



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi
Sonja Monica Berlijn

Beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet – en innledende studie

Decision support tool for procurement in the m-FRR
capacity market – an initial study

Alexandra Østreng

Miljøfysikk og fornybar energi

Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet våren 2019 og markerer avslutningen på en fem-årig mastergrad i Miljøfysikk og fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Arbeidet med oppgaven har vært lærerikt, interessant og krevende, og jeg håper oppgaven vil være til nytte. Jeg ønsker å rette en stor takk til min hovedveileder, Sonja Monica Berlijn, for all hjelp. Jeg vil også takke mine biveiledere, Heidi Samuelsen Nygård (NMBU) og Per Arne Vada (Statnett SF), for nyttige innspill og støtte i arbeidet.

En stor takk rettes til min søster, Elisabeth, for innspill og diskusjoner i forbindelse med min oppgave. Jeg vil også takke øvrig familie og venner for støtte og omsorg gjennom masterperioden og hele studieløpet.

Når min tid på NMBU nå nærmer seg slutten, er det mer enn bare faglig kunnskap jeg tar med meg videre. Ås byr på et studentmiljø uten like, og jeg har gjennom mine år som student fått både minner og venner for livet. Takk for mye latter, moro, glede, noen tårer, utfordringer, opplevelser og en tid jeg aldri ville vært foruten.

Ås, 10. mai 2019

Alexandra Østreng

Sammendrag

Statnett SF har, som systemansvarlig i det norske kraftsystemet, et ansvar for å sikre at det finnes nok tilgjengelig regulerkraft for håndtering av ubalanse i Norge. Et virkemiddel for å sikre dette er regulerkraftopsjonsmarkedet. I nær fremtid skal Statnett gå over til å gjennomføre kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet daglig for et D-2 perspektiv, og da anses dagens beslutningsstøtteverktøy som for tidkrevende.

Denne oppgaven ble initiert av Statnett SF, og har tatt utgangspunkt i problemstillingen: "Hva er en mulig visjon for et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet, og hva er en mulig vei for å oppnå visjonen?". Det ble formulert tre underproblemstillinger for å belyse hovedproblemstillingen ytterligere, som omhandlet hvilke krav som bør settes til et beslutningsstøtteverktøy og bruken av maskinlæring som metode.

Opgaven er besvart gjennom en GAP-analyse, hvor litteraturstudie og respondentintervjuer er brukt for besvare analysens tre deler. Respondentintervjuene ble gjennomført med ti operatører på Statnett SF sin landssentral, og avdekket operatørenes syn på styrker og svakheter ved dagens løsning, og ønsker til en ny løsning. I litteraturstudien ble fagområdene "Dynamisk dimensjonering av FRR" og "Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring" undersøkt. Det ble funnet totalt 31 publikasjoner, og seks publikasjoner ble valgt ut for fordypningsstudie. Fire av publikasjonene undersøkte kunstig intelligens og maskinlæring som metode for dimensjonering av FRR, og særlig en publikasjon - en større studie gjennomført av den belgiske TSOen Elia - ble ansett som relevant.

Opgaven formulerer følgende visjon for Statnett SFs fremtidige beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet:

Fremtidens beslutningsstøtteverktøy er brukervennlig, gir operatøren trygghet og innsikt, og fører til enhetlig oppførsel i markedet på tvers av operatører. Beslutningsstøtteverktøyet legger opp til en effektiv prosess, er automatisert og dimensjonerer nødvendig kjøp av regulerkraftopsjoner per elspotområde i Norge.

Opgaven foreslår en kortsiktig og en langsiktig løsning for beslutningsstøtteverktøyet. Overgangen til D-2 er forventet å skje i løpet av kort tid, og den kortsiktige løsningen fokuserer derfor på automatisering av datainnhenting og reduksjon av tidsbruk. Den langsiktige løsningen tar sikte på å håndtere de fremtidige endringene i det norske kraftsystemet - økt andel uregulerbar kraft, to nye mellomlandsforbindelser og overgangen til mACE-balansering - og oppfylle visjonen formulert.

For utviklingen av verktøyet til den langsiktige løsningen, anses maskinlæring som hensiktsmessig å undersøke. Den eksakte bruken av maskinlæring er ikke identifisert, da utviklingen av en maskinlæringsmodell er en tidkrevende prosess, men oppgaven introduserer en plan for utviklingen, testing og implementering av et beslutningsstøtteverktøy som benytter maskinlæring. Potensielle utfordringer ved bruk av maskinlæring inkluderer at utviklingsprosessen er tidkrevende, og at maskinlæringsmodellen kan være vanskelig å forstå for en operatør.

Abstract

Statnett SF has, as the TSO in the Norwegian power system, a responsibility to ensure that there are sufficient reserves available for balancing imbalances within Norway. A way to do this, is through procurement in the m-FRR capacity market. In the imminent future, Statnett SF will transition to making procurements in the m-FRR capacity market daily on a D-2 perspective, and, on that perspective, today's decision support tool is considered to be too time-consuming.

This master thesis was initiated by Statnett SF, and has been formed around the following research question: "What is a possible vision for a decision support tool for procurement in the m-FRR capacity market, and what is a possible way to achieve the vision?". Three additional research questions were defined, addressing the questions of which requirements that should be set for a decision support tool and whether machine learning should be used.

The master thesis is answered through a GAP analysis, where a literature study and respondent interviews are used to answer the three parts of the analysis. Respondent interviews were completed with ten operators at Statnett SF's national central office (landssentral), and they uncovered the operators' opinions regarding the strengths and weaknesses of today's solution, and wishes for a new solution. In the literature study, the subject areas "Dynamic dimensioning of FRR" and "Dynamic dimensioning of FRR using machine learning" were examined. A total of 31 publications were found, and six publications were selected for further review. Four of the publications investigated the use of artificial intelligence and machine learning as a method for dimensioning FRR needs, and in particular one publication - a major study conducted by the Belgian TSO Elia - was considered relevant.

This master thesis formulates the following vision for Statnett SF's future decision support tool for procurement in the m-FRR capacity market:

The future decision support tool is user-friendly, gives the operator security and insight, and leads to a unified behavior in the market independent of operator. The decision support tool facilitates an efficient process, is automated and dimensions the m-FRR capacity needs per bidding zone in Norway.

A short-term and a long-term solution for the decision support tool is proposed. The transition to D-2 is expected to occur soon, and the short-term solution focuses on automation of data acquisition and reduction of time consumption. The long-term solution aims to handle the future changes in the Norwegian power system - increased share of unregulated power, two new HVDC interconnectors and the transition to mACE balancing - and to fulfill the vision formulated.

For the development of the tool for the long-term solution, machine learning is considered as an appropriate method to investigate. The exact use of machine learning is not identified, as the development of a machine learning model is a time-consuming process. However, a plan for the development, testing and implementation of a decision support tool which uses machine learning is presented. Potential challenges in using machine learning includes that the development process is time-consuming, and that the machine learning model can be difficult to understand for an operator.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	iv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Avgrensning av oppgaven	2
1.4 Oppbygning av oppgaven	3
2 Begreper og forkortelser	4
2.1 Begrepsforklaringer	4
2.2 Forkortelser	6
3 Kraftsystemet og kraftmarkedet	7
3.1 Det norske kraftsystemet	7
3.1.1 Hvordan oppstår ubalanser?	9
3.1.2 Håndtering av ubalanse i kraftsystemet	9
3.2 Kraftmarkedet	10
3.2.1 Elspot- og intradagmarkedet	11
3.2.2 Balansemarkedene	12
4 Maskinlæring	15
4.1 Ikke-veiledet læring	16
4.1.1 Clustering	17
4.2 Veiledet læring	18
4.2.1 Klassifisering	19
4.2.2 Regresjon	19
4.3 Forsterkende læring	21
4.4 Dyp læring	21
5 Metode	24
5.1 GAP-analyse	25
5.2 Respondentintervjuer	25
5.3 Litteraturstudie	26
6 Hovedtrekk fra respondentintervjuene	29
6.1 Operatørens opplevelse av dagens løsning	30
6.1.1 Tidsbruk ved dagens løsning	30
6.1.2 Styrker ved dagens løsning	31

6.1.3	Svakheter ved dagens løsning	31
6.1.4	Tillit til dagens løsning	32
6.2	Ønsker til ny løsning	33
6.3	Diskusjon av respondentintervjuer	34
6.3.1	Valgt metodikk og utvalg	34
6.3.2	Funn fra respondentintervjuene	35
6.4	Oppsummering av funn fra respondentintervjuer	37
7	Litteraturstudie: Dynamisk dimensjonering av FRR	38
7.1	Litteraturanalyse	38
7.1.1	Bedømming av TRL-fase	38
7.1.2	Analyse av litteratursammensetning	41
7.2	Fordypning i utvalgte publikasjoner	44
7.2.1	Dynamic dimensioning of the FRR needs	46
7.2.2	Data-driven dynamic probabilistic reserve sizing based on dynamic Bayesian belief networks	48
7.2.3	Dynamic Dimensioning of Frequency Restoration Reserve Capacity based on Quantile Regression	49
7.2.4	Dynamic Data Driven Dimensioning of Balancing Power with k-Nearest Neighbors	50
7.2.5	A new method for day-ahead sizing of control reserve in Germany under a 100% renewable energy sources scenario	50
7.2.6	Methodologies to Determine Operating Reserves due to Increased Wind Power	51
7.3	Diskusjon av litteraturstudie	52
7.3.1	Diskusjon av litteratursøk og litteraturanalyse	52
7.3.2	Diskusjon av fordypningspublikasjoner	53
7.4	Oppsummering av funn fra litteraturanalyse	56
8	GAP-analyse for beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet	58
8.1	Sammenfatning og vurdering av dagens praksis	58
8.1.1	Oppsummering av tekniske og brukerrelaterte faktorer ved dagens løsning	61
8.2	Identifikasjon av visjonen for et nytt verktøy	61
8.2.1	Visjonen for beslutningsstøtteverktøyet	62
8.2.2	Målsetting for verktøyet for ulike tidsperspektiv	62
8.3	Hvordan tette gapet mellom dagens tilstand og ønsket tilstand?	65
8.3.1	Hvordan tette gapet: Kortsiktig løsning	65
8.3.2	Hvordan tette gapet: Langsiktig løsning	67
9	Konklusjon	73
9.1	Forslag til videre arbeid	74
	Bibliografi	80
	A Intervjuguide	81

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

Statnett SF (heretter kalt Statnett) har, som systemansvarlig i det norske kraftsystemet, hovedansvaret for at det norske kraftsystemet til enhver tid er i balanse med tanke på strøm som produseres og strøm som forbrukes. Når ubalanser oppstår, må disse håndteres, og det krever at kraftsystemet har tilstrekkelig med reserver tilgjengelig [1]. For å ivareta dette ansvaret foretar Statnett blant annet kjøp av opsjoner i regulerkraftopsjonsmarkedet (RKOM) for å sikre seg nok bud i regulerkraftmarkedet (RKM) i perioder hvor man risikerer for lite tilgjengelige bud [2].

Kjøp av regulerkraftopsjoner i RKOM foretas hovedsakelig to ganger i uken av operatørene på Statnetts landssentral. I tillegg kjøpes det opsjoner via langvarige kontrakter og på sesongbasis [3]. Kjøp i RKOM-uke gjøres ved hjelp av et beslutningsstøtteverktøy og basert på en helhetlig vurdering av hvilken time i den kommende perioden som vil være dimensjonerende med tanke på tilgang på reserver. Følgende inputvariabler inngår i dagens verktøy for dimensjonering av mengden antatt tilgjengelig oppreguleringskraft ("RK opp") uten kjøp av opsjoner i RKOM:

- Prognosert forbruk for dimensjonerende time kommende uke (timesverdi) [MW]
- Prognosert/forventet utveksling kommende uke (timesverdi) [MW]
- Generatorrevisjoner for dagen med dimensjonerende time (verdi for dagen under ett) [MW]
- Verdier for referansedag/referansetime (time med tilsvarende produksjon som dimensjonerende time):
 - Regulerkraftbud for oppregulering i referansetimen [MW]
 - Kjøp i RKOM for referansetimen [MW]
 - Generatorrevisjoner for referansedagen [MW]

Forventede systemforhold sammenlignes med en referansetime med tilnærmet lik produksjon. Basert på sammenligningen mot en referansetime prognoseres en forventet mengde regulerkraftbud som vil tilbys i RK-markedet uten kjøp av regulerkraftopsjoner i den dimensjonerende timen. Dette blir benyttet som utgangspunkt

for å avgjøre om og eventuelt hvor mye opsjoner som må sikres i RKOM [4]. Kravet til mengde ”RK opp” som skal tilbys hele tiden er 1700 MW [2]. Bakgrunnen for dette kravet presenteres i kapittel 3.2.2.

Per i dag hentes inndata inn manuelt ved avlesning av tabeller og grafer fra flere forskjellige kilder, og fylles inn i et Excel-ark. Disse kildene blir nærmere presentert i kapittel 8. Excel-arket beregner så ut fra predefinerte formler hva som er antatt ”RK opp” tilgjengelig for kommende uke uten innkjøp av opsjoner i RKOM, og bruker dette som grunnlag for å beregne hvor mye som burde kjøpes i RKOM-uke [4]. Dette er dette Excel-arket som utgjør dagens beslutningsstøtteverktøy for kjøp i RKOM.

I løpet av nær fremtid skal Statnett gå over til å handle regulerkraftopsjoner to dager før levering (D-2), i henhold til *Cooperation Agreement* [5] som finnes mellom TSOene i Norden (unntatt Island). Statnett anser i tillegg handel på D-2 i RKOM som svært hensiktsmessig fordi det vil bedre prognosedataene som inngår i dimensjoneringen, og redusere sjansen for over- og underdimensjonering. Overgangen til D-2 fører til at operatørene på Landssentralen vil måtte gjennomføre vurderinger knyttet til kjøp i RKOM daglig. I et slikt scenario anses bruken av dagens verktøy som for tidkrevende, og Statnett har derfor et ønske om å gå over til et mer automatisert beslutningsstøtteverktøy hvor data innhentes automatisk. I denne prosessen vil det også være naturlig å se på hvilke andre forbedringer som kan gjøres med tanke på dagens beslutningsstøtteverktøy og -prosess.

1.2 Problemstilling

Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i følgende problemstilling:

”Hva er en mulig visjon for et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet, og hva er en mulig vei for å oppnå visjonen?”

For å belyse problemstillingen, skal følgende underspørsmål besvares:

- Hvilke krav må et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet oppfylle?
- Er det hensiktsmessig å benytte maskinlæring i utviklingen av et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet?
- Dersom det er hensiktsmessig, hvordan bør maskinlæring benyttes og hvilke utfordringer finnes?

1.3 Avgrensning av oppgaven

Etttersom dette er en masteroppgave som er begrenset i tid, er det gjort noen avgrensninger av oppgaven. Avgrensningene for oppgaven er beskrevet i punktene nedenfor:

- Utelukker sikkerhetskrav som stilles til et beslutningsstøtteverktøy
- Statnett er benyttet som case i oppgaven, og respondentintervjuer og utarbeidelse av visjon er gjennomført med Statnett som utgangspunkt

- Oppgaven inkluderer ikke utviklingen av et verktøy eller programmering av verktøyet
- Oppgaven inkluderer ikke gjennomføringen av en samfunnsøkonomisk analyse

1.4 Oppbygning av oppgaven

Kapittel 1 er innledningen til masteroppgaven, og her presenteres bakgrunn og motivasjon for oppgaven, oppgavens problemstilling og underspørsmål, og avgrensninger gjort for oppgaven.

