene ble avgrenset ved å markere grensen mellom bratt og flatt terreng med avmerkingsverktøy i GIS.

Eksisterende bebyggelse:

En premiss for den videre boligutbyggingen er at det ikke skjer på eksisterende bebyggelse. Områder med eksisterende bebyggelse er utelukket for videre analyse. Dette datasettet viser kun utbredelsen til boliger og andre bygninger som polygoner.

Naturvernområder:

Datasett med vernede områder og vernede enkeltobjekter var med for å utelukke slike områder. Studieområdet hadde ingen områder som var vernet.

Inngrepsfrie naturområder:

Alle soner som er definert som inngrepsfri naturområde utelukkes for videre analyse. Studieområdet hadde ingen områder som er definert som inngrepsfri natur.

Dyrket jord:

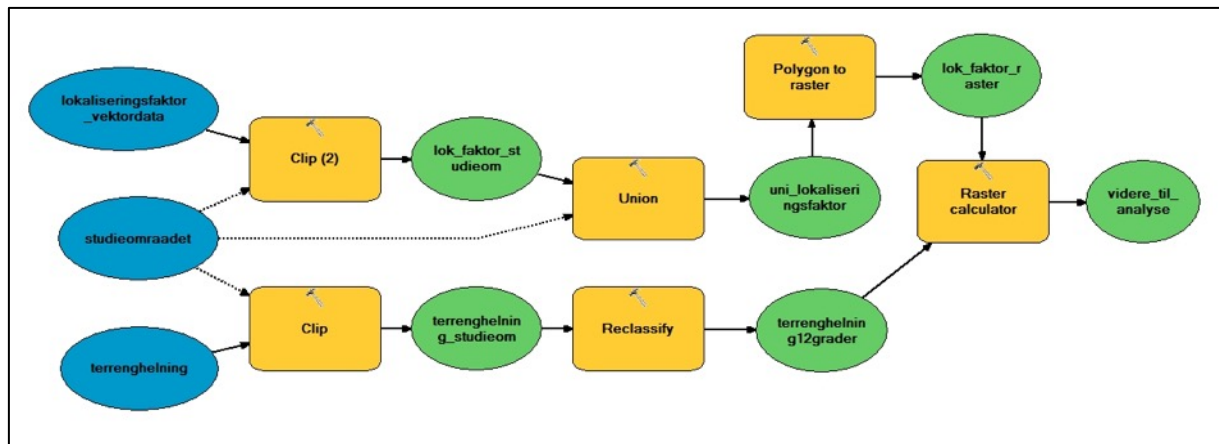
Områder i datasettet FKB-AR5 med arealtype fulldyrket jord eller overflatedyrka jord utelukkes for videre analyse. Av hensyn til fremtidig landbruksproduksjon.

Flomfare, jord- og flomskred, vann, steinsprang og kvikkleire:

Områder bestående av bekker, elver, kanaler, grøfter og innsjøer utelukkes for videre analyse. Samt områder som har potensiell fare for flom, jord- og flomskred, steinsprang og kvikkleireskred.

3.5.2.2 Gjennomføringen av lokaliseringsanalysen

Formålet med lokaliseringsanalysen var å utelukke områder som ikke egner seg for boligutbygging. Figur 12 viser hvilke data og verktøy som ble benyttet under lokaliseringsanalysen, og prosessen med å avgrense området for videre analyse. De blå boblene er inngangsdata, de gule firkantene er GIS-verktøy og de grønne boblene er resultatet etter å ha prosessert data i et verktøy. Pilene angir rekkefølgen i prosessen og modeller av denne typen leses fra venstre mot høyre. Sluttresultatet er dermed lengst til høyre.



Figur 12: Data og verktøy benyttet i lokaliseringsanalysen. Lokaliseringsfaktorene som angår veg, jernbane og terrenghelning krevde forarbeid som ikke inngår i figuren. Dette forarbeidet er beskrevet under informasjonen om lokaliseringsfaktorene.

Lokaliseringsanalysen tar utgangspunkt i studieområdet som var definert av Sona grunnkrets og områdene som er én kilometer unna E14 eller nærmere. Alle datasett som lokaliseringsfaktorene er basert på, ble klippet mot avgrensningen til studieområdet. For å skape god oversikt er alle lokaliseringsfaktorer utenom terrenghelning samlet i samme blå boble siden de er vektordata og de siste stegene i analysen er identisk for disse lokaliseringsfaktorene. Terrenghelning er basert på DHM. Terrenghelningsverktøyet i GIS ble benyttet med DHM som inngangsdata. Terrenghelningsfaktoren bearbeides raskere i modellen enn de andre faktorene siden det er en raster, mens de andre datasettene må gjennomgå en polygon-til-raster-transformasjon før at alle rastere kalkuleres sammen i rasterkalkulatoren. Etter at datasettene ble klippet ble hver lokaliseringsfaktor og studieområdet forent sammen i et og samme lag ved bruk av verktøyet Union. I attributt Tabellen til hver av disse nye temalagene ble det lagt til en ny kolonne. I denne kolonnen ble områder som går videre til neste steg i MKA'en tildelt verdien 1 og områder utenfor ble satt til 0. I matematikkens språk er 1 = sant og 0 = usant, med andre ord er dette matematikkens måte å utrykke aktuelle og uaktuelle områder for videre analyse. Terrenghelningsrastere ble reklassifisert og områder med terrenghelning over 12 grader ble reklassifisert til verdien 0 og de andre områdene fikk verdien 1. Områder over de bratte dalsidene ble tildelt verdien 0. Dette er viktig at alle cellene i rasteren enten har verdien 0 eller 1 med tanke på kartalgebraen som senere ble utført. Deretter ble alle temalagene konvertert fra polygon til raster. I siste del av lokaliseringsanalysen ble alle lagene multiplisert med hverandre ved bruk av kartalgebra. Områder som endte opp med verdien 1 har verdien 1 i alle temalagene for det området. Ved bruk av verktøyet Gruppering av regioner ble arealet til hvert sammenhengende område

utregnet. I selekteringsverktøyet ble en spørring definert for å plukke ut områder med likt eller større sammenhengende areal enn 5000 m².

3.5.3 Egnethetsanalysens material og gjennomføring

3.5.3.1 Egnethetskriteriene

Terrenghelning:

Denne faktoren ble også benyttet i lokaliseringsanalysen. Forskjellen i egnethetsanalysen er at i stedet for å ekskludere områder med helning over 12 grader ble alle områder med helning mellom 0 til 12 grader konvertert til en standardisert verdi på en skala fra 0 til 1. Der horisontalt flate områder ble tildelt verdien på 1 og skråninger med helning på 12 ble tildelt verdien 0.

Solforhold:

Ved å bruke en DOM som inngangsdata i verktøyet Solinnstråling kom en raster med fordelingen av antall soltimer over et helt år som resultat. Hver celle i rasteren har en verdi. Denne verdien angir antall timer med direkte sollys på det spesifikke området i kartet totalt i løpet av et år. Disse verdiene ble også standardisert på en skala fra 0 til 1. Der områder med verdien 1 mottar mest sollys og 0 angir områder med minst sollys.

Avstand til veg:

Områder for nært veg vil på dette stadiet være ekskludert under lokaliseringsanalysen. Her ble områder som er nærmest veg etter ekskludering rangert som mest egnet og områder som er lengst unna rangert som uegnet. Da ble verktøyet Evklidsk avstand benyttet for å bestemme avstanden til veg i meter. Disse verdiene ble også standardisert på en skala fra 0 til 1. Der 1 er områder nærmest veg og 0 er områder lengst unna veg.

Grunnforhold:

Denne faktoren består av ordinale data. Det vil si at infiltrasjonsevnen er kun rangert i en bestemt rekkefølge i forhold hvor god infiltrasjonsevnen er. Denne faktoren angir grunnforhold med tanke på permeabilitet, altså underlagets evne til å lede vann vertikalt gjennom lagene. NGU har laget en liste med fem nivåer av permeabilitetsevne i løsmassene. Disse dataene ble standardisert i likhet med de andre faktorene. De ble tildelt en standardisert

verdi uten bruk av formel 3.1. I produktarket for løsmassedataene (NGU, 2018) er infiltrasjonsevnen til løsmassene rangert i en ordinal skala.

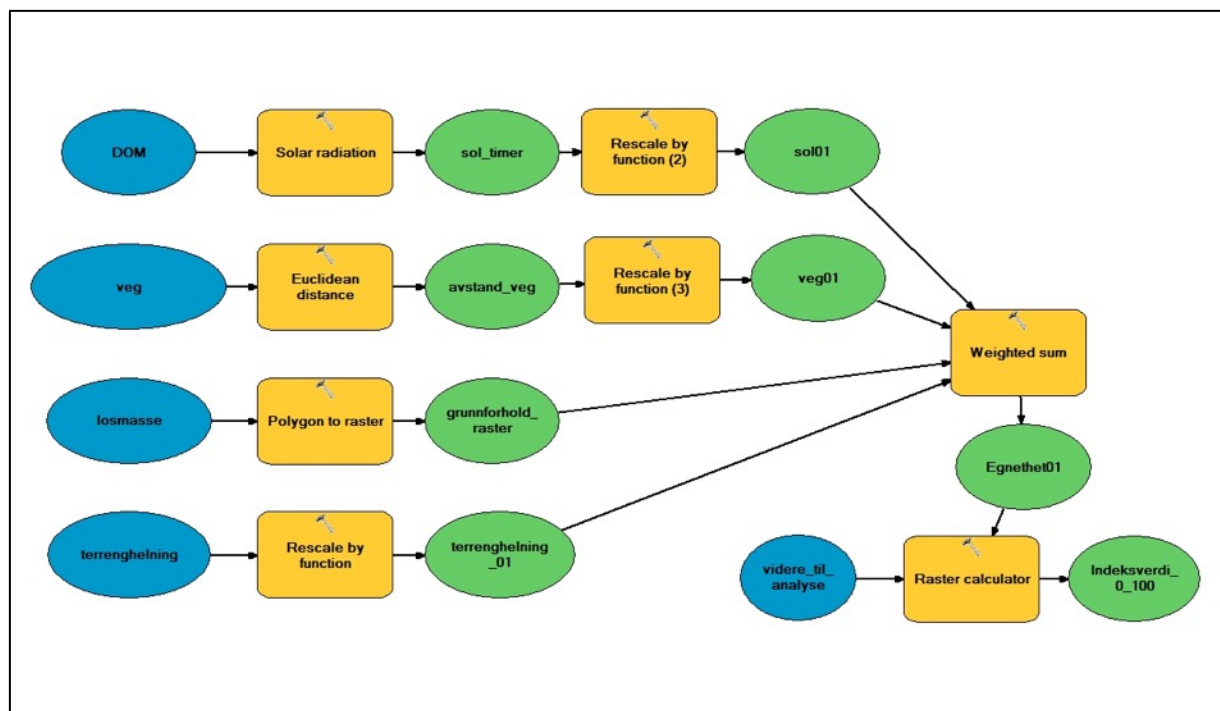
Tabell 4: Rangering av infiltrasjonsevnen til løsmassedatasettet og standardiserte verdier for grunnforhold.

Datasekk	Egenskap	Kode	Kodebeskrivelse	Standardisert verdi (s_i)
Losmasse	infiltrasjonsevne	1	Godt egnet	1
Losmasse	infiltrasjonsevne	2	Middels egnet	0,66
Losmasse	infiltrasjonsevne	3	Lite egnet	0,33
Losmasse	infiltrasjonsevne	4	Uegnet	0
Losmasse	infiltrasjonsevne	5	Ikke klassifisert	0

I kolonnen til høyre i tabell 4 er de standardiserte verdiene for kriteriet grunnforhold listet opp. Denne kolonnen er lagt til i tabellen fra NGU. Hele tabell 4 er en del av attributt Tabellen til datasettet. Områder med best infiltrasjonsevne er tildelt verdien 1. Områder med de dårligst infiltrasjonsevne er tildelt verdien 0, dette gjelder også for ikke-klassifiserte områder. De resterende kategoriene er ilagt en verdi slik at intervallbredden mellom nivåene er like.

3.5.3.2 Gjennomføringen av egnethetsanalysen

Egnethetsanalysen tok utgangspunkt i lokaliseringsanalysen. Lokaliseringsanalysen angir med andre ord hvilke områder som er aktuelle å vurdere i egnethetsanalysen. Egnethetsanalysen bestod av fire kriterier: Terrenghelning, solforhold, nærhet til veg og grunnforhold. Figur 13 viser hvordan egnethetsanalysen foregikk:



Figur 13: Inngangsdata og verktøy i prosessen bak egnethetsanalysen.

