



Fuzzy-logikk ved lende vurdering

Komplementering av dagens beslutningstøtte fra MilGeo

Einar Rusten Thoresen
Henrik Netteland

1619 Garben MilGeo
Bacheloroppgave
Krigsskolen
Vår 2019

UGRADERT

Antall ord: 13 200

Forord

Inspirasjonen til temaet for denne bacheloroppgaven kom gjennom fordypningen innenfor militær geografi på Krigsskolen, der vi tidlig ble introdusert for fuzzy-logikk. Videre er beslutningstøtten fra MilGeo i PBP et svært sentralt tema i fordypningen og noe vi har jobbet mye med både teoretisk og på praktiske øvelser. Her erfarte vi at bruk av skarp-logikk kan gi inntrykk av en absolutt sannhet som ikke stemmer overens med virkelighetens vaghet og usikkerhet. I tillegg er fuzzy-logikk relativt nytt og har de siste tiårene utviklet seg stadig hurtigere i takt med dataevolusjonen, og er i dag høyaktuelt innenfor flere fagfelt. Dette gjorde at vi så på det som to svært spennende tematikker å knytte sammen.

Vi ønsker å takke oppdragsgiveren vår, HVS ingeniør, som har svart på alle spørsmål vi har hatt til dagens metode for lendeanalyse i tillegg til å ha gitt oss innsyn i håndbok for MilGeo som under skriving av bacheloroppgaven ikke var ferdigstilt.

Vi ønsker også å rette en stor takk til veilederen vår Halvard Bjerke. Han var den som først introduserte oss for fuzzy-logikk i undervisningen, og har således vært en ressurs på det faglige så vel som det mer overordnede med oppgaven. Som en del av MilGeo-miljøet i forsvaret faller Bjerke inn under målgruppen vår, og han har vært behjelpelig med tanke på hvilket faglig nivå vi skal legge oss på.

Oslo, 2019

Einar Rusten Thoresen

Henrik Netteland

Sammendrag

Militær lendevedurdering handler om å vurdere terrengets innvirkning på en operasjon i den hensikt å støtte beslutningstakeren. Metoden for lendevedurdering som blir benyttet i dag tar utgangspunkt i det som står beskrevet i Stabshåndbok for Hæren, og er en del av IPOE-prosessens trinn 2: Beskrive operasjonsområdet innvirkning. Skarp-logikk med tydelige grenseverdier og grove kategoriseringer ligger til grunn for dagens metode for lendevedurdering.

Denne oppgaven ser på militær lendevedurdering og fuzzy-logikk gjennom problemstillingen:

Hvordan kan bruk av fuzzy-logikk i analyse av kunstige og naturlige hindre komplementere beslutningsstøtten fra MilGeo?

Dagens metode med skarp-logikk blir brukt som et referansepunkt og sammenligningsgrunnlag for drøfting av styrker og svakheter rundt implementering av fuzzy-logikk. Fuzzy- og skarp-logikk blir sett direkte opp mot hverandre for å utforske hvordan fuzzy-logikk kan bidra til en bedre analyse av kunstige og naturlige hindre, og dermed gi et bedre bilde av farbarheten i et område.

Oppgaven er bygd opp som en kvalitativ undersøkelse der det er blitt gjennomført en litteraturstudie. Teori rundt de to temaene militær lendevedurdering og fuzzy-logikk blir redegjort for i teoridelen av oppgaven. Dette blir tatt med videre til drøftingen og studert sammen for å se på eventuelle fordeler og ulemper fuzzy-logikk bringer med seg til lendevedurderingen. Resultatene og konklusjonene fra drøftingen blir lagt fram underveis, og hovedkonklusjonene blir trukket frem på slutten av studien. I sin helhet konkluderer oppgaven med at fuzzy-logikk på mange områder kan bidra til en forbedring av dagens metode for lendevedurdering, men at implementeringen av fuzzy-logikk i lendevedurderingen vil kreve et betydelig arbeid. Det kommer også fram av oppgaven at dagens metode med skarp-logikk har noen fordeler ovenfor fuzzy-logikk, blant annet med sine oversiktlige sluttprodukter. Ved videre arbeid kan det være interessant å utarbeide en fullverdig modell basert på fuzzy-logikk ved hjelp av koding og ekspertkunnskap fra relevante fagfelt, samt å se på hvilke andre områder innenfor lendevedurdering fuzzy-logikk kan benyttes.

Summary

Military terrain assessment is the process of helping the decision maker by assessing the impact of the terrain on an operation. Today's method of terrain assessment in the Norwegian Army is based on the Norwegian Army Staff Handbook and is a part of the IPOE process step 2: Describe the impact of the area of operations. Crisp logic with clear boundaries and coarse categorizations is the foundation for this particular method underlies the method.

This study takes a deeper look into the topics of military terrain assessment and fuzzy logic through the thesis:

How can the use of fuzzy logic in analysis of obstacles compliment the decision support from MilGeo?

Today's method with crisp logic is used as a reference point and as a basis for comparison when the strengths and weaknesses of fuzzy implementation are to be discussed. Fuzzy and crisp logic are directly compared to explore how fuzzy logic can contribute to a better analysis of the obstacles and thus give a better understanding of the mobility in the terrain.

This study is a qualitative research study, in which there has been conducted a study of literature. Military terrain assessment and fuzzy logic are described in the theory chapter of the study, and in the discussion the topics are merged in order to explore possible advantages and disadvantages of fuzzy logic in the terrain assessment. The results and conclusions from the discussion are described consecutively, and the main conclusions are put forward at the end of the study. In summary, the study concludes that fuzzy logic in many areas can contribute to an improvement of today's method of terrain assessment, but it will require a considerable workload to implement this logic. Further on, the study shows that the crisp method of today has some advantages over fuzzy logic, including straightforward and easy-to-read products. In further works it would be interesting to create a complete model using fuzzy-logic, with the help of coding and experts in relevant fields, as well as looking for other uses of fuzzy-logic within the realm of terrain assessments.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	4
1.3 Avgrensninger	5
2 Metode.....	6
2.1 Metodevalg	6
2.2 Utførelse	7
2.3 Litteratur- og kildevalg	8
3 Teori	10
3.1 Militær lende vurdering	10
Vegetasjon	12
Helning	14
Vurdering	14
3.2 Fuzzy-logikk.....	15
Fuzzy-logikksystem.....	18
4 Modeller	24
5 Drøfting	30
5.1 Fuzzy grenser sammenlignet med skarpe grenser	30
5.2 Usikkerhet og upresise data.....	33
5.3 Inkorporering av ekspertkunnskap	36
5.4 Formalisering av semantikk gjennom fuzzy-logikk	37
5.5 Fuzzy-datasett.....	37
6 Konklusjon.....	38
7 Videre arbeid.....	40
Referanser	41

Figurliste

Figur 1: Virkeligheten representert som vektor- eller rastermodell.....	2
Figur 2: Betydningen av huskeordet KADOV.	10
Figur 3: Forskjell på binær, flerverdi- og fuzzy-logikk.	17
Figur 4: De fire hoveddelene i et fuzzy-logikksystem.	18
Figur 5: Fuzzy-sett for parameteren helning.	19
Figur 6: Eksempel på defuzzifiseringsmetoden Weighted Average.....	22
Figur 7: Modell basert på skarp-logikk.	24
Figur 8: Modell basert på fuzzy-logikk.....	25
Figur 9: Eksempel på medlemskapsfunksjoner av typen Fuzzy small.	26
Figur 10: Farbarhet basert på skarp-logikk.	28
Figur 11: Farbarhet basert på fuzzy-logikk.	28
Figur 12: Satellittbilde.....	29
Figur 13: Myr fra AR50.	34
Figur 14: Myr fra AR250.	34

Tabelliste

Tabell 1: Farbarhetskategoriene som definert av stabshåndboken.	11
Tabell 2: Etterretningsdoktrinens standardisering av sannsynlighetsord.	15

Forkortelser og begreper

Adkomstakser: En mulig akse med størrelsesindikator. Eksempelvis vil en adkomstakse for tropp kunne støtte en tropp som rykker frem med alle hovedvåpen effektive mot front samtidig.

Arealressurskartet AR5: Beskrivelse av Norges arealtyper i målestokk 1:5000. (AR50 for 1:50 000 og AR250 for 1:250 000)

Arealtype: Arealet beskrevet i AR5 inndelt i 11 kategorier: Fulldyrka jord, Overflatedyrka jord, Innmarksbeite, Skog, Myr, Åpen fastmark, Vann, Bre, Samferdsel, Bebyggd og Ikke kartlagt.

Attributter: Informasjon om ulike parametere, eksempelvis tretykkelse og treslag som attributter for parameteren skog.

Bakkeoppløsning: Geometrisk utstrekning av pikslene, vanligvis oppgitt i meter.

Beslutningsstøtte: Produkter og informasjon som skal gi en beslutningstaker forutsetninger til å ta beslutninger og eventuelt fatte tiltak.

Bindeord: Ord som benyttes til å kombinere flere variabler, eksempelvis helning og vegetasjon, i fuzzy regler: AND, OR, NOT.

Binær logikk / toverdi-logikk / boolean-logikk: Logikk med to verdier: sant og usant.

Defuzzifisering: Prosessen for å få en eksakt verdi basert på fuzzy-sett og medlemskapsverdier.

Dekningskart: Kart som viser hvilket område et datasett inneholder data for.

Farbart, begrenset farbart, ikke farbart: Stabshåndbok for Hæren sin tredelte inndeling for faktoren kunstige- og naturlig hindre.

Fjernmåling: Innsamling av informasjon uten fysisk kontakt mellom måleinstrument og objekt, eksempelvis ved bruk av fly- og satellittfotografering, radarmåling eller laserskanning.

Flerverdi-logikk: Logikk med flere skarpe verdier, eksempelvis 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 og 1.

Fuzzifisering: Prosessen for å gi en skarp verdi en medlemskapsverdi til et eller flere fuzzy-sett.

Fuzzy Inference Engine: Beskrivelsen av hvordan ulike regler i et fuzzy-logikksystem skal virke sammen.

Fuzzy-datasett: Data som har uklare grenser. F.eks. overgang myr-skog.

Fuzzy-input: Parametere med grad av tilhørighet til fuzzy-sett som benyttes som input til fuzzy-regler.

Fuzzy-logikksystem: Et kunnskap- og regelbasert system som består av fire hoveddeler: fuzzifisering, Fuzzy Inference Engine, fuzzy-regler og defuzzifisering.

Fuzzy-output: Parametere med grad av tilhørighet til fuzzy-sett som er et resultat av fuzzy-regler.

Fuzzy-regler: IF-THEN-regler som bestemmer fuzzy-outputs basert på fuzzy-inputs.

Fuzzy-sett: En gruppe eller klasse som et objekt kan ha en grad av medlemskap til. Kan benyttes til å beskrive en lingvistisk variabel. Eksempelvis kan settene slak, moderat og bratt benyttes til å beskrive variabelen helning.

Gradert informasjon: Informasjon regulert av sikkerhetsloven, som bestemmer hvem som skal ha tilgang til den gitte informasjonen

Høydemodell: Høyde fremstilt ved bruk av en rastermodell, der hver piksel har en høydeverdi.

Intelligence Preparation of the Operational Environment (IPOE): Etterretningsmessige forberedelser av operasjonsmiljøet. En kontinuerlig og syklisk analytisk prosess av aktørene og omgivelsene i et geografisk område.

Kartverket: Kartverket er en statlig organisasjon som har ansvar for den geografiske infrastrukturen og offentlig eiendomsinformasjon.

Kronedekning: Prosentandelen av markarealet som ligger innenfor treets kroneperiferi.

Kunstige og naturlige hindre: En av de fem faktorene i Stabshåndbok for Hæren sin beskrivelse av terrengets innvirkning på en operasjon. Deles inn i farbart, begrenset farbart og ikke farbart.

Laserprosjekter: Prosjekter som samler inn høydedata ved bruk av lasermålinger.

Lendevurdering: En vurdering i PBP av lendets innvirkning på operasjonen.

Lingvistisk variabel/verdi: Benytter ord fra et naturlig språk som sine verdier i stedet for tallverdier.

Lokalitet: Sted/område

Medlemskapsfunksjon: En presis matematisk funksjon som bestemmer et objekts grad av medlemskap til et fuzzy-sett.

Medlemskapsverdi: En verdi som sier i hvor stor grad et objekt er medlem av et fuzzy-sett.

MilGeo-offiser: En krigsskoleutdannet ingeniøroffiser med spesialisering innenfor fagfeltet militær geografi.

NIBIO: Norsk institutt for bioøkonomi. Et landbruksfaglig forskningsinstitutt.

Observasjon og skjul: Observasjon og skjul ligger under to av de fem faktorene i Stabshåndbok for Hæren sin beskrivelse av terrengets innvirkning på en operasjon. Observasjon ligger under Observasjon og skuddfelt som omhandler hvilke områder som gir observasjon og skuddfelt, mens skjul ligger under Dekning og skjul som ser på hvilke områder som gir dekning for ild og skjul for observasjoner.

Operasjonsområde: Et avgrenset område i terrenget som en avdeling kan operere innenfor under en militær operasjon.

Piksel: Den minste enheten i et bilde eller raster, også kalt en celle.

Plan- og beslutningsprosessen (PBP): En beskrivelse av en enhetlig tilnærming til planlegging av militære operasjoner.

Punktskyer: Punktdatasett fra en laserkartlegging med svært høy punkttetthet der hvert punkt inneholder koordinater og en høydeverdi.

Rastermodell: En virkelighetsmodell der data blir representert med piksler der en piksel får én verdi.

Sannsynlighetsgrad: En femdeling av sannsynlighet som benyttes felles i forsvaret med både skarpe verdier og lingvistisk verdier.

Sanntid: Innenfor IT benyttes sanntid om datasystemer som gir «øyeblikkelig» respons.

SAT-SKOG: En oversikt fra NIBIO over skogressursene og viser informasjon om treslag, alder og volum.

Skarp verdi: En eksakt tallverdi.

Skarp-logikk: Logikk som nytter skarpe skiller, eksempelvis binærlogikk og flerverdi-logikk.

Skogbonitet: Skogens evne til å produsere trevirke.

Skogvolum: Et mål på hvor mye tremasse eller stammevolum det finnes på et gitt areal.

Spatial/romlig fuzziness: Omhandler romlige objekter som i virkeligheten ikke har skarpe grenser, eller der hvor grensene ikke kan bestemmes presist.

SR16: En oversikt over skogens utbredelse og skogens egenskaper fra NIBIO.

Stormpanservogn - CV9030: Pansret beltekjøretøy beregnet for å transportere 8-12 soldater. Norge benytter CV9030 som er utrustet med blant annet 30 mm kanon.

Stridsvogn – Leo 2: Helpansret beltekjøretøy med lukket tårn. Norge benytter Leopard 2 som er utrustet med blant annet 120 mm kanon.

Terrengparametere: En parameter som spiller inn i lende vurderingen, eksempelvis helning og vegetasjon.

Ubevisst kunnskap: Ubevisst kunnskap er kunnskap som påvirker en persons tenking og atferd uten at den gitte personen er det bevisst.

Vektormodell: En virkelighetsmodell der data blir representert med geometriske figurer med en eller flere tilhørende attributter.

Weighted Average Method: En av de mest effektive beregningsmessig og intuitive metodene for defuzzifisering

Åpne kilder: Kilder som er tilgjengelig for alle og kan hentes uten spesielle tilganger.