I kapittel 2 presenteres begrepsforklaringer og forkortelser som er brukt gjennom oppgaven.

Kapittel 3 er det første teorikapittelet, og omhandler kraftsystemet, kraftmarkeder og reserver.

Kapittel 4 presenterer teori knyttet til maskinlæring. Det er fokusert mest på maskinlæringsmetoder som er aktuelle for problemstillingen.

Kapittel 5 presenterer de tre metodene benyttet i oppgaven: GAP-analyse, respondentintervjuer og litteraturstudie.

Kapittel 6 presenterer funnene fra respondentintervjuene, og diskuterer og oppsummerer disse.

Kapittel 7 presenterer funnene fra litteraturstudien, og diskuterer og oppsummerer disse.

Kapittel 8 presenterer GAP-analysen. Her belyses dagens løsning, en visjon for fremtidens løsning og det presenteres en kortsiktig og en langsiktig løsning for utviklingen av et beslutningsstøtteverktøy.

Kapittel 9 presenterer konklusjonen og forslag til videre arbeid.

Kapittel 2

Begreper og forkortelser

2.1 Begrepsforklaringer

Dimensjonerende hendelse/feil: Det største enkeltutfall av vilkårlig komponent som skal kunne håndteres i driften [6]

Distribusjonsnett: Sørger for distribusjon av kraft til mindre sluttbrukere. Inkluderer nett med spenning opp til 22 kV [7].

Dynamisk dimensjonering av regulerkraft: Dimensjonering av regulerkraftbehovet for kortere tidsperioder, gjennomført ofte og relativt kort tid i forveien. Dimensjonerer med hensyn til forventede systemforhold og forventede ubalanser [8]

Elspotområde: Geografisk avgrenset område for allokering av anmelding i elspotmarkedet [9]

Enhet: Et individ eller et objekt [10]

Flaskehals: Overføringsbegrensninger innad i kraftsystemet [11]. Situasjon som oppstår når utvekslingsbehovet i nettet overstiger overføringsgrensen [9]

Frekvensavvik: Et mål på hvor mange minutter frekvensen er utenfor normalvariasjonsbåndet mellom 49,9-50,1 Hz [12]

Konfidensnivå: Angir hvor ofte intervallet inneholder den sanne parameteren [10]

Konvolusjon: Metode til å kombinere, føre sammen to tallrekker eller funksjoner for å oppnå en utligning [13]

Lastutkopling: Frakobling av last, utkobling av forbruk koblet til kraftsystemet

Ledetid: Tid fra bestilling av et produkt til leveranse

Monte Carlo-simulering: Teknikk for å estimere løsningen av et numerisk matematisk problem ved å utføre en form for simulering på datamaskin [14]

NEMO-link: Sjøkabel mellom Belgia og England [8]

Normalår: Gjennomsnittsårløst basert på en gitt referansetide, brukes for å beskrive hva et kraftverk ville produsert i et "gjennomsnittsårløst" [15]

Parameter: Størrelse som kan ha ulike verdier, men som i hvert enkelt tilfelle gis en bestemt verdi, og som påvirker utfallet av det man studerer [16]

Populasjon: En større mengde enheter [10]

Produksjonsmiks: Betegnelse på sammensetningen av energikildene som benyttes i et områdes energiproduksjon

Produktlengde: Varighet på produkter som anskaffes i kraftmarkedet

Regionalnett: Nett med spenningsnivå mellom 33 kV og 132 kV [11]

Respondentintervjuer: Intervju med personer som selv har erfaringer med fenomenet/temaet [17]

"RK opp": Regulerkraftbud for oppregulering

Statisk dimensjonering av regulerkraft: Dimensjonering av regulerkraftbehovet gjennomført lang tid i forveien, ofte for lengre tidsperioder. Tar ikke hensyn til systemforhold som produksjonsplaner [8].

Stokastiske ubalanser: Tilfeldige ubalanser som skyldes upresise produksjons- og forbruksprognoser, utfall av produksjon eller feil på kabler [18]

Strukturelle ubalanser: Forutsigbare effektubalanser innenfor timen grunnet ulik profil på endringer i produksjon, forbruk og utveksling. Skyldes dagens tidsoppløsning i markedet, hvor produksjon klartert i elspot på timesbasis ikke klarer å følge varierende forbruks - og utvekslingsendring over timen [6, 18]

Synkronområde: Kraftsystem som deler felles frekvens. Norge er en del av det nordiske synkronområdet sammen med Sverige, Finland og deler av Danmark (ikke Jylland) [19]

Transmisjonsnett: Nett med høyt spenningsnivå, vanligvis mellom 300-420 kV, med noen unntak (132 kV enkelte steder). I Norge opereres transmisjonsnettet av Statnett [11]

Utvalg: En samling enheter fra en populasjon [10]

Variabel: En beskrivende verdi for en enhet [10]

Kategoriske variabler:

Kvalitative variabler som ikke beskrives naturlig ved et tall, men hvor enheten tilhører en bestemt kategori [10]

Diskrete variabler:

Kvantitative variabler der kun enkelte tall langs tallskalaen er aktuelle, og hvor tallene som ligger mellom disse ikke gir noen mening [10]

Kontinuerlige variabler:

Kvantitative variabler der alle tallverdier innenfor et gitt intervall kan benyttes for å angi et kjennetegn [10]

2.2 Forkortelser

a-FRR: automatic Frequency Restoration Reserve

ANN: Artificial Neural Network

DBBN: Dynamic Bayesian Belief Network

D-1: Dagen før driftsdøgnet

D-2: To dager før driftsdøgnet

D-3: Tre dager før driftsdøgnet

FCR: Frequency Containment Reserves

FRR: Frequency Restoration Reserve

a-FRR: automatic Frequency Restoration Reserve, sekundærreserver

m-FRR: manual Frequency Restoration Reserve, tertierreserver

KNN: K-Nærmeste Naboer

LASSO: Least Absolute Shrinkage and Selection Operator

mACE: modernized Area Control Error

MW: Megawatt

m-FRR: manual Frequency Restoration Reserve

RK: Regulerkraft

RKOM: Regulerkraftopsjonsmarkedet

RKOM-B: RKOM Med Begrensninger. Bud med begrensninger på varighet og hviletid [18]

RKOM-H: RKOM Høykvalitet. Bud uten begrensninger på varighet eller hviletid [18]

TRL: Technology Readiness Level

TSO: Transmission System Operator

TWh: Terrawatttime

W-1: En uke før driftsdøgnet

Kapittel 3

Kraftsystemet og kraftmarkedet

Elektrifiseringen av Norge har pågått siden slutten av 1800-tallet, og strømmettet blir en viktigere og viktigere infrastruktur i det norske samfunnet. Elektrisitet benyttes til alt fra belysning og oppvarming, til transport og kommunikasjon, og regnes som helt nødvendig for samfunnet som helhet. En spesiell egenskap elektrisitet innehar, er at det må forbrukes i samme øyeblikk som det produseres. For kraftsystemet gjelder det at produksjon og forbruk må være i momentan balanse hele tiden. Dette setter strenge krav til kontroll over forbruk og produksjon innad i systemet til enhver tid, og er en avgjørende faktor for hvordan nettet driftes og overvåkes i dag.

Energi Norge definerer et kraftsystem som: "*... en samlebetegnelse for alle de byggeklossene som til sammen sørger for at kraft produseres og overføres fra de ulike kraftstasjonene og mellomlandsforbindelser og frem til sluttkundene.*"[20]. Elektrisk kraft kan lages av mange ulike kilder, hvor de vanligste inkluderer vannkraft, vindkraft, gasskraft og bioenergi, og det distribueres fra produksjonssted til forbrukere ved hjelp av strømmettet. Kraftsystemet som helhet bygger på prinsippet for tilbud og etterspørsel, hvor tilbudsdelen av kraftsystemet representeres ved produksjon i kraftverk og distribusjon av kraften ved hjelp av strømmettet. Etterspørselen kommer fra sluttkunder, både fra industri og fra privatpersoner. Et kraftsystem er fysisk sammenkoblet, og utfall av en komponent vil kunne påvirke systemet som helhet ved at en ubalanse oppstår og frekvensen for systemet som helhet kan endre seg [21].

3.1 Det norske kraftsystemet

Produksjon av kraft i det norske kraftsystemet kommer hovedsaklig fra vannkraftverk, både fra magasinkraftverk og elvekraftverk. Magasinkraftverk er vannkraftverk med tilgang på magasiner som kan lagre vann, og tilpasse sin produksjon. Magasinkraftverk regnes som regulerbar produksjon, mens elvekraftverk går i kategorien uregulerbar produksjon, i likhet med en rekke andre fornybare energiteknologier som vindkraft og solkraft. Dette skyldes at typiske elvekraftverk ikke har magasiner og evne til å regulere. Produksjonen er i stor grad avhengig av den momentane vannføringen i elven [22].

Den store andelen regulerbar vannkraft i Norge skiller oss fra de fleste øvrige land i Europa, hvor termisk kraftproduksjon, kull og gass fremdeles er dominerende [12]. Regulerbar vannkraft fører også med seg et av de største særtrekkene ved det norske

kraftsystemet: systemets store mulighet til å lagre energi ved hjelp av stor magasinkapasitet. Norge innehar halvparten av Europas samlede magasinkapasitet, og dette bidrar til å gi det norske systemet økt fleksibilitet med mulighet til å justere produksjon raskt etter behov [22].

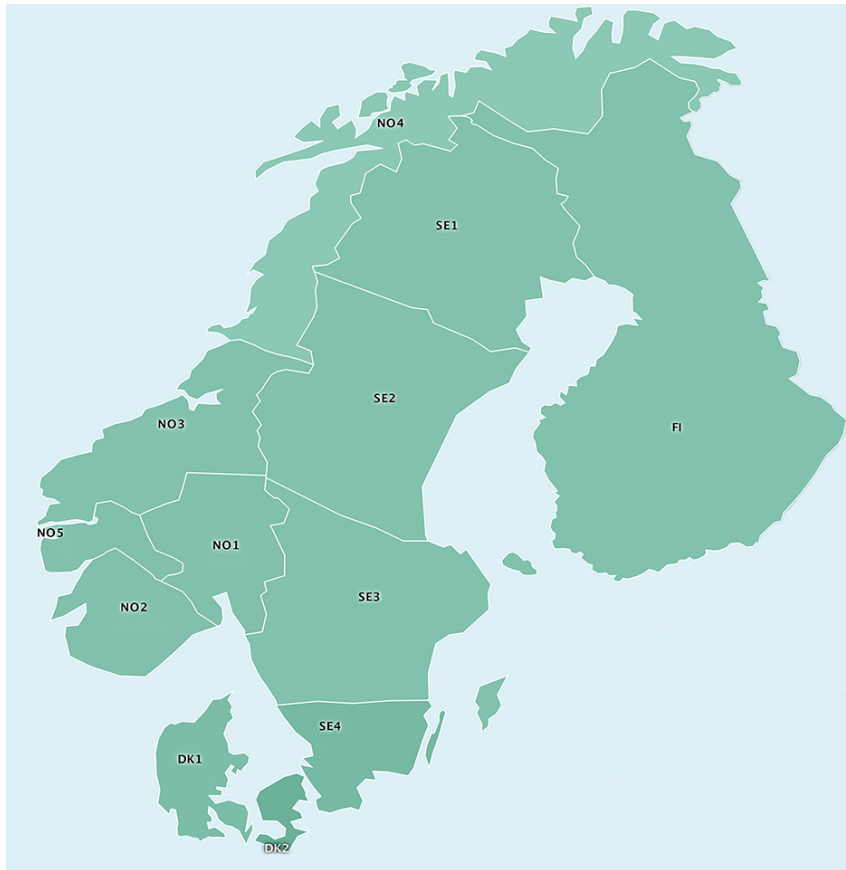
Strømnettet i Norge kan deles i tre kategorier: transmisjonsnett, regionalnett og distribusjonsnett. Statnett SF eier størsteparten av transmisjonsnettet i Norge, mens eierskapet til regional - og distribusjonsnett er fordelt mellom fylkeskommunalt, kommunalt og privat eierskap [11]. I tillegg har Norge mellomlandsforbindelser til Sverige, Finland, Russland, Danmark og Nederland, hvor forbindelsene til Danmark (Jylland) og Nederland er likestrømskabler.

Det er store regionale forskjeller innad i det norske kraftsystemet. Nord-Norge er et overskuddsområde med mye produksjon, både regulerbar og uregulerbar, og lite forbruk. Midt-Norge er et underskuddsområde, med relativt lite produksjon og mye forbruk. I region vest er det i normalår energioverskudd, men ettersom forbruk og produksjon ikke er lokalisert på samme sted, vil det i perioder oppleves flaskehals innad i regionen. Sør-Norge er et stort overskuddsområde med mye magasinkapasitet og god reguleringsevne. Området er også tilknytningspunkt for mellomlandsforbindelser til Danmark og Nederland. Øst-Norge er samlet sett et stort underskuddsområde avhengig av mye import, spesielt i vinterhalvåret [23].

Disse regionale forskjellene i kraftsituasjonen, hvor noen områder opplever overskudd og andre områder opplever underskudd, vil kunne føre til at flaskehals oppstår dersom det ikke finnes tilstrekkelig overføringskapasitet mellom de ulike områdene. Dette hindrer tilstrekkelig eksport eller import inn i området, og området vil oppleve energioverskudd eller energiknapphet [7]. Flaskehalsene gjør det nødvendig å dele inn Norge i prisområder, elspotområder, hvor det fastsettes overføringskapasitet mellom hvert elspotområde daglig [19]. Det er Statnett, som systemansvarlig i Norge, som fastsetter både elspotområder og overføringskapasitet mellom elspotområdene. Per i dag er Norge inndelt i fem elspotområder i henhold til figur 3.1.

Antallet områder og hvor grensene mellom hvert område går kan endre seg over tid, men grunnet balanseavregning i hvert land følger alltid grensene til elspotområdene landegrensene [24]. En konsekvens av at Norge deles inn i områder, er at hvert enkelt elspotområde kan oppleve ulik strømpris dersom det oppstår situasjoner med flaskehals mellom områder. Strømprisen skal signalisere til markedet når det er knapphet og når det er overskudd [19].

Det norske kraftsystemet inngår i det nordiske synkronområdet bestående av Norge, Sverige, Finland og deler av Danmark (tilsvarende elspotområde DK2, figur 3.1). Som et mål på om systemet er i momentan balanse, benyttes frekvens, og for det norske kraftsystemet og det tilhørende synkronområdet er ønsket frekvens på vanlig vekselstrøm 50 Hz, med en normalvariasjon mellom 49,9 og 50,1 Hz. Ved ubalanse mellom forbruk og produksjon vil frekvensen avvike fra vanlig frekvens, og signalisere at det ikke lenger er momentan balanse i systemet [21].



Figur 3.1: Illustrasjon av de ulike elspotområdene som Norge, og resten av det nordiske kraftsystemet, er inndelt i per i dag. Figuren er hentet fra [25].

3.1.1 Hvordan oppstår ubalanser?

Ubalanse i kraftsystemet oppstår når det ikke er samsvar mellom forbruk og produksjon, og dette gjør utslag på frekvensen. Ubalanse kan oppstå av flere grunner, og det kan skilles mellom strukturelle ubalanser og stokastiske ubalanser.