Alle data for kriteriene er klippet slik at de kun er representert i studieområdet, dette skjedde i lokaliseringsanalysen. DOM var inngangsdata i solinnstrålingsverktøyet for å bestemme fordelingen av antall timer med direkte sollys. DOM ble benyttet fordi den tar hensyn til at sollys blokkeres av trær, eksisterende bygg og andre objekter som ikke inngår i en DHM. Ved bruk av verktøyet Evklidsk avstand får man en raster der hver celleverdi angir korteste avstand til et bestemt objekt. Her ble Evklidsk avstand benyttet for å lage en kontinuerlig raster som viser avstanden til nærmeste veg for alle områdene. Denne avstanden er gitt i meter regnet fra nærmeste veg. Terrenghelningen kan ha teoretiske verdier mellom 0 og 90 grader. Der 90 tilsvarer vertikalt terreng og 0 er horisontalt flatt terreng.

I datasettet Løsmasse vises blant annet infiltrasjonsevnen til jordsmonnet. Infiltrasjonsevnen er oppgitt i en ordinalskala med fire nivåer. Løsmassedatasettet som kriteriet grunnforhold er basert på er vektordata. Det ble laget en ny kolonne i attributtabelen til løsmassepolygonet med standardiserte verdier for egnethet når det gjelder grunnforhold (se tabell 4).

Løsmassedatasettet gjennomgikk en polygon-til-raster-transformasjon. Data for terrenghelning, avstand fra veg og solforhold ble konvertert til en standardisert skala med verdier fra 0 til 1 ved bruk av verktøyet Reskalering. Verdien 0 angir dårlig egnethet og 1 angir god egnethet. Det ble valgt en lineær transformasjon slik at forholdet mellom verdiene er den samme. Hver av disse fire rasterene multipliseres med sin vekt som ble bestemt ved bruk av AHP. De fire lagene ble addert, dette skjer ved bruk av verktøyet Summering av vektorer. Deretter ble denne rasteren multiplisert med rasteren fra lokaliseringsanalysen for å utelukke uaktuelle områder bestemt i lokaliseringsanalysen. Denne kalkuleringen skjer ved å skrive gangestykket i rasterkalkulatoren. Til slutt multipliseres denne summen med 100 slik at indeksverdiene ligger på en skal fra 0 til 100. Resultatet ble en raster som viser graden av egnethet for boligutbygging i områdene som gikk videre fra lokaliseringsanalysen. Indeksverdiene angir egnetheten for boligutbygging der 0 er uegnede områder og 100 er svært egnede områder.

3.5.4 Analytisk hierarkisk prosess

3.5.4.1 Utfyllingsskjema

Vektene for de fire kriteriene i egnethetsanalysen er basert på parvis sammenligning av viktigheten mellom alle kriteriene. Denne sammenligningen ble utført av representanter fra reguleringsplan, kommunalteknikk, park og idrett og folkehelsekoordinatoren i Stjørdal

kommune. De var ti personer til sammen. Det ble utformet et digitalt utfyllingsskjema (Se Vedlegg 1) ved bruk av programmet Forms². Utfyllingsskjemaet starter med en introduksjonstekst rettet mot de ansatte ved Plan og miljø i Størdal kommune. Teksten starter med en presentasjon av masteroppgavens problemstilling og formålet med undersøkelsen. Kriteriene blir presentert og redegjort for. Introduksjonsteksten avsluttes med praktisk informasjon om utførelsen av utfyllingsskjemaet. Det var ønskelig med god spredning i fagområder. Grunnen til det er at lokalisering av boliger er sammensatt. Man må ta hensyn til tekniske utfordringer. Samtidig er det viktig å vurdere andre faktorer som fører til bolyst. Utfyllingsskjemaet bestod av syv spørsmål der de seks første er parvise sammenligninger av to ulike kriterier. I det syvende spørsmålet ble deltagerne bedt om å oppgi hvor mange som var med å besvare utfyllingsskjemaet og hvilke stillingstitler de har. Lenken til utfyllingsskjemaet ble sendt per epost til min kontaktperson ved Plan og miljø i Stjørdal kommune.

3.5.4.2 Utregning av vektene

Etter at utfyllingsskjemaet kom tilbake utfylt ble alle forholdstallene fra de parvise sammenligningene plassert i en sammenligningsmatrise (se formel 3.6). Ved å anvende formel 3.7 og 3.8 ble vektene w_i beregnet til hvert kriterium. Vektene ble deretter implementert i formell 3.3 slik at indeksverdiene i egnethetsanalysen ble beregnet. I GIS foregikk utregningen av indeksverdiene ved å benytte verktøyet Summering av vekter. Da vises indeksverdiene over en kontinuerlig skala til alle cellene i kartet i studieområdet.

3.6 Etiske betraktninger

3.6.1 Personopplysninger

Under arbeidet med prosjektet ble ikke personopplysninger registrert. Av den grunn var det ikke nødvendig å varsle NSD (Norsk senter for forskningsdata). I forbindelse med utfyllingsskjemaet sendt til Plan og miljø ble det ikke bedt om navn eller andre personopplysninger. Deltakerne ble bedt om å oppgi stillingstittel slik at jeg fikk en indikator på spredningen av fagområder. Innenfor hvert fagområde er det ikke mange personer, så det

² I programmet *Forms* kan man opprette undersøkelser for å samle inn tilbakemeldinger og avholde avstemninger (Microsoft, 2019).

er mulig å identifisere enkeltpersoner basert på stillingstitler. Men synspunktet til hvert enkeltindivid er umulig å spore opp. Innhenting av svar forgikk via en synergistisk gruppe. Det vil si at svarene på utfyllingsskjemaet er et kollektivt svar fra hele gruppen.

3.6.2 Betraktninger rundt GIS-analyser

GIS-analyser kan distansere forskeren fra studieområdet. Resultatene i prosjektet er basert på geografiske data hentet fra databaser. Dataene er ikke perfekte og kan ikke representere virkeligheten fullt ut. Når man bearbeider data i GIS er det kun slike representasjoner av virkeligheten man bearbeider. Prosjektets formål er å kartlegge områder som egner seg for boligutbygging. Det er viktig at boliger lokaliseres på trygge steder slik at det er forsvarlig å sette boligene opp.

3.6.3 Samfunnsmessige interesser

Stjørdal kommune er interessert i å vite om det finnes alternative plasseringer som er bedre egnet enn den foreslåtte eiendommen. Hovedgrunnen og motivasjonen for å se på alternative lokasjoner kom av usikkerhet knyttet til naturfarer som flom. Det anses som viktig å få fram funnene i dette prosjektet. Det er to grunner til det. Den første grunnen er rettet direkte mot saken i Sona. Det er interesse fra Stjørdal kommunes side å vite resultatet. Det er også viktig å publisere masteroppgaven for presentere at metoden i større grad kan brukes i den type kartlegging. Oppgaven kan være en inspirasjon for andre som ønsker å kartlegge egnede lokasjoner for et bestemt formål. Metoden og fremgangsmåten er forklart på en måte slik at det skal være mulig for andre å gjennomføre analysen.

3.7 Metodekritikk

3.7.1 Metodekritikk rundt multikriterieanalyse

MKA'er gjennomføres ofte gjennom to steg. Det ble den i dette prosjektet også. Metodens første del er utelukkelse av uaktuelle områder i studieområdet for videre analyse. Kriteriene som inngikk i analysen ble valgt av meg. Jeg valgte kriteriene på bakgrunn av det som anses som relevant for Sonaområdet. Tilgjengeligheten av datasett setter begrensinger for hvilke kriterier som kan representeres. En kritikk er at valg av kriterier kunne vært gjort annerledes. Enten ved å ta utgangspunkt i en tidligere studie. Eller få personer med ekstra kjennskap i

fagfeltet til å bidra med forslag til nødvendige kriterier. Lokaliseringsfaktorene som masket ut uaktuelle områder er inndelt i boolske medlemskap, aktuell og ikke-aktuell for videre analyse. Å kategorisere områder som enten aktuell eller ikke-aktuell betegnes som hard i den forstand at det dannes diskrete områder innenfor studieområdet. Virkeligheten er ikke diskret som det fremkommer av medlemskapene og dermed kan man kritisere denne inndelingen. Det er terskelverdier som angir grensen mellom medlemskapene. Terskelverdiene ble satt i henhold til regelverk og anbefalinger. Dette ansees som en styrke at valgene er basert på offisielle referanser.

På lik linje med lokaliseringsanalysen var egnethetsanalysen begrenset til de tilgjengelige datasett som fantes for å representere kriteriene. I egnethetsanalysen er egnetheten vist over en kontinuerlig skala. Kriteriene i denne analysen oppleves mykere da verdiene er kontinuerlige. Fordeler med en slik gradering er at virkeligheten kan uttrykkes med nøyaktig. For å koble sammen kriteriene ble vektet lineærkombinasjon benyttet. Viktigheten til hvert kriterium, vektene, ble bestemt ved bruk av AHP. Disse tallene er basert på meninger til personer med ekspertise. Hva personer mener om et tema kan variere ut ifra ulike faktorer. Dermed bør en tenke over at resultatet kunne vært annerledes. Dette gjelder også dersom man spurte andre. Det var ansatte fra ulike avdelinger i Stjørdal kommune som vurderte kriteriene opp mot hverandre. De ble sett på de med mest relevant kunnskap til å gjøre disse vurderingene. Siden personene har kjennskap til området og at spredningen mellom fagområdene de representerer var bred.

3.7.2 Betragtninger rundt datasettene

Alle datasettene har en gitt oppløsning og oppløsningen angir en grense for nøyaktighet i resultatene. Alle operasjonene og resultatene i GIS er basert på innhentede data og prosessen vil være beheftet med følgefeil, med det menes at oppløsning kan ikke forbedres under prosessen. Til tross for følgefeilene har kravene til kriteriene vært strenge og terskelverdiene er satt med gode marginer slik at egnetheten for boligutbygging skal være best mulig i de alternative lokasjonene.

Samtidig må man tenke over at dataene kun viser et øyeblikksbilde av virkeligheten. Data foreldes med tiden og blir mer unøyaktige med tiden. Menneskeskapte og naturlige objekter forandres over tid. Ut ifra observasjoner og informasjon om Sona betraktes dette området som

rolig med tanke på større endringer. Fordeler med å benytte seg av data hentet fra databaser er at man kan analysere større områder enn i en fysisk kartlegging.

4 Resultater

4.1 Tilbakeblikk på problemstillingen

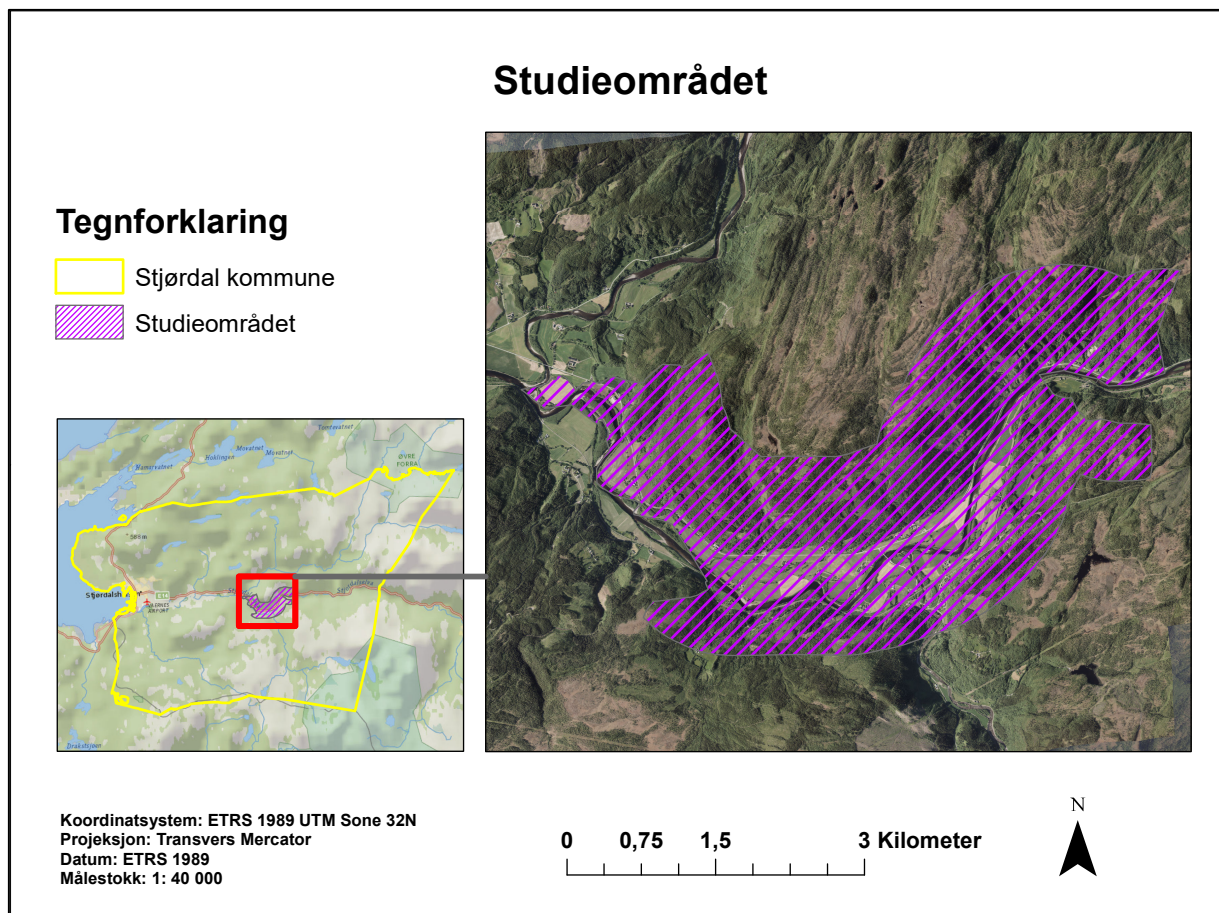
I dette kapittelet presenteres funnene fra analysen. Dette vil skje ved å presentere delfunnene for å gi et innblikk av betydningen de ulike stegene av analysen har hatt å si for det endelige resultatet. Først kommer en påminnelse om masteroppgavens problemstilling:

Hvilke områder i Sona fremkommer som egnede områder for boligutbygging ved bruk av GIS-basert multikriterieanalyse?