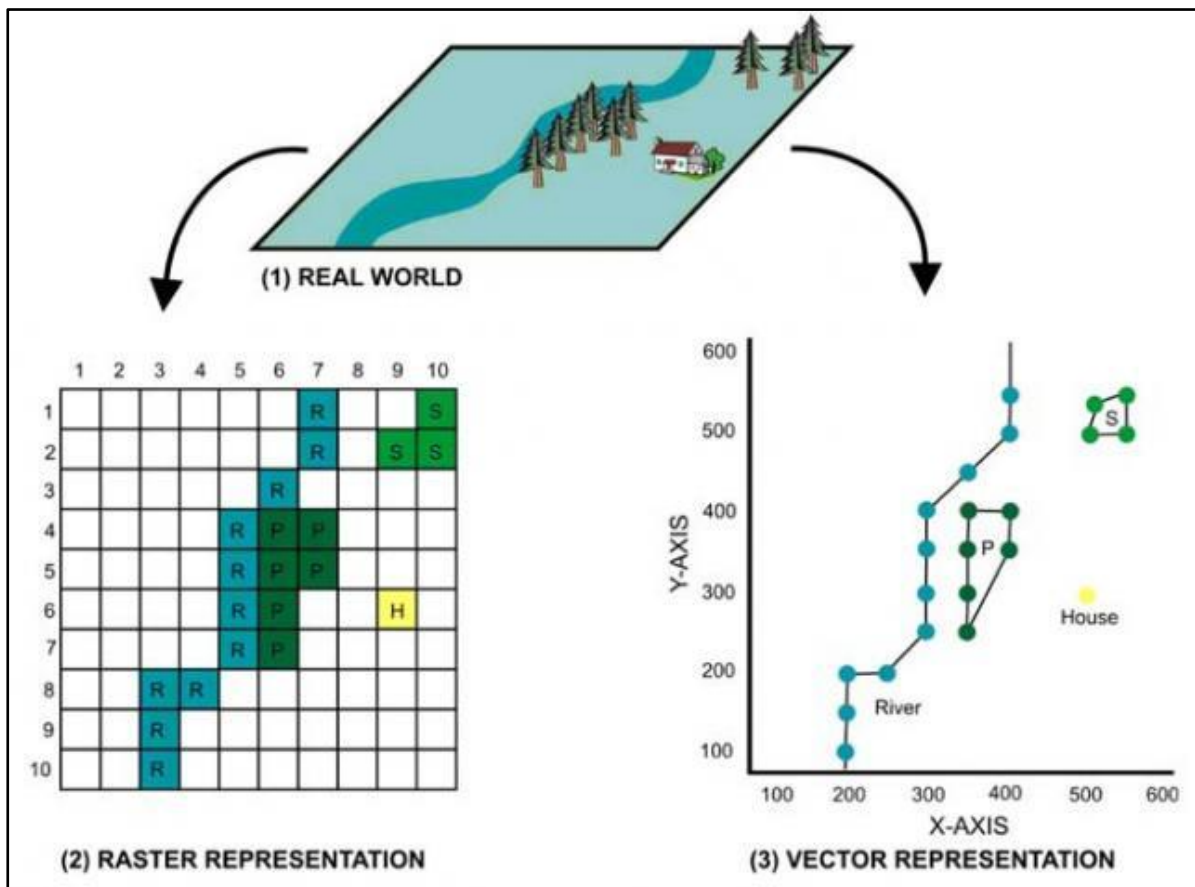
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Fuzzy-logikk sies av Lotfi A. Zadeh, kjent som faren av fuzzy-logikk (Singh, et al., 2013, s. 1; Mathworks, 2019), å være et forsøk på å mekanisere eller formalisere menneskelige kapasiteter (Zadeh L. A., 2008, s. 2751). En av disse kapasitetene er å skape mening og rasjonelle beslutninger på bakgrunn av en virkelighet med ufullkommen informasjon, eksempelvis delvise sannheter, usikkerhet, upresisjon og ufullstendige data (s. 2751). Måten fuzzy-logikk løser dette på er ved å gi hvert fenomen en grad av tilhørighet på en kontinuerlig skala, til én eller flere klasser, i stedet for å definere den som innenfor eller utenfor en klasse (Benz, Hofmann, Willhauck, Lingenfelder, & Heynen, 2003, s. 251). Datasett som inneholder data med uklare grenser omtales på bakgrunn av det overnevnte som fuzzy. Siden disse dataene ikke har klare grenser kan flere personer som skal definere disse grensene få ulike svar, hvor alle kan være like riktige. Et eksempel på dette er hvor skillet eller overgangen mellom en myr og en skog går (Grinderud, et al., 2016, s. 63).

Geografiske data vil i den virkelige verden ofte være kontinuerlige og ha glidende overganger (Porwal, Carranze, & Hale, 2002). På tross av dette forenkles som regel virkeligheten til *flerverdi-logikk* der data, avhengig av om den blir beskrevet ved bruk av *rastermodellen* eller *vektormodellen*, blir representert med *pikslar* der en piksel får én verdi, eller med geometriske figurer med en eller flere tilhørende *attributter* (Grinderud, et al., 2016, ss. 46-49). Figur 1 viser visuelt hvordan virkeligheten kan digitaliseres ved bruk av raster- og vektormodellen. Ved bruk av rastermodellen kan en piksel eksempelvis representere skog eller myr, men det gis ingen indikasjon på om pikselen ligger i grenseland mellom de to klassene eller midt inne i en av dem (s. 48). Denne tilnærmingen er ikke tilstrekkelig for pikslar som inneholder to eller flere klasser, og en fuzzy tilnærming for å klassifisere dataene er derfor gunstig (Foody, 1996, s. 2). Spesielt for *fjernmåling* av myr-, vann- og skogsområder har det vist seg å være en svært god

korrelasjon mellom virkeligheten og resultatet fra bruk av fuzzy-logikk (Fisher & Pathirana, 1990, s. 121).



Figur 1: Virkeligheten representert som vektor- eller rastermodell.

Hentet fra: <https://sqlserverrider.wordpress.com/tag/raster-graphics/>

Dagens metode for *lendevurdering* skal vurdere terrengets innvirkning på en operasjon i den hensikt å kunne gi avdelingssjefen *beslutningsstøtte*, og baserer seg på Stabshåndbok for Hæren. Lendevurderingen er en del av trinn 2 i arbeidet med *Intelligence Preparation of the Operational Environment (IPOE)*, som er en integrert del av *Plan- og beslutningsprosessen (PBP)* (Hærens våpenskole, 2015, s. 113). Kunstige og naturlige hindre er en faktor som beskriver deler av terrengets innvirkning (s. 125). Forholdene myr, vann og skog er her sentrale, i tillegg til helningsgraden til underlaget (s. 126). *MilGeo-offiserer* har en særskilt plass i dette arbeidet (s. 125) og leverer beslutningsstøtte knyttet til landet for å gi beslutningstakeren best mulig forutsetninger for å ta gode beslutninger (Grinderud, et al., 2016, s. 209).

Den nåværende metoden for lende vurdering som baserer seg på Stabshåndbok for Hæren gir enkle og oversiktlige produkter med klare svar og begrensninger. Den deler terrenget inn i de tre kategoriene *farbart*, *begrenset farbart* og *ikke farbart*, basert på blant annet helningsgraden og om det er skog eller ikke. Eksempelvis vil en helning på 0-30 % i områder med skog gi klassen begrenset farbart (Hærens våpenskole, 2015, s. 126). Samtidig gir modellen en forenkling av virkeligheten, som ikke har klare skiller (Porwal et al., 2002, s. 1). Denne forenklingen kan gi et unyansert bilde av virkeligheten som gir bestilleren av beslutningsstøtten flere begrensninger enn muligheter, og dermed ikke et optimalt grunnlag for gode beslutninger.

For å skissere dette kan det benyttes et eksempel der en avdeling må over en skogkledd høyde som strekker seg gjennom hele *operasjonsområdet*, og som per definisjon ved bruk av dagens skarpe skiller tilsier begrenset farbarhet på alle mulige krysningsområder. Dette vil gi et enkelt og oversiktlig overlegg, men det eneste det sier er at farbarheten er begrenset uansett valg av akse over høyden. Alle skogdekte partier med en helning på 0 % og 29 % vil bli symbolisert likt, og kan fort forståes som likeverdige for en mottaker av produktet. Dersom fuzzy-logikk brukes istedenfor disse skarpe skillene vil det kunne få frem i hvor stor grad helningen påvirker farbarheten på en kontinuerlig skala, kontra en forenklet tredeling. Mottakeren av beslutningsstøtten kan da få et mer nyansert produkt som viser ulik grad av farbarhet over høyden, der det fremgår at 0 % helning er enklere å bevege seg i enn 29 %. På samme måte kan fuzzy-logikk brukes for å ta hensyn til flere parametere med uklare skiller, som hvor det er skog, samt karakteristikken til skogen (eksempelvis tetthet, tykkelse og treslag). Dette vil kunne gi et mer realistisk produkt over farbarheten enn bruk av skarpe skiller.

Selv om skogen hadde vært helt uniform og den teoretiske grensen på hvor bratt stigning et kjøretøy kunne klatre hadde hatt en klart definert verdi, kan bruk av fuzzy-logikk fortsatt være relevant. Gitt at den teoretiske grensen til et kjøretøy under perfekte forhold er 55 %, så vil det høyst sannsynlig komme til å kjøre i områder som ikke har disse perfekte forholdene grunnet blant annet påvirkning fra vær eller varierende underlag. I praksis vil grensen kunne ligge mellom eksempelvis 45 % og 55 %, avhengig av disse forholdene. Fuzzy-logikk tar som tidligere nevnt i større grad hensyn til usikkerheten knyttet til innvirkning fra flere forhold,

delvise sannheter og unøyaktigheter, og vil derfor kunne gi et mer virkelighetsnært bilde av farbarheten i praksis (Zadeh L. A., 2008, s. 2751).

Bakgrunnen for hvorfor dette temaet ble sett på som interessant for gruppen er todelt. For det første har gruppens medlemmer tidligere i studiet jobbet noe med fuzzy-logikk, og så på det som et interessant tema å kunne kombinere med lendeanalyser. Lendeanalyser er noe som har blitt jobbet med i utdanningen på Krigsskolen sin MilGeo-fordypning, og spesielt i 5. semester. Her ble det erfart hvordan bruk av skarpe skiller fort kan gi inntrykk av at noe er en absolutt sannhet når det presenteres for en kunde, og at det kan være vanskelig å på en god måte formidle blant annet den tidligere nevnte unøyaktigheten og usikkerheten som ligger bak produktene tilknyttet eksempelvis kunstige og naturlige hindre. For det andre skal begge medlemmene av gruppen bli MilGeo-offiserer og dermed sannsynligvis jobbe mye med IPOE trinn 2, og herunder blant annet kunstige og naturlige hindre. Videre så Hærens våpenskole (HVS) Ingeniør, oppdragsgiver for oppgaven, på problemstillingen som svært interessant.

1.2 Problemstilling

Med bakgrunn i det overnevnte skal oppgaven forsøke å svare på følgende problemstilling:

Hvordan kan bruk av fuzzy-logikk i analyse av kunstige og naturlige hindre komplementere beslutningsstøtten fra MilGeo?

Med denne problemstillingen skal oppgaven belyse sterke og svake sider ved bruk av fuzzy-logikk til IPOE-prosessens lendeavurdering, sammenlignet med dagens løsning der skarp-logikk blir brukt. Implisitt i formuleringen av problemstillingen ligger det en forventning og en forutsetning om at fuzzy-logikk *kan* komplementere beslutningsstøtten, og oppgaven søker å finne ut *hvordan* dette kan gjøres. Ordet «komplementere» er valgt fremfor «erstatte» med bakgrunn i at den ene løsningen ikke nødvendigvis er bedre enn den andre i alle situasjoner, og at en fleksibilitet i form av å kunne benytte begge fremgangsmåtene for å analysere kunstige og naturlige hindre kan være den beste løsningen. Selv dersom et produkt for farbarhet basert på fuzzy-logikk blir for detaljert og uoversiktlig til at det burde presenteres til en sjef, kan det

potensielt ha stor verdi for analytikeren som skal gjennomføre videre analyser og vurderinger av lendet.

1.3 Avgrensninger

Oppgaven er avgrenset til å ta for seg kunstige og naturlige hindre da denne faktoren, som nevnt tidligere, inneholder flere forhold som potensielt egner seg bra til bruk av fuzzy-logikk. Dette er også gjort med tanke på tidsrammen rundt oppgaven og hva som er realistisk å rekke og ta for seg. Videre vil data som brukes og legges fram i oppgaven være norske data, da det er denne vi har best oversikt over og som er lettest tilgjengelig. Den norske dataen oppleves som god, og bruk av denne vil være tids- og ressursbesparende for oppgaven.

Litteratur angående IPOE-prosessen, lende-vurdering og en MilGeo-offisers rolle i PBP er i denne oppgaven hentet fra Stabshåndbok for Hæren (Hærens våpenskole, 2015). Når denne oppgaven skrives, arbeides det med en håndbok for MilGeo som blant annet skal beskrive nevnte temaer mer detaljert enn stabshåndboken. Vi har valgt å avgrense oss bort fra denne håndboken fordi den ikke er ferdigstilt, og fordi håndboken foreløpig er *gradert*. Vi ønsker å holde oppgaven ugradert, og derfor avgrenser vi oss generelt bort fra alle dokumenter som er gradert.

2 Metode

2.1 Metodevalg

Et viktig prinsipp for oppgaver og undersøkelser er at det er undersøkelsens problemstilling som skal styre valg av metode, og ikke valg av teori og metode som skal bestemme problemstillingen (Johannessen, Tufte, & Christoffersen, 2016, s. 54). Problemstillingen i denne bacheloroppgaven er:

Hvordan kan bruk av fuzzy-logikk i analyse av kunstige og naturlige hindre komplementere beslutningstøtten fra MilGeo?

Dette er en problemstilling som fordrer en kvalitativ metode over en kvantitativ metode. En enkel måte å skille de to metodene, kvantitativ og kvalitativ, er ved å se på det som at kvantitativ forskning kartlegger at noe skjer, mens kvalitativ forskning avdekker hvorfor det skjer (s. 95). For å kunne svare på hvordan fuzzy-logikk kan komplementere dagens beslutningsstøtte er det viktig å kunne si noe om hvorfor det er gunstig, og ikke bare *at* det er gunstig. Spørsmål som søker å finne ut hvorfor og hvordan er av en forklarende art og gjør at kvalitativ metode er å foretrekke (Yin, 2017).

Innenfor kvalitativ metode er det flere analysetilnærminger (Johannessen et al., 2016, ss. 96-97), og i denne oppgaven er det blitt gjennomført en litteraturstudie. Dette kan benyttes som et alternativ til egne empiriske undersøkelser (s. 106), som også kunne vært en passende metode for oppgavens problemstilling. En empirisk undersøkelse kunne da innebåret å samle inn data til å lage komplette verktøy og metoder basert på fuzzy-logikk som kan benyttes i IPOE-prosessens lende-vurdering, og analysere virkningen av dette. I valg av metode er det viktig å ta hensyn til hvilke ressurser og tid som er til rådighet (s. 96). Tiden til arbeid med bacheloroppgaven er begrenset, og kunnskaps- og ferdighetsnivået som kreves for å lage gode og komplette verktøy bygget på fuzzy-logikk er såpass høyt at valg av metode falt på litteraturstudie. En intervju-basert tilnærming har også blitt vurdert for å innhente data, i tillegg til å studere eksisterende litteratur i fagfeltene. Dette har ikke blitt utført, med unntak av enkelte mailkorrespondanser. Det ble ikke sett på som hensiktsmessig for oppgaven å arrangere intervju av flere grunner. Det norske fagmiljøet rundt fuzzy-logikk oppleves som veldig lite, og derfor har litteratur blitt vurdert til å være den beste informasjonskilden innen temaet. I det

militære domenet ble det vurdert til at e-post var tilstrekkelig for det tekniske informasjonsbehovet som lå i oppgaven. Om det hadde vært tilstrekkelig tid til å utvikle en fullverdig lende vurderingsmetode som benytter seg av fuzzy-logikk kunne intervjuer med ulike avdelingssjefer og MilGeo-offiserer i hæren ha vært interessant for å høre deres meninger og vurderinger av denne metoden og resultatene fra den.