Kraftmarkedene regnes som helt sentralt for å opprettholde en balanse mellom tilbud og etterspørsel av kraft. Aktørene er ansvarlig for å planlegge seg i balanse, og balansere produksjon mot estimert forbruk innenfor driftstimen. Oppløsningen i dagens kraftmarkeder fører til at det settes en pris per time, basert på estimert produksjon og forbruk, noe som gjør at produksjonen innad i timen i utgangspunktet er satt til å være konstant. Forbruket derimot endrer seg kontinuerlig gjennom timen, og det fører til strukturelle ubalanser. Stokastiske ubalanser er tilfeldige ubalanser som skyldes tekniske feil, som utfall av produksjon og feil på kabler, eller upresise prognoser [6, 18]. Disse ubalansene fører til frekvensavvik.

3.1.2 Håndtering av ubalanse i kraftsystemet

Ubalanser i kraftsystemet og frekvensavvik må håndteres. En måte å håndtere ubalanser på er produksjonsflytting, hvor systemansvarlig ber aktører om å flytte planlagt produksjonsendring med inntil femten minutter for å sikre bedre balanse innenfor driftstimen. I tillegg er anskaffelse av nødvendige reserver i balansemarkedene

også et verktøy som kan benyttes [6]. I Norden deles reserver inn i primærreserver, sekundærreserver og tertiærreserver, ut fra hvordan og hvor fort de aktiveres [7]. Reserver og anskaffelsen av disse utdypes videre i kapittel 3.2.2.

Statnett sin rolle

NVE har gitt Statnett konsesjon til å være systemansvarlig i det norske kraftsystemet. Dette ansvaret er regulert gjennom forskrift om systemansvaret i kraftsystemet (FoS) i Energiloven [26]. Olje- og energidepartementet utdyper at: "... *systemansvarlig skal sørge for frekvensregulering, sikre momentan balanse i kraftsystemet, utvikle markedsløsninger som bidrar til en effektiv utvikling og utnyttelse av kraftsystemet, og i størst mulig grad bruke virkemidler basert på markedsmessige prinsipper. Systemansvarlig koordinerer driften av kraftsystemet, sørger for fastsettelse av kapasitet til markedet, håndtering av flaskehals og handel med andre land.*"[11]. Gjennom dette er Statnett ansvarlig for innkjøp av reserver i balansemarkedene, som gjøres for å sikre balanse i kraftsystemet.

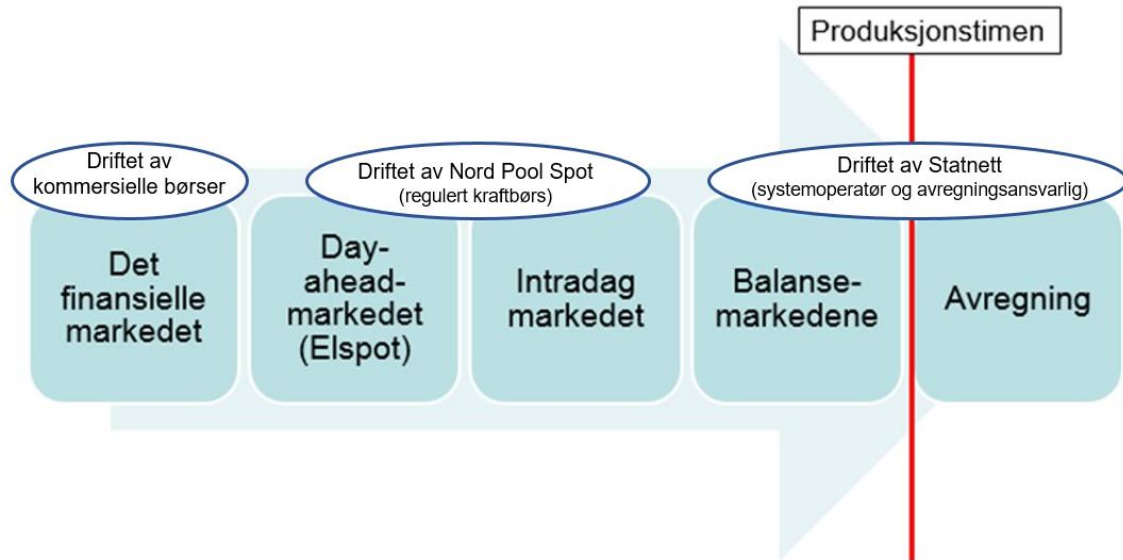
3.2 Kraftmarkedet

Siden forsommeren 1992 har det vært et åpent elektrisitetsmarked i Norge. I resten av Norden tok overgangen til et åpent marked lengre tid, men allerede i 1996 ble Sverige en del av et felles elektrisitetsmarked sammen med Norge [21]. I dag er Norge en del av et felles nordisk kraftmarked med Sverige, Danmark og Finland, og er integrert i det europeiske kraftmarkedet gjennom forbindelser fra Norden til Nederland, Tyskland, Baltikum, Polen og Russland [7].

Kraftmarkedet kan deles inn i det finansielle markedet, det fysiske kraftmarkedet og sluttbrukermarkedet. Aktørene i det fysiske kraftmarkedet inkluderer kraftprodusenter, meglere, kraftleverandører og større industrikunder. Aktørene i sluttbrukermarkedet inkluderer husholdningskunder, industri og mellomstore sluttbrukere som hoteller og kjedebutikker. Det fysiske kraftmarkedet består av flere markeder: Elspotmarkedet (day ahead-markedet), intradagmarkedet og balansemarkedene, hvor handel i de ulike markedene foregår med utgangspunkt i ulike tidsperspektiver. Figur 3.2 viser tidslinjen for handel i de finansielle og fysiske kraftmarkedene.

I det finansielle markedet åpnes det for handel lengre frem i tid enn hva som er mulig i de fysiske markedene, slik det fremgår av figur 3.2. Handel i det finansielle markedet er ikke knyttet til leveranse av fysisk kraft, men til finansielle produkter hvor aktører kan prissikre seg for kjøp og salg av kraft for perioder lengre frem i tid. I Norden foregår store deler av den finansielle handelen på børsen Nasdaq OMX [7].

Videre følger handel i det fysiske markedet, som inkluderer elspotmarkedet, intradagmarkedet og balansemarkedene. Elspotmarkedet åpner for handel dagen før driftsdøgnet, intradagmarkedet muliggjør handel i en periode etter elspotmarkedet stenger og frem til timen før den aktuelle driftstimen, og balansemarkedene åpner for handel av reserver som kan aktiveres for å sikre momentan balanse i driftstimen [27]. Kraftbørsen Nord Pool håndterer handel på elspot- og intradagmarkedet. Nord Pool er ansvarlig for det meste av den fysiske krafthandelen i de nordiske og baltiske



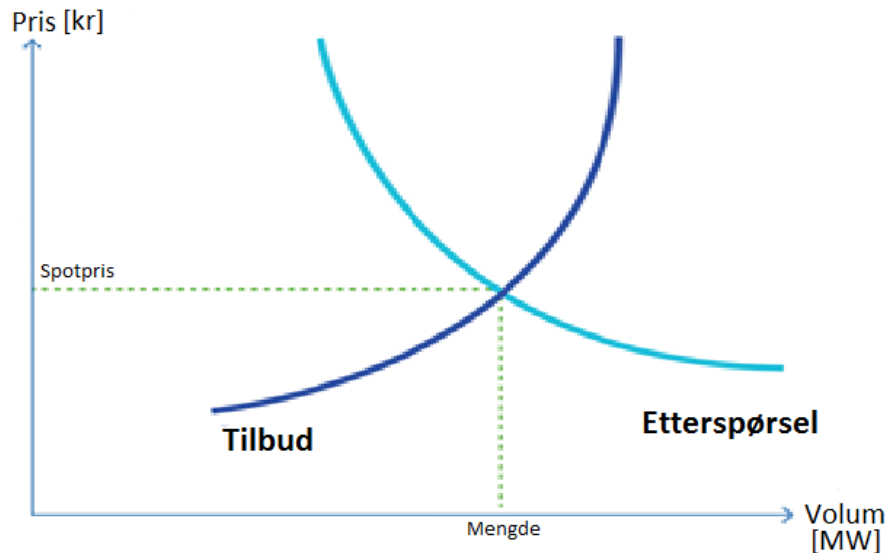
Figur 3.2: Tidslinje for når handel foregår i de ulike markedene med hensyn til driftstimen. Markedene driftes også av ulike aktører: det finansielle markedet driftes av kommersielle børser, Elspotmarkedet og intradagmarkedet (Elbas) driftes av Nord Pool (tidligere Nord Pool Spot), mens balansemarkedene driftes av Statnett. Figuren er basert på [27].

landene, og var verdens første internasjonale børs for elektrisk energi [7]. Videre i kapittelet vil de ulike markedene som inngår i det fysiske kraftmarkedet omtales, med størst fokus på balansemarkedene og handel av tertiærreserver.

3.2.1 Elspot- og intradagmarkedet

Elspotmarkedet, eller day-ahead markedet, regnes som hovedmarkedet for krafthandel i Norden og her foregår handel med fysisk levering av elektrisk energi det påfølgende døgnet [27]. Handel skjer på timesbasis for det påfølgende driftsdøgnet, og auksjonen stenger klokken 12.00. I tidsrommet 08.00-12.00 må samtlige aktører ha levert inn salgs- og kjøpsbud til Nord Pools handelssystem, og TSOer må ha sendt inn transmisjonskapasitet for hvert budområde [7].

Basert på det aktørene sender inn til Nord Pool, settes det to ulike priser for hver time i driftsdøgnet: systemprisen og områdeprisen. Systemprisen settes ut fra antagelsen om ingen flaskehals innad i det nordiske synkronområdet, mens områdeprisen tar hensyn til flaskehals. Dersom et elspotområde har energioverskudd eller energiknapphet, og flaskehals hindrer tilstrekkelig eksport eller import, vil elspotområde oppleve en annen områdepris enn andre elspotområder. Hvis transmisjonskapasiteten mellom elspotområdene derimot er tilstrekkelig, vil områdeprisen være identisk. Alle aktører innenfor samme område får tilslag på den samme prisen innenfor samme time [28]. Prisen styres av kryssningen mellom høyeste aksepterte tilbud og lavest aksepterte kjøpsbud, som illustrert i figur 3.3.



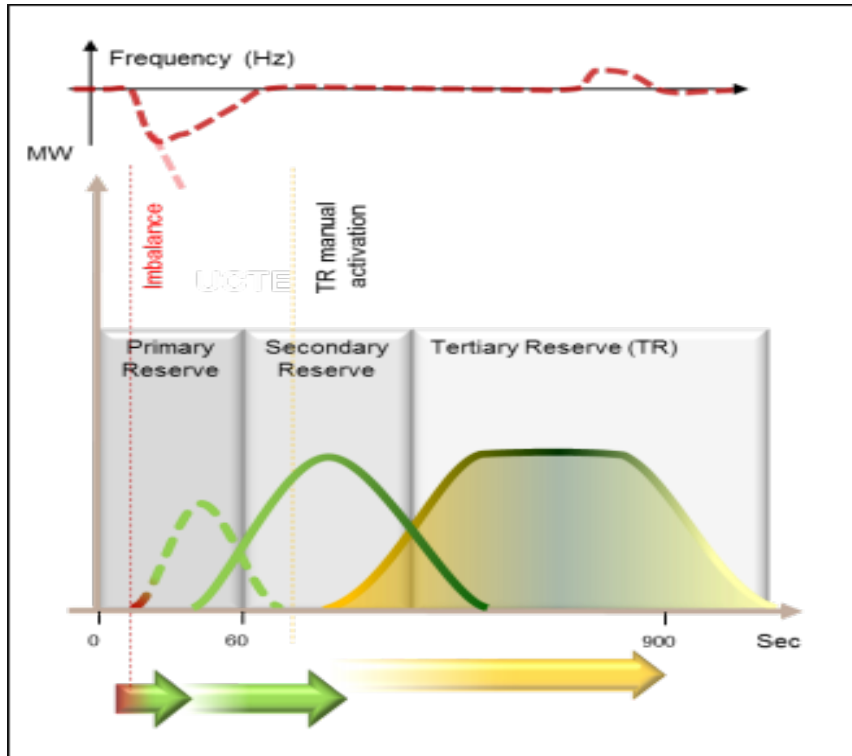
Figur 3.3: Priskrysset som dannes hvor tilbud og etterspørsel møtes. Dette definerer timens elspotpris. Figuren er hentet fra [18].

Systemprisen regnes ut for hele Norden, unntatt Island, under ett. Den regnes ut basert på antagelsen at det kun er begrensninger i import og eksport via utenlandskabler som kobler det nordiske systemet med det øvrige Europa. Den felles nordiske systemprisen benyttes ofte som referansepris ved handling i det finansielle kraftmarkedet [28].

Det er resultatet fra handelen i elspotmarkedet som legger grunnlaget for hvordan systemansvarlig, Statnett i Norge, planlegger driften av kraftsystemet [27]. Hovedsikringen av balanse mellom forbruk og produksjon sikres i elspotmarkedet, men ettersom handelen i elspotmarkedet fullføres klokken 12.00 dagen før levering, er det behov for markeder som muliggjør handel tettere opptil hver enkelt driftstime. Intradagmarkedet åpner for handel frem til en time før driftstimens start, og gir aktører muligheten til å ta hensyn til eventuelle endringer i prognoser for forbruk og utveksling. I intradagmarkedet kan aktørene handle seg i balanse ved å kjøpe eller selge ledig kapasitet. Det handles kontinuerlig, og prisen settes etter et "First come, first served"-prinsipp hvor de beste budene (høyeste kjøpspris og laveste salgspris) blir klarert først, uten felles pris på aksepterte bud som i elspotmarkedet. I intradagmarkedet åpnes det også for handel på tvers av områdegrens, dersom det finnes ledig kapasitet til dette [24, 27].

3.2.2 Balansemarkedene

Som systemansvarlig er Statnett ansvarlig balansering i driftstimen, hvor handel i balansemarkedene er et av verktøyene. Handel i balansemarkedene omhandler det å anskaffe nok reserver til å håndtere kontinuerlig påvirkning av den momentane balansen i kraftsystemet. Disse reservene må anskaffes gjennom markedsløsninger, og reservene deles gjerne inn i tre - primærreserver, sekundærreserver og tertiærreserver - ut fra aktiveringsrekkefølgen og responstiden til reserven [1]. Figur 3.4 illustrerer forskjellen på de tre typene reserver sin responstid og hvilken påvirkning aktiveringen av de har på frekvensen.



Figur 3.4: Illustrasjon av aktiverings - og responstid for de ulike reservene: primærreserver, sekundærreserver og tertiærreserver. Figuren illustrerer også reservenes påvirkning på frekvensen. Figuren er hentet fra [29].

Primærreserver (FCR)

Når en ubalanse oppstår, for eksempel utfall av en produksjonsenhet, vil den roterende massen i systemet reagere og dempe frekvensendringen. Endringen i frekvens vil likevel aktivere primærreservene, som aktiveres automatisk basert på målt frekvens hos den enkelte stasjons kontrollanlegg [30]. Primærreservene sin oppgave er å stabilisere frekvensen etter ubalansen, slik som illustrert i figur 3.4. Det er Statnett som systemansvarlig sin oppgave å sørge for at det er tilstrekkelig med primærreserver, og det er etablert et eget marked for innkjøp av primærreserver. Dette markedet er inndelt i et uke - og et døgnmarked, og aktører avgjør selv om de vil delta i ett eller begge av delmarkedene. Kjøp i ukemarkedet gjennomføres før elspotmarkedet, mens kjøp i døgnmarkedet foregår etter elspotmarkedet er stengt [31].