Problemstillingen besvares ved å forklare hvordan man bruker GIS til å bearbeide tilgjengelige data. For så å bestemme hvilke områder som egner seg for boligutbygging. Resultatene skal bestå av kart som viser hvor de mest egnede områdene er lokalisert innenfor studieområdet. Blant de egnede områdene foreslås ett av disse som alternativ til det foreslåtte området i KPA. Kommunens foreslåtte område ble masket ut under lokaliseringsanalysen på grunn av naturfarer (se figur 19).

4.2 Studieområdet

Etter definering av studieområdet stod et område på 13,0 km² igjen til analyse for boligutbygging. Figur 14 viser studieområdets utstrekning.



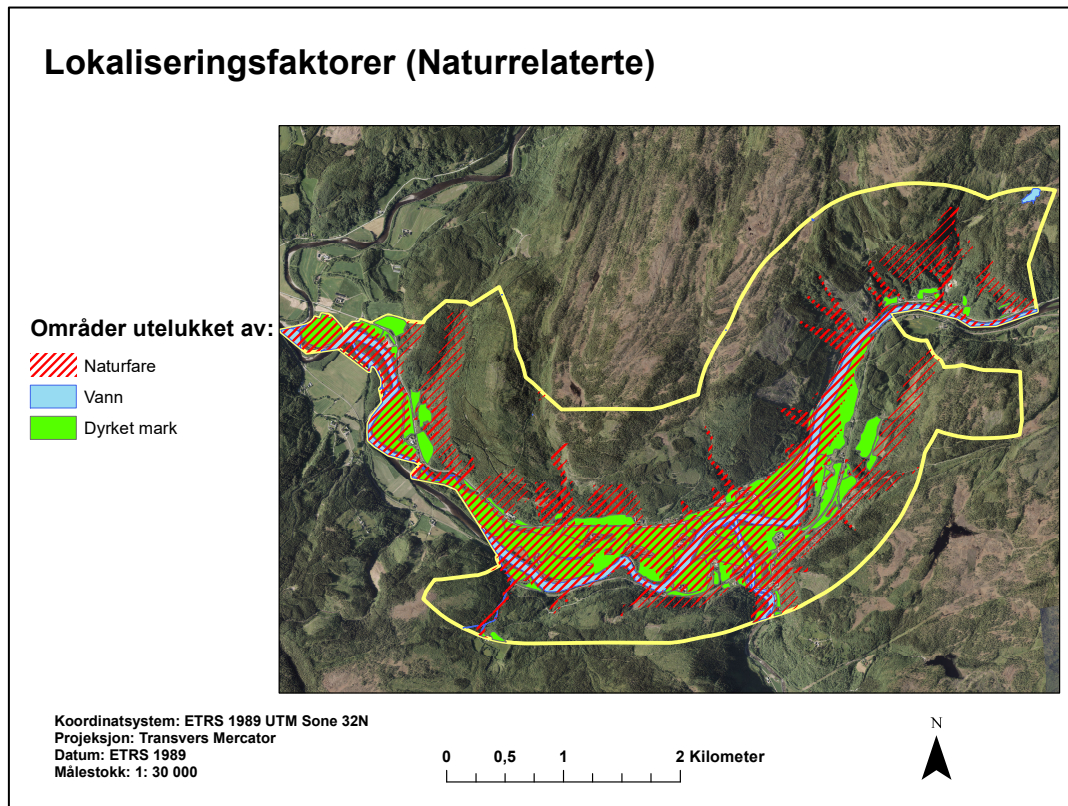
Figur 14: Studieområdets utbredelse.

Man kan se ifra figur 14 at studieområdet er lokalisert i midtre del av Stjørdal kommune i Trøndelag fylke. Studieområdet består av Stjørdalen med elvesletter langs Stjørdalselva. Sonelva møter Stjørdalselva midt i studieområdet. Avgrensningen foregikk ved velge ut området som er innenfor Sona grunnkrets og områder maksimalt 1 km unna eller nærmere E14. Avgrensningen i øst og vest skyldes utbredelsen til Sona grunnkrets. I nord og sør er det hovedsakelig avstanden til E14 som har avgrenset studieområdet.

4.3 Funn fra lokaliseringsanalysen

Under lokaliseringsanalysen ble alle områdene innenfor studieområdet sjekket i hvor stor grad de tilfredstilte kravene til lokaliseringsfaktorene. Figur 15, 16 og 17 viser betydningen til hver av faktorene. Figur 15 viser naturrelaterte lokaliseringsfaktorer. Fare for flom, jord- og flomskred, kvikkleirekred og steinsprang er kombinert sammen for å skape oversikt i kartet. Figur 16 viser faktorer som er relaterte til infrastruktur og politiske bestemmelser. Figur 17




viser hvilke områder som er masket ut på grunn av terrenghelning. Her er også områder over de bratte dalsidene fjernet for videre analyse.

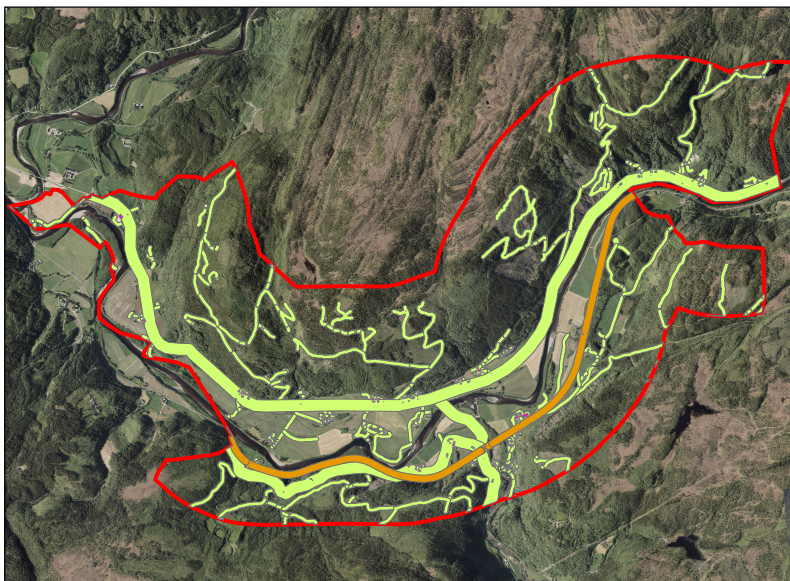


Figur 15: Områder utelukket av naturfarer, vann og dyrket mark.

Lokaliseringsfaktorer (Infrastruktur)

Områder utelukket av:

-  Eksisterende bebyggelse
-  Jernbane
-  Veier



Koordinatsystem: ETRS 1989 UTM Sone 32N
Projeksjon: Transvers Mercator
Datum: ETRS 1989
Målestokk: 1: 30 000

0 0,5 1 2 Kilometer

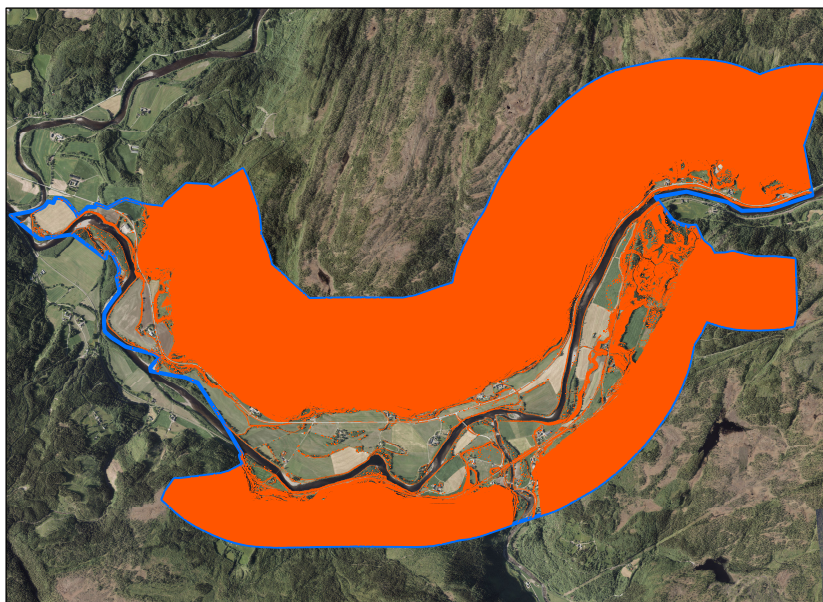


Figur 16: Områder utelukket av infrastruktur.

Lokaliseringsfaktorer (Terrenghelning)

Områder utelukket av:

-  Terrenghelning



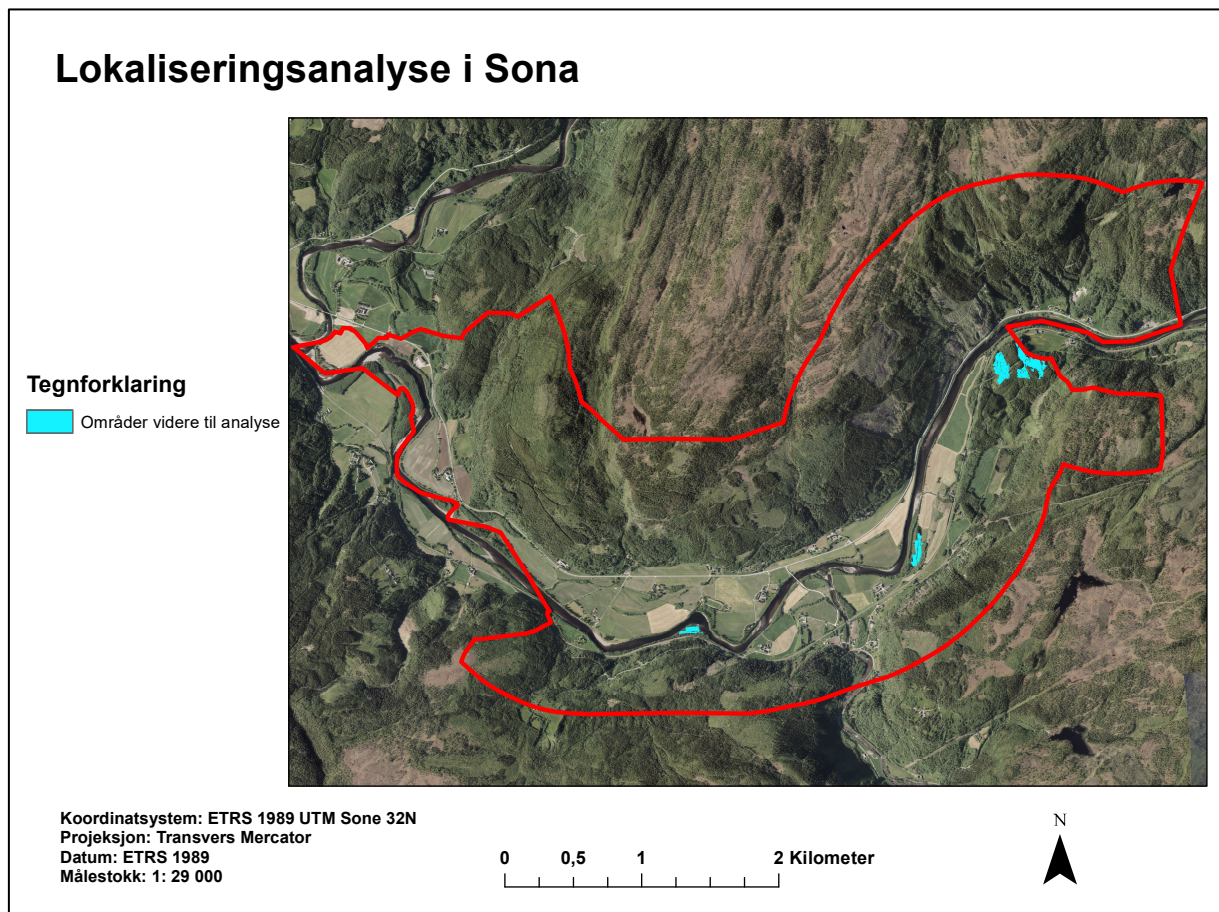
Koordinatsystem: ETRS 1989 UTM Sone 32N
Projeksjon: Transvers Mercator
Datum: ETRS 1989
Målestokk: 1: 30 000

0 0,5 1 2 Kilometer



Figur 17: Områder utelukket av bratt terrenghelning. Områder over de bratte dalsidene er også utelukket.