2.2 Utførelse

Arbeidet og oppsettet til oppgaven er bestemt ut ifra problemstillingen, som i stor grad bygger på temaene fuzzy-logikk og militær lende vurdering. Litteratur rundt disse temaene er studert hver for seg og presentert i teoridelen av oppgaven. Bachelorgruppen innehar noe forkunnskap om temaene, spesielt om militær lende vurdering. Denne kunnskapen har gitt oss grunntanker for studiet og et utgangspunkt for litteratursøket, noe som har virket tidsbesparende for gjennomføringen av oppgaven. Ytterligere litteratursøk er gjennomført for å støtte oppunder og bygge videre på disse grunntankene. Teorikapittelet i oppgaven tar først for seg militær lende vurdering, og da kunstige og naturlige hindre som oppgaven er avgrenset til. Her beskrives kort oppbyggingen av en lende vurdering før geografiske parametere blir gjennomgått. Utgangspunktet for teorien er parametere beskrevet i stabshåndboken, med eksterne kilder som utdypende litteratur.

Med tanke på de to temaene fra problemstillingen består vår forkunnskap primært av kunnskap om militær lende vurdering, og dette gjenspeiler også målgruppen som er tenkt å være en del av, eller kjent med, fagmiljøet militær geografi. Som følge av dette har mest tid og ressurser blitt lagt i studering av litteraturen rundt fuzzy-logikk. Oppgaven går her i dybden og tar for seg grunnleggende teori rundt temaet, samt mer utfyllende rundt bruken av denne teorien gjennom *fuzzy-logikkssystem*. Senere, i oppgavens drøftingskapittel, ses dette i sammenheng med militær lende vurdering.

Drøftingen baserer seg på teorien rundt militær lende vurdering og fuzzy-logikk. Her blir fordeler og ulemper rundt generell bruk av fuzzy-logikk presentert før det ses opp mot geografiske data og militær lende vurdering. Det blir identifisert elementer fra stabshåndbokens parametere som potensielt kan utnyttes bedre ved bruk av fuzzy-systemer, med *lingvistiske*

verdier som et eksempel. Forskjellene på lende vurdering med bruk av dagens skarpe metode og fuzzy metode blir sett på, og muligheter for hvordan fuzzy-logikk kan brukes i lende vurderingen blir drøftet.

Til litteraturstudien er det laget enkle og tilpassede verktøy med produkter som viser prinsipielle forskjeller på analyse av kunstige og naturlige hindre med *skarp-logikk* og fuzzy-logikk. I disse produktene er elementer fra drøftingen tatt med og skal eksemplifisere dette på en forenklet måte. Oppgaven avsluttes med en konklusjon med funnene fra drøftingen og anbefaling til videre arbeid.

2.3 Litteratur- og kildevalg

Litteraturen som er studert i oppgaven er valgt ut ifra de to temaene som problemstillingen bygger på: fuzzy-logikk og militær lende vurdering. En utfordring med disse temaene er at de er uavhengige av hverandre, og det er begrenset med litteratur som ser disse temaene i sammenheng. Det finnes enkelte kilder som omhandler geografiske data med innslag av fuzzy-logikk, og disse er benyttet i denne oppgaven. Eksempler på dette er Geografiens språk i vår tidsalder (Grinderud, et al., 2016) og Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information (Benz et al., 2003).

Innen militær lende vurdering er det hovedsakelig faktoren kunstige og naturlige hindre som er studert, og kilden til dette har primært vært Stabshåndbok for Hæren. Denne beskriver en helhetlig tilnærming til planlegging av operasjoner i hæren (Hærens våpenskole, 2015, s. 11), herunder også lende vurderingen (s. 125), og er utviklet etter retningslinjer fra NATOs Comprehensive Operations Planning Directive (s. 11). Utover stabshåndboken er det begrenset med litteratur om lende vurdering eller MilGeo som eksisterer og er oppdatert etter dagens behov. En mer omfattende håndbok tilpasset MilGeo er under arbeid, men denne er ikke ferdigstilt da oppgaven skrives. Dokumenter og nettsider fra institutter som for eksempel *NIBIO* og *Kartverket* er benyttet for å bygge opp under faktorer og parametere nevnt i stabshåndboken.

Litteratur innen fuzzy-logikk strekker seg tilbake til 1965 da Lotfi Zadeh publiserte sin første artikkel om temaet (Zadeh L. A., 1965). Denne artikkelen kalte han *Fuzzy Sets*, og ifølge Google Scholar er artikkelen sitert over 100 000 ganger (Google, 2019). Lotfi Zadeh refereres til av flere kilder som fuzzy-logikkens far (Mathworks, 2019; Singh, et al., 2013; Metz, 2017), og har mottatt mer enn femti ingeniørfaglige og akademiske utmerkelser for sitt arbeid (Metz, 2017). På bakgrunn av dette er mye av litteraturen benyttet i oppgaven basert på Zadeh og hans publikasjoner.

Som Johannessen et al. skriver er det viktig at resultatene fra ulike forskere er et resultat av forskningen, og ikke av forskerens subjektive holdninger. Dette skal sikres av *bekreftbarhet*, som viser til hvordan resultatet kan bekreftes av andre forskere gjennom tilsvarende arbeid og undersøkelser (Johannessen et al., 2016, s. 234). Litteratursøket i oppgaven er derfor utvidet til også å ta for seg andre uavhengige kilder, utover Lotfi Zadeh, som omhandler temaet fuzzy-logikk. Det er studert litteratur fra flere tidsperioder for å dekke ulike hensikter. Originalstudier på fuzzy-logikk fra før 2000-tallet er studert for å gi den grunnleggende forståelsen for temaet og tankene som ligger bak tilnærmingen. Forskningen rundt bruken av fuzzy-logikk har utviklet seg i takt med omgivelsene, der nyere litteratur knytter temaet opp mot den digitale verden. Oppgavens tematikk i form av lende vurdering åpner for avanserte analyser med geografiske data og digitale hjelpemidler, og det har derfor også blitt studert ny og relevant litteratur som tar for seg dette. Et eksempel er dokumentet *Real-Life Applications of Fuzzy Logic* fra 2013 som tar for seg eksempler på hvordan fuzzy-logikk benyttes i dagens samfunn (Singh, et al., 2013).

3 Teori

Teorikapittelet innledes med en introduksjon til den militære lende vurderingen og herunder en redegjørelse av faktoren kunstige og naturlige hindre. Videre belyses kompleksiteten og usikkerheten til parametere samt anvendbare datasett innenfor denne faktoren. Deretter redegjøres det for hvordan vurderinger tas, og formuleres basert på etterretningsmiljøet sin standardisering av sannsynlighetsord. Det siste delkapittelet omhandler fuzzy-logikk. Her presenteres først tankegangens bakgrunn og opprinnelse. Avslutningsvis redegjøres det for fuzzy-logikksystem og systemets fire hoveddeler. Dette legger samlet til rette for å senere i oppgaven kunne drøfte problemstillingen, der fuzzy-logikk ses opp mot lende vurdering og herunder faktoren kunstige og naturlige hindre.

3.1 Militær lende vurdering

Den militære lende vurderingen er en analyse av terrengets innvirkning og inngår i trinn 2 av IPOE-prosessens fire trinn. IPOE-prosessen er en integrert del av PBP, og skal analysere aktørene og omgivelsene i et operasjonsområde (Hærens våpenskole, 2015, s. 113). Terrengets innvirkning på operasjonsområdet kan framlegges med huskeordet KADOV, som vist på Figur 2 (s. 125). Analysen av KADOV kan ende opp med ulike produkter som det gjøres vurderinger basert på.

K: Kunstige og naturlige hindre

A: Adkomstakser

D: Dekning og skjul

O: Observasjon og skuddfelt

V: Viktig lende

Figur 2: Betydningen av huskeordet KADOV.

IPOE-prosessen er en integrert del av PBP og faktoren kunstige og naturlige hindre sin posisjon i prosessen ser slik ut:

IPOE -> Trinn 2 Beskrive operasjonsområdets innvirkning -> Lendevurdering -> Kunstige og naturlige hindre (Hærens våpenskole, 2015, s. 122).

Kunstige og naturlige hindre er noe som vurderes for å finne farbarheten i det aktuelle terrenget. Stabshåndboken deler terrengets farbarhet inn i de tre kategoriene beskrevet i Tabell 1 (Hærens våpenskole, s. 126):

Tabell 1: Farbarhetskategoriene som definert av stabshåndboken.

Farbart	Begrenset farbart	Ikke farbart
Indikerer terreng som er relativt fritt for sperringer som kan hindre forflytninger. Ingen spesielle behov for ressurser som kan øke mobiliteten er påkrevet. Helninger uten skog mindre enn 30 % i hvilken som helst retning. Sperringer kan lett omgås. Fart 15+ km/t.	Påvirker forflytninger til en viss grad. Mindre ressurser trengs for å øke mobiliteten, men avdelingen kan ikke forflytte seg etter ønsket tempo eller på kampformasjon. Helninger mellom 30-50 % eller skogkledde helninger mindre enn 30 % (flere sperringer vil redusere og kanalisere bevegelse utenfor vei). Fart 5-15 km/t.	Hindrer eller reduserer forflytninger sterkt ved bruk av stridsformasjoner, så fremt det ikke har blitt satt inn betydelige mobilitetsfremmende tiltak. Helninger større enn 50 % eller skogkledde helninger mer enn 30 %. Sumper og våte myrområder, eller kampesteinsfelt. Begrenset mobilitet, fart 0-5 km/t.

Det som går igjen i de ulike beskrivelsene av farbarhetsklasser er forventet hastighet, helningsgrad og om området er skogkledde eller ikke. I tillegg nevnes spesielt sump, våte myrområder og kampesteinsfelt som ikke farbare uavhengig av de andre parameterne. Parameterne er til støtte når manøvermulighetene skal kategoriseres. Stabshåndboken benytter seg av tallverdier på to av disse parameterne: helning og fart, med to grenseverdier for hver,

henholdsvis 30 % og 50 % helning, og 5 km/t og 15 km/t. For resterende parametere blir lingvistiske verdier benyttet. Lingvistikk er et annet ord for språkvitenskap (Hagemann, 2019), og lingvistiske verdier kan dermed beskrives som språklige eller verbale verdier. Eksempler her er «påvirker forflytning til en viss grad» eller «skogkledd helning». Stabshåndbok for Hæren som benytter disse verdiene har dog ikke beskrivelser av hvor mye «til en viss grad» vil si, og heller ikke hvor mye skog som må til for at en helning skal defineres som «skogkledd». I kapittel 5.3 og kapittel 5.4 blir det blant annet drøftet hvordan lingvistiske verdier som disse kan tas høyde for ved bruk av fuzzy-logikk.

Vegetasjon

Vegetasjon eller skog er en parameter som inneholder usikkerhet. En skogkledd helning kan ha flere betydninger. Den Norske Akademis Ordbok forklarer skogkledd til å bety dekket av skog (Det Norske Akademi for Språk og Litteratur, 2019). Dette er fortsatt et uklart begrep. Hvor mye skog er det på et område før det kan kalles dekket? Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) sin definisjon av skog er tydeligere og sier at skog er areal der *kronedekning* på 1 dekar skal være over 10 % for trær som er eller kan bli minst 5 m høye på den aktuelle *lokaliteten* (Hysten, 2019). NIBIO har også publisert en beskrivelsesbrosjyre om *arealressurskartet AR5* der de beskriver *arealtypen* skog til å være: «Areal som har minst seks trær per dekar som er, eller kan bli, fem meter høye og som er jevnt fordelt på arealet» (Tenge, 2016, s. 6).

Norge inneholder mye vegetasjon i form av skog, og denne er digitalisert og dokumentert gjennom blant andre NIBIO (NIBIO, 2019). Skogen er kategorisert etter flere klasser og det finnes flere digitale kartløsninger som beskriver skogen etter disse klassene. AR5 er et eksempel på et arealressurskart med detaljgrad tilsvarende et kart med målestokken 1:5000. Kartet beskriver landarealet ut ifra kategoriene arealtype, *skogbonitet*, treslag og grunnforhold (Frydenlund, 2019). Kartressursene *SR16* og *SAT-SKOG* er to kartressurser fra NIBIO som i tillegg til data fra AR5 benytter seg av annen data fra for eksempel satellittbilder, for å gi en oversikt over skogressursene i Norge (Norsk institutt for skog og landskap, 2014; NIBIO, 2018a). Disse ressursene inneholder attributter om skog som kan benyttes ved analyse av kunstige og naturlige hindre. For eksempel vil skogens styrke og tetthet være med på å påvirke farbarheten. Attributtene bonitet og volum kan nyttes for å beskrive dette.

Skogbonitet er et mål for arealets evne til å produsere trevirke (Kartverket, 2019a). Dette måles i produksjonsevne per dekar og år, der for eksempel 0,5-1,0 m³ tilsvarer et areal med høy bonitet (Frydenlund, 2017). Dette kan ses på som et mål for skogens tetthet da et område med evne til å produsere mer skog per areal potensielt vil inneholde mer skog enn et annen område. Ulempen med å benytte skogbonitet som et mål på tetthet er at det beskriver evnen jorden har til å produsere skog, og ikke tilstanden på skogen. Det betyr at det ikke trenger å være noe skog på et område selv om boniteten er høy. Det er heller ikke kun skogsareal som måles, men også myr og åpen fastmark klassifiseres etter skogbonitet (Frydenlund, 2017). Skogboniteten må eventuelt da ses opp mot et eget kart som viser områder der det er skog.

Et attributt som kan gi en bedre fremstilling av tetthet er *skogvolum*. I en utredning fra 2004 om bruk av satellittdata til kartlegging av arealdekke, benytter direktoratet for naturforvaltning volum eller kubikkmasse per dekar som et indirekte mål på tetthet (Vikhamar, Fjone, Kastdalen, & Bolstad, 2004, s. 24). Skogvolum gir et mål på hvor mye tremasse eller stammevolum det finnes på et gitt areal. Dette angis i volum per areal, for eksempel benevnes volum med m³/hektar i kartløsningen SR16. Således gir skogvolum en god indikasjon på tettheten av skogen i dette området. Ulempen med å benytte skogvolum som mål for tetthet er at høyden og tykkelsen også spiller inn på volumet. Korte og tynne trær som står relativt tett kan gi det samme volumet som høye og tykke trær som står spredt. Høyden på trærne ligger inne i SR16 og kan studeres sammen med volumet. Tretykkelse ligger enda ikke i noen av de overnevnte datasettene da oppgaven skrives.

Som nevnt over påvirkes volumet av tykkelse på trærne. Tykkelse på trær er også et naturlig attributt som påvirker styrken på trærne. Derav kan volum også være en indikasjon på styrken i tillegg til tettheten og således gi en samlet vurdering av disse. Videre kan alder være en indikasjon på styrken til trær, da tykkelsen på trær øker med alderen. Samtidig vil det komme til et punkt der alderen fører til mindre motstandsdyktighet og råte hos trærne (Solheim, 2009). Alder er et attributt ved skogkartet SAT-SKOG (Gjertsen, 2017).

Et attributt som flere kartressurser inneholder, inkludert AR5, er treslag. Selv om de ulike treslagene har ulike egenskaper når det kommer til tetthet og styrke (Norsk Treteknisk Institutt, 2016), er det mindre utslagsgivende enn andre attributter og blir ikke nevnt i stabshåndboken under kunstige og naturlige hindre (Hærens våpenskole, 2015). For analyse av *observasjon og skjul* derimot, er det relevant ettersom løvtrær feller bladene sine om høsten, noe som gir mindre skjul og bedre observasjonsmuligheter.

Helning

Helning er en parameter som har lokale variasjoner. En bakke har sjeldent en konstant helning fra bunn til topp. Helningen i et område kan fremstilles ved å benytte seg av en *høydemodell* (ESRI, 2019). I Norge blir høydedata fra ulike *laserprosjekter* tilgjengelig på høydedata.no. Dataen etableres som *punktskyer* gjennom laserskanninger og bilder fra fly (Kartverket, 2019c). Fra punktskyene kan det genereres høydemodeller i rasterformat som kan benyttes direkte i kartverktøy for å finne helningen i et område (ESRI, 2019). Dette gir en oversikt over helningen, med detaljgrad i samsvar med *bakkeoppløsningen* og detaljgraden på høydedataen som er tilgjengelig.