Sekundærreserver (a-FRR)

Ved ubalanse i kraftsystemet som vedvarer over lengre tid, aktiveres sekundærreservene for å bringe frekvensen tilbake til 50 Hz og frigjøre den aktiverte primærreserven, som illustrert i figur 3.4. For aktivering av sekundærreservene i Norge, må et reguleringssignal sendes fra Statnett direkte til en leverandørs kontrollsystem, som automatisk endrer forbruk eller produksjon i anlegget. Etter mottatt signal fra Statnett har sekundærreservene en responstid på omlag 120-210 sekunder [32].

Mengden sekundærreserver som må sikres i markedet for sekundærreserver bestemmes av de nordiske TSO-ene i fellesskap. De nordiske TSO-ene bestemmer også

sammen når og hvor sekundærreserver skal benyttes. Innkjøp av sekundærreserver skjer foreløpig i separate nasjonale markeder, men det arbeides mot å utforme et felles nordisk marked for sekundærreserver [32]. Statnett gjennomfører per i dag kjøp av sekundærreserver i en ukentlig auksjon, separat for opp- og nedregulering [33].

Tertiærreserver (m-FRR)

Dersom det i etterkant av aktivering av sekundærreserver fremdeles er behov for frekvensregulering, aktiveres tertiærreservene (slik som illustrert i figur 3.4). Aktivering av tertiærreserver skjer hovedsaklig for å frigjøre allerede aktiverte primær- og sekundærreserver, og for å håndtere eventuelle flaskehals mellom elspotområder [34]. Tertiærreserver, eller regulerkraft, benyttes som en felles betegnelse på manuelle reserver som har en aktiveringstid opp mot 15 minutter. Kravet til tilgjengelige tertiærreserver i Norge er 1700MW. 1200MW er påkrevd gjennom den nordiske systemdriftsavtalen for å dekke dimensjonerende hendelse i det norske kraftsystemet. De øvrige 500MW er vurdert av Statnett som nødvendig for å kunne håndtere øvrige ubalanser og regionale flaskehals [2].

Tertiærreservene anskaffes i regulerkraftmarkedet (RKM), som er et felles balansemarked for det nordiske kraftsystemet. Foreløpige bud i RKM skal være sendt til Statnett innen 21.30 dagen før driftsdøgnet, og eventuelle nye bud og korreksjoner skal være Statnett i hende senest 45 minutter før hver driftstid [34]. I perioder hvor man anser at sjansen for at man ikke får tilstrekkelig oppreguleringsressurser tilbudt i den norske delen av regulerkraftmarkedet er tilstede, benyttes regulerkraftopsjonsmarkedet. Regulerkraftopsjonsmarkedet (RKOM) er et norsk kapasitetsmarked hvor Statnett kjøper opsjoner på oppreguleringskraft fra tilbydere. Tilbyderne, som kan tilby både effekt fra produksjon og forbruksutkobling, blir betalt for å garantere at de leverer bud i regulerkraftmarkedet [2].

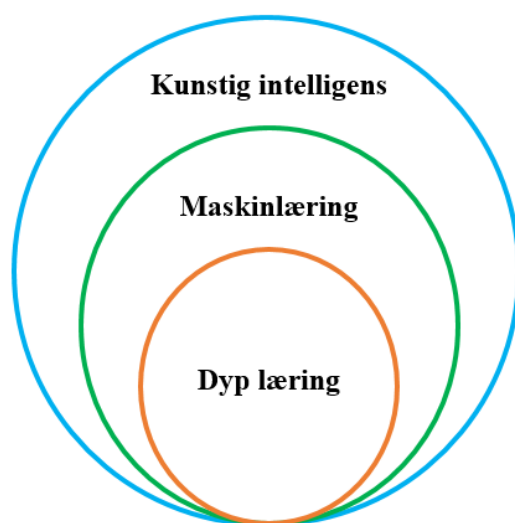
Regulerkraftopsjoner sikres med ulike tidshorisonter, og det finnes både et sesongmarked og et ukemarked. For både sesongmarkedet og ukemarkedet deles hvert døgn inn i to tidsavsnitt: 'Natt' (fra 00-05) og 'Dag' (fra 05-24). For RKOM-sesong kjøpes det opsjoner som er gjeldende for hele den kommende vintersesongen. RKOM-uke deles igjen i to tidsavsnitt: 'Hverdag' (man-fre) og 'Helg' (lør-søn). Tilsammen vil det være fire tidsavsnitt inkludert i RKOM-uke: 'Hverdag' + 'Natt', 'Hverdag' + 'Dag', 'Helg' + 'Natt' og 'Helg' + 'Dag'. Kjøpene i RKOM-uke gjøres basert på vurderinger som gjøres ukentlig - torsdag for tidsavsnittene som inngår i den kommende helgen og fredag for tidsavsnitt knyttet til hverdag for den kommende uken [35]. Regulerkraftopsjoner kjøpes for tidsavsnittet som helhet, og ved kjøp i RKOM-uke vurderes periodene sett under ett. Dette vil si at man kjøper samme mengde regulerkraftopsjoner for hver time i 'Natt' i tidsavsnittet 'Helg' [3]. Kraftsituasjonen, prognosert forbruk, forventet utveksling mot utlandet og vurdering av sannsynlige flaskehals spiller inn på den helhetlige vurderingen av hvor mye som bør sikres i RKOM-uke [35].

Kapittel 4

Maskinlæring

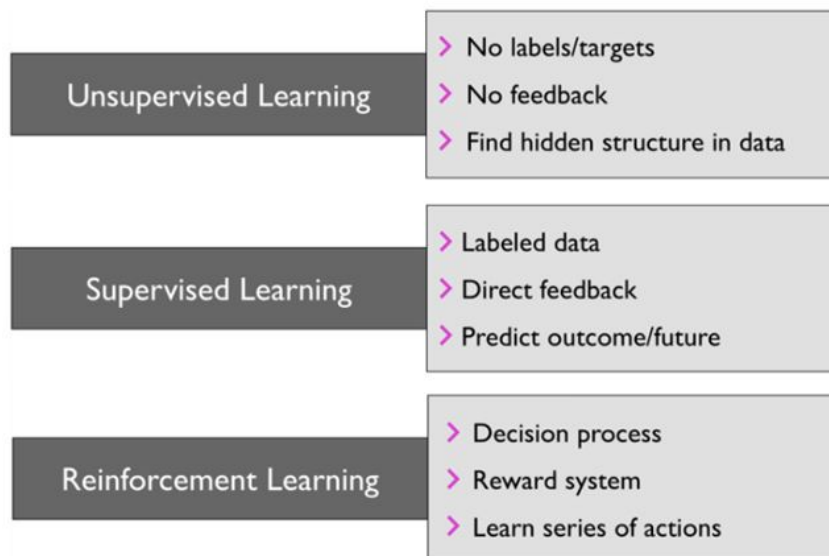
Maskinlæring kan defineres som den automatiserte prosessen med å finne et mønster i data. Hensikten er ut fra prosesseringen av enheter i utvalget å finne et mønster i enhetens variabler, lære mønsteret og benytte dette til å trekke konklusjoner for hele populasjonen utvalget er fra [36]. Maskinlæring har vokst i popularitet de se-neste årene, og maskinlæringssystemer ligger i dag bak teknologier som spamfilter, automatiserte produktanbefalinger og sjakkcomputere [37].

Maskinlæring betegnes som en underkategori av kunstig intelligens. Datatilsynet definerer kunstig intelligens som: ”... et begrep som beskriver datasystemer som kan lære av egne erfaringer og løse komplekse problemstillinger i ulike situasjoner.” [38]. Kunstig intelligens omfatter alle intelligente systemer, både regelbaserte og datadrevne modeller, og regnes som et paraplybegrep som omfatter flere ting. Ma-skinlæring fokuserer på datadrevne modeller. Regelbaserte modeller, hvor regler er forhåndsprogrammerte, regnes ikke som maskinlæring [39]. Innenfor maskinlæring finnes det flere felt, blant annet dyp læring. Forholdet mellom kunstig intelligens, maskinlæring og dyp læring er illustrert i figur 4.1:



Figur 4.1: Illustrasjon av forholdet mellom kunstig intelligens, maskinlæring og dyp læring. Illustrasjonen er basert på [40].

Maskinlæring kan deles opp i tre underkategorier: veiledet læring, ikke-veiledet læring og forsterkende læring [37], hvor dyp læring kan falle innenfor og kombineres med alle tre kategoriene [41]. Figur 4.2 illustrerer hva som er hovedpunktene ved de tre ulike kategoriene:



Figur 4.2: De tre underkategoriene som maskinlæring kan deles i: ikke-veiledet læring, veiledet læring og forsterkende læring. Illustrasjonen er hentet fra [37].

Maskinl ringens tre underkategorier vil dekkes i de kommende delkapitlene, og dyp læring vil dekkes i et eget delkapittel. Der det finnes gode norske begreper er disse benyttet, men i flere tilfeller er engelske begreper langt sterkere forankret i fagområdet og derfor er det valgt å benytte disse.

4.1 Ikke-veiledet læring

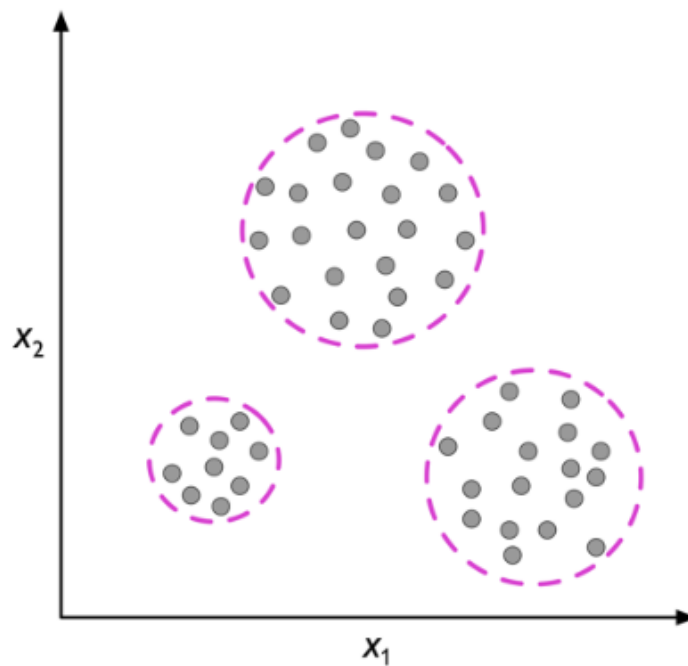
Ikke-veiledet læring benyttes i de tilfellene hvor man har ukategorisert data. Tanken bak ikke-veiledet læring er at man skal utforske datasettet og ut fra dette oppdage meningsfull informasjon om datasettet [37]. En modell fores med et datasett og oppdager mønstre i dette. Modellen kan så brukes på ny og ukategorisert data av samme type som treningsdataen, og vil da forsøke å kategorisere den nye dataen basert på l ringsreglene lært fra treningsdataen [38].

Ettersom det ikke finnes et fasitsvar ved ikke-veiledet læring, er det vanskelig å måle hvor nøyaktig modellen treffer, og det er heller ikke hensikten med ikke-veiledet læring. Målsetningen er å oppdage skjulte strukturer i datasettet, og på den måten øke brukerens forståelse av datasettet. I tillegg til å oppdage skjulte mønstre og informasjon i et datasett, brukes ikke-veiledet læring til å få en bedre forståelse av et datasett f r man benytter veiledet læring på det [42]. Ved å først gjøre en analyse med ikke-veiledet læring, kan man få bedre forutsetninger for å velge riktig maskinlæringsalgoritme ved veiledet læring.

4.1.1 Clustering

Ikke-veiledet læring inkluderer clustering, som går ut på å gruppere enheter i et utvalg ut fra hvor like de er hverandre, og dermed ekstrahere meningsfull informasjon. Clustering er mye brukt i markedsføringsammenhenger for å oppdage kundegrupper og spesialtilpasse markedsføring til deres interesser [37].

Ved bruk av clustering, grupperes alle enhetene i datasettet i et antall grupper ut fra hvor like variabler de har. Alle medlemmene i en gruppe vil ha mer til felles med hverandre enn hva de har med en annen gruppe [37]. Figur 4.3 illustrerer hvordan grupper av enheter lages ved clustering basert på likhet i enhetenes variabler.



Figur 4.3: Illustrasjon av hvordan clustering kan benyttes for å lage ulike grupper med enheter basert på likheten i variablene deres. I figuren benyttes et 2D-plot, og alle enhetene har variablene x_1 og x_2 . Illustrasjonen er hentet fra [37].

”Likhet” mellom enheter betyr at det er likheter i enhetenes variabler. Dersom like enheter plottes i et X D-plan, hvor X representerer antall variabler hver enhet har, vil enhetene befinne seg i geografisk nærhet av hverandre. Enheter plassert i samme gruppe vil befinne seg nærmere hverandre geografisk enn enheter i andre grupper.

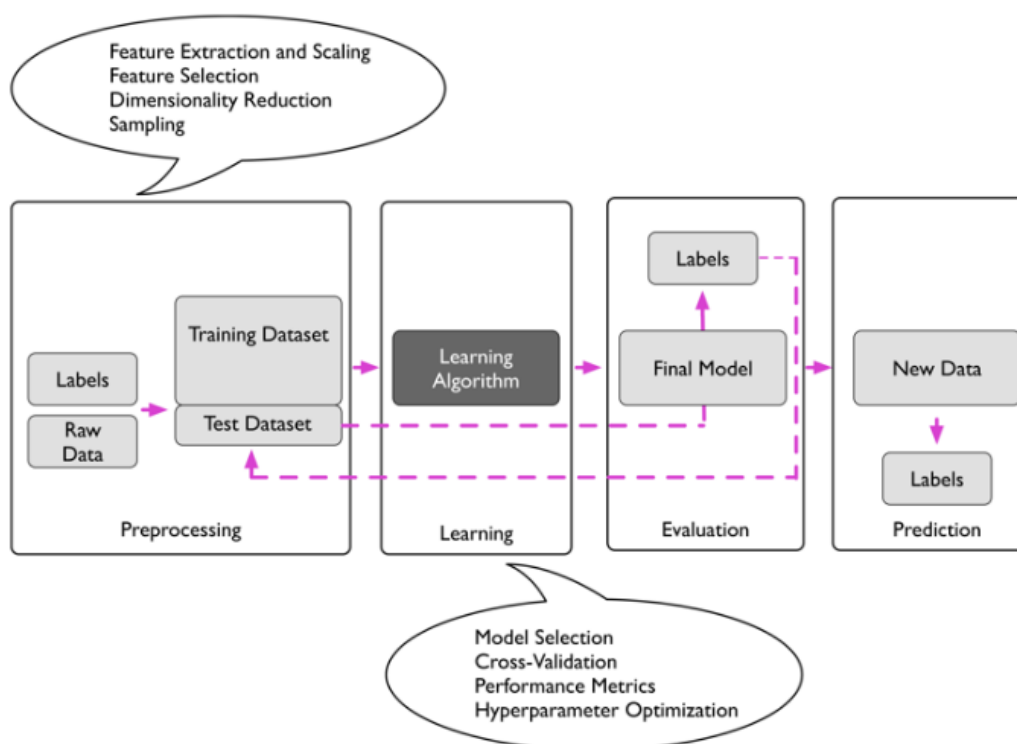
K-Means algoritmen

K-Means algoritmen er blant de mest populære algoritmene for clustering. Algoritmen benytter seg av k antall sentroider som et utgangspunkt for å definere k grupper, hvor en enhet tilskrives en gruppe dersom den er ”nærmere” gruppens sentroide enn den er noen annen sentroide. Antallet sentroider k er definert av operatøren, og plasseringen til de første sentroidene er tilfeldig valgt. For å finne de beste sentroidene i etterkant av det tilfeldige valget, bytter algoritmen på å tilskrive

enheter til en gruppe basert på nærheten til de nåværende sentroidene og å velge sentroide basert på enhetene som er tilskrevet gruppen. Ved den siste fremgangsmåten, velges sentroide basert på hva som er i sentrum av de tilskrevne enhetene til gruppen - ”gjennomsnittsverdien” til de tilskrevne enhetene [43].