Naturfaretemalaget i figur 15 er en kombinasjon av flere naturfarer for å skape oversikt i kartet. Her kommer en mer detaljert beskrivelse. Blant de naturrelaterte lokaliseringsfaktorene i figur 15 er områdene på elveslettene masket ut på grunn av flomfare og dyrket mark. I dalsidene er det fare for jord- og flomskred og steinsprang. Studieområdet er ikke utsatt for leirskred på bakgrunn av dataene fra NVE. I figur 16 ser man at veier og jernbane masket ut en rekke områder. Man kan også se at eksisterende bebyggelse ikke opptar mye plass. Ingen av områdene innenfor studieområdet er definert som inngrepsfri natur og naturvernområde. Figur 17 viser områder med terrenghelning brattere enn 12 grader. I tillegg er områder som er ovenfor sammenhengende område med bratt terreng masket ut av hensyn til fremkommelighet og kostnader ved å bygge veg til høyereliggende områder. Hovedsakelig gjelder dette i dalsidene og omkringliggende fjell.

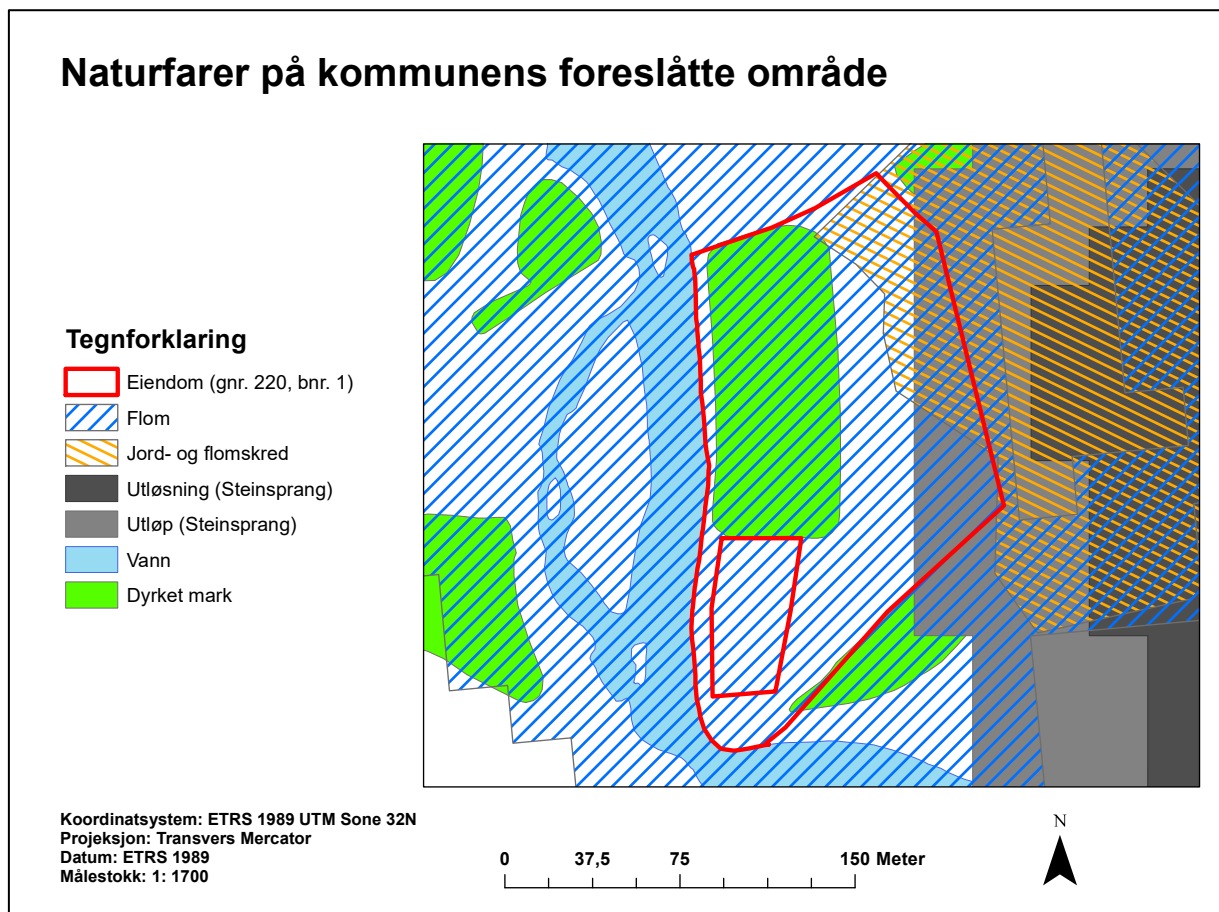


Figur 18: Resultat fra lokaliseringsanalysen. Kartet viser områder som gikk videre til egnethetsanalysen.

I figur 18 er blå områder de som gikk videre fra lokaliseringsanalysen. Disse områdene er lokalisert langs dalbunnen i Stjørdalen, fordelingen er størst i østlige strøk. Det er fire

sammenhengende områder. Arealet til områdene som gikk videre til egnethetsanalysen er 0,056 km². Det vil si at 0,43 % av det opprinnelige studieområdet gikk videre til egnethetsanalysen.

Før de alternative lokasjonene presenteres trekkes det opprinnelige forslaget fra Stjørdal kommune fram igjen. Det opprinnelige forslaget i KPA ble utelukket under lokaliseringsanalysen. Eiendommen er flat og ligger nært eksisterende infrastruktur. Under lokaliseringsanalysen ble det påvist at hele området er utsatt for flom. Den østlige delen mot dalsiden er utsatt for jord- og flomskred og steinsprang. Det er også dyrket mark på eiendommen.



Figur 19: Påviste naturfarer i den foreslåtte eiendommen i KPA. Det er fare for flom over hele eiendommen og rasfare i østlige deler.

4.4 Funn fra egnethetsanalysen

Resultatene fra utfyllingskjemaet besvart av representantene fra Stjørdal kommune er vist i tabell 5.

Tabell 5: Resultat fra parvis sammenligning av kriteriene i egnethetsanalysen.

	Terrenghelning	Solforhold	Nærhet til veg	Grunnforhold	Radsum
Terrenghelning	1	1/3	3	1	5,33
Solforhold	3	1	7	7	18,00
Nærhet til veg	1/3	1/7	1	1/3	1,81
Grunnforhold	1	1/7	3	1	5,14
					30,28

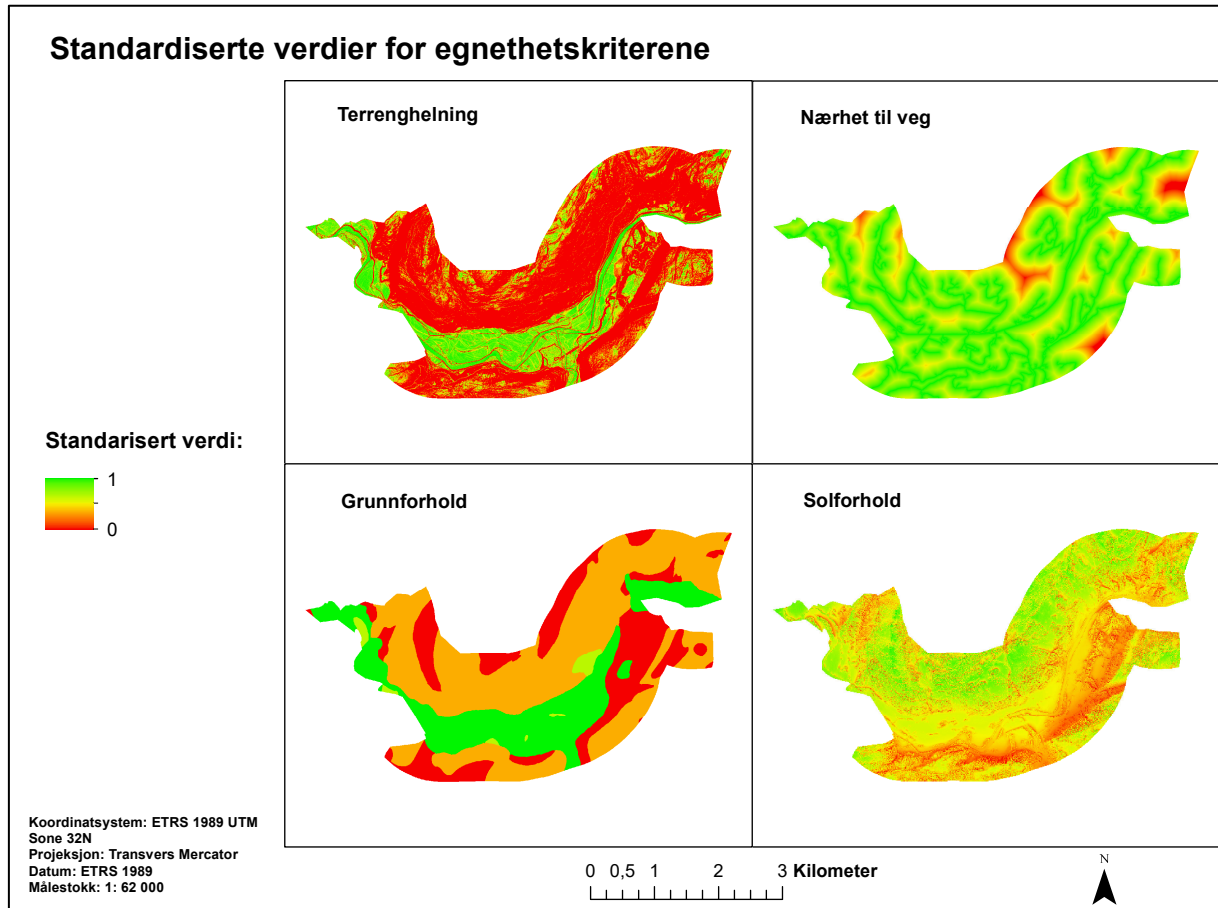
Tabellen er basert på sammenligningsmatrisen (formel 3.6) og hver rad representerer et kriterium. Viktigheten til hvert kriterium er basert på parvis sammenligning. Den parvise sammenligningen er vist i tabell 5. Man leser tabellen horisontalt. La oss se på terrenghelning. Terrenghelning er tre ganger mindre viktig (1/3) enn solforhold, tre ganger (3) viktigere enn nærhet til veg og like viktig (1) som grunnforhold. Man leser av viktigheten på samme måte for de resterende kriteriene.

Kolonnen til høyre viser radsummen til hvert kriterium. Kriteriet med høyest radsum er vurdert til å være viktigst og vektlegges dermed høyest i egnethetsanalysen. I tabellen ser man at Solforhold er lagt størst vekt på når det gjelder hva som er viktigst under boligbygging blant de fire kriteriene. Terrenghelning og Grunnforhold er nesten like viktig å ta hensyn til. Mens nærhet til veg er desidert minst vektlagt. I tabell 6 er radsummene normalisert til vektor som ble benyttet i egnethetsanalysen. Dette ble gjort ved å dele hver radsum på den totale summen av alle radsummene (se formel 3.8).