Grenseverdiene for helning i de ulike farbarhetskategoriene som blir presentert i stabshåndboken ligger på 30 % og 50 % (Hærens våpenskole, 2015, s. 126). Disse verdiene baserer seg på mekanisert infanteri, noe som er dimensjonerende faktor for de fleste tilfeller for hæren. Verdiene er dog kun veiledende verdier ettersom forskjellige kjøretøy har forskjellige helningsbegrensinger både fremover og sidelengs (Senior Fagoffiser Analyse, 2019).

Vurdering

Lendevurderingen skal gi en vurdering av innvirkningen lendet har på en operasjon. Dette gjøres gjennom å analysere KADOV og finne muligheter, bindinger og begrensninger (Hærens våpenskole, 2015, s. 125). Basert på analysene gjøres det vurderinger som igjen leder til slutninger som tas med videre i planprosessen. MilGeo-offiseren vil legge frem sine

lende vurderinger med en grad av sannsynlighet slik Etterretningsdoktrinen beskriver (Etterretningstjenesten, 2013, s. 25).

I etterretningsmiljøet i forsvaret benyttes standardiseringen av ord vist på Tabell 2, som beskriver sannsynligheten for at noe kommer til å skje. Dette for at en mottaker av et etterretningsprodukt skal kunne bedømme hvilken vekt en vurdering skal tillegges (Etterretningstjenesten, 2013, s. 25). Her benyttes lingvistiske verdier som eksempelvis «sannsynlig» og «usannsynlig» for å beskrive den lingvistiske variabelen *sannsynlighetsgrad*. (s. 25). Standardiseringen er laget for å få et begrepsapparat som er forstått likt innad i etterretningsmiljøer (s. 25), deriblant også MilGeo-miljøet.

Tabell 2: Etterretningsdoktrinen standardisering av sannsynlighetsord.

Sannsynlighetsgrad	Confidence Levels	Prosentverdi
MEGET SANNSYNLIG	HIGHLY LIKELY	> 90 %
SANNSYNLIG	LIKELY	60 - 90 %
LIKE SANNSYNLIG SOM USANNSYNLIG	EVEN CHANCE	40 – 60 %
LITE SANNSYNLIG	UNLIKELY	10 – 40 %
USANNSYNLIG	HIGHLY UNLIKELY	< 10 %

3.2 Fuzzy-logikk

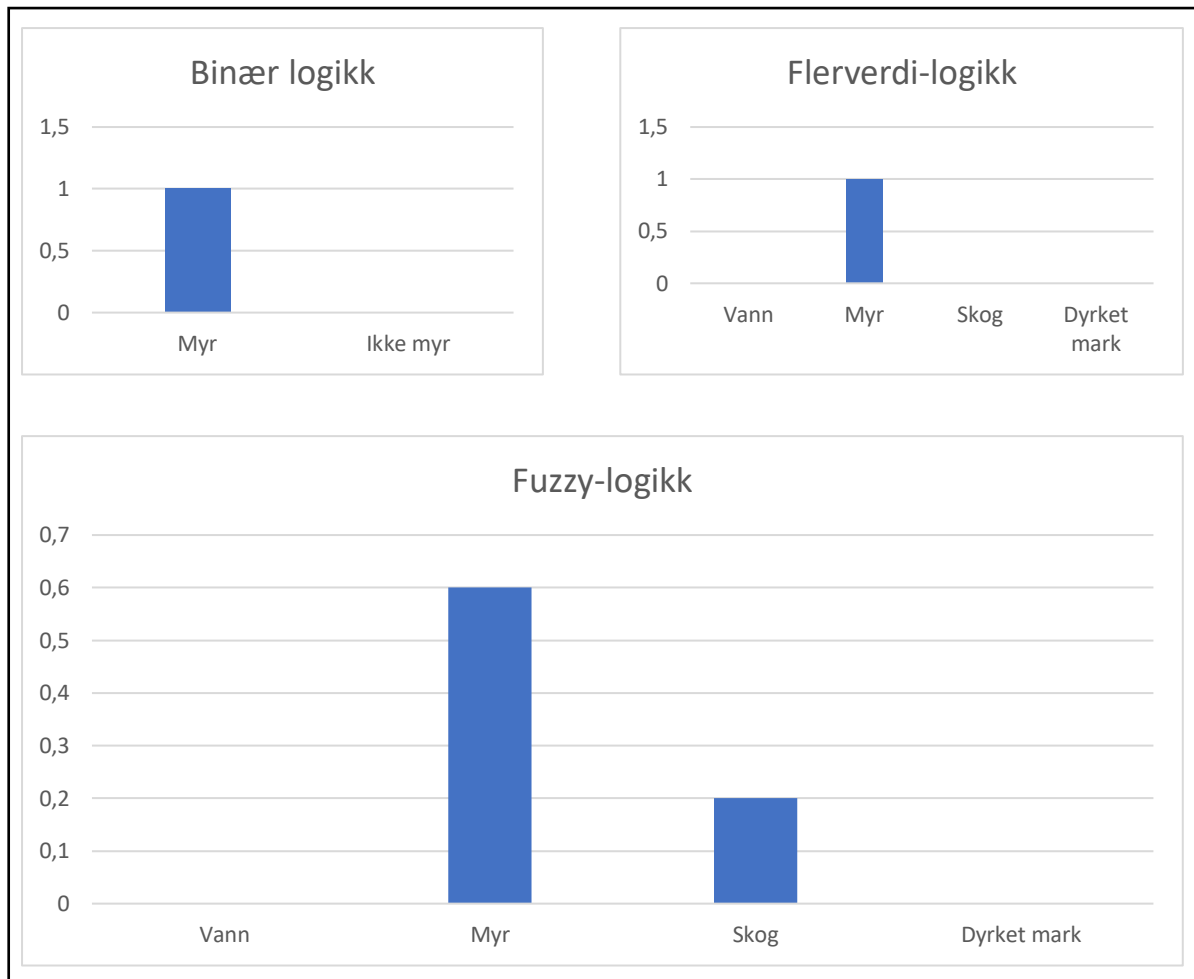
Begrepet *logikk* handler om regler, prinsipper, lover og begreper, og hvordan dette utledes fra resonnementer, slutninger og bevisførsler fra andre regler, prinsipper, lover og begreper (Alnes, 2017). Det finnes flere typer logikk, der fuzzy-logikk er en av dem. Fuzzy-logikk stammer fra flerverdi-logikk, som igjen stammer fra *binær logikk* (Reus, 1994, s. 10).

Binær logikk, også kalt *toverdi-logikk*, baserer seg på at variabler eller utsagn kan ha én av to verdier, sant eller usant (Reus, 1994, s. 10). Sannhet kan ofte gis tallverdien 1, mens usannhet ofte gis tallverdien 0 (Evans, 2011, s. 108). Eksempelvis kan en beskrivelse av terrenntypen myr beskrives med at det enten er myr (1) eller at det ikke er myr (0). Ved hjelp av *bindeord* kan hele utsagn som inneholder flere binære variabler, også bli definert som sanne eller usanne. De tre grunnleggende bindeordene kalles AND, OR og NOT (Evans, 2011, ss. 109-110). Disse bindeordene kan også benyttes i flerverdi- og fuzzy-logikk, og vil bli beskrevet i større grad senere i oppgaven. Binær logikk kalles også *boolean-logikk* etter den britiske matematikeren George Boole (Evans, 2011, s. 108).

Flerverdi-logikk bygger videre på binær logikk der tanken er å utvide eller generalisere denne. Dette betyr at i de tilfellene der variablene har de eksakte verdiene 1 eller 0 så vil resultatet bli det samme som ved bruk av binær logikk. Forskjellen på binær og flerverdi-logikk er at mulige verdier for variablene er flere enn disse to. Der binær logikk tillater variablene å ha verdiene 0 eller 1, kan flerverdi-logikkens variabler ha én av flere verdier fra og med 0 til og med 1 (Reus, 1994, s. A.2), for eksempel verdien 0,4. Beskrivelsen av terrenntypen kan da eksempelvis beskrive om det er vann, myr, skog eller dyrket mark, sammenlignet med binær logikk der det bare er verdiene myr eller ikke myr som er gyldige.

Fuzzy-logikk kan ses på som en utvidelse av flerverdi-logikken (Reus, 1994, s. 10; Zadeh L. A., 1988, s. 1). Forskjellen på fuzzy- og flerverdi-logikk er at variablene kan ha flere verdier samtidig, der tilhørigheten til hver verdi er gradert. Graden av tilhørighet er som regel gradert mellom 0 og 1 (Wang, 1996, s. 21), der graderingen 1 vil si at variabelen har full tilhørighet til en gitt verdi, mens graderingen 0 vil si at den ikke har noen tilhørighet til verdien i det hele tatt (Reus, 1994, s. 9). For variabelen terrenntype kan verdien ved bruk av flerverdi-logikk være for eksempel myr, vann eller skog. Ved fuzzy-logikk kan variabelen ha tilhørighet til flere av verdiene samtidig. For eksempel 0,2 tilhørighet til skog og 0,6 tilhørighet til myr. Dette gjenspeiler seg i et spørsmål ofte brukt av fuzzy-logikkens far, Lotfi Zadeh: «I hvilken grad er noe sant eller usant?» (Blair, 1994). Figur 3 viser, ved hjelp av diagrammer, prinsipiell forskjell på binær, flerverdi- og fuzzy-logikk. Den viser tre diagrammer som visualiserer terrenntypen myr fremstilt ved de ulike logikkene. Den horisontale aksene viser

terrengparametere, mens den vertikale akse viser tilhørigheten variabelen har til de ulike klassene, der tallet 1 betyr full tilhørighet.



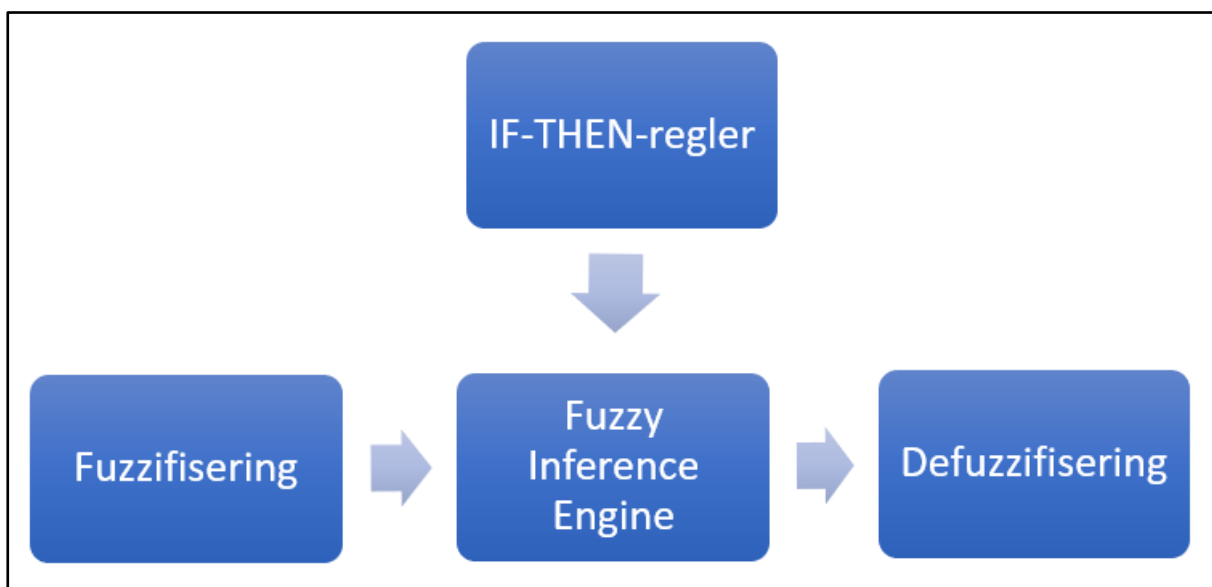
Figur 3: Forskjell på binær, flerverdi- og fuzzy-logikk.

I en artikkel fra 2008 som omhandler databaser knyttet opp mot romlig usikkerhet, bruker Markus Schneider begrepet *spatial fuzziness*, eller *romlig fuzziness* oversatt til norsk. Romlig fuzziness omhandler objekter som i virkeligheten ikke har skarpe grenser, eller der hvor grensene ikke kan bestemmes presist, for eksempel grensen til en myr (Schneider, 2008, s. 2). Dersom flere personer hadde fått i oppgave å konstruere et kart med grensene til en gitt myr ville det gitt flere ulike svar, hvor flere av dem ville vært riktige. Datasett med slike uklare grenser kan kalles *fuzzy-datasett* (Grinderud, et al., 2016, s. 63), og har etablert seg som en viktig tematikk innen flere forskningsfelt, blant annet innen forskning på skogtyper, jordtyper, jordforurensning og også innen GIS (s. 4). Eksempler på *terrengparametere* med uklare

grenser er som nevnt myr (Grinderud, et al., 2016, s. 63), vegetasjon, hav, ørkener og fjellområder (Schneider, 2008, s. 2).

Fuzzy-logikksystem

Et fuzzy-logikksystem er et kunnskap- og regelbasert system som består av fire hoveddeler som vist på Figur 4 (Wang, 1996, ss. 2-7). De to midterste stegene i figuren kan forenklet ses på som ett steg (Benz et al., 2003, s. 251; Martin & Mendel, 1995, s. 9) ettersom de omhandler *fuzzy-regler* og hvordan disse skal kombineres (Wang, 1996, s. 94). *Fuzzy Inference Engine* er kort forklart hvordan ulike regler i systemet skal virke sammen. Det er prinsipielt to måter reglene kan virke sammen. Den første måten er at alle reglene kombineres og ses i en sammenheng for å så bli behandlet som én fuzzy regel med én output. Den andre er at reglene benyttes hver for seg og at hver regel gir en output som deretter kombineres (ss. 94-96). For å unngå å gå for dypt ned i matematikken og alle de ulike undermetodene når det kommer til kombinasjon av fuzzy-regler, vil fuzzy-logikksystemer videre i denne oppgaven beskrives med tre steg: *fuzzifisering*, regelverket og *defuzzifisering*.

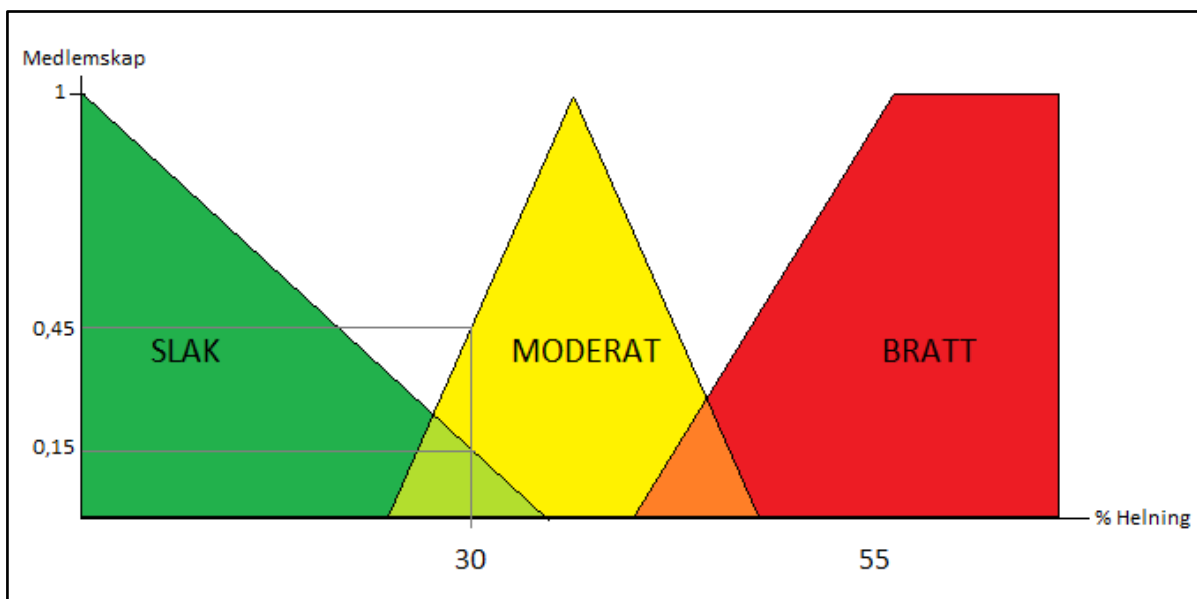


Figur 4: De fire hoveddelene i et fuzzy-logikksystem.