4.2 Veiledet læring

Hovedkonseptet ved veiledet læring er at maskinlæringsmodellen skal finne en læringsregel fra treningsdata med tilhørende fasit, og senere benytte det den har lært for å predikere utgangsverdier for usett inndata uten fasit [37]. Figur 4.4 viser den typiske fremgangsmåten for et veiledet maskinlæringsystem.



Figur 4.4: Fremgangsmåten for et maskinlæringsystem ved veiledet læring. De fire boksene illustrerer de viktigste stegene i forberedelsen og utviklingen av et maskinlæringsystem. Illustrasjonen er hentet fra [37].

Steg 1: Dataprosessering

Første boks i figur 4.4 illustrerer det første steget som må gjøres ved utviklingen av en maskinlæringsmodell. Før man kan benytte data som input til en maskinlæringsmodell, må dataen prosesseres slik at dataen er i riktig format for modellen. For dette benyttes ulike teknikker som illustrert i snakkeboblen tilhørende den første boksen i figur 4.4. Teknikkene for prosessering av data inkluderer valg av variabler og dimensjonalitetsreduksjon. Etter prosessering av datasettet er gjennomført, deles

det i et treningssett og et testsett, begge med tilhørende fasit, hvorav treningssettet med fasit i første omgang er input til maskinlæringsmodeller [37].

Steg 2: Opplæring og utvikling av en modell

Etter at dataen er klargjort, må det velges og trenes en eller flere maskinlæringsmodeller på dataen. Ulike teknikker, presentert i snakkeboblen tilhørende den andre boksen i figur 4.4, benyttes for å gjøre modellene så gode som mulig - som riktig valg av algoritme, riktig valg av måte for måling av prestasjonen til modellen, kryssvalidering og optimalisering av den valgte algoritmens parametre [37]. Modellen trenes så på treningsdataen som ble forberedt i steg 1.

Steg 3: Evaluering av modell

Etter modellen er trent på treningsdataen, testes den ferdige modellen på testdataen [37]. Den valgte formen for vurdering benyttes, og det avgjøres om modellen predikerer godt nok og dermed har god nok prestasjon for formålet. Modellen, som nå er trent opp på treningsdataen, fores med testdata (uten fasit) og predikerer et svar for hver enkelt enhet. Dette svaret sammenlignes med fasiten til testsettet, og ut fra dette beregnes det et mål på modellens prestasjoner. Dersom modellen presterer under forventningene på usett data, er det vanlig å gå tilbake til steg 2 og utvikle modellen videre.

Steg 4: Prediksjon ved hjelp av utviklet modell

Dersom man er fornøyd med hvor god modellen sin er, benyttes den til prediksjon av ny, usett data [37].

Det finnes ulike former for veiledet læring basert på hva slags output som produseres, og veiledet læring kan deles inn i to underkategorier: klassifisering (hvor det predikeres klassetilhørighet for en enhet) og regresjon (hvor kontinuerlig output predikeres).

4.2.1 Klassifisering

Oppgaven til en maskinlæringsmodell som benyttes til klassifisering er, basert på variablene til hver enkelt enhet, å tilskrive enheten til en klasse eller gi enheten en merkelapp. Det finnes både binær klassifisering og klassifisering for datasett med mer enn to ulike klasser, og en maskinlæringsmodell vil i utgangspunktet tilskrive en enhet til en av flere klasser kjent fra treningssettet (men aldri til en klasse som ikke ble presentert i treningssettet) [37].

4.2.2 Regresjon

Dersom man skal predikere kontinuerlige variabler, benyttes regresjonsmodeller. Målet med en regresjonsmodell er å finne og modellere forholdet mellom inputvariabler og en outputvariabel på best mulig måte, og dette kan gjøres både ved lineær regresjon og ikke-lineær regresjon [37].

Lineær regresjon

Lineær regresjon kan defineres som prosessen med å finne den best tilpassede rette linjen gjennom en samling datapunkter. Lineær regresjon kan deles inn i enkel lineær regresjon og multipl lineær regresjon. Ved enkel lineær regresjon finnes det kun en input variabel og en output variabel, og målet for metoden er å finne en lineær funksjon som beskriver forholdet mellom input variabelen og output variabelen. Denne lineære sammenhengen brukes til å predikere output variabelen for nye input variabler. Funksjonen til en enkel lineær regresjonsmodell er som følger:

$$y = w_0 + w_1x \quad (4.1)$$

hvor w_0 representerer krysningspunktet med y-aksen og w_1 er vekt-koeffisienten til inputvariabelen [37].

Ved multipl lineær regresjon finnes det flere inputvariabler, og målet er å finne en sammenheng mellom disse inputvariablene og den kontinuerlige outputvariabelen [10]. Formelen for en multipl regresjonsmodell følger følgende format:

$$y = w_0x_0 + w_1x_1 + \dots + w_mx_m \quad (4.2)$$

hvor $x_0 = 1$ og w_0 er krysningspunktet med y-aksen [37].

Polynomregresjon regnes som en variant av lineær regresjon hvor det er et ikke-lineært forhold mellom inputvariablene og outputvariabelen, men hvor koeffisientene, vektene for hver enkelt input variabel w , fremdeles er lineære. Funksjonen for polynomregresjon er som følger:

$$y = w_0 + w_1x + w_2x^2 \dots + w_dx^d \quad (4.3)$$

hvor d er polynomgraden [37, 44].

Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO)

LASSO-algoritmen er en modell innenfor lineær regresjon som benytter L1-regularisering for å selektare inputvariabler. L1-regulariseringen benyttes for å øke modellens evne til å generalisere, og reduserer flere av variablenes vekter til null slik at tilhørende variabler trygt kan utelukkes [45, 41]. Regularisering kan defineres som enhver modifikasjon som gjøres med en læringsalgoritme med intensjonen om forbedre modellens evne til generalisering [41].

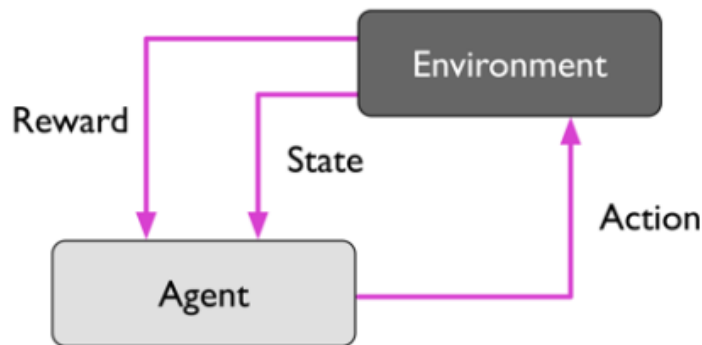
K-nærmeste naboer

K-nærmeste naboer, KNN, er en læringsalgoritme hvor all treningsdataen memores, og derfor blir ingen funksjon med tilhørende vekter lært av treningsdataen. I stedet blir et utfall predikert ut fra verdiene til de nærmeste (likeste) enhetene til testenheten. Den menneskelige operatøren definerer et k antall naboer, og ut fra dette finner algoritmen de k nærmeste datapunktene til datapunktet som undersøkes, og predikerer ut fra dette et utfall [37].

Når KNN-algoritmen benyttes for regresjon, blir den predikerte outputvariabelen til enheten satt til gjennomsnittsverdien til outputvariabelen til de k nærmeste enhetene i treningsdataen. En av ulempene ved KNN-algoritmen er at operatøren på forhånd må definere det k antallet naboer som skal inkluderes [46].

4.3 Forsterkende læring

Forsterkende læring baserer seg på et system bestående av en agent som samhandler med miljøet rundt seg. Målet er å utvikle en agent som forbedrer sin prestasjon ut fra tilbakemeldinger fra miljøet rundt seg, uten direkte innblanding fra den menneskelige operatøren [37, 41]. Agent-miljø forholdet illustreres i figur 4.5.



Figur 4.5: Figuren illustrerer agent-miljø forholdet som forsterkende læring baserer seg på. Ut fra tilstanden ("state") til miljøet gjør agenten en eller flere handlinger ("action"), og forsøker basert på tilbakemelding ("reward") fra miljøet å finne den serien av handlinger som gir størst positiv belønning. Illustrasjonen er hentet fra [37].

I forsterkende læring baserer læringssystemet seg på at agenten forsøker å maksimere belønningen fra miljøet. Forsterkende læring skiller seg fra både veiledet læring og ikke-veiledet læring. Dette fordi agenten i forsterkende læring lærer av sine egne erfaringer, ikke av fasit til treningsdata, og har som mål å maksimere belønningen, ikke finne riktig mønster [47].

Et annet viktig aspekt ved forsterkende læring er at en handling gjort av agenten kan påvirke fremtidige mulige tilstander av miljøet, og dermed påvirke mulighetene som vil finnes for agenten på det senere tidspunktet. Agenten må derfor klare å håndtere indirekte, forsinkete tilbakemeldinger på handlinger i tillegg til direkte tilbakemeldinger [47].

4.4 Dyp læring

Dyp læring regnes som en underkategori av maskinlæring, hvor modellene er inspirert av den menneskelige hjerne. I dyp læring består modellen av flere lag - derav dyp læring - hvor hvert enkelt lag konsentrerer seg om ulike aspekter i datasettet, og komplekse konsepter defineres med utgangspunkt i enklere konsepter. Dyp læring som felt har vokst i løpet av de senere årene særlig grunnet tilgang på kraftigere datamaskiner og større datasett for trening, noe som er viktig for utviklingen av en god modell i dyp læring [41].

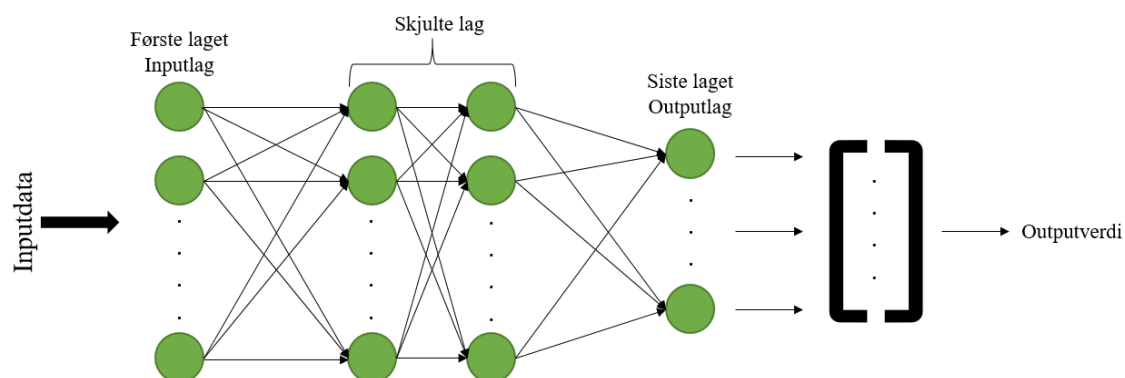
Feedforward neural network er en typisk dyplæringsmodell og en byggesten for flere andre dyplæringsmodeller som *convolutional neural networks* og *recurrent neural networks*. Modellene kalles for "network" grunnet deres oppbygning med flere ulike funksjoner (en funksjon per lag i modellen), mens "neural" har sitt opphav i inspirasjonen modellen har fra nevrovitenskap. "Feedforward" henviser til at informasjon flyter fremover gjennom modellen fra inputlaget og gjennom skjulte lag frem til outputlaget, hvor hvert lag fungerer som input til det neste laget [41, 37].

Målet til et *feedforward neural network* er å finne og tilpasse en funksjon på en slik måte at den gitt en input x predikerer et svar nærmest mulig fasiten. For et *feedforward neural network* defineres en mapping:

$$y = f(x; \theta) \quad (4.4)$$

hvor y er resultatet av mappingen, x er inputdata og θ representerer parametre som resulterer i den beste funksjonsapproximeringen [41].

Figur 4.6 viser den skjematiske oppbygningen av en typisk *feedforward neural network*-modell.



Figur 4.6: Figuren illustrerer et eksempel på et *feedforward neural network* med et inputlag, to skjulte lag og et outputlag. Illustrasjonen er inspirert av illustrasjon fra [37].

Det første laget i figur 4.6 kalles inputlaget, og her mottas variablene x fra datasettet. Videre følger to skjulte lag og tilslutt outputlaget. Inputlaget i ethvert *feedforward neural network* har samme antall noder som variabler x i datasettet modellen er trent på. Outputlaget har, ved klassifisering, samme antall noder som mulige output, en node per klasse i datasettet. De skjulte lagene kan ha et variabelt antall noder, og det er heller ikke forhåndsbestemt hvor mange lag et nettverk skal ha [37].

Under trening av et *feedforward neural network* har outputlaget et klart mål - produsere output nærmest mulig fasiten tilhørende inputdataen - mens oppgavene til de skjulte lagene er ikke spesifisert. Det er modellen selv som styrer hva som skjer i hvert enkelt av de skjulte lagene med det overordnede målet om at outputlaget

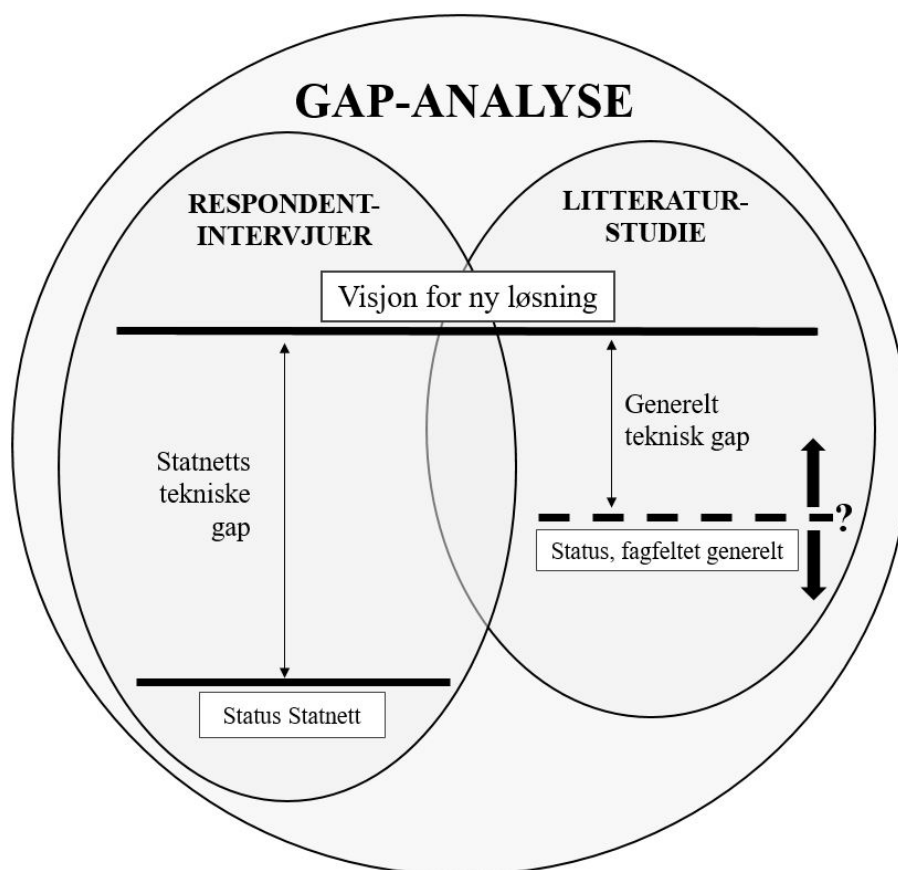
tilslutt skal predikere riktig. Den menneskelige operatøren gjør derimot en rekke andre designvalg knyttet til oppbygningen av et *feedforward neural network*. I tillegg til de generelle valgene knyttet til oppbygningen av et maskinlæringsystem, slik som valg av optimeringsfunksjon og kostfunksjon, må også antall skjulte lag, aktiveringsfunksjoner for hvert enkelt skjult lag, sammenkobling mellom nodene i forskjellige lag og antall noder per lag velges [41].