Tabell 6: Kriterievekter

Kriterium	Vektor w_i
Terrenghelning	0,18
Solforhold	0,59
Nærhet til veg	0,06
Grunnforhold	0,17

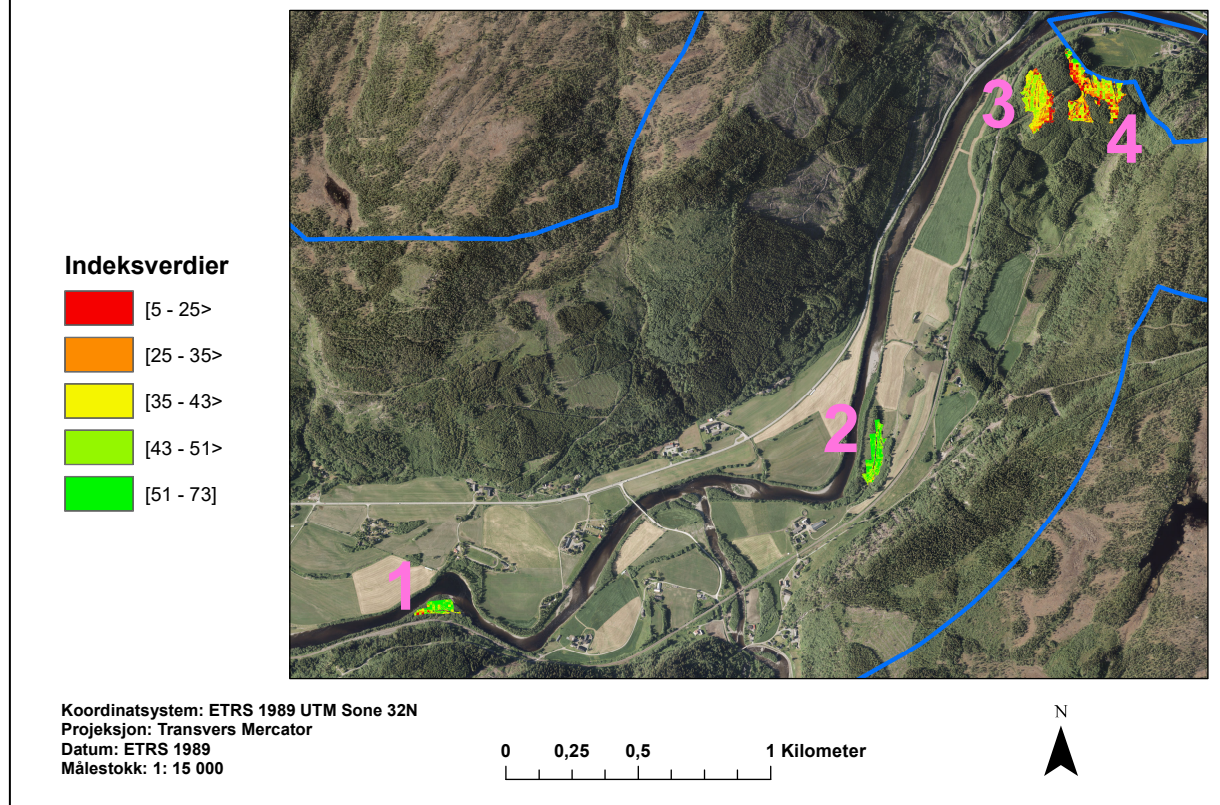
Summen av vektene fra tabell 6 er lik 1. Det vil si at terrenghelning er vektlagt 18 %, solforhold 59 %, nærhet til veg 6 % og grunnforhold 17 %. I GIS ble disse vektene brukt i verktøyet Summering av vektorer.



Figur 20: Kartene viser standardiserte verdier for kriteriene i egnethetsanalysen. Verdien 1 angir best egnethet for boligutbygging og verdien 0 angir uegnede områder.

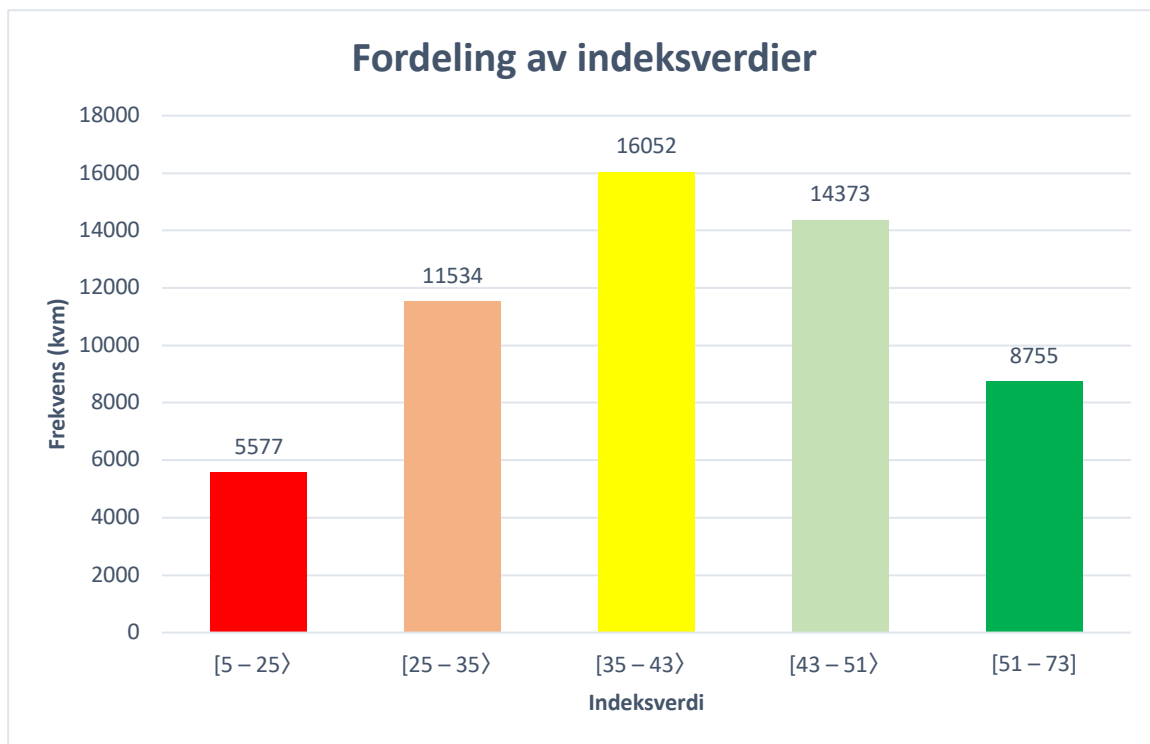
Figur 20 viser de standardiserte verdiene for terrenghelning, nærhet til veg, grunnforhold og solforhold før de ble tilegnet vektorer. Disse fire rasterene ble kombinert sammen i en og samme raster ved bruk av Summering av vektorer. Figur 13 viser stegene i GIS. Vektene ble også inkludert i dette verktøyet. Da ble indeksverdiene ferdig utregnet i tråd med formel 3.3. Til slutt ble egnethetsrasteren multiplisert med resultatet fra lokaliseringsanalysen slik at man sitter igjen med en egnethetsraster for områdene som gikk videre fra lokaliseringsanalysen. Figur 21 viser resultatet fra dette steget.

Egnethetsanalyse i Sona



Figur 21: Kartet viser graden av egnethet for områdene som gikk videre til egnethetsanalysen. Teoretisk strekker indeksverdiskalaen seg fra 0 til 100. Der 0 er lite egnet og 100 er best egnet. I denne analysen er laveste indeksverdi 5 og den høyeste er 73.

Her ble naturlige brudd benyttet for å kategorisere indeksverdiene i klasser. Det er fem klasser. Naturlige brudd kjennetegnes ved å minimalisere verdiforskjellen innad i hver kategori og maksimere forskjellen mellom klassene. Denne metoden ble benyttet slik at verdiskillene mellom klassene skal være størst mulig og at verdiforskjellen skulle være minst mulig innad i hver klasse (ESRI, 2018a). Ved å betrakte figur 21 ser man at lokasjon 1 og 2 er i stor grad kategorisert som godt egnede områder. Lokasjon 3 og 4 består av middels og lavt egnede områder i henhold til indeksverdiskalaen.



Figur 22: Fordeling av indeksverdier i hver av de fem kategoriene. Kategoriene har samme fargeinndeling som figur 21.

I figur 22 er frekvensen av indeksverdier for hver av egnethetsklassene vist i søyler.

Frekvensen angir antall celler i kartet som hører til i hver indeksskategorie. Oppløsningen i rasteren er 1×1 meter. Dermed viser også figuren hvor stort areal hver kategori utgjør i m^2 . I den røde kategorien som angir lavest egnethet er $5577 m^2$ av arealet en del av denne kategorien. Ingen av områdene som ble vurdert under egnethetsanalysen fikk en indeksverdi verdi over 73. Det laveste registrerte indeksverdi er 5. De fleste områdene tilhører den midtre kategorien som er middels egnethet for boligutbygging.

4.5 Lokaliseringsalternativene

I henhold til anbefalinger fra Stjørdal kommune og Miljøverndepartementet (1997) bør arealet til fem eneboliger i spredt småhusbebyggelse minst omfatte et sammenhengende område på $5000 m^2$. Fra lokaliseringanalysen var det fire sammenhengende områder med stort nok areal som gikk videre til egnethetsanalysen. Disse har fått hver sin betegnelse: Lokasjon 1, 2, 3 og 4. I tabell 7 presenteres den gjennomsnittlige indeksverdien og arealet til hver av lokasjonene.

Tabell 7: Gjennomsnittlig indeksverdi og areal til hver lokasjon. Fargene angir kategorien de gjennomsnittlige verdiene tilhører (se figur 22).

	Gjennomsnittlig indeksverdi:	Areal (m²)
Lokasjon 1	48,45	5677
Lokasjon 2	51,54	9599
Lokasjon 3	37,53	17 265
Lokasjon 4	35,19	23 750

Lokasjon 3 og 4 fikk henholdsvis gjennomsnittlig indeksverdi på 37,53 og 35,19. Disse er de laveste gjennomsnittsverdiene og disse tilhører den midtre kategorien. Det vil si middels god egnethet for boligutbygging. Av den grunn anbefales ikke disse som alternative lokaliseringer. Da gjenstår lokasjon 1 og 2. Arealmessig kommer lokasjon 2 best ut med 9599 m². Lokasjon 1 er nesten halvparten så stor som lokasjon 2. Lokasjon 1 er 5677 m² og tilfredsstillere arealkravet så vidt. Begge lokasjonene har tilstrekkelig nærhet til veg når det gjelder luftlinje. Hovedproblemet for lokasjon 1 er at jernbanen blokkerer for nærmeste vegstrekning. En undergang eller overgang må til for å knytte området til eksisterende vegnett. Ett tredje veialternativ for lokasjon 1 er å utarbeide et lengre vegstykke langs Stjørdalselva. Her kommer lokasjon 2 også bedre ut. Dermed foreslås lokasjon 2 som alternativ lokalisering med bakgrunn i MKA'en og kostnadmessige fordeler.

Alternativ lokalisering for boligutbygging

++++ Jernbane

— Veg

Indeksverdier

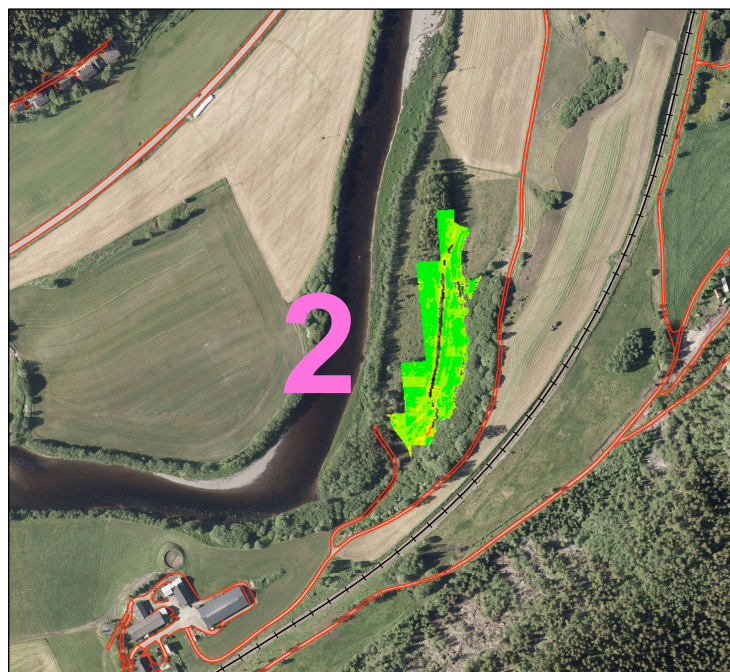
[5 - 25>

[25 - 35>

[35 - 43>

[43 - 51>

[51 - 73]



Koordinatsystem: ETRS 1989 UTM Sone 32N
Projeksjon: Transvers Mercator
Datum: ETRS 1989
Målestokk: 1: 4 000

0 87,5 175 350 Meter



Figur 23: Utbredelsen til den alternative lokasjonen for boligutbygging i Sona.