Fuzzifiseringen består av å ta en *skarp verdi* og gi den et medlemskap til et eller flere *fuzzy-sett* (Wang, 1996, s. 105). Et fuzzy-sett er en gruppe eller klasse som et objekt kan falle innenfor

(Zadeh L. A., 1965, s. 35). Eksempelvis kan de tre fuzzy-settene slak, moderat og bratt benyttes for helning, som vist i Figur 5. Disse settene representerer ulike verdier til den lingvistiske variabelen helning. En lingvistisk variabel kan defineres som en variabel som kan ha ord fra et naturlig språk som sine verdier, og hvor disse ordene er karakterisert av fuzzy-sett (Wang, 1996, s. 59). Dette er et viktig steg mot å kunne benytte menneskelig ekspertkunnskap i programmer på en systematisk og effektiv måte (ss. 60-61).

Overordnet kan kunnskap deles inn i to kategorier: bevisst- og *ubevisst kunnskap* (Wang, 1996, s. 151). Den bevisste kunnskapen er den som kan beskrives eksplisitt med ord, og det vil derfor kunne være relativt enkel å formulere regler basert på denne. Den ubevisste kunnskapen omhandler derimot situasjoner der mennesker vet hvordan de kan løse et problem, eksempelvis i hvilken grad de kan komme seg frem gjennom skogen, men ikke kan forklare med ord hva som ligger bak (s. 151). For eksempel kan det være at vognføreren av en *stridsvogn* eller *stormpanservogn* vet intuitivt basert på erfaring når han kommer til en skog om det er mulig å kjøre der eller ikke, men at personen ikke nødvendigvis er bevisst alle vurderingene som fører til slutningen. Metoden som vanligvis benyttes for å innhente denne ubevisste kunnskapen fra eksperter, er å få dem til å demonstrere hva de gjør i ulike settinger for å så analysere dette (s. 151).



Figur 5: Fuzzy-sett for parameteren helning.

Figur 5 viser hvordan parameteren helning kan bli inndelt i fuzzy-sett, der den horisontale aksene viser helningen oppgitt i prosent, mens den vertikale aksene viser medlemskapet et objekt har til de ulike settene. Objektets tilhørighet til et sett blir karakterisert av en *medlemskapsfunksjon* med en kontinuerlig skala fra 0 til 1 (Zadeh L. A., 1965, s. 35). En medlemskapsfunksjon er en presis matematisk funksjon som kan bestemmes ved bruk av to konseptuelt forskjellige metoder. Den første er å få eksperter på det aktuelle temaet til å spesifisere funksjonene. Denne metoden vil kun fungere som et grovt utgangspunkt, og vil kreve finjustering senere. Den andre tilnærmingen er å benytte seg av statistikk fra tidligere innsamlet data til å bestemme funksjonene (Wang, 1996, s. 24). Medlemskapsfunksjonene til Figur 5 og Figur 6 er dog forenklet og for visualiseringens skyld, og ikke bestemt ved bruk av noen av metodene beskrevet over.

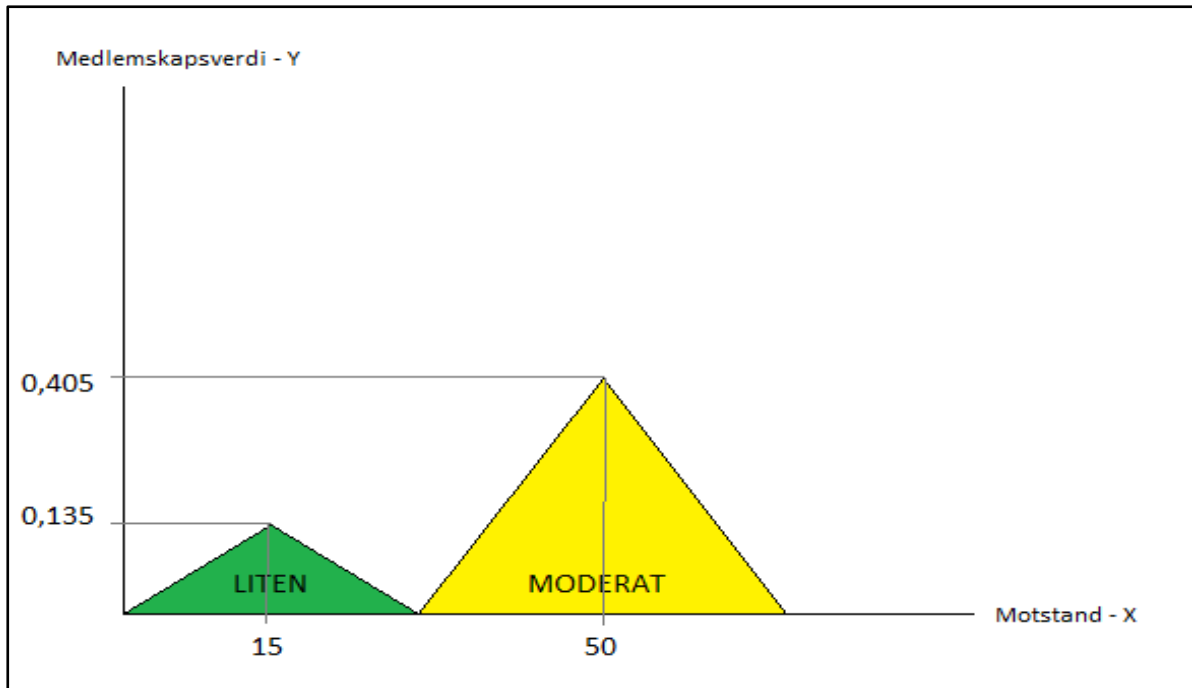
Et objekt kan også ha en grad av medlemskap til flere klasser slik som det fremgår på Figur 5 (Martin & Mendel, 1995, s. 5). Dersom bakken har 30 % helning vil den ut ifra Figur 5 få en *medlemskapsverdi* på 0,15 til settet slak, 0,45 til settet moderat og 0 til settet bratt. En verdi på 0 betyr at objektet ikke hører til i settet i det hele tatt, mens en verdi på 1 betyr at objektet beskrives perfekt av dette settet og at den hører fullstendig til der (s. 5). Dette vil altså si at en helning på 30 % ifølge Figur 5 ikke hører til settet bratt i det hele tatt, mens det hører litt til i settet slak og mer til i settet moderat.

Fuzzy-systemer bruker IF-THEN-regler for å bestemme *fuzzy-outputs* basert på *fuzzy-inputs* (Martin & Mendel, 1995, s. 14). Eksempelvis så vil variabelen helning kunne være en av flere inputs sammen med skog og vann. Output fra dette kan eksempelvis være den lingvistiske variabelen motstand med verdiene liten, moderat og stor. IF-THEN-reglene er, i likhet med fuzzy-sett, utledet fra menneskelige ekspertise og tidligere data og kunnskap på området (Wang, 1996, s. 4). Reglene kan være satt sammen av en eller flere variabler (s. 63). En regel som baserer seg på flere variabler kan være «IF helning is moderat AND skog is tett OR vann is dypt THEN motstand is stor». I dette eksempelet brukes bindeordene AND og OR.

Som forklart tidligere vil en skarp verdi kunne få en grad av tilhørighet til flere fuzzy-sett. For å eksemplifisere hvordan dette resulterer i fuzzy-outputs kan det brukes et sett med enkle regler

der det kun tas hensyn til helning og vann. Først introduseres det to regler: «IF helning is slak AND vann is ikke noe THEN motstand is liten» og «IF helning is moderat AND vann is ikke noe THEN motstand is moderat». Ovenfor fremgikk det at 30 % helning hadde en grad av tilhørighet i settet slak på 0,15 og 0,45 til settet moderat. Videre utvides eksempelet med at verdien til den lingvistiske variabelen vann i dette tilfellet er ikke noe med en medlemskapsverdi på 0,9. Disse setningene bestemmer både hvilke fuzzy-outputs som blir gjeldene, men også graden av tilhørighet til disse settene (Martin & Mendel, 1995, ss. 27-28). For å beregne graden av tilhørighet må det ses på hvilke bindeord som er benyttet. Bindeordet AND betyr i denne sammenhengen at verdier skal multipliseres, mens ordet OR betyr at de skal adderes (s. 28). Multiplikasjon av den første regelen gir $0,15 * 0,9 = 0,135$. Dette vil si at medlemskapsfunksjonen for output-settet liten her får en maksimums medlemskapsverdi 0,135. Ved å gjøre det samme på den andre regelen får vi en medlemskapsfunksjon for output-settet moderat med maksimum medlemskapsverdi på 0,405. Disse maksimumsverdiene blir senere benyttet når output-settene skal defuzzifiseres (Ross, 2010).

Der IF-THEN-regler skal bestemme outputs fra inputs, skal defuzzifiseringen bestemme en skarp/eksakt verdi fra fuzzy-outputs (Wang, 1996, s. 108). Målet med defuzzifiseringen er å finne de skarpe verdiene som best representerer outputene, men på grunn av hvordan fuzzy-sett er konstruert er det flere måter å komme frem til disse verdiene (s. 108). Når systemet for defuzzifiseringen skal lages er det hovedsakelig tre faktorer som må vurderes. Den første faktoren er at den skarpe verdien skal være intuitiv og rimelig gjennom å for eksempel ha en veldig høy medlemskapsverdi til settene den ligger i. Den andre faktoren er at beregningen fra fuzzy-sett og over til den skarpe verdien skal være enkel, fordi fuzzy-systemer arbeider i *sanntid*. Det siste som skal tas hensyn til er at en liten endring i fuzzy-sett ikke skal føre til en stor endring i den skarpe verdien som beregnes (s. 108).



Figur 6: Eksempel på defuzzifiseringsmetoden *Weighted Average*.

En av de mest brukte metodene til defuzzifisering er *Weighted Average Method* (Ross, 2010, ss. 99-100). Den er en av de mest effektive beregningsmessige og intuitive metodene, men en svakhet med metoden er at den vanligvis er begrenset til bruk ved symmetriske output-medlemskapsfunksjoner, altså at funksjonene kan speiles om maksimumsverdiene (ss. 99-100). Denne metoden benytter maksimumsverdiene til de ulike output-settene for å få en defuzzifisert skarp verdi, i det gjennomgående eksempelet for motstand. Formelen som benyttes er (ss. 99-100):

$$X' = \frac{\sum(Y * X)}{\sum Y}$$

X' = defuzzifisert skarp verdi

Y = maksimum medlemskapsverdi

X = skarp verdi for senter av de symmetriske medlemskapsfunksjonene til ulike output-sett

Figur 6 visualiserer det gjennomgående eksempelets metode for defuzzifisering, der motstand er valgt å gå på en skala fra 0 - 100 %. Utregningen av den defuzzifiserte skarpe verdien, X' , som et resultat av de to eksemplifiserte reglene blir da:

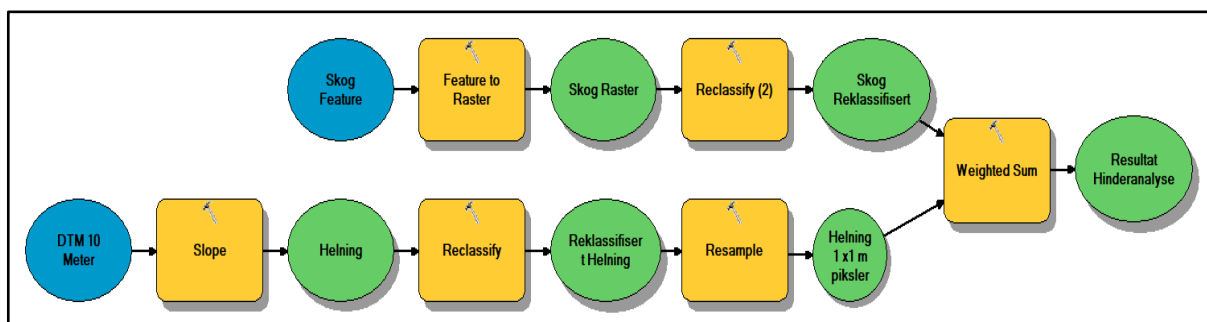
$$X' = \frac{0,135*15 + 0,405*50}{0,135+0,405} = 41,25 \%$$

Forenklet kan altså et fuzzy-logikksystem ses på som bestående av fuzzifisering, IF-THEN-regler og defuzzifisering. I det første steget, fuzzifiseringen, blir en skarp verdi som eksempelvis en tallverdi på en helning gitt et medlemskap en kontinuerlig skala fra 0 til 1, til en eller flere fuzzy-sett. Disse fuzzy-settene kan ha grenser som overlapper hverandre og skal beskrive alle mulige verdier innenfor en lingvistisk variabel. Innenfor variabelen helning kan dette eksempelvis være slak, moderat og bratt. Dette vil si at alle mulige skarpe verdier for helning skal kunne plasseres i en eller flere av disse tre settene. Variabelen helning kan sammen med andre variabler som eksempelvis skog og vann ses på som fuzzy-inputs. IF-THEN-regler benyttes til å bestemme fuzzy-outputs basert på overnevnte fuzzy-inputs. Med fuzzy-inputs som helning, skog og vann kan motstand være en naturlig fuzzy-output som beskriver motstanden disse tre inputene fører til for en manøver. Fuzzy-outputs har også lingvistiske verdier som skal romme alle mulige verdier for den gjeldende variabelen (motstand). Dette kan være eksempelvis liten, moderat og stor. Disse reglene kan utledes av menneskelig ekspertise og allerede eksisterende data innenfor et område. Reglene kan ved hjelp av bindeordene AND, OR og NOT være satt sammen av flere variabler. Gjennom de fuzzy reglene fås det maksimums medlemskapsverdier til de ulike output-settene. Disse verdiene benyttes i det siste steget, der fuzzy-outputs skal defuzzifiseres. I defuzzifiseringen skal det bestemmes de skarpe verdiene som best mulig representerer overnevnte fuzzy-outputs. En av de mest brukte metodene, Weighted Average Method, benytter de maksimale medlemskapsverdiene som kommer som et resultat av de fuzzy reglene sammen med den skarpe verdien til senter av de ulike output-settene som eksempelvis liten, moderat og stor motstand. I det gjennomgående eksempelet blir resultatet avslutningsvis da en skarp verdi på motstand som ligger et sted på en kontinuerlig skala fra 0 til 100 %.

4 Modeller

Dette kapittelet er en introduksjon til drøftingskapittelet og har til hensikt å hjelpe med forståelsen for fuzzy-logikk gjennom bruk av visuelle og praktiske eksempler.