Nodene i hvert enkelt lag i et *feedforward neural network* er koblet sammen med noder i det påfølgende laget via vektcoeffisienter. Disse vektcoeffisientene avgjør hvordan node to skal reagere på aktivering av node en, hvor node en er i et tidligere lag enn node to. Det er vektcoeffisientene som sender et signal gjennom alle lagene i modellen. Tilslutt ender det med en vektning av outputnodene. Outputnoden med høyest vektning regnes som aktivert, og i en klassifiseringsoppgave er det denne aktiverte outputnoden som vil være det predikerte resultatet fra modellen [37].

Kapittel 5

Metode

For å være i stand til å løse oppgaven og identifisere en mulig visjon for et beslutningsstøtteverktøy og en alternativ vei dit, ble tre metoder benyttet: GAP-analyse, respondentintervjuer og litteraturstudie. Metodene ble bedømt i samråd med masterveileder til å være de mest hensiktsmessige metodene for å besvare problemstillingen og underspørsmålene i oppgaven.



Figur 5.1: Illustrasjon av GAP-analysens tre deler og hvilke metoder som er brukt for å belyse de ulike delene. Illustrasjonen fokuserer på det tekniske aspektet ved GAP-analysen.

Litteraturstudien og respondentintervjuene er benyttet som verktøy for å kunne gjennomføre GAP-analysen, som illustrert i figur 5.1. Respondentintervjuer er be-

nyttet både for å kartlegge dagens status i Statnett og danne grunnlaget for en ny visjon. Litteraturstudien er benyttet for å avdekke hva som bør inngå i en fremtidsvisjon, og til å undersøke den generelle statusen til fagfeltet. I påfølgende underkapitler følger mer inngående beskrivelser av hvordan metodene er benyttet.

5.1 GAP-analyse

Det ble gjennomført GAP-analyse for beslutningstøtteverktøy kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet, med utgangspunkt i dagens løsning med det eksisterende beslutningsstøtteverktøyet for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet. GAP-analyse ble vurdert som en hensiktsmessig metode i dette prosjektet fordi det på en strukturert måte belyser oppgavens problemstilling.

GAP-analyse kan defineres som: ”... en modell som ser på avstanden mellom (...) en bedrifts faktiske og mulige resultater.” [48]. Analysen skal forsøke å besvare følgende tre spørsmål:

- Hva er dagens status?
- Hvor ønsker vi å være?
- Hva skal til for å tette gapet mellom dagens status og hvor vi ønsker å være?

I tillegg tar GAP-analysen sikte på å belyse to aspekter: det tekniske gapet og det menneskelige gapet.

GAP-analysen deles inn i tre hoveddeler:

1. Identifikasjon, sammenfatning og vurdering av dagens løsning
2. Identifikasjon av visjonen for et nytt verktøy
3. Belysning av hva som skal til for å tette gapet mellom dagens tilstand og ønsket tilstand

Hoveddelene er definert ut fra de tre hovedspørsmålene som en GAP-analyse skal forsøke å svare på. I figur 5.1 tilsvare ”Status Statnett” punkt 1 i listen ovenfor. ”Visjon for ny løsning” tilsvare punkt 2 i GAP-analysen og punkt 3 i GAP-analysen illustreres ved ”Statnetts tekniske gap”.

5.2 Respondentintervjuer

Respondentintervjuer defineres av Jacobsen i "Hvordan gjennomføre undersøkelser?" [17] som intervjuer med personer som selv har erfaring med fenomenet eller temaet.

Det ble gjennomført individuelle respondentintervjuer med alle operatørene ansvarlig for innkjøp i RKOM ved Statnett sin landssentral. Det er disse operatørene som per i dag er ansvarlig for dimensjoneringen av nødvendige regulerkraftopsjoner og

for gjennomføringen av kjøpet i regulerkraftopsjonsmarkedet. I tillegg ble det gjennomført intervju med tre operatører som innehar rollen som overordnet vakt på Landssentralen. Disse er også delaktig i kjøpet av regulerkraftopsjoner, hovedsaklig gjennom å godkjenne vurderingene som blir gjort knyttet til dimensjonering og godkjenne mengden regulerkraftopsjoner som kjøpes, i tillegg til hvilke elspotområder det kjøpes i.

Intervjuene har blitt gjennomført som semistrukturerte intervjuer og har i stor grad fulgt strukturen presentert i intervjuguiden (Vedlegg A). Intervjuene ble gjennomført med bruk av lydopptaker, og har i etterkant blitt transkribert. Alle respondentene har fått tilbudet om å få tilsendt de transkriberte intervjuene til gjennomlesing, et tilbud alle takket nei til. Respondentene har fått tilsendt en oversikt over hvilke funn fra deres intervju som skal benyttes i oppgaven, inkludert hvilke områder funnene blir benyttet innenfor. Samtlige respondenter godkjente sammenstillingen og kun mindre presiseringer ble foretatt i denne prosessen.

Prosjektet ble meldt inn til Norsk Senter for Forskningsdata (NSD) grunnet håndteringen av personopplysninger som gjennomføringen av respondentintervjuene krevde. NSD vurderte behandlingen av personvernopplysningene som i tråd med personvernlovgivning, og godkjente prosjektet.

Respondentintervjuene er benyttet som et middel for å besvare punkt 1 og punkt 2 i GAP-analysen: identifikasjon og vurdering av dagens løsning, og identifikasjon av visjonen for et nytt verktøy. Dette er illustrert i figur 5.1. Respondentintervjuene vil i hovedsak belyse et av underspørsmålene formulert i kapittel 1.2: ”Hvilke krav må et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet oppfylle?”, og vil funn fra respondentintervjuene vil danne grunnlaget for kravene som settes til det nye beslutningsstøtteverktøyet.

5.3 Litteraturstudie

Litteraturstudie er vurdert som en hensiktsmessig metode for å belyse underproblemstilling 2 og 3, angående maskinlæring som metode og eventuelle utfordringer som finnes. Med dette som utgangspunkt, ble fagfeltet som skulle undersøkes definert til ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring”, hvor FRR er betegnelsen på både sekundær- og tertiærreserver. Med tanke på GAP-analysen ble litteraturstudien benyttet til å undersøke punkt 2 og punkt 3: ”Identifikasjon av visjonen for et nytt verktøy” og ”Belysning av hva som skal til for å tette gapet mellom dagens tilstand og ønsket tilstand”, som illustrert i figur 5.1. Litteraturstudien ble også benyttet til å kartlegge hvor utviklet fagfeltet var generelt, tilsvarende ”Status, fagfeltet generelt” i figur 5.1. Kartleggingen av fagfeltet på verdensbasis ble gjort for å undersøke hvordan Statnett lå an i forhold.

Før søket etter litteratur begynte, ble det definert noen søkeord og kombinasjoner av søkeord. Det ble i tillegg besluttet at databasene Science Direct og IEEE skulle være hovedkildene for litteratur, da disse databasene ble vurdert til å gi tilstrekkelig og aktuell litteratur. Tabell 5.1 presenterer databasene og søkeordene som ga publikasjoner som ble tatt med videre i litteraturstudiet.

Tabell 5.1: Oversikten over databaser og søkeord som ble brukt for det initiale litteratursøket. *: "dynamic dimensioning of balancing power" ble valgt som søkefrase i etterkant av at annen litteratur var funnet.

Database	Kombinasjon av søkeord
Science Direct	"machine learning" + "mfr" "neural network" AND "operating reserve" "machine learning" AND "operating reserve"
IEEE	"machine learning" AND "operating reserve" dynamic dimensioning of balancing power *

Litteratursøket startet med kun fokus på maskinlæring og FRR, men ble i det siste søket (IEEE: dynamic dimensioning of balancing power) utvidet til å inkludere dynamisk dimensjonering av FRR uten maskinlæring som metodikk. Dette ble gjort for å undersøke flere muligheter knyttet til utviklingen av det nye beslutningsstøtteverktøyet, slik at man ikke låste seg til at maskinlæring som metode måtte benyttes.

De overnevnte søkeordene ga flere resultater, og samtlige treff ble bedømt etter like og forhåndsbestemte kriterier. Kun publikasjoner fra de ti siste årene er inkludert, fordi nyere publikasjoner ble vurdert som mer relevante for å belyse fagfeltets status i dag. Søket ble derfor begrenset til tidsperioden 2009-2019. Ellers ble tittelen på publikasjonen vurdert i første omgang. Dersom tittelen tydet på at litteraturen var relevant for oppgaven, ble også sammendraget lest. Ved vurderingen av tittel og sammendrag ble det tatt med hensyn til følgende kriterier:

1. Fokuserer tittelen eller sammendraget til publikasjonen på sekundær- og/eller tertiærreserver (FRR)?
2. Nevnes dynamisk dimensjonering i tittelen/sammendraget til publikasjonen?
3. Nevnes bruken av maskinlæringsalgoritmer eller dyp læring i tittelen/sammendraget til publikasjonen?

Kriterium 1 er absolutt, og ingen publikasjoner er valgt for videre analyse uten at enten tittel eller sammendrag reflekterer et fokus på sekundær- og/eller tertiærreserver. I tillegg måtte enten kriterium 2 eller 3, eller begge, være oppfylt for at publikasjonen skulle bli valgt til videre analyse. Basert på disse kriteriene ble elleve publikasjoner valgt til videre analyse. I tillegg ble en lengre studie gjennomført av den belgiske TSO'en Elia inkludert.

Videre undersøkelse av valgt litteratur viste at fem av publikasjonene som ble funnet gjennom søk i Science Direct eller IEEE ble vurdert som spesielt relevante, fordi de oppfylte samtlige av vurderingskriteriene. For disse fem publikasjonene ble det valgt å gjennomgå referanselisten til publikasjonen, for å se om det fantes relevante referanser som bør inkluderes i litteratursammensetningen. Referansene ble bedømt etter de samme tre vurderingskriteriene som øvrig litteratur. De fem publikasjonene hvor referanselisten ble brukt som utgangspunkt for å finne ny litteratur, og antall relevante referanser inkludert i litteraturstudiet fremgår av tabell 5.2. Den totale litteraturmengden endte på 31 publikasjoner.

Tabell 5.2: Oversikt over publikasjoner hvor referanselisten ble gjennomgått, og hvor mange av referansene deres som ble ansett som relevante for litteraturstudiet. Flere av publikasjonene deler en eller flere referanser, og den relevante referansen er telt med for alle artikler uavhengig av om den allerede hadde blitt inkludert i litteraturmengden.

Publikasjon	Relevante referanser
Dynamic dimensioning approach for operating reserves: Proof of concept in Belgium [49]	9
Application of adaptive wavelet neural network to forecast operating reserve requirements in forward ancillary services market [50]	1
Data-driven dynamic probabilistic reserve sizing based on dynamic Bayesian belief networks [51]	8
Dynamic dimensioning of frequency restoration reserve capacity based on quantile regression [52]	2
Machine learning analysis for a flexibility energy approach towards renewable energy integration with dynamic forecasting of electricity balancing power [53]	12

Litteraturens sammensetning har videre blitt undersøkt med hensyn til nivå på det undersøkte fagområdet, utgivelsesland, utgivelsesår og utgivelsesinstitusjon. Videre har seks artikler blitt valgt ut for fordypning basert på kriterier presentert i kapittel 7.2.

Kapittel 6

Hovedtrekk fra respondentintervjuene

Respondentintervjuer med operatører på Statnetts landssentral ble gjennomført som et ledd i å kartlegge hvordan dagens løsning fungerer, og for å undersøke hva operatørene ønsker med tanke på et nytt beslutningsstøtteverktøy. Intervjuene er i hovedsak ment til å bidra til å besvare punkt 1 og punkt 2 i GAP-analysen. I dette kapitlet vil resultatene fra respondentintervjuene sammenfattes, og presenteres i henhold til strukturen på GAP-analysen.

Utvalget av respondenter på intervjuet inkluderer alle som i dag gjennomfører dimensjonering og kjøp i RKOM. I tillegg ble tre som innehar stillingen som ”Overordnet vakt” inkludert i utvalget. For utvelgelse av disse tre, har alder, kjønn og innsikt i RKOM blitt vektlagt. Det totale utvalget av respondenter presenteres kort i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Utvalget av intervjuerespondenter og deres rolle i forbindelse med dimensjonering og innkjøp av reservekraft og reservekraftopsjoner.

	Rolle på Landssentralen
Respondent 1	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 2	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 3	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 4	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 5	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 6	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 7	Ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM
Respondent 8	Overordnet vakt
Respondent 9	Overordnet vakt
Respondent 10	Overordnet vakt

6.1 Operatørenes opplevelse av dagens løsning

Operatørenes opplevelse av dagens løsning ble forsøkt kartlagt gjennom spørsmål 3-7 i intervjuguiden (Vedlegg A). Følgende punkter ble spesielt undersøkt gjennom respondentintervjuene:

- Tidsbruk ved dagens løsning
- Styrker ved dagens løsning
- Svakheter ved dagens løsning
- Tillit til dagens løsning

Dagens løsning defineres som gjennomgang av dagens verktøy i henhold til gjeldende rutiner og metodikk. Med verktøyet menes beslutningsstøtteverktøyet beskrevet i kapittel 1.1.

6.1.1 Tidsbruk ved dagens løsning

Funnene knyttet til tidsbruk ved dagens løsning, kommer i hovedsak fra intervjuene med respondent 1-7, tilsvarende operatører med ansvar for dimensjonering og kjøp i RKOM. I tillegg har funn fra intervjuet med respondent 8 blitt inkludert, da det kom frem under intervjuet at respondenten tidligere hadde innehatt stillingen som ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM. For respondent 8 var det uttalelser som omhandlet respondentens periode i denne posisjonen som er lagt til grunn. Det ble ikke etterspurt hvilke tanker rundt tidsbruk respondenten eventuelt har gjort seg i etterkant av overgangen til stilling som overordnet vakt.

Syv av de åtte respondentene uttrykte at tidsbruken varierte fra gang til gang. Tidsbruken blir anslått av respondentene til å variere mellom omlag 15 minutter til 2 timer. Respondentene løftet frem følgende årsaker til varierende tidsbruk for gjennomføring av dimensjoneringen:

1. Egen forventning til resultatet i forkant av dimensjoneringen
2. Tid på året
3. Værvarselet for den kommende uken
4. Prognosene for forbruk og utveksling den kommende uken

Resultatet tilsvarer her verktøyets predikerte mengde regulerkraftopsjoner som anses som nødvendig å sikre i RKOM. Flere av respondentene uttrykte at deres forventning til resultatet (punkt 1) var avhengig av tid på året (punkt 2), og værvarselet for den kommende uken (punkt 3). For punkt 4 ble det løftet frem at disse påvirker tidsbruken dersom de viser noe som går på tvers av operatørens forventning.