Lokasjon 2 fra figur 23 er kategorisert som godt egnet for boligutbygging. Kartet viser også nærhet til veg. Eneste vegforbindelse til E14 går gjennom et nærliggende gårdstun. En omlegging av veien ved gården kan være hensiktsmessig dersom veien blir innfartsåre til fem eneboliger.

5 Diskusjon

I dette kapittelet blir det diskutert på hvilken måte resultatene besvarer problemstillingen og hva resultatene betyr. I tillegg skal det drøftes hva som kunne ha vært gjort annerledes. Sterke og svake sider ved metodene som har blitt brukt vil også bli diskutert.

5.1 Hvordan besvarer resultatene problemstillingen?

Før diskusjonen om hvordan resultatene besvarer problemstillingen trekkes problemstillingen frem igjen:

Hvilke områder i Sona fremkommer som egnede områder for boligutbygging ved bruk av GIS-basert multikriterieanalyse?

Resultatene fra den innledende lokaliseringsanalysen peker ut fire alternativer til lokalisering av boligområder, der et av dem ble valgt ut på bakgrunn av indeksverdiene og tilgjengeligheten til eksisterende veg. Det var ingen selvfølge at noen av områdene skulle gå videre fra lokaliseringsanalysen da den inneholdt mange begrensende faktorer. Kun 0,43 % av det opprinnelige arealet gikk videre til egnethetsanalysen. Dermed anses disse områdene som godt adskilte fra alle områdene som ble vurdert i lokaliseringsanalysen. Da den har som formål å skille ut områder som egner seg spesielt godt for boligutbygging.

I likhet med studien fra Yemen (Al-Shalabi et al., 2006) og Sveits (Joerin et al., 2001) er graden av egnethet for boligutbygging uttrykt i kart. Det at resultatene i dette prosjektet utgjør en liten del av det opprinnelige studieområdet anses som en fordel siden området er av en størrelse som passer til formålet og det kan også tyde på at metoden har resultert i en lokalisering av det mest egnede området innenfor studieområdet. Lokasjon 2 er lokalisert ved Stjørdalselva øst for det foreslåtte området i KPA. Lokasjon 2 tilfredstilte kravene som ble satt i MKA'en. Tre andre lokasjoner tilfredstilte også kravene, disse tre kom dårligere ut på grunn av lavere gjennomsnittlige indeksverdier.

5.2 Metodens egnethet

GIS-basert MKA består tradisjonelt av to steg (Eastman, 1999). Disse to stegene har blitt fulgt i dette prosjektet. Lokaliseringsanalysen utgjør første steg, og egnethetsanalysen av områdene som gikk videre fra lokaliseringsanalysen utgjør det andre steget. I egnethetsanalysen ble AHP benyttet for å vekte kriteriene. Kriteriene i egnethetsanalysen ble vektet basert på meningene til personer med ekspertise i relevante fagfelt. Jeg skal diskutere metodens egnethet ved å betrakte de ulike stegene i MKA'en. Først blir det en diskusjon om metodens egnethet satt i et større perspektiv.

Det å bruke en MKA for å kartlegge egnede områder for et bestemt formål er en del av en større prosess. Alle kommuner skal ha en arealplan (Veglova, 2018) som forteller hvordan områdene skal disponeres innenfor kommunen. Hvordan arealplanen utarbeides er forskjellig mellom kommuner. I Stjørdal kommune er det vanlig at administrasjonen fremmer forslag. Fagpersoner er involvert. Privatpersoner kan også komme med innspill og det er vanlig at privatpersoner har en intensjon om utbygging på eiendommen sin dersom deres eiendommer skal inkluderes i KPA. Det er politiske avgjørelser til syvende og sist som bestemmer. MKA anses som et godt verktøy til å skille egnede områder fra uegnede områder for boligutbygging i forhold til naturfarer og andre faktorer som er gjeldende for alle landets kommuner.

5.2.1 Betragtninger rundt lokaliseringsanalysen

5.2.1.1 Skarpe skiller og terskelverdier

Lokaliseringsanalysen utelukket områder for videre analyse og har en avgjørende påvirkning på resultatet. Eastman (1999) skriver at boolske operatører fører med seg utelukkelse av områder som oppleves som skarpe. Med det menes at det er ingen jevn overgang mellom områder videre til analysen og utelukkede områder. Grensen har med andre ord ingen jevn overgang. For de fleste lokaliseringsfaktorene var det ikke nødvendig å bestemme terskelverdier. En av lokaliseringsfaktorene er fare for steinsprang. I dette tilfellet ble områder med fare for steinsprang utelukket for videre analyse. Terrenghelning var også en lokaliseringsfaktor. For terrenghelning måtte det bestemmes en terskelverdi for å kunne bestemme hvilke områder som tilfredsstillt kravene i henhold til terrenghelning. Dette måtte gjøres siden det i varierende grad er terrenghelning overalt av på landjorda. For veg og jernbane var det også nødvendig å sette en terskelverdi i henhold til minimal avstand mellom

boliger og denne type infrastruktur. Terskelverdiene er satt av gjeldende lovverk i de tilfellene der loven har konkrete føringer. For terrenghelning ble 12 graders helning satt som terskelverdi på bakgrunn av en rapport utarbeidet av SINTEF (Christophersen & Denizou, 2009). Alle valg av terskelverdier er begrunnet, men man skal være klar over at kilden er avgjørende. Ikke all litteratur har samme syn på hva som anses som bratt terreng. Dermed må man begrunne sine valg med kilder som er godt forankret i det tema det omhandler.

5.2.1.2 Valg av lokaliseringsfaktorer

Lokaliseringsfaktorene hadde en avgjørende betydning for sluttresultatet. Dersom et område kun hadde fare for flom ble det utelukket selv om de andre faktorene ikke utelukket området. Mens andre områder kunne være utelukket av flere faktorer. Valg av relevante faktorer og kriterier er blant annet basert på historikk knyttet til tidligere flomhendelser og observasjoner gjort i Sonaområdet. Valgene er også basert på generelle hensyn som må tas når det gjelder boligutbygging. Flere av lokaliseringsfaktorene er relatert til naturfarer, som steinsprang og jordskred. Det er ingen tvil om at bygging ikke skal foregå på slike utsatte områder. Mens andre lokaliseringsfaktorer er bestemt på bakgrunn av lovverk og politiske føringer. I teorien kan det være områder i inngrepsfrie soner som i teknisk forstand egner seg for utbygging. Det er ikke ønskelig å forminske inngrepsfrie soner siden de er blitt sterkt redusert de siste 100 årene. I figur 15 ser man at store områder i studieområdet utgjør dyrket mark. Selv om det kan være lett å bygge på dyrket mark er hensynet til matdyrking valgt fremfor boligutbygging. Utbygging av matjord er en stor pågående debatt. Spesielt i tettbebygde strøk der byfortetting går på bekostning av matjorda. I denne analysen ble det besluttet å utelukke dyrket mark da det i henhold til Jordlova (1995) § 9 kommer frem at dyrket jord må ikke brukes til formål som ikke kommer jordbruksproduksjonen til gode. Disponeringen av jorda må heller ikke forringe fremtidig jordbruksproduksjon. Departementet kan i spesielle tilfeller gi dispensasjon til annen bruk dersom den samlede vurderingen tilsier at jordbruksinteressene bør vike.

5.2.2 Betraktninger rundt egnethetsanalysen

5.2.2.1 Valg av kriterier til egnethetsanalysen

Egnethetsanalysen bestod av fire kriterier. Terrenghelning, nærhet til veg, solforhold og grunnforhold. To av disse kriteriene er nært beslektet med to lokaliseringsfaktorer i lokaliseringsanalysen, det er terrenghelning og nærhet til veg. I lokaliseringsanalysen ble områder med terrenghelning over 12 grader utelukket. Det samme gjaldt områder for nært veg

og jernbane. I egnethetsanalysen betraktes disse annerledes. Det som kjennetegner kriteriene i egnethetsanalysen er at disse egner seg til å uttrykke graden av egnethet over kontinuerlige tallskalaer. For terrenghelning vil det si at områder med 0 graders terrenghelning egner seg best og 12 er mest uegnet. For ifølge Christophersen og Denizou (2009) fører bratt terreng med seg vanskeligheter som for eksempel utforming av veisystemer og tekniske løsninger. For nærhet til veg er lokalisering av bolig mest egnet akkurat på minimumsavstanden fra veg og mindre egnet jo lengre unna veg man kommer. Stjørdal kommune gav uttrykk for at nærhet til eksisterende infrastruktur og bebyggelse er ønskelig. Datasettet med løsmassefordelingen hentet fra NGU (2015) inneholder data om grunnforhold og infiltrasjonsmuligheter som benyttes i egnethetsanalyser. Infiltrasjonsevnen i dette datasettet har fire nivåer og kan betraktes i en egnethetsanalyse. Når det gjelder solforhold ville det vært utfordrende å bestemme konkrete terskelverdier for å maske ut områder. Her er det spørsmål om estetisk preferanse. Dermed anses solforhold som et kriterium som betraktes over en kontinuerlig skala.

Det er mulig å bygge i områder med krevende terrenghelning eller krevende grunnforhold – de kan ha andre gode kvaliteter. Det samme gjelder for avsidesliggende områder. Spørsmålet er hva man ønsker å prioritere og hva som er økonomisk realiserbart. Kriterier der man kan utføre forskjellige prioriteringer har jeg dermed valgt å inkludere i egnethetsanalysen.

5.2.2.2 Betrachninger rundt analytisk hierarkisk prosess og vekter

Vektene til kriteriene i egnethetsanalysen er basert på AHP-metoden. Spørsmålene ble besvart i kommunal plandialog som er en tverrfaglig kommunal arbeidsgruppe. Representantene var fra reguleringsplan, kommunalteknikk, park og idrett og folkehelsekoordinatoren. I tillegg til å fylle ut skjemaet gav min kontaktperson en oppsummering av diskusjonen mens de fylte ut skjemaet. Min kontaktperson i Stjørdal kommune gav uttrykk for at det er begrenset enighet i svarene. Meningene til representantene var svært forskjellige. Diskusjonen dreide seg fort om premisser. Diskusjonen handlet om hva som er viktigst av bokvalitet og økonomisk realiserbarhet. Dersom bokvalitet skal vektlegges mest er gode solforhold og en hvis avstand til veg viktig for å unngå støy. Det blir nevnt at det er lite økonomisk lønnsomt å etablere seg i området. Dersom billige og lette byggbare tomter skal vektlegges mest burde tomtene være flate, godt drenerte og nært eksisterende infrastruktur. En gruppe på flere representanter som besvarer et og samme utfyllingsskjema kan ha uenigheter seg i mellom. Det tyder på en svakhet i gjennomføringen. En løsning kunne ha vært å sende ut individuelle

utfyllingsskjemaer og regnet ut et gjennomsnitt av resultatene. Meningene har nok vært forskjellige på denne måten også, styrken er at man med større sikkerhet tar hensyn til alle deltagernes meninger. På den andre siden anses det som en fordel at de svarte på ett og samme utfyllingsskjema da det ble en diskusjon rundt temaet. Diskusjon i fellesskap kan i beste fall resultere i høyere grad av bevisstgjøring rundt temaet.

Resultatene fra utfyllingsskjemaet viser at representantene i Stjørdal kommune har vektlagt estetiske kvaliteter mer enn økonomiske aspekter. Solforhold teller 59 % i egnethetsanalysen, mens nærhet til veg teller 6 %. Grunnforhold og terrenghelning teller henholdsvis 17 % og 18 %. Dersom alle kriteriene har blitt vektlagt like mye ville vektene til kriteriene vært 25 %. Det er solforhold og nærhet til veg som skiller seg mest ut dersom kriteriene hadde hatt samme viktighet i analysen.

5.3 Datatilgjengelighet og datakvalitet

I dette prosjektet ble det kun benyttet tilgjengelige data og det setter begrensinger for hvor mange kriterier man kan representeres i GIS. Et problem som kan oppstå når man baserer analysen på tilgjengelige data kan være at forskeren distanserer seg fra studieområdet. Høsten 2018 observerte jeg kun sentrale deler av Sona ved den foreslåtte eiendommen i KPA. Jeg har hverken vært på lokasjon 2 eller de andre lokasjonene som lokaliseringsanalysen pekte ut. Jeg er distansert fra resultatene i den forstand at jeg ikke har observert de fire lokasjonene. Om man enten skal benytte data fra målinger gjort tidligere av andre eller gjøre egne målinger i felten er avhengig av problemstillingen. I dette prosjektet skulle et område på 13 km² analyseres for egnede områder for boligutbygging. Det har blitt omfattende å foreta vurderinger i felten uten å benytte seg av data fra databaser. Man må ha rett kompetanse for å vurdere eksempelvis skredfare og grunnforhold i felten. Til tross for alle data i analysen er hentet fra databaser er det viktig at forskeren observerer området og snakker med lokale. Det har jeg gjort og det gav meg ekstra innsyn i hvordan man kan besvare problemstillingen best mulig.