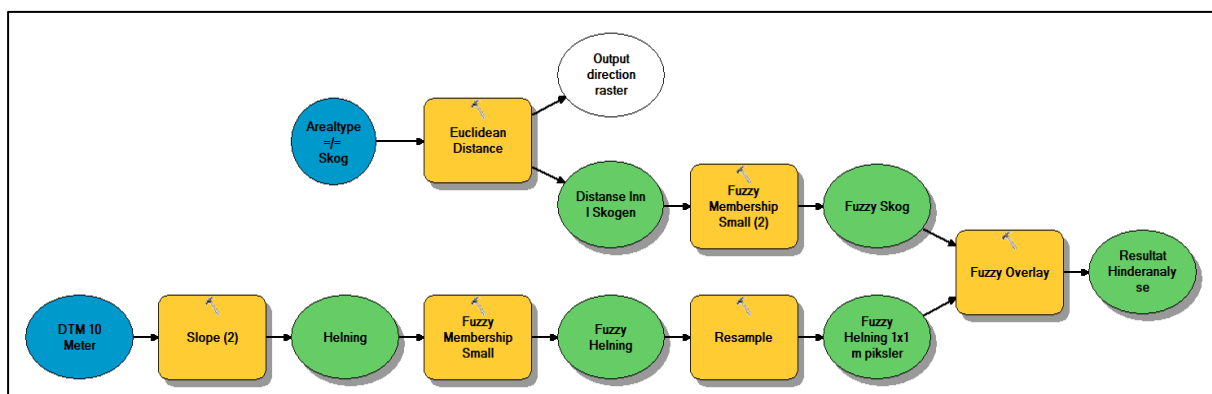
Med bakgrunn i tid tilgjengelig samt kunnskaper og ferdigheter om koding er det ikke forsøkt å utvikle en modell ved hjelp av et programmeringsspråk. ArcMap er programmet som er brukt under utdanningen av MilGeo-offiserer på Krigsskolen de siste årene, og er derfor valgt for å konstruere et eksempelprodukt til visning av forskjeller mellom et produkt basert på dagens tradisjonelle analyse av kunstige og naturlige hindre og en analyse basert på fuzzy-logikk. ModelBuilder er benyttet i ArcMap for å lage modeller der analysen enkelt kan kjøres på andre områder og ved bruk av andre datasett om ønskelig. I modellen er det valgt å analysere to av de mest fremtredende parameterne for farbarhet, skog og helning. Dette er som beskrevet i Stabshåndbok for Hæren de to parameterne som brukes for å beskrive alle tre kategoriene innenfor farbarhet i dagens metode for analyse av kunstige og naturlige hindre. Tidligere i oppgaven er det nevnt at blant annet tretykkelse og tetthet også kan påvirke farbarheten, men disse er sett bort i fra i eksempelmodellen. Årsaken til dette er at hensikten med modellen er å få frem forskjellen på dagens metode og bruk av fuzzy-logikk, ikke å få frem hvordan bruk av flere parametere og attributter kan forbedre analysen. Det er utviklet to ulike modeller for eksempelet, én med skarp-logikk og én med fuzzy-logikk.



Figur 7: Modell basert på skarp-logikk.

Figur 7 representerer modellen med skarp-logikk, og baserer seg på Stabshåndbok for Hæren. Resultatet av analysen er derfor en tredelt klassifisering av farbarheten med kategoriene farbart, begrenset farbart og ikke farbart. For parameteren helning er det første verktøyet i modellen

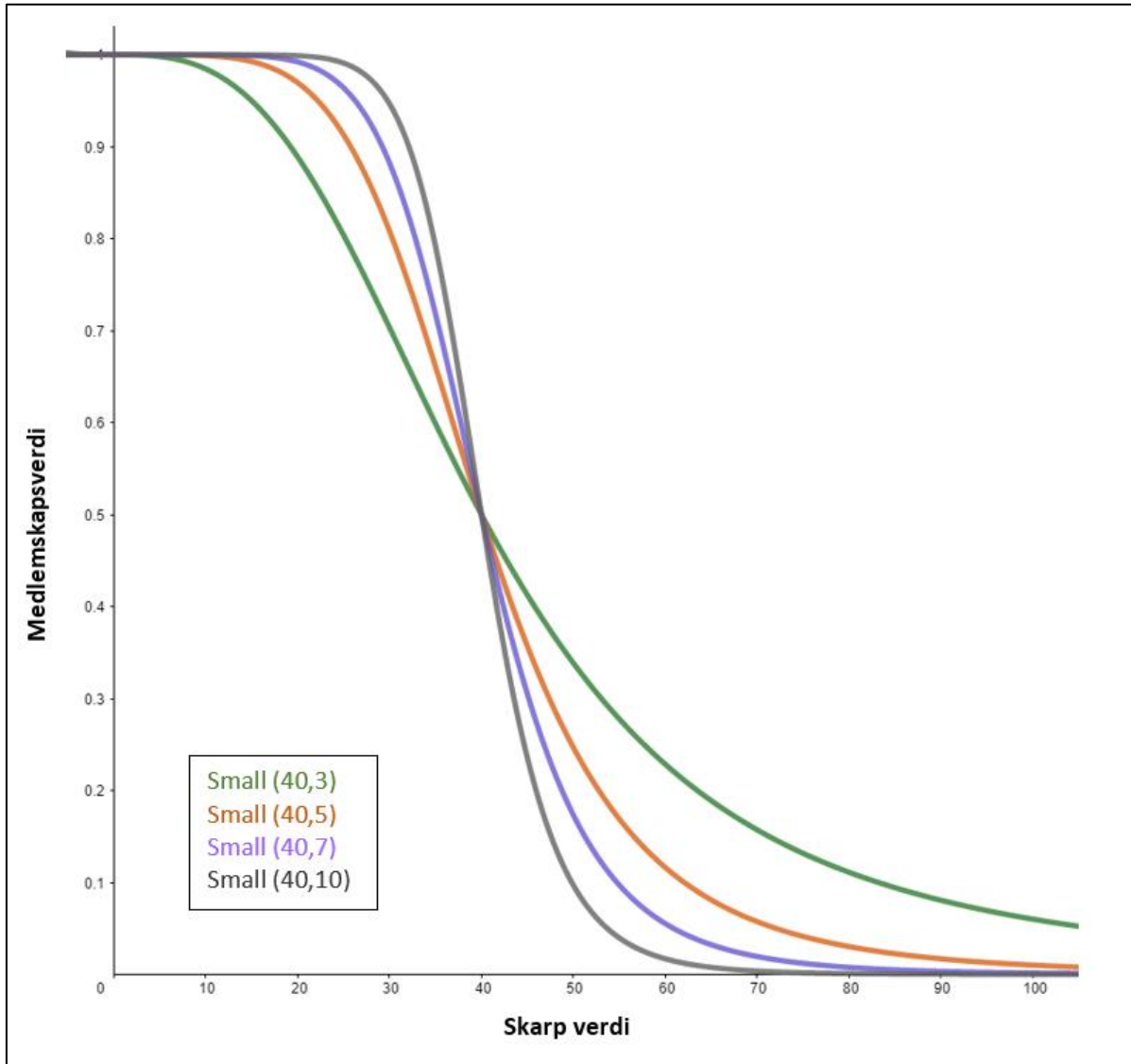
slope. Dette er benyttet for å få helningsvinkelen på terrenget fra en høydemodell. Helningen er så reklassifisert til de tre kategoriene fra stabshåndboken med verktøyet reclassify. Kategorien 0-30 % helning er gitt verdien 0, 30 - 50 % verdien 1 og over 50 % er gitt verdien 2. Disse verdiene er benyttet senere i modellen. Høydemodellen har en pikselstørrelse på 10 x 10 m, og verktøyet resample er derfor implementert i modellen for å omgjøre pikselstørrelsen til 1 x 1 m i den hensikt å ha samme bakkeoppløsning som skogdatasettet. Innenfor verktøyet resample er teknikken cubic brukt. Denne gir de nye pikslene en verdi basert på en kurve gjennom de 16 nærmeste input-pikslene. Dette er en av de mest nøyaktige teknikkene for å endre pikselstørrelser og spesielt foretrukket for kontinuerlige data slik som eksempelvis helning (Baboo & Devi, 2010). For parameteren skog er feature to raster det første verktøyet som er benyttet for å få et raster-datasett fra datasettet AR5. Reclassify er benyttet for å gi all skogen tallverdien 1 i den hensikt å enkelt kunne kombinere den med helningens innvirkning på farbarheten med verktøyet weighted sum. I dette verktøyet er summen av verdien fra datasettet for skog og verdien fra datasettet for helning lagt sammen for hver piksel. Summen 0 resulterer i kategorien farbart, 1 resulterer i kategorien begrenset farbart og 2 eller høyere til kategorien ikke farbart.



Figur 8: Modell basert på fuzzy-logikk.

Figur 8 viser modellen med fuzzy-logikk som baserer seg på de samme datasettene som den andre modellen. For helning er innledningsvis verktøyet slope benyttet på samme måte som i den andre modellen for å få helningsvinkelen på terrenget. Det neste verktøyet er et av to fuzzy verktøy i ArcMap, Fuzzy Membership. I dette verktøyet er de skarpe verdiene fra helning reklassifisert til en verdi fra 0 til 1 basert på en medlemskapsfunksjon. I ArcMap er det syv ulike medlemskapsverdier som kan benyttes. I eksempelmodellen er det valgt at medlemskapsverdier nær 1 tilsvarer farbart, mens verdier nær 0 tilsvarer ikke farbart.

Inndelingen er gjort slik for at det skal være sammenlignbart med den tradisjonelle metoden. Medlemskapsfunksjonen for helning er derfor satt til å være fuzzy small. Figur 9 viser fire forskjellige medlemskapsfunksjoner fra den matematiske formelen som fuzzy small benytter (ESRI, 2019). Fuzzy small benyttes når en liten verdi, eksempelvis slak helning, har større grad av tilhørighet til settet. Dette resulterer i at slake helninger gir verdier opp mot 1 og dermed farbart, mens bratte helninger gir verdier ned mot 0 og dermed ikke farbart.



Figur 9: Eksempel på medlemskapsfunksjoner av typen Fuzzy small.

For de ulike medlemskapsfunksjonene i ArcMap er det to brukerstyrte parametere som påvirker funksjonen. Midpoint-parametere, med verdiene 40 på Figur 9, definerer hvilken skarp verdi som skal bli gitt medlemskapsverdien 0,5. Spread-parametere, med verdiene 3, 5, 7, og 10 på Figur 9, påvirker hvor bratt funksjonen er. En høyere spread gir som vist på Figur 9 brattere funksjon rundt midtpunktet, mens en lavere spread gir en mer strekt funksjon (ESRI, How Fuzzy Membership works, 2019). For å definere medlemskapsfunksjoner på en god måte burde

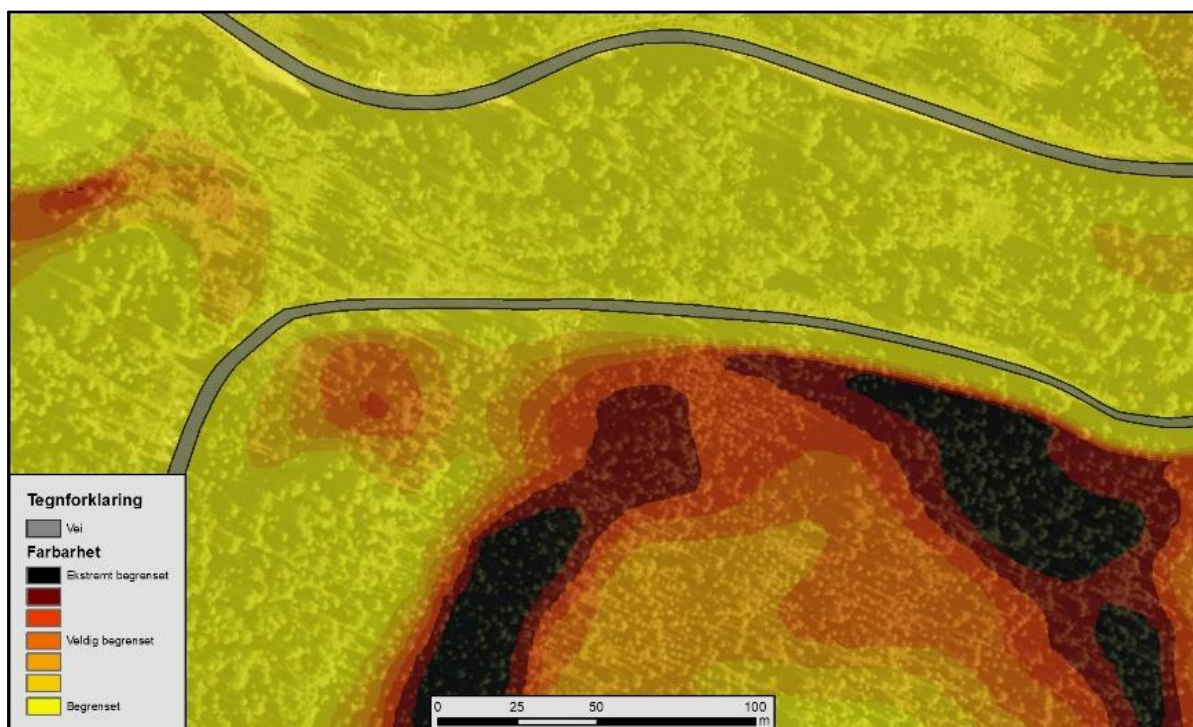
det som nevnt tidligere benyttes eksperter eller store datagrunnlag. I denne eksempelmodellen er det derimot forenklet og tatt valg basert på kun egen kunnskap og erfaring ettersom hensikten kun er å få frem forskjeller mellom en tradisjonell- og fuzzy analyse. Midpoint er satt til 30 % helning og spread til default-verdien 5. Resample er deretter nyttet i samme hensikt som på den tradisjonelle modellen.

For parameteren skog er det vurdert at områder som er i grenseland mellom skog og andre arealtyper har mindre grad av tilhørighet til settet skog, enn områder som ligger langt inne i skogen. Det første steget er derfor å legge inn et datasett som består av alle arealtyper utenom skog. Deretter er verktøyet euclidean distance benyttet til å gi alle piksler i skogen en verdi på hvor mange meter inn i skogen de er. Verktøyet fuzzy membership med medlemskapsfunksjonen small er så nyttet for å gi de lave verdiene, altså områdene i utkanten av skogen, en verdi opp mot 1 og dermed farbart. I dette verktøyet er midpoint satt til 10 meter inn i skogen og spread til 5. Det siste verktøyet i modellen er fuzzy overlay. Dette verktøyet er brukt til å analysere flere parametere sammen, eksempelvis helning og vegetasjon, ved bruk av fuzzy-logikk. I likhet med fuzzy membership er det også her en rekke forhåndsdefinert analysemetoder som kan benyttes. Analysemetoden som er benyttet, *fuzzy sum*, legger sammen den fuzzy verdien til alle settene en celle har tilhørighet til. Summen er ikke algebraisk, men resultat av en kombinasjonsfunksjon som baserer seg på antall kriterier i analysen (ESRI, How Fuzzy Overlay works, 2019). Resultatet av denne modellen er dermed pikselverdier på mellom 0 og 1, der høyere verdier tilsvarer bedre farbarhet.

Resultatene fra de to eksempelmodellene får primært frem to forskjeller. Den første er en illustrasjon av scenarioet nevnt i innledningen. Modellen basert på skarp-logikk gir et ikke farbart område som strekker seg gjennom hele kartutsnittet. Dersom en beslutningstaker får presentert det produktet vil det ikke si stort mer enn at et ikke farbart område er nødvendig å krysse dersom det er ønskelig å komme seg til veiaksen i nord. Modellen som baserer seg på fuzzy-logikk gir derimot et mer nyansert bilde og presenterer graden av farbarhet gjennom området. Den viser dermed tydelig for en beslutningstaker hvor det røde partiet burde krysses dersom det er ønskelig å komme seg til veiaksen.



Figur 10: Farbarhet basert på skarp-logikk.



Figur 11: Farbarhet basert på fuzzy-logikk.

Den andre forskjellen mellom modellene som kommer godt frem i dette eksempelet er øverst i venstre hjørne på kartutsnittene. Figur 10 som baserer seg på skarp-logikk viser at det ikke er skog i området, og det blir dermed klassifisert som farbart. Satellittbilde over området på Figur 12 viser derimot at det er trær også i området denne modellen fremstiller som åpent. Dette får frem en av utfordringene med skarp-logikk. Selv om datasettene har klare grenser på overgangen mellom eksempelvis arealtyper er virkeligheten mer nyansert og usikker. Figur 11 som baserer seg på fuzzy-logikk representerer dette på en mer virkelighetsnær måte i dette eksempelet og viser til at området har en grad av tilhørighet til skogen, selv om datasettet sier at det ikke er skog der.



Figur 12: Satellittbilde.

5 Drøfting

5.1 Fuzzy grenser sammenlignet med skarpe grenser

Grenseverdiene for helning i stabshåndboken på 30 % og 50 % er basert på mekanisert infanteris mobilitet. Dette er dimensjonerende grenseverdi i de fleste tilfeller, men ettersom forskjellige kjøretøy har forskjellige helningsbegrensninger er disse verdiene kun veiledende (Senior Fagoffiser Analyse, 2019). Bruk av skarpe grenser gjør det vanskeligere å generalisere et overlegg for en avdeling med flere kjøretøy med ulike kapasiteter, enn hva bruk av fuzzy grenser gjør. For å forklare dette kan det ses på en tenkt avdeling med en type vogn som har en helningsbegrensning på 53 % og en vogn med grense på 57 %. Dersom det skal lages et felles hinderoverlegg for avdelingen med skarpe grenser og kategorisering som i stabshåndboken med farbart, begrenset farbart og ikke farbart vil det kunne gjøres det på minst tre måter.