Respondent 5 uttrykte at tidsbruken var omtrent konstant fra gang til gang, på rundt 3 timer. Årsaken til dette var at respondenten så på vurderingen som en flere dagers lang prosess. Arbeidet med å skaffe seg et inntrykk av hva som ville være aktuell mengde regulerkraftopsjoner å kjøpe inn, startet tidlig uken før med å fylle

inn de gjeldende prognosene og forventningene for den kommende uken. Respondenten forklarte at de aktuelle variablene blir oppdatert jevnlig gjennom uken, og at den siste oppdateringen av variablene skjer rett før dimensjonering fredag slik at variablene var nyest mulig. Ved å gjøre dette ønsket respondenten å skaffe seg et inntrykk av hvilken trend som var gjeldende for kommende uke. Det ble trukket frem som viktig å vurdere forbruks- og utvekslingsprognosene for den kommende uken over flere dager, slik at respondenten kunne få styrket tillit til prognosene og ikke kun vurderte et "øyeblikksbilde".

6.1.2 Styrker ved dagens løsning

Spørsmålene rundt styrker ved dagens verktøy er besvart av samtlige respondenter, men de er besvart mindre utfyllende av operatørene som innehar posisjonen som overordnet vakt (respondent 8-10). Disse tre har jevnt over uttrykket at det oppleves som om verktøyet bidrar til at gode vurderinger gjøres. De uttrykker at de som overordnet vakt i varierende grad er involvert i prosessen, og at det derfor kan være vanskelig for dem å uttale seg om hva som fungerer godt med dagens løsning.

Av de øvrige syv respondentene (respondent 1-7), uttrykker fem eksplisitt at en styrke ved verktøyet er at det bidrar til at viktige variabler vurderes. Respondent 7 understreker at verktøyet bidrar til å gi operatøren god innsikt i gjeldende systemforhold, og at dette gjør operatøren bedre rustet til å gjennomføre kjøpet i RKOM. Respondent 2 og respondent 5 uttrykker at de anser inputvariablene som direkte påvirkende for mengden regulerkraftopsjoner som må kjøpes, og finner dagens inputvariabler logiske. Inputvariablene til dagens verktøy presenteres i kapittel 1.1.

Respondent 1, 4, 5 og 7 uttrykker at en styrke ved dagens løsning er at det finnes et fast system for hvordan dimensjoneringen av regulerkraftopsjoner skal foregå.

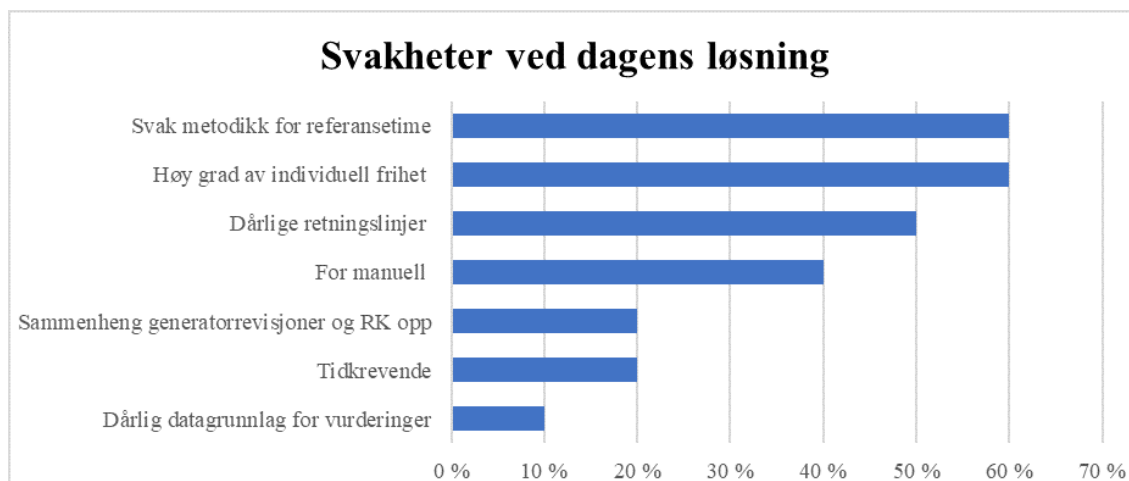
6.1.3 Svakheter ved dagens løsning

Spørsmålene rundt svakheter ved dagens verktøy er besvart av samtlige ti respondenter, men de er besvart mindre utfyllende av operatørene som innehar posisjonen som overordnet vakt (respondent 8-10). Figur 6.1 viser en oversikt over svakheterne som ble nevnt i respondentintervjuene, med prosentandel av operatørene som nevnte det.

Seks av respondentene, tilsvarende 60%, trekker frem metodikken med sammenligning av dimensjonerende time den kommende uken og en referansetime med tilsvarende produksjonsnivå som svak. Det er hovedsakelig to årsaker som trekkes frem av respondentene som gjør metodikken svak:

- Kun en referansetime benyttes for sammenligning (4)
- Referansetime velges ut basert på for få kriterier (3)

Fire av respondentene som anser metodikken rundt referansetime som svak, trekker frem at svakheten er at man kun sammenligner med en referansetime og ikke flere. De uttrykker bekymring for at man kan ende opp med å sammenligne med en time



Figur 6.1: Oversikt over antall respondenter som nevnte de ulike svakheterne ved dagens løsning.

som i utgangspunktet ikke burde benyttes som referanse. Tre av respondentene uttrykker at de mener referansetimen velges basert på for få kriterier, og at tilsvarende produksjon som dimensjonerende time ikke er nok til å avgjøre om en time burde benyttes som referansetime.

60% av respondentene nevnte at dagens løsning åpner for høy grad av individuell frihet og vurderinger fra den enkelte operatør, og at dette er en klar svakhet ved dagens løsning. Det ble uttrykt at dette fører til en lite enhetlig oppførsel i markedet på tvers av operatørene.

Den tredje mest nevnte svakheten ved dagens løsning var dårlige retningslinjer. Spesielt ble uklarheter rundt hvordan dimensjonerende time skal velges og hvordan verdien for utveksling skulle settes nevnt. De fem respondentene som nevnte dette som en svakhet, pekte på at manglende klare retningslinjer førte til ulik praksis fra operatør til operatør, og at dette gjorde oppførselen mindre enhetlig på tvers av operatører.

Fire respondenter uttrykte at en svakhet var at verktøyet i stor grad var manuelt per i dag. To respondenter understreket at dette åpnet for tastefeil fra bruker, og at dette var en feilkilde ved dagens løsning.

De øvrige svakheterne som ble nevnt av respondentene inkluderer at sammenhengen mellom generatorrevisjoner og "RK opp" oppleves som feil, at løsningen er tidkrevende og generelt at dimensjoneringen foregår med for dårlig datagrunnlag.

6.1.4 Tillit til dagens løsning

Det er bred enighet blant respondentene om at dagens verktøy kun er ment til å være en støtte, og at det ikke alene skal klare å avgjøre riktig mengde opsjoner som bør kjøpes i RKOM. Det understrekes at beslutningsstøtteverktøyet er ment til å gi en indikasjon på resultatet, men at operatøren selv må vurdere resultatet kritisk.

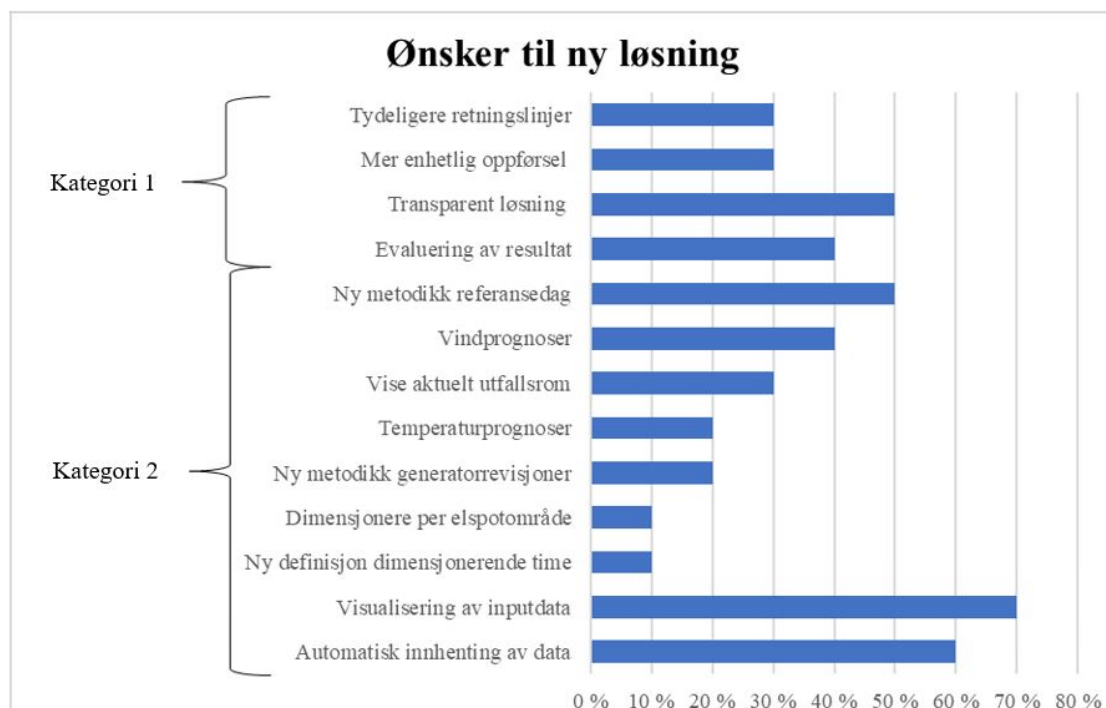
Syv respondenter uttrykker at de har lav tillit til resultatet dagens verktøy produserer, men understreker at det skyldes at det i dag prognoseres for syv dager frem i tid, på et W-1-perspektiv. Respondentene understreker at overgangen til D-2 vil gjøre prosessen med å prognosere riktig mengde regulerkraftopsjoner som må kjøpes enklere, fordi det vil være mindre usikkerhet i prognosene som benyttes som inputdata (forbruksprognoser, prognoser for utveksling).

6.2 Ønsker til ny løsning

Operatørens ønsker til en ny løsning ble forsøkt kartlagt gjennom spørsmål 8 og spørsmål 9 i intervjuguiden (Vedlegg A). I tillegg er ønsker for ny løsning som fremkom under diskusjonen av nåværende løsning inkludert. Ny løsning defineres som gjennomgangen av et nytt verktøy for dimensjoneringen av antatt tilgjengelig regulerkraft, som igjen legger grunnlaget for hvor mye regulerkraftopsjoner som må kjøpes inn.

Figur 6.2 viser en oversikt over hvilke ønsker respondentene hadde til en ny løsning. Ønskene er forsøkt sortert i to kategorier:

- Kategori 1: Ønsker som går på brukervennlighet og brukergrensesnitt
- Kategori 2: Tekniske ønsker



Figur 6.2: Oversikt over hvilke ønsker respondentene hadde til en ny løsning. Prosentandelen tilsvarer prosentandelen av respondentene som nevnte ønsker i intervjuet sitt.

De fire mest nevnte ønskene for en ny løsning er visualisering av inputdata, automatisk innhenting av data, en transparent løsning og endring av metodikken for referansedag. Av disse er kun ”Transparent løsning” regnet i kategori 1, som går på brukervennlighet og brukergrensesnitt.

Syv respondenter uttrykte et ønske om at den nye løsningen skulle visualisere inputdataen som verktøyet tar hensyn til. Respondentene trekker frem at det er viktig for operatøren å forstå hvilke variabler verktøyet vurderer, og at en grafisk fremstilling av variablene er en god måte å presentere dette på.

Seks respondenter uttrykte at automatisk innhenting av data hadde vært hensiktsmessig ved utviklingen av et nytt verktøy. To respondenter, respondent 4 og respondent 6, uttrykker tydelig at manuell inntasting av data er en feilkilde i dagens løsning, og at en ny løsning derfor bør hente inn data automatisk. Respondent 9 understreker at dagens løsning er en omstendelig prosess som krever innhenting av data fra flere ulike kilder, og at automatisk innhenting av data vil gjøre prosessen mer effektivt.

Fem respondenter uttrykker at det er svært viktig at den nye løsningen er transparent. Det understrekes at operatøren som benytter verktøyet må ha forståelse for hvilke variabler verktøyet vurderer og hvordan de ulike variablene påvirker resultatet.

Utviklingen av ny metodikk rundt referansedag nevnes som et ønske fra fem av respondentene. Ønskene rangerer fra at flere referansedager bør benyttes for sammenligning, til at det heller kan lages en ”kunstig” referansedag ut fra referansedager med samme systemforhold. Nye og flere kriterier for valg av referansedag nevnes også som ønskelig, da sammenligning av kun produksjon oppleves som utilstrekkelig for flere operatører.

Ni andre ønsker til en ny løsning legges frem i figur 6.2. Disse inkluderer blant annet et ønske om evaluering av resultatet i etterkant, som ikke gjøres i dagens løsning, og et ønske om at verktøyet bidrar til mer enhetlig oppførsel i markedet og minsker graden av individuell frihet.

6.3 Diskusjon av respondentintervjuer

I denne delen vil forberedelse til og gjennomføring av respondentintervjuene diskuteres, inkludert en diskusjon rundt utvalgets representativhet. Avslutningsvis vil funnene fra respondentintervjuene diskuteres.

6.3.1 Valgt metodikk og utvalg

Det ble valgt å gjennomføre respondentintervjuer med ti respondenter for å forsøke å kartlegge meninger om dagens løsning og ønsker for en fremtidig løsning. Intervjuer ble vurdert til å være den beste måten å gjennomføre dette på. Å gjennomføre en spørreundersøkelse ble også vurdert, men det ble ansett som ønskelig med en mindre bundet form for informasjonsinnsamling.

Utvalget av respondenter inkluderer alle som på daværende tidspunkt innehadde stillingen som ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM, i tillegg til tre med stillingen som "Overordnet vakt". Fra gruppen av operatører som er ansvarlige for dimensjonering og kjøp i RKOM har det i prinsippet ikke blitt foretatt et utvalg, da hele gruppen er intervjuet. De tre som er valgt ut fra gruppen som innehar stillingen som overordnet vakt, er valgt ut med hensyn til alder, kjønn og innsikt i RKOM. Totalt sett anses utvalget av respondenter som svært representativt for operatørene på Landssentralen sine erfaringer og meninger om dagens løsning og fremtidig løsning for dimensjonering av nødvendige kjøp i RKOM.

Det er viktig å påpeke enkelte svakheter rundt bruken av respondentintervju som metode i denne undersøkelsen. Hver respondent ble stilt spørsmål i henhold til intervjuguiden (Vedlegg A), og relevante oppfølgingsspørsmål ut fra svarene deres. Dette kan ha gjort at respondenter som i utgangspunktet var positive til dagens løsning, har blitt stilt oppfølgingsspørsmål knyttet til styrker ved løsningen og sådan har belyst denne siden mer enn svakhetene ved løsningen. Likedan for det motsatte tilfelle - dersom respondenter har uttrykt at den er negativ til dagens løsning, har det blitt åpnet for muligheten til å utdype svakhetene i større grad. Det er dermed en risiko for at ikke alle respondentens meninger rundt styrker, svakheter og eventuelle ønsker for en ny løsning har kommet frem i intervjuet. Det er derfor viktig at utsagnet "X respondenter uttrykker at .." ikke benyttes som ekskluderende for de øvrige respondentene, fordi det ikke finnes noe grunnlag for å avgjøre om disse mener det samme eller ikke.