Temalag i GIS er representasjoner av virkeligheten. Disse dataene representerer ikke verden nøyaktig – man er nødt til å godta forenklinger. Alle sensorer i måleapparater har en romlig oppløsning. Den romlige oppløsningen påvirker detaljrikdommen til dataene (Natural

Resources Canada, 2016). Pixelstørrelsen til DHM og DOM var på 1×1 meter. Disse er de eneste rasterdata som inngår i analysen. I forbindelse med egnethetsanalyser for boligutbygging er det optimalt å bruke data med god oppløsning. Dersom man gjør analyser over større områder som for eksempel Sona kan data med fin oppløsning være vanskelig for programvaren å prosessere siden datamengden øker med finere oppløsning. Dette problemet var større før i tiden. Man må også være bevisst på at datasettene er basert på et øyeblikksbilde. Den temporale oppløsningen for data basert på målinger fra fly kan være flere år. Med temporal oppløsning menes tiden til gjentakintervallet for flyfotografering av ett og samme område. DHM og DOM er eksempler på datasett basert på målinger gjort fra fly.

5.4 Sterke og svake sider

Å kartlegge egnede områder for boligutbygging er en omfattende prosess. Dette prosjektet har gitt et innblikk i det som kan være en del av en slik prosess. MKA har sine fordeler ved at man kan kombinere tilgjengelige data av ulike typer: Naturrelaterte, infrastruktur og områder som ikke skal bygges ut på grunn av politiske føringer. Da egnethetsanalysen var utført for de fire lokasjonene måtte en utvelgelse til for å peke ut det mest egnede alternativet. Lokasjon 2 ble valgt siden den gjennomsnittlige indeksverdien var høyest for dette området. Arealet til området var nesten dobbelt så stort som minstekravet til nødvendig areal for fem eneboliger i spredt småhusbebyggelse. Dette er en fordel for utbygger for hvor og hvordan arealet skal utnyttes.

Lokasjon 1 kom også godt ut i forhold til gjennomsnittlig indeksverdi, men å koble området til eksisterende vegnett er omfattende med tanke på blokkeringen av jernbanen og elva. Lokasjon 1 oppfylte arealkravet så vidt. På bakgrunn av det anbefales lokasjon 2 fremfor lokasjon 1. Å velge ut en lokasjon basert på gjennomsnittlig indeksverdi anses som fordel da en tallfester egnetheten for hver av lokasjonene. Gjennomsnittsverdier sier ingenting om spredningen og det kan sees på som en svakhet da at man i boligutbygging er avhengig av tilnærmet lik grad av egnethet spredt over hele lokasjonen. Andre svake sider ved det endelige valget av lokasjon er at ekspertmeninger ikke var involvert i denne utvelgelsen. I henhold til hva Stjørdal kommune vektlegger når de foreslår områder for utbygging er nærhet til infrastruktur sett på som viktig slik at man kan koble seg på den eksisterende infrastrukturen på en hensiktsmessig måte. Prosjektet har passet på å ivareta dette ønske.

5.5 Hva kunne vært gjort annerledes?

Å kartlegge egnede områder for boligutbygging innebærer flere delprosesser. Prosessen bak forslag til områder i KPA varierer mellom kommuner. La oss først betrakte utførelsen av MKA'en. Det ble benyttet tilgjengelige og relevante data som representerer kriteriene. Måten man tolker data og bearbeider dem på kan gjøres annerledes. Terskelverdier kan endres på, men i forhold til den denne oppgaven er terskelverdiene satt i henhold til lovverk og vanlige normer. Å bestemme vekter til kriteriene i egnethetsanalysen kunne vært gjort på andre måter. Studien av lokaliseringen av sykkelfasiliteter fra Wisconsin (Rybarczyk & Wu, 2010) har en annen tilnærming for å bestemme vektene til kriteriene. Her fikk vektene en fast verdi kun basert på rangering av viktighet. Dermed blir ikke den relative viktigheten mellom kriteriene uttrykt like presist som AHP. Ved bruk av AHP blir vektene tildelt en verdi som er basert på den relative viktigheten mellom alle kriteriene.

Prosjektets problemløsning besvares gjennom en GIS-basert tilnærming i dette prosjektet. Jeg har valgt en MKA for å kartlegge egnede områder for boligutbygging og så langt har jeg diskutert hvordan denne metoden kunne vært gjort annerledes. Man kan også spørre seg om problemstillingene kunne vært løst gjennom en annen metode enn MKA. I studien fra Arizona og New Mexico kartlegger Steiner et al. (2000) egnede områder boligutbygging ved bruk av en annen metode. Her ble det brukt et matrisesytem for å bestemme hvilke faktorer som er viktige for de ulike arealbrukene. Fordeler med denne metoden er at den inneholder en systematisk og oversiktlig prosess bak utvelgelsen av kriterier som bør inngå i en egnethetsanalyse.

5.6 Videre forskning

GIS-basert MKA har et stort potensial for videre utvikling i takt med den digitale revolusjonen. Tidligere forskning viser at metoden er variert og kan kartlegge egnetheten for ulike typer arealbruk. Metoden kan tilpasses i forhold til det man ønsker å kartlegge. Når det gjelder MKA med formål om å kartlegge egnede områder for boligutbygging er potensialet for videreutvikling stort og dette kan komme til stor nytte i planprosesser. En forlengelse av forskningen min kan være å utvikle nettbaserte programmer og modeller der man kan

kartlegge egnede områder for boligutbygging. Modellen kan være utformet på en slik måte at brukerne kan variere mellom kriterier og viktigheten til hver av dem. Dermed oppnår man en analyse som er spesialtilpasset det området man ønsker å undersøke.

6 Avslutning

I dette prosjektet ble en GIS-basert MKA brukt som metode for å kartlegge egnede områder for boligutbygging i Sona. Formannskapet i Stjørdal kommune har uttrykt et ønske om opptrapping av boligutbygging i Sonaområdet. I KPA for Stjørdal kommune er et område ved Sonelva foreslått som lokasjon for fremtidig boligutbygging. For Stjørdal kommune var det interessant med informasjon om området egnet seg for boligutbygging eller ikke. Dette skyldtes usikkerhet knyttet til flomfare. I tillegg var det av interesse å kartlegge mer egnede alternative lokasjoner i Sonaområdet. Kommunens foreslåtte område ble under MKA'en kategorisert som uaktuelt område for videre analyse. Dette skyldtes fare for flom, jord- og flomskred og steinsprang. Området består også av dyrket mark.

Fire lokasjoner i studieområdet ble vurdert i den avsluttende egnethetsanalysen. Lokasjon 2 kom best ut under analysen. Denne lokasjonen er ved Stjørdalselva øst for kommunens foreslåtte område.

Ved bruk av MKA har man avdekket funn som er av samfunnsmessig interesse. Det finnes forskjellige måter å utføre en MKA, slik som tidligere studier har vist. Potensialet for GIS-basert MKA er stort og kan fungere som et godt supplement i arealplanlegging i fremtiden. Et forslag til videre forskning innenfor feltet er utvikling av nettbaserte og intuitive modeller med mulighet for å kombinere ulike typer kriterier og vektlegge dem etter behov. Da kan man kartlegge egnede områder for et bestemt formål.

Litteraturliste

- Al-Shalabi, M. A., Mansor, S. B., Ahmed, N. B. & Shiriff, R. (2006). GIS based multicriteria approaches to housing site suitability assessment. *XXIII FIG Congress, Shaping the Change, Munich, Germany, October* (s. 8–13).
- Alnes, K., Berg, A. O., Clapp, C., Lannoo, E. & Pillay, K. (2018). Flomrisiko i Norge: Hvem betaler for framtidens våtere klima? *CICERO Report*.
- Chang, K.-T. (2010). *Introduction to geographic information systems* (5. utg.). New York: McGraw-Hill.
- Christophersen, J. & Denizou, K. (2009). Boligbygging i bratt terreng. En veileder. *SINTEF Fag*.
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L. & Arnold, M. (2005). *Natural disaster hotspots: a global risk analysis*. Washington D.C.: The World Bank.
- Duc, T. T. (2006). Using GIS and AHP technique for land-use suitability analysis. *International symposium on geoinformatics for spatial infrastructure development in earth and allied sciences* (s. 1–6): Citeseer.
- Eastman, J. R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. *Geographical information systems*, 1(1), (s. 493–502).
- ESRI. (2018a). Data classification methods. Hentet 26.03. 2019 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>
- ESRI. (2018b). What is ArcMap? Hentet 07.02. 2019 fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>
- Fjær, O. (2015). Ekskursjoner og feltarbeid i skolen - en spennende læringsarena. I R. Mikkelsen & P. J. Sætre (Red.), *Geografididaktikk for klasserommet* (3. utg.). Oslo: Cappelen damm.
- Forskrift om avkjørsler fra offentlig veg. (2003). Forskrift om alminnelige regler om bygging og vedlikehold av avkjørsler fra offentlig veg. (FOR-2003-02-01-113). Hentet fra <https://lovdata.no/forskrift/1964-07-16-3905>
- GISGeography. (2018a). DEM, DSM & DTM Differences – A Look at Elevation Models in GIS. Hentet 20.02. 2019 fra <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/>
- GISGeography. (2018b). Map Algebra: Global, Zonal, Focal and Local Operations. Hentet 13.03. 2019 fra <https://gisgeography.com/map-algebra-global-zonal-focal-local/>

- Hanssen, F., May, R., van Dijk, J. & Rød, J. K. (2018). Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Tool Suite for Consensus-Based Siting of Renewable Energy Structures. *Journal of Environmental Assessment Policy Management*, 20(03), (s. 1840003-1–28).
- Houghton, J. (2015). *Global warming: the complete briefing* (5. utg.). Cambridge: Cambridge University Press
- Ian L. McHarg. (2009). I *Store norske leksikon*. Hentet 06.03.2019 fra https://snl.no/Ian_L._McHarg
- Ishizaka, A. & Nemery, P. (2013). Analytic hierarchy process. I (s. 11–58). Chichester, UK: Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Jernbaneloven. (2017). Lov om anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (jernbaneloven) (LOV-1993-06-11-100). Hentet fra <https://lovdata.no/lov/1993-06-11-100>
- Joerin, F., Thériault, M. & Musy, A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical information science*, 15(2), (s. 153–174).
- Jordlova. (1995). Lov om jord (LOV-1995-05-12-23). Hentet fra <https://lovdata.no/lov/1995-05-12-23>
- Kartverket. (2010a, 08.12). Matrikkelen – Eiendomskart. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/matrikkelen-eiendomskart/13336c7c-e150-4497-915a-281f3bd34a2e>
- Kartverket. (2010b, 25.08.). Naturvernområder. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/miljodirektoratet/naturvernomrader/5857ec0a-8d2c-4cd8-baa2-0dc54ae213b4>
- Kartverket. (2014). Felles KartdataBase (FKB). Hentet 01.03. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/felles-kartdatabase-fkb/0e90ca71-6a02-4036-bd94-f219fe64645f>
- Kartverket. (2015 og 2016). Høydedata. Hentet 20.02. 2019 fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Kartverket. (2016). Norge i bilder WMS-Ortofoto. Hentet 03.04. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/norge-i-bilder/norge-i-bilder-wms-ortofoto/dcee8bf4-fdf3-4433-a91b-209c7d9b0b0f>
- Kartverket. (2017a). Administrative enheter kommuner. Hentet 21.03. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/administrative-enheter-kommuner/041f1e6e-bdbc-4091-b48f-8a5990f3cc5b>

- Kartverket. (2017b, 15.01.). FKB-Bygning. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/fkb-bygning/8b4304ea-4fb0-479c-a24d-fa225e2c6e97>
- Kartverket. (2017c). FKB-AR5. Hentet 25.04. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/fkb-ar5/166382b4-82d6-4ea9-a68e-6fd0c87bf788>
- Kartverket. (2017d, 15.01.). FKB-Bane. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/fkb-bane/3165138f-1461-44fe-8b10-eac44e08a10a>
- Kartverket. (2017e, 15.01.). FKB-Vann. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/fkb-vann/595e47d9-d201-479c-a77d-cbc1f573a76b>
- Kartverket. (2017f, 15.01.). FKB-Veg. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/fkb-veg/4920b452-75cc-45f2-964c-3378204c3517>
- Kartverket. (2017g). Statistiske enheter grunnkretser 2017. Hentet 20.02. 2019 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/statistiske-enheter-grunnkretser-2017/88b03ea5-3846-47d7-be7e-983f256d8b1b>
- Kriterium. (2018). I *Store norske leksikon*. Hentet 11.02.2019 fra <https://snl.no/kriterium>
- Lawrence, D. (2016). *Klimaendring og framtidige flommer i Norge* (81). Oslo: NVE.
- Lujala, P., Lein, H. & Rosvoldaune, R. (2014). Quantifying vulnerability to flooding induced by climate change: The case of Verdal, Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 68(1), (s. 34–49).
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), (s. 5–22).
- Malczewski, J. (2006). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), (s. 270–277).
- Microsoft. (2019). Microsoft Forms. Hentet 25.02. 2019 fra <https://forms.office.com>
- Miljødirektoratet. (2014, 20.03.). Inngrepsfri natur i Norge 2013. Hentet 13.03. 2019 fra <https://kartkatalog.miljodirektoratet.no/Dataset/Details/100>
- Miljøverndepartementet. (1997). *Grad av utnytting – Veileder til Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven kapittel 111*. Hentet fra

- https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/t_1205.pdf
- Natural Resources Canada. (2016). Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing. Hentet 20.03. 2019 fra <https://www.nrcan.gc.ca/node/9309>
- NGU. (2015, 02.02.). Datasett og nedlasting. Hentet 20.02. 2019 fra <https://www.ngu.no/emne/datasett-og-nedlasting>
- NGU. (2018). Presentasjonsregler for løsmassedata. Hentet 25.02. 2019 fra https://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Presentasjonsregler_LosmasserN50N250.pdf
- NIBIO. (2019). Dokumentasjon av FKB-AR5. Hentet 13.03. 2019 fra <https://www.nibio.no/tjenester/nedlasting-av-kartdata/dokumentasjon/fkb-ar5>
- NOU. (1986). *Naturfaglige verdier og vassdragsvern*. Hentet fra <http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201600028/1637537>
- NVE. (2009, 12.02.2018). 124/2 Sona. Hentet 25.11. 2018 fra <https://www.nve.no/vann-vassdrag-og-miljo/verneplan-for-vassdrag/nord-trondelag/124-2-sona/>
- NVE. (2016a, 24.08). Klima, nå og i fremtiden. Hentet 10.01 2019 fra <https://www.nve.no/klima/klima-na-og-i-framtiden/>
- NVE. (2016b, 10.11.). Kvikkleireskred. Hentet 20.02. 2019 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/kvikkleireskred/>
- NVE. (2017a, 12.05.). Aktsomhetskart for jord- og flomskred. Hentet 05.02. 2019 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/aktsomhetskart-for-jord-og-flomskred/>
- NVE. (2017b, 12.05.). Aktsomhetskart for steinsprang. Hentet 05.02. 2019 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/aktsomhetskart-for-steinsprang/>
- NVE. (2017c). Nedbørfelt (REGINE). Hentet 03.04. 2019 fra <https://www.nve.no/karttjenester/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine/>
- NVE. (2018, 24.05.). Produktark: Flom aktsomhetsområder. Hentet 03.02. 2019 fra https://gis3.nve.no/metadata/produktark/Produktark_FlomAktsomhet.pdf
- NVE. (Ukjent år). Nedlasting av fagdata fra NVE. Hentet 20.02. 2019 fra <https://nedlasting.nve.no/gis/>
- Plan- og bygningsloven. (2008). Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven) (LOV-2008-06-27-71). Hentet fra <https://lovdata.no/lov/2008-06-27-71>
- Rikalovic, A., Cosic, I. & Lazarevic, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*, 69, (s. 1054–1063).

- Rybarczyk, G. & Wu, C. (2010). Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis. *Applied Geography*, 30(2), (s. 282–293).
- Rød, J. K. (2015). *GIS - Verktøy for å forstå verden* (1. utg.). Bergen: Fagbokforlaget.
- Stahlschmidt, P. & Nellemann, V. (2009). *Metoder til landskabsanalyse*. Frederiksberg: Forlaget grønt miljø.
- Steiner, F., McSherry, L. & Cohen, J. (2000). Land suitability analysis for the upper Gila River watershed. *Landscape urban planning*, 50(4), (s. 199–214).
- Stjørdal kommune. (2014). Konsekvensvurdering Vedlegg til planbeskrivelsen. Hentet 27.11. 2018 fra https://www.stjordal.kommune.no/kommuneplan/kommuneplan/Dokumenter%20Kommuneplan%202012/Konsekvensvurderinger_Høringsforslag_20140320.pdf
- Stjørdal kommune. (2017). Bestemmelser og retningslinjer - Kommuneplanens arealdel 2013-2022. Hentet 26.01. 2019 fra <https://www.stjordal.kommune.no/kommuneplan/kommuneplan/Documents/KPA%20-%20Bestemmelser%20og%20retningslinjer-%20revisjon%2022.11.2018.pdf>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), (s. 83–98).
- The Cultural Landscape Foundation. (2018). Ian MchHarg. Hentet 06.03. 2019 fra <https://tclf.org/pioneer/ian-mcharg>
- The difference between DSM and DTM. (U.å.). Hentet fra <http://www.charim.net/datamanagement/32>
- Tiryaki, M. & Karaca, O. (2018). Flood susceptibility mapping using GIS and multicriteria decision analysis: Saricay-Çanakkale (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(14), (s. 364).
- Trenberth, K. E., Dai, A., Rasmussen, R. M. & Parsons, D. B. (2003). The Changing Character of Precipitation, 84(9), (s. 1205–1218). <https://doi.org/10.1175/bams-84-9-1205>
- United Nations Climate Change. (2015). Paris Agreement. Hentet 26.11. 2018 fra https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- Vatne, G. (2013). Klima og flom – i fortid og framtid. I L. M. Bye, H. Lein & J. K. Rød (Red.), *Mot en farligere fremtid?* Trondheim: Akademika forlag.
- Veglova. (2018). Lov om vegar (LOV-1963-06-21-23). Hentet fra <https://lovdata.no/lov/1963-06-21-23>

Winter, S. (1998). Bridging vector and raster representation in GIS. *Proceedings of the 6th ACM international symposium on Advances in geographic information systems* (s. 57–62): ACM.

Vedlegg

Vedlegg 1: Utfyllingsskjema

Vedlegg 1



Hva er viktig å ta hensyn til med tanke på lokalisering av fremtidige boliger?

Hei, Plan og miljø v/Stjørdal Kommune!

Jeg skriver en GIS-basert masteroppgave med formål om å kartlegge steder innenfor Sona grunnkrets som egner seg for boligutbygging. For å besvare problemstillingen benyttes en multi-kriterie-evaluering (MKE). MKE kjennetegnes ved å betrakte relevante kriterier i forhold til formålet. Gjennomføringen av en MKE kan foregå på ulike måter. Denne MKEen består av tre hoveddeler: Avgrensning av studieområde, utelukkelse av uaktuelle områder innenfor studieområdet og egnethetsanalyse av gjenværende områder. I egnethetsanalysen skal fire kriterier betraktes: Solforhold, terrenghelning, grunnforhold og nærhet til veg. Kriteriene innebærer følgende:

Solforhold:

Antall timer med direkte sollys

Terrenghelning:

Terrenghelning (grader)

Grunnforhold:

Løsmassenes infiltrasjonsevne.

Nærhet til veg:

Avstand til nærmeste kommunale veg, riks- eller fylkesvei.

Hvor mye disse kriteriene skal vektlegges i egnethetsanalysen bestemmes ved å veie dem parvis mot hverandre. Dette foregår gjennom en analytisk hierarkisk prosess (AHP). I en AHP bestemmes et forholdstall som mål på viktigheten mellom to ulike kriterier. Det er personer med spesiell kjennskap innen temaet som utfører valgene. Dette spørreskjemaet består totalt av syv spørsmål, der de seks første spørsmålene er vekting av viktigheten mellom to ulike kriterier. Etter at de seks første spørsmålene er besvart har alle kriteriene blitt parvis veid opp mot hverandre. Det syvende spørsmålet etterspør generell info.

På bakgrunn av deres kjennskap til studieområdet og oppgaver i kommunen, anser jeg dere ved Plan og miljø i Stjørdal som beste kandidater til å besvare dette skjemaet. Jeg håper at flest mulig av dere har anledning til å si deres mening. Det har vært fint med spredning i fagområder. Dere fyller ut ett felles skjema som gjenspeiler deres kollektive mening. Dersom deres mening ikke passer til noen av alternativene i et spørsmål, skriv et svar i "Annet-feltet". Forholdstallet kan ikke være større enn 9.

Takk for deres bidrag!

Hilmar Øverås Dalen

(Masterstudent ved institutt for geografi, NTNU)

1. Solforhold og terrenghelning (Marker ett alternativ)

- Solforhold er 9 ganger viktigere enn terrenghelning
- Solforhold er 7 ganger viktigere enn terrenghelning
- Solforhold er 5 ganger viktigere enn terrenghelning
- Solforhold er 3 ganger viktigere enn terrenghelning
- Solforhold og terrenghelning er like viktige
- Terrenghelning er 3 ganger viktigere enn solforhold
- Terrenghelning er 5 ganger viktigere enn solforhold
- Terrenghelning er 7 ganger viktigere enn solforhold
- Terrenghelning er 9 ganger viktigere enn solforhold
- Annet

2. Solforhold og grunnforhold (Marker ett alternativ)

- Solforhold er 9 ganger viktigere enn grunnforhold
- Solforhold er 7 ganger viktigere enn grunnforhold
- Solforhold er 5 ganger viktigere enn grunnforhold
- Solforhold er 3 ganger viktigere enn grunnforhold
- Solforhold og grunnforhold er like viktige
- Grunnforhold er 3 ganger viktigere enn solforhold
- Grunnforhold er 5 ganger viktigere enn solforhold
- Grunnforhold er 7 ganger viktigere enn solforhold
- Grunnforhold er 9 ganger viktigere enn solforhold
- Annet

3. Solforhold og nærhet til veg (Marker ett alternativ)

- Solforhold er 9 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Solforhold er 7 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Solforhold er 5 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Solforhold er 3 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Solforhold og nærhet til veg er like viktige
- Nærhet til veg er 3 ganger viktigere enn solforhold
- Nærhet til veg er 5 ganger viktigere enn solforhold
- Nærhet til veg er 7 ganger viktigere enn solforhold
- Nærhet til veg er 9 ganger viktigere enn solforhold
- Annet

4. Nærhet til veg og terrenghelning (Marker ett alternativ)

- Nærhet til veg er 9 ganger viktigere enn terrenghelning
- Nærhet til veg er 7 ganger viktigere enn terrenghelning
- Nærhet til veg er 5 ganger viktigere enn terrenghelning
- Nærhet til veg er 3 ganger viktigere enn terrenghelning
- Nærhet til veg og terrenghelning er like viktige
- Terrenghelning er 3 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Terrenghelning er 5 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Terrenghelning er 7 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Terrenghelning er 9 ganger viktigere enn nærhet til veg
-

5. Nærhet til veg og grunnforhold (Marker ett alternativ)

- Nærhet til veg er 9 ganger viktigere enn grunnforhold
- Nærhet til veg er 7 ganger viktigere enn grunnforhold
- Nærhet til veg er 5 ganger viktigere enn grunnforhold
- Nærhet til veg er 3 ganger viktigere enn grunnforhold
- Nærhet til veg og grunnforhold er like viktige
- Grunnforhold er 3 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Grunnforhold er 5 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Grunnforhold er 7 ganger viktigere enn nærhet til veg
- Grunnforhold er 9 ganger viktigere enn nærhet til veg
-

6. Terrenghelning og grunnforhold (Marker ett alternativ)

- Terrenghelning er 9 ganger viktigere enn grunnforhold
- Terrenghelning er 7 ganger viktigere enn grunnforhold
- Terrenghelning er 5 ganger viktigere enn grunnforhold
- Terrenghelning er 3 ganger viktigere enn grunnforhold
- Terrenghelning og grunnforhold er like viktige
- Grunnforhold er 3 ganger viktigere enn terrenghelning
- Grunnforhold er 5 ganger viktigere enn terrenghelning
- Grunnforhold er 7 ganger viktigere enn terrenghelning
- Grunnforhold er 9 ganger viktigere enn terrenghelning
-

7. Hvor mange var med på å besvare skjemaet? Hva er stillingstitlene deres?