Den første muligheten er å sette grensen mellom begrenset farbart og ikke farbart på 53 %. Fordelen med denne tilnærmingen er at områdene som blir definert som begrenset farbart kan benyttes av begge vognene, men ulempen er at det vil være områder definert ikke farbart som i teorien kan benyttes av den ene vogntypen selv uten mobilitetsfremmende tiltak. Den andre muligheten er å sette grensen på 57 %. Fordelen med denne tilnærmingen er at områdene definert som ikke farbart faktisk er teoretisk ikke farbart terreng for begge vogntypene, og at en beslutningstaker dermed ikke vil avskrive områder som kunne blitt benyttet av den ene vogntypen. En ulempe er at områder definert som begrenset farbart vil kunne være teoretisk umulige for den ene vognen å bevege seg opp, og dermed føre til at det planlegges å kjøre i områder som ikke er mulige å ta seg frem i. En tredje mulighet er å sette grensen på en middelvei, 55 %. Denne avrundingen vil kunne føre med seg ulempene fra begge de andre mulighetene og sånn sett fremstå mindre aktuell.

På samme måte som ved helning, kan det ses på innvirkningen skog har på farbarheten for ulike vogner. I stabshåndboken sin tredelte inndeling av terrenget, farbart, begrenset farbart og ikke farbart, er den eneste måten skog tas hensyn til om et område er skogkledd eller ikke (Hærens våpenskole, 2015, s. 126). Samtidig blir eksempelvis tykkelse av trestammene beskrevet som relevante å ta hensyn til. Bruk av skarpe skiller her vil føre til de samme

utfordringene som ved helning ettersom ulike vogner vil kunne ha muligheten til å kjøre gjennom trær av ulik tykkelse. I de neste avsnittene vil det drøftes hvordan en tilnærming til helning og skog med fuzzy grenser vil kunne fjerne problemene som oppstår ved valg av skarpe grenser.

I fuzzy-logikk blir tilhørigheten en verdi har til et sett karakterisert av en medlemskapsfunksjon med en kontinuerlig skala fra 0 til 1 (Zadeh L. A., 1965, s. 35). Medlemskapsfunksjonen kan defineres slik at 53 % har en viss grad av tilhørighet til både begrenset farbart og ikke farbart, mens 57 % helning kun har tilhørighet til settet ikke farbart. Områder som ingen av vognene kan kjøre i blir dermed utelukkende ikke farbart, mens områder som i teorien kan kjøres av enkelte av vognene havner på en kontinuerlig skala med en verdi mellom 0 og 1 med ulik grad av tilhørighet til begrenset farbart og ikke farbart avhengig av hvor nær 57 % helning det er. Samtidig kan ulik tetthet og tykkelse med tanke på vegetasjon få ulik grad av tilhørighet til de tre settene farbart, begrenset farbart og ikke farbart, og dermed ta høyde for at ulike vogner har ulike kapasiteter og dimensjoner. En utfordring med denne anvendelsen av fuzzy-logikk er hvordan en mottaker av beslutningsstøtten skal tolke resultatet.

Ved bruk av dagens skarpe skiller fås det klare og relativt lett forståelige produkter på terrenget der et område enten er farbart, begrenset farbart eller ikke farbart. På tross av at disse klassene som eksemplifisert i de foregående avsnittene kan være misvisende gir de noen konkrete inndelinger av farbarhet som en beslutningstaker enkelt kan benytte til å, sammen med flere andre faktorer, ta beslutninger. Et produkt med bruk av fuzzy-logikk som derimot gir områder ulik grad av tilhørighet til ulike inndelinger av farbarhet, eventuelt en verdi eller fargekode på en kontinuerlig skala som beskriver farbarheten, vil stille større krav til mottakeren av produktet for at dette skal kunne utnyttes til sitt fulle potensial.

Dersom produktet fra en analyse basert på fuzzy-logikk i forbindelse med terrenget blir for lite intuitiv og enkel til at en beslutningstaker klarer å benytte det på en effektiv måte kan en løsning være å kun benytte de fuzzy analysene og produktene internt i gruppen som gjennomfører analysene som støtte til videre analyser og vurderinger av terrenget. Eksempelvis kan de ulike resultatene fra analyser på helning, vegetasjon og underlag med bruk av fuzzy-logikk brukes

sammen for å lage et produkt med mobilitetskorridorer. På denne måten benytter analytikerne styrkene til fuzzy-logikk samtidig som beslutningstakeren, som har mange andre faktorer å ta hensyn til, kun får presentert enkle og lett forståelige produkter på for eksempel hvor det er gunstig å kjøre en manøver med tanke på terrenget, og hvilken avdelingsstørrelse det er gunstig for.

Selv i en situasjon der alle aktuelle vogner eller kjøretøy som det skal gjøres en analyse for har samme teoretiske grenseverdier og kapasiteter kan bruken av skarpe skiller føre med seg utfordringer. For det første er de fleste grenser i den virkelige verden mer flytende og har en kompleks struktur satt sammen av mange elementer (Zadeh L. A., 2005, s. 5). En skarp grense på 50 % er urealistisk i praksis og baserer seg på en perfekt verden der eksempelvis vær og underlag ikke spiller inn på farbarhet og alt fungerer likt hver gang. Det er innlysende at en stridsvogn vil ha større problemer med å kjøre opp en helning på bløtt og løst underlag i sterk motvind, enn i en tilsvarende helning på fast og tørt underlag i sterk medvind. Det å sette en skarp grense som sier at ved et bestemt tall går det fra å være begrenset farbart til ikke farbart blir da veldig kunstig ettersom mye som ikke tas med i analysen kan skyve den praktiske grensen opp eller ned. Med fuzzy grenser vil dette i større grad tas hensyn til ettersom 50 % helning vil kunne ha en grad av tilhørighet til begge settene begrenset farbart og ikke farbart, og dermed er det implisitt at 50 % helning ikke er en magisk grense der vognen slutter å fungere uavhengig av forholdene.

For det andre kan marginale forskjeller i helning fremstå som veldig store, samtidig som store forskjeller kan leses som ubetydelige i et produkt fra analysen ved bruk av skarpe grenser. Som drøftet i avsnittet over er det i den virkelige verden ikke noe konkret som skjer på generelt grunnlag ved eksakte verdier som 30 % og 50 % grunnet verdens kompleksitet. Dette gjør at det blir misvisende at det ved både 30 % og 49,9 % helning benyttes klassen begrenset farbart, mens det ved 50,1 % benyttes ikke farbart. I et produkt til en beslutningstaker vil det da fremstå som at de tilnærmet 20 % forskjell i helning mellom de to laveste verdiene er ubetydelig, samtidig som de 0,2 % helning mellom de to øvrige verdiene kan avgjøre om et område kan kjøres på eller ikke. Med fuzzy-logikk fås det en kontinuerlig grad av tilhørighet til ulike sett eller kategorier der det kommer tydelig frem at 30 % er mer gunstig enn 49 %, samtidig som det kommer frem at 49,9 % og 50,1 % for alle praktiske formål ikke har innvirkning på

farbarheten ved at de vil få tilnærmet identisk grad av tilhørighet til de ulike settene eller klassene.

5.2 Usikkerhet og upresise data

Under arbeid med IPOE trinn 1 og 2 er det ikke alltid tilgang på gode og presise geografiske data, for eksempel ved arbeid på graderte systemer som ikke har tilgang til *åpne kilder*. Et eksempel på en type geografisk data med varierende kvalitet er veidatasett. Veinettet er stadig i endring, enten ved utbygging av nye veier eller ødeleggelse av eksisterende veier som følge av for eksempel krigshandlinger. Angående *adkomstakser* i KADOV kan dette være avgjørende for farbarheten i et område. For faktoren kunstige og naturlige hindre er høydedata relevant. I følge høydedata.no sitt *dekningskart* finnes det høydedata med en pikselstørrelse på 1 m x 1 m eller bedre i store deler av Norge (Kartverket, 2019b), men hele landet er ikke dekket enda. Utenfor Norges grenser er ikke høydedata med den detaljgraden nødvendigvis like lett tilgjengelig via åpne kilder. Derfor kan dataen MilGeo-offiseren har tilgjengelig ha en grovere bakkeoppløsning, for eksempel 10 m x 10 m. Dette har noe å si for analyse av farbarheten i et område gjennom for eksempel parameteren helning.

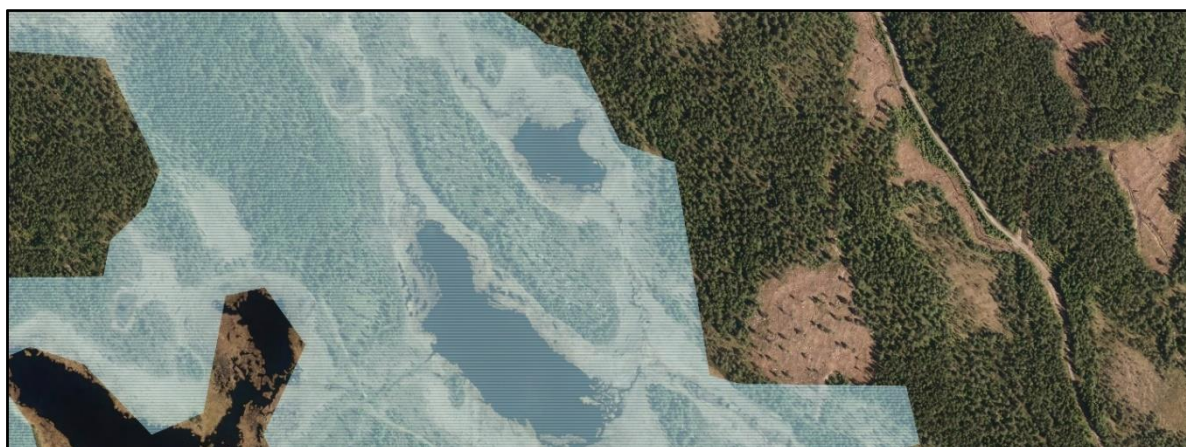
Fuzzy-logikk kan takle informasjon eller data som er usikker, upresis, vag, delvis sann eller uten skarpe skiller, mener blant andre Lotfi Zadeh (Singh, et al., 2013, s. 1; Zadeh L. A., 2008, s. 2751; Benz et al., 2003, s. 251). På bakgrunn av dette er fuzzy-logikk en god metodikk å benytte seg av for en MilGeo-offiser med tanke på de ulike dataene med ulik oppløsning og presisjon som finnes i fagfeltet. Ved å innføre en gradert tilhørighet mellom 0 og 1 til ulike lingvistiske verdier unngår fuzzy-logikk vilkårlige, skarpe terskler og kan slik tilnærme seg den kompliserte virkeligheten bedre enn skarp-logikk (Benz et al., 2003, s. 251).

Som vist på Figur 13 og Figur 14 er det store forskjeller på hvilke områder som blir definert som myr ved et datasett på oppløsning ment for målestokk 1:50 000 og 1:250 000. Ved å studere satellittbildet i bakgrunnen fremgår det at datasettet med grovest oppløsning definerer områder som ser ut til å i stor grad bestå av skog og vann til å være myr, mens dette endres når det benyttes et datasett tiltenkt en lavere målestokk. Samtidig har også datasettet med høyest oppløsning et parti i senter av bildet som sannsynligvis er vann, men som er definert som myr.

Alle modeller eller data av virkeligheten er upresise om de blir studert nøye nok (Mathworks, 2019), og en god tilnærming for å benytte seg av disse er derfor relevant. Fuzzy-logikk bygger denne forståelsen for usikkerhet inn i selve prosessen, i stedet for å tilpasse resultatet på slutten av prosessen (Mathworks, 2019).



Figur 13: Myr fra AR50.



Figur 14: Myr fra AR250.

En måte å takle usikkerhet og upresise data på er ved å benytte seg av sannsynlighetsberegning og de standardiserte sannsynlighetsordene fra etterretningsmiljøet. I fuzzy-logikkens tidlige år mente matematikere innen statistikk og sannsynlighet at sannsynlighetsberegning er tilstrekkelig for å takle usikkerhet. De mente at alle problemer fuzzy-logikk kan løse, kan løses like bra eller bedre med sannsynlighetsberegning (Wang, 1996, s. 13). Ved å tillegge ledevurderingene standardiserte ord som beskriver sannsynligheten for at de stemmer kan

usikkerheten gjenspeiles i vurderingen slik at større usikkerhet og mer upresise data vil lede til en lavere sannsynlighet for at en vurdering stemmer. Dagens metode for beslutningstøtte tar også høyde for usikkerhet gjennom beskrivelsen av de tre kategoriene farbart, begrenset farbart og ikke farbart gitt av stabshåndboken. Beskrivelsen til kategorien ikke farbart er for eksempel: «Hindrer eller reduserer forflytninger sterkt ved bruk av stridsformasjoner [...]» (Hærens våpenskole, 2015, s. 126). Likevel er navnet på kategorien ikke farbart, og for de som ikke har lest eller husker beskrivelsen kan dette fortolkes til å bety at det er umulig å manøvrere i det gitte området. Mer detaljert beskrivelse av de ulike farbarhetskategoriene ligger under kapittel 3.1 tidligere i oppgaven.

Et eksempel som viser at fuzzy behandling av usikkerhet er relevant for fagfeltet MilGeo og farbarhet omhandler upresise høydedata. Helningen i terrenget har noe å si for framkommeligheten til ulike kjøretøy (Hærens våpenskole, 2015, s. 126), og helningen kan finnes ved å analysere høydedata (ESRI, 2019). Upresis høydedata vil derav gi en upresis fremstilling av helningen i området. Gitt et eksempel der helningen i et område skal analyseres med tanke på forflytting av en enhet. Høydedata med 10 m x 10 m oppløsning kan i dette eksempelet gi helningen 50,1 % for området. Samme området analyseres med høydedata med 1 m x 1 m oppløsning, og helningen blir da 49,8 %. Ved bruk av standard metode med skarpe grenser vil analyse av den upresise 10 m x 10 m høydedataen resultere i at området blir kategorisert som ikke farbart, mens analyse av den høyere oppløselige 1 m x 1 m høydedataen gir et område som er begrenset farbart. Denne lille forskjellen kan spille inn på en avdelings handlefrihet. Fuzzy-logikk tar for seg denne upresise dataen gjennom fuzzy-sett og gradering av tilhørighet til ulike sett, som beskrevet i kapittel 3.2. Da vil det ikke gi større utslag enn at dataen for eksempel får en tilhørighet på 0,78 i stedet for 0,80 til klassifiseringen begrenset farbart. Usikkerheten som oppstår gjennom helningsforskjellen på 0,3 % vil ved bruk av fuzzy-logikk altså ha mindre innvirkning på resultatet ved at det kun gir en minimal endring i graden av tilhørighet til ulike fuzzy-sett, sammenlignet med skarp-logikk der det kan skille et område fra å være begrenset farbart til ikke farbart.

I dette eksempelet ville bruk av fuzzy-logikk gitt et mer nøyaktig resultat, og således et bedre beslutningsgrunnlag enn ved bruk av skarp-logikk. Et område som faktisk kan manøvreres i ville ved bruk av skarp-logikk kunne blitt oversett på grunn av upresis grunnlagsdata, og

mulighetsrommet til beslutningstaker ville blitt begrenset. Dette er da gitt at fuzzy-logikk blir implementert på en god måte med fuzzy-sett og regler, noe som krever et betydelig forarbeid sammenlignet med bruk av skarp-logikk.