Det ble benyttet lydopptak under gjennomføringen av respondentintervjuene. Samtlige respondenter ble spurt om dette var greit, og samtlige samtykket til bruken. Det bør likevel påpekes at bruken av lydopptak kan ha påvirket respondentenes utsagn, og at lydopptak kan ha virket "skremmende" og hindret respondenter i å uttale seg fritt i frykt for å bli konfrontert med det senere. Dette ble ikke, av oppgaveforfatteren, opplevd som noe som påvirket under intervjuene, men aspektet bør likevel nevnes.

6.3.2 Funn fra respondentintervjuene

Statnett postulerte tidlig i arbeidet med denne oppgaven at motivasjonen for å undersøke mulighetene rundt en ny løsning og et nytt verktøy for beslutningsstøtte i RKOM var at dagens løsning ville være for tidkrevende etter overgangen til D-2. Dette lå til grunn for spørsmålene i respondentintervjuene som omhandlet tidsbruk, fordi det var et ønske å kartlegge hvor lang tid respondentene bruke og eventuelt hvorfor. Svarene fra respondentintervjuene tyder på at tidsbruken varierer fra gang til gang, og operatør til operatør.

Et interessant funn er at operatørene selv påpeker at egen forventning til resultatet påvirker tiden de bruker på dimensjoneringen. En kan se for seg flere aspekter dette kan påvirke:

1. Prosessen gjennomføres mindre nøye med færre vurderinger underveis
2. Dersom resultatet verktøyet produserer ikke er i henhold til forventningene, kan:

- (a) Operatøren forkaste sin egen forventning og stole på verktøyet
- (b) Operatørens tillit til verktøyet svekkes, ettersom det ikke produserer det ”forventede” svaret, og operatøren stoler på sin egen vurdering
- (c) Operatøren går tilbake og sjekker variablene igjen, både for å sjekke at riktige verdier ble tastet inn og for å søke en forklaring på hvorfor egen forventning og resultatet fra verktøyet ikke samsvarer

Dersom punkt 1 er tilfelle, og operatøren bruker mindre tid på prosessen dersom den føler seg sikker på hva resultatet kommer til å bli, kan dette muligens bidra til å øke sjansen for feil. Dette kan skje enten ved at operatøren bruker mindre tid på å lese av grafer og tabeller og henter ut feil verdi herfra, eller taster feil ved inntastingen i Excel-arket. Dersom resultatet som produseres er tilsvarende operatørens egen forventning, kan det antas at operatøren vil avslutte dimensjoneringen, selv om verktøyet kan ha produsert et svar ut fra feil forutsetninger.

Dersom resultatet produsert ikke er i henhold til forventningen, kan en se for seg at et av de tre utfallene i punkt 2 kan forekomme. Utfall (a) - forkasting av egen forventning for å stole på verktøyet - anses som minst sannsynlig. Det er bred enighet blant alle respondentene om at verktøyet alene ikke er tiltenkt til å kunne prognosere riktig mengde opsjoner for kjøp i RKOM, og at det er opp til operatøren å vurdere og være kritisk til resultatet. Derfor anses utfall (b) eller (c) å være mer sannsynlig.

Det trekkes frem som en styrke ved dagens verktøy at den vurderer det operatørene anser som relevante inputvariabler. Som et utgangspunkt for utviklingen av en ny løsning, bør dermed dagens inputvariabler vurderes som aktuelle også for den nye løsningen. I tillegg løftes verktøyets evne til å gi operatøren god innsikt i gjeldende systemforhold som en styrke. Dette burde et nytt verktøy også gjøre, noe respondentene understreker ved at visualisering av inputdata og ønske om en transparent løsning er blant de mest nevnte ønskene for en ny løsning.

Funnene knyttet til svakheter ved dagens løsning og ønsker for ny løsning tyder i stor grad på at det er metodikken rundt referansedag som operatørene opplever som området med det største forbedringspotensialet. Ved utviklingen av en ny løsning bør det derfor undersøkes hvordan dette kan gjøres på en bedre måte enn i dag. Den nye løsningen kan ta inspirasjon av hva operatørene selv har uttrykt, og sammenligne med flere referansedager som er valgt ut basert på flere kriterier enn i dag.

Respondentene løfter frem at dagens løsning åpner for stor grad av individuell frihet fra operatør til operatør. Dette kan og bør ses i sammenheng med en annen svakhet som løftes frem ved dagens løsning - at dagens retningslinjer er for dårlige. Før utviklingen av et nytt verktøy kan begynne, er det viktig at Statnett definerer klare retningslinjer for hvilke variabler som skal være input, og hvordan disse variablene skal velges. Dette vil danne grunnlaget for hvilke valg et automatisert verktøy tar ved innhenting av relevante variabler, noe som vil føre til mindre individuell frihet og mer enhetlig oppførsel, fordi verktøyet vil ta utgangspunkt i de samme kriteriene hver gang det benyttes.

6.4 Oppsummering av funn fra respondentintervjuer

Respondentintervjuene gjennomført i denne oppgaven har resultert i flere funn, og disse oppsummeres punktvis her.

- Utvalget av intervjuerespondenter anses å være representativt for operatørene på Landssentralen
- Intervjuerespondentene uttrykker at hvor mye tid de bruker på gjennomføringen av dagens løsning for dimensjonering av nødvendig RKOM varierer fra gang til gang, og avhenger spesielt av egen forventning til resultatet, tid på året, værvarselet for den kommende uken og prognoser for forbruk og utveksling den kommende uken
- Flere respondenter løfter frem at en styrke ved dagens løsning er at relevante og viktige variabler blir vurdert, og disse variablene bør derfor vurderes som inputvariabler også for en ny løsning
- De tre svakhetene ved dagens løsning som oftest blir trukket frem av respondentene, er metodikken rundt referansetime (beskrevet i kapittel 1.1), den høye graden av individuell frihet og dårlige retningslinjer
- Metodikken knyttet til sammenligning mot en referansetime blir spesielt kritisert med tanke på to aspekter: at kun en referansetime benyttes for sammenligning, og at referansetimen velges ut basert på produksjon og ingen flere kriterier
- Det er bred enighet blant intervjuerespondentene om at dagens verktøy alene ikke skal være i stand til å dimensjonere riktig mengde regulerkraftopsjoner, men skal brukes i samråd med operatørens egne erfaringer og vurderinger
- Syv respondenter trekker frem at dimensjonering av nødvendig kjøp i RKOM vil bli mye enklere etter overgangen til et D-2 perspektiv, ettersom prognoser for forbruk og utveksling vil være bedre for et kortere tidsperspektiv
- Blant ønskene for en ny løsning som er nevnt av intervjuerespondentene, er visualisering av inputdata, automatisk innhenting av data, en transparent løsning og ny metodikk for referansedag de mest nevnte ønskene
- Før utviklingen av et nytt verktøy kan begynne, må Statnett definere klare retningslinjer knyttet til hvordan de ønsker at en ny dimensjoneringsprosess skal være og hvilke inputvariabler som skal inngå.

Kapittel 7

Litteraturstudie: Dynamisk dimensjonering av FRR

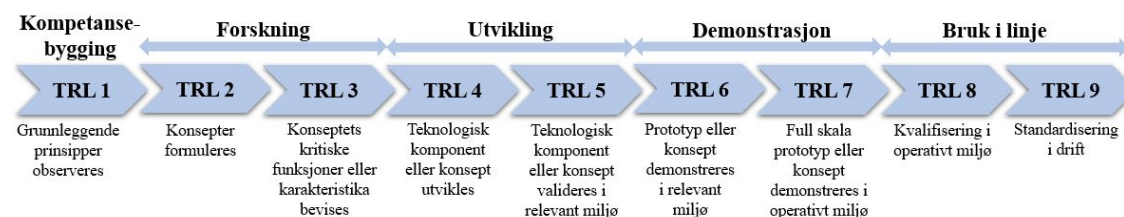
Formålet med litteraturstudien er å undersøke hva som er gjort innenfor fagfeltet på verdensbasis og i hvilken TRL-fase fagfeltet befinner seg. Det er også ønskelig å kartlegge hvilke maskinlæringsalgoritmer som er benyttet for dynamisk dimensjonering av FRR. Funnene i litteraturstudien benyttes for å identifisere realistiske mål for et nytt verktøy for dimensjonering av reserver (punkt 2 i GAP-analysen), og for å identifisere og definere veiene til målene (punkt 3 i GAP-analysen). 31 publikasjoner ble valgt for videre analyse ut fra kriteriene presentert i kapittel 5.3.

7.1 Litteraturanalyse

Den valgte litteraturen analyseres med hensyn til flere aspekter, både samlet TRL-nivå for fagfelt(ene), geografisk fordeling av publikasjoner, publikasjoner per år og hyppigheten av ulike algoritmer innenfor kunstig intelligens i publikasjonene.

7.1.1 Bedømming av TRL-fase

I bedømmingen av TRL-fase, er det valgt å gjøre to vurderinger: TRL-fase for fagfeltet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” og TRL-fase for fagfeltet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring”. Oversikten og kriteriene for TRL-fasene vises i figur 7.1 og i tabell 7.1.



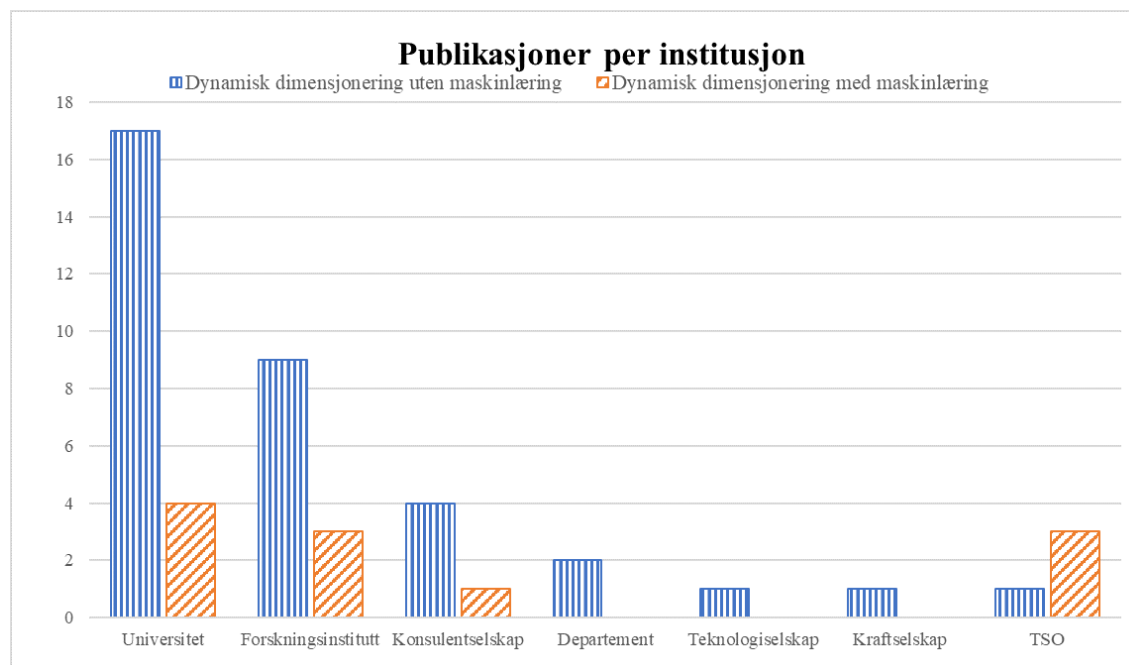
Figur 7.1: Illustrasjon over de ni ulike TRL-fasene. Illustrasjonen er basert på [54].

Tabell 7.1: Kriterier for de ulike TRL-fasene formulert av FoU i Statnett [55].

TRL-fase	Beskrivelse av metoden/kunnskap
1	Litteraturstudier gjennomføres for å bekrefte grunnleggende prinsipper for teknologien. En mulig idé beskrives som er basert på de identifiserte prinsippene.
2	Praktiske anvendelse av metoden eller behov for ny kunnskap formuleres. Dette omfatter også avgrensning av problemområde. Forberedende analytiske studier støtter konseptet og konseptet for å framskaffe ny kunnskap/data beskrives.
3	Aktivt arbeid med konseptet er startet. Dette inkluderer analytiske studier for å bevise at metoden kan fungere eller for å kunne bekrefte at valgt konsept for framskaffe ny kunnskap/data er egnet.
4	Grunnleggende deler av den nye metoden utvikles og tilpasses behovet. Konseptet for å framskaffe ny kunnskap/data utvikles i detalj slik at det er sikkert at den kan brukes.
5	Alle deler av den nye metoden integreres i et system for å kunne fastslå at de fungerer sammen. Metoden testes med realistiske problemstillinger. Konseptet for å framskaffe ny kunnskap/data testes på et veldig avgrenset område/utvalg for å kunne se om den fungerer.
6	Den praktiske gjennomførbarheten av den nye metoden demonstreres med realistiske problemstillinger. Konseptet for å framskaffe ny kunnskap/data testes på et avgrenset område/utvalg ved å gå gjennom hele prosessen som også inkluderer analyse av data og lignende.
7	Den nye metoden demonstreres i et operativt miljø, hvor den er integrert med eksisterende operative løsninger og prosesser. Ny kunnskap/data framskaffes og analyseres slik at den kan brukes i operative prosesser.
8	Metoden/kunnskap brukes og evalueres i reelle operative situasjoner.
9	Metoden/kunnskap anvendes i sin endelige form i drift over lengre tid.

Litteraturstudien hadde i utgangspunktet som hensikt å undersøke litteratur innenfor fagfeltet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring”, men litteratursøkene gjennomført endte på en litteratursammensetning hvor 24 av publikasjonene ikke benyttet kunstig intelligens eller maskinlæring. Det ble derfor naturlig å se på fagfeltet ”Dynamisk dimensjonering av FRR”, uavhengig av metode, i tillegg.

For å vurdere TRL-fasen til de to fagområdene, er blant annet litteratursammensetningen undersøkt med hensyn til bidragsinstitusjon i figur 7.2. Histogrammet representerer publikasjoner som omhandler dynamisk dimensjonering med maskinlæring som metodikk ved oransje søyle, og publikasjoner som omhandler dynamisk dimensjonering uten maskinlæring som metodikk ved blå søyle.



Figur 7.2: Histogram som viser fordelingen av publikasjoner per institusjon, fordelt etter valgt metodikk (med/uten maskinlæring). Dersom flere institusjoner har bidratt til samme publikasjon, har alle bidragende institusjoner fått ett poeng.

TRL-fase for ”Dynamisk dimensjonering av FRR”

Fagfeltet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” inkluderer alle formene for dimensjonering av FRR med en dynamisk fremgangsmåte, inkludert dynamisk dimensjonering med maskinlæring som metodikk.

Det fremgår fra figur 7.2 at det er en overvekt av publikasjoner med bidrag fra universiteter og forskningsinstitutt, noe som kan tyde på at fagfeltet fremdeles er i forskningsfasen. Av de åtte bidragene som er publisert i 2017 og 2018 er det likevel interessant å merke seg at tre av publikasjonene ble utgitt av eller i samarbeid med en TSO. I tillegg presenterer flere av publikasjonene i litteratursammensetningen en reell case, og hvordan foreslått metodikk kan benyttes for dette. Dette samsvarer godt med beskrivelsen av TRL-fase 5 eller 6 fra tabell 7.1.

Som beskrevet i kapittel 5, har litteraturstudien har i hovedsak konsentrert seg om å finne litteratur som omhandler dynamisk dimensjonering av FRR med maskinlæring som metode, og det er mulig at litteratursammensetningen er lite representativ for hvor utviklet fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” er, uavhengig av metode. Fastsetting av TRL-fase for dette fagområdet kan derfor være noe unøyaktig.

TRL-fase for ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring”

Det er funnet et lite antall publikasjoner angående dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring, kun seks totalt. I