5.3 Inkorporering av ekspertkunnskap

Tretykkelse er et av attributtene Stabshåndbok for Hæren presenterer som kan vurderes i faktoren kunstige og naturlige hindre under parameteren vegetasjon, men det står ikke noe om hvordan tykkelsen skal inndeles, hvordan det skal ses i sammenheng med tetthet av trær, type trær, eller hvilke konsekvenser ulike tykkelser gir (Hærens våpenskole, 2015, s. 126). En måte å benytte dette som et attributt i en modell kan derfor være ved fuzzy-logikk gjennom å benytte lingvistiske variabler og IF-THEN-regler til å formulere menneskelig kunnskap (Wang, 1996, s. 14). Dette kan gjøres ved å eksempelvis spørre individer som har erfaring med stormpanservogn av typen *CV9030* om hva slags innvirkning trær har på farbarheten.

En lingvistisk variabel er som tidligere nevnt en variabel som har verdier i form av ord eller setninger fra det muntlige språket (Zadeh L. A., 1973, s. 28). Årsaken til at bruk av lingvistiske variabler er så viktig er at det er fundamentalt for å kunne representere menneskelig kunnskap. Hvis du spør et menneske hvor bratt en bakke er vil de kunne svare ved å bruke verdier som slak, moderat og bratt, men vil antakelig ikke bruke tall som 23 % helning. Dette er det mest fundamentale elementet i representasjon av menneskelig kunnskap (Wang, 1996, s. 60), og det kan beskrives som det første steget for å inkorporere menneskelig kunnskap i form av vage beskrivelser fra et naturlig språk til presise matematiske formler (s. 61). Disse lingvistiske variablene benyttes til å konstruere fuzzy IF-THEN-regler (Wang, 1996, s. 121). Med tanke på at IF-THEN-regler blir brukt til å formulere menneskelig kunnskap (s. 151) er det et sentralt problem å finne ut hvordan denne kunnskapen skal uthentes. Som beskrevet i kapittel 3.2 kan det være spesielt krevende å formalisere ubevisst kunnskap. Dette gjøres som regel ved å se en ekspert på området løse oppgavene som krever kunnskapen, for deretter å analysere handlingene. En utfordring med denne metoden sett opp mot farbarhet vil kunne være å finne tilstrekkelig antall unike kombinasjoner av hindringer for å kartlegge hvilke parametere som sammen fører til at vognføreren kan komme seg frem i ulike hastigheter.

5.4 Formalisering av semantikk gjennom fuzzy-logikk

Som det kommer frem ovenfor, bruker fuzzy-logikk på den ene siden det naturlige språket til å konstruere lingvistiske variabler og IF-THEN-regler. På den andre siden kan bruk av fuzzy-logikk i stor grad bidra til å formalisere det naturlige språket, ved å føre til en større enighet og felles forståelse av betydningen eller definisjonen til ord som «tett» eller «bratt», gitt en kontekst (Zadeh L. A., 2008, s. 2772). Dette er allerede gjort gjennom etterretningsmiljøets standardiserte sannsynlighetsord. Her blir, som beskrevet tidligere, lingvistiske verdier som for eksempel «sannsynlig» og «usannsynlig» benyttet for å beskrive en sannsynlighetsgrad. Ved å aktivt benytte lingvistiske variabler gjennom bruk av fuzzy-logikk vil det basert på dette kunne være mulig å etablere et felles begrepsapparat som forstås likt innad i forsvaret for flere ord enn bare grad av sannsynlighet, som eksempelvis for grad at tetthet av trær i en skog.

5.5 Fuzzy-datasett

I tillegg til grenseverdier ved farbarhetsklassifisering av terrengparametere, kan fuzzy-logikk potensielt forbedre definisjonen av enkelte terrengparameteres geografiske grenser. Dette kan bli beskrevet som fuzzy-datasett fra kapittel 3.2. Denne type geografiske grenser er relevante for lende vurdering og en analyse av kunstige og naturlige hinder, avhengig av lokasjon og terrengtype. Hvor grensene for disse går kan være avgjørende for vurderingen av farbarheten i et område, og om det er mulig å komme seg frem eller ikke. Det å erstatte skarp-logikk med fuzzy-logikk for disse grensene kan gi andre konklusjoner fra analysene, og potensielt gi et større mulighetsrom for manøveren til en avdeling. For eksempel kan trærne i utkanten ved den skarpe skoggrensen være spredte og tynne nok til at en stormpanservogn kan passere gjennom, eller så kan myra ved den skarpe myrgrensen være tørr og fast nok til å kunne kjøres over. Slike detaljer kan potensielt være viktig for en avdeling som bedriver landstrid, for eksempel for å kunne etterleve prinsippene handlefrihet, overraskelse og fleksibilitet (Hærens våpenskole, 2015, s. 67).

6 Konklusjon

Oppgaven tar for seg fuzzy-logikk, og hvordan dette kan nyttes ved analyse av kunstige og naturlige hindre for å svare på problemstillingen: *Hvordan kan bruk av fuzzy-logikk i analyse av kunstige og naturlige hindre kompensere beslutningstøtten fra MilGeo?*

Det er styrker og svakheter ved bruk av fuzzy-logikk, både ved implementering, i analyser og i sluttprodukter. Generelt kommer det fram av oppgaven at fuzzy-logikk kan nyttes ved flere aspekter av prosessen for å danne et forbedret beslutningsgrunnlag, men at det kan være utfordrende og krevende å få til dette på en god måte. Det kommer også fram i drøftingen dagens bruk av skarp-logikk er fordelaktig på en del områder. Et eksempel på dette er i sluttprodukter som skal presentere analysefunnene og farbarheten i et område.

Stabshåndbokens kategorisering av farbarhet gir enkle og oversiktlige produkter med klare grenser mellom områder som er farbare, begrenset farbare eller ikke farbare. Disse grove kategoriene gir et upresist bilde av virkeligheten, men produktet vil være lett forståelig for en beslutningstaker uten videre kunnskap eller utdanning. En måte å symbolisere fuzzy-sett på er ved å gradere farbarhetskategorier med for eksempel fargenyanser. Dette vil åpne for et større mulighetsrom sammenlignet med bruk av skarpe grenser, samtidig som det vil være en mer presis modell av virkeligheten. Bruken av denne symboliseringen over et større område kan dog oppleves som uoversiktlig, og kan skape forvirring. En mulighet her er at analytikeren benytter seg av fuzzy-sett med fargegradering på farbarheten under sine analyser og vurderinger, for deretter å lage et forenklet sluttprodukt som presenteres til beslutningstaker.

En av fuzzy-logikkens styrker er forståelsen for lingvistiske verdier, noe som også kommer til nytte innen MilGeo-fagfeltet, for eksempel ved beskrivelse av tretykkelse. Her kan fuzzy-logikksystem brukes for å definere «tykke» og «tynne» trær og hva dette har å si for farbarheten. Dette krever i midlertidig et forarbeid med innsamling av ekspertkunnskap på området som danner grunnlaget for reglene som skal benyttes i systemet. Dette er et betydelig arbeid med tanke på alle parameterne som spiller inn, og at en del av ekspertkunnskapen er ubevisst kunnskap i form av erfaring og at vognførere eller andre eksperter på området intuitivt

vet hvor det er mulig å komme seg frem. Utover å legge til rette for fuzzy-logikk, kan et slikt arbeid potensielt også føre til en formalisering av terrengbegreper og et felles begrepsapparat innad i forsvaret på lik linje med standardiserte sannsynlighetsord fra etterretningsmiljøet.

Oppgaven viser at fuzzy-logikk potensielt kan ha en fremtid innen lende vurdering da det på flere områder kan forbedre dagens metode. Faktoren kunstige og naturlige hindre er brukt som et utgangspunkt for oppgaven, men gjennom arbeidet kommer det fram at fuzzy-logikk også kan nyttes ved andre faktorer innen lende vurdering. Studien viser også at fuzzy-logikk ikke utelukkende fører til en forbedring, og det vil også kreve betydelig forarbeid for å implementere det inn i lende vurderingsprosessen på en god måte

7 Videre arbeid

Oppgaven har grunnet tids-, kunnskaps- og ferdighetsbegrensninger hovedsakelig hatt en teoretisk tilnærming i tillegg til et forenklet praktisk eksempel på en fuzzy-modell ved bruk av ModelBuilder i ArcMap. Et svært interessant steg videre ville vært å utarbeide gode modeller basert på fuzzy-logikk ved støtte av personer med ekspertise innenfor henholdsvis koding, fuzzy-logikk og fagfeltet militær geografi.

Produktene fra disse modellene kan deretter bli presentert og forklart for ulike avdelingssjefer og MilGeo-offiserer i hæren med en påfølgende intervjurunde med vektlegging på hvilken verdi slike produkter kan gi innenfor PBP for avdelingssjefer og analysearbeid for MilGeo-offiserer.

Mange av fordelene ved bruk av fuzzy-logikk som er belyst i oppgaven er ikke utelukkende anvendbare til faktorer kunstige og naturlige hindre. Det kan derfor også være interessant å se på hvilke andre områder innenfor lende vurdering fuzzy-logikk kan benyttes.

Referanser

- Alnes, J. H. (2017, September 29). *logikk*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/logikk>
- Baboo, S. S., & Devi, M. R. (2010). An analysis of different resampling methods in Coimbatore. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M. (2003). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 239-258.
- Blair, B. (1994). What is Fuzzy Logic? *Azerbaijan International*, 47-52. Hentet fra Azerbaijan International.
- Det Norske Akademi for Språk og Litteratur. (2019, Januar 30). *skogkledd*. Hentet fra Det Norske Akademis Ordbok: <https://www.naob.no/ordbok/skogkledd>
- ESRI. (2019, April 25). *FuzzySmall*. Hentet fra ArcGIS Desktop: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/analyze/arcpy-spatial-analyst/fuzzysmall-class.htm>
- ESRI. (2019). *How Fuzzy Membership works*. Hentet fra [www.desktop.arcgis.com](http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm): <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>
- ESRI. (2019). *How Fuzzy Overlay works*. Hentet fra [www.desktop.arcgis.com](http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-overlay-works.htm): <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-overlay-works.htm>
- ESRI. (2019, Januar 01). *Slope*. Hentet fra ArcGIS Desktop: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm>
- Etterretningstjenesten. (2013, Mai 5). Etterretningsdoktrinen.
- Evans, D. (2011). *Introduction to Computing*. Charlottesville: Creative Commons.
- Fisher, P. F., & Pathirana, S. (1990). The evaluation of fuzzy membership of land cover classes in the suburban zone. *Remote Sensing of Environment*, ss. 121-132.

- Foody, G. (1996). Approaches for the production and evaluation of fuzzy land cover classifications from remotely sensed data.
- Frydenlund, J. (2017, Juli 7). *Skogbonitet*. Hentet fra Nibio.no: <https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/arealressurskart-ar5/skogbonitet>
- Frydenlund, J. (2019, Januar 30). *AR5*. Hentet fra Nibio.no: <https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/arealressurskart-ar5/>
- Gjertsen, A. K. (2017, August 1). *Alder*. Hentet fra Nibio.no: <https://www.nibio.no/tema/skog/kart-over-skogressurser/satskog/alder>
- Google. (2019, Januar 24). *Lotfi A. Zadeh*. Hentet fra Google Scholar: <https://scholar.google.no/citations?user=S6H-0RAAAAAAJ&hl=no>
- Grinderud, K., Haavik-Nilsen, A. C., Bjerke, H., Sanderud, Ø., Ulveseth, P. G., Mauseth, Ø., . . . Richardsen, I. (2016). *Geografiens språk i vår tidsalder*. Fagbokforlaget.
- Hagemann, K. (2019, Februar 16). *språkvitenskap*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/spr%C3%A5kvitenskap>
- Hylen, G. (2019, Januar 30). *Nøkkeltall 2013-2017*. Hentet fra Nibio.no: <https://www.nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/nokkeltall>
- Hærens våpenskole. (2015, Januar 9). *Stabshåndbok for Hæren - Plan- og beslutningsprosessen*. Rena.
- Johannessen, A., Tufte, P. A., & Christoffersen, L. (2016). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* (5.. utg.). Oslo: Abstrakt forlag.
- Kartverket. (2019, Januar 30). *Arealressurskart - -FKB-AR5 - Skogbonitet*. Hentet fra Geonorge: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/norsk-institutt-for-bioekonomi/arealressurskart-fkb-ar5-skogbonitet/596180d5-1e0b-4409-8cc1-8e073535f015>
- Kartverket. (2019, Mars 5). *Høydedata*. Hentet fra Høydedata.no: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>

- Kartverket. (2019, Januar 30). *Høydedata - laser*. Hentet fra Geonorge: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/hoydedata-laser/f297e948-8a34-4e6c-9740-54b3a657f8d5>
- Martin, M. A., & Mendel, J. M. (1995). Flirtation: A Very Fuzzy Prospect: A Flirtation Advisor. *Journal of Popular Cult.*
- Mathworks. (2019, Januar 24). *What Is Fuzzy Logic?* Hentet fra Mathworks: <https://se.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html>
- Metz, C. (2017, September 11). *Lotfi Zadeh, Father of Mathematical 'Fuzzy Logic,' Dies at 96*. Hentet fra The New York Times: <https://www.nytimes.com/2017/09/11/science/lotfi-zadeh-father-of-mathematical-fuzzy-logic-dies-at-96.html>
- NIBIO. (2018, November 8). *Produktark: Skogressurskart (SR16)*. Hentet fra Geonorge: https://register.geonorge.no/data/documents/Produktark_SR16_v1_sr16-produktark-20181108_.pdf
- NIBIO. (2018, Juni 15). *Produktspesifikasjon: SR16 (Skogressurskart 16 x 16 meter)*. Hentet fra Geonorge: https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_SR16_v1_produktspesifikasjon-nibio-sr16-20180615_.pdf
- NIBIO. (2019, Mars 11). *Tema/Skog*. Hentet fra Nibio.no: <https://www.nibio.no/tema>
- Norsk institutt for skog og landskap. (2014, Desember 1). *Produktark: SAT-SKOG*. Hentet fra Geonorge: https://register.geonorge.no/data/documents/SAT-SKOG_Produktark_S-L_SAT-SKOG.pdf
- Norsk Treteknisk Institutt. (2016, Oktober 27). *Test av trevirkets fysiske egenskaper*. Hentet fra Treteknisk: http://www.treteknisk.no/resources/Treteknisk_Egenskaper-av-ulike-treslag.pdf
- Porwal, A., Carranze, E. J., & Hale, M. (2002). Knowledge-driven and Data-driven Fuzzy Models. *Natural Resources Research*.
- Reus, N. M. (1994). *Assessment of benefits and drawbacks of using fuzzy logic, especially in fire controll systems*. TNO Defence Research.

- Ross, T. J. (2010). Properties of membership functions, fuzzification, and defuzzification. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, ss. 86-116.
- Schneider, M. (2008). *Fuzzy Spatial Data Types for Spatial Uncertainty Management in Databases*. Gainesville: University of Florida.
- Senior Fagoffiser Analyse, H. I. (2019, Mars). (H. Netteland, Intervjuer)
- Singh, H., Gupta, M. M., Meitzler, T., Hou, Z.-G., Garg, K. K., Solo, A. M., & Zadeh, L. A. (2013). *Real-Life Applications of Fuzzy Logic*. Hindawi Publishing Corporation.
- Solheim, H. (2009). Råte i levende trær. *pakr & anlegg*, 29-32.
- Tenge, I. (2016). *Arealressurskart AR5*. Ås: NIBIO.
- Vikhamar, D., Fjone, G., Kastdalen, L., & Bolstad, J.-P. (2004). Satelittdata til kartlegging av arealdekke. Utprøving av beslutningstremetodikk i Østfold fylke. *DN-utredning 2004-3*, 64s.
- Wang, L.-X. (1996). *A course in fuzzy systems and control*. Upper Saddle River: Prentice-Hall International, Inc.
- Yin, R. K. (2017). *Case study research and applications: Design and methods*. Sage publications.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, ss. 28-44.
- Zadeh, L. A. (1988). *Fuzzy Logic*. *Computer* 21(4).
- Zadeh, L. A. (2005). Toward a generalized theory of uncertainty (GTU)—an outline. *Information sciences*, ss. 1-40.
- Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 2751-2779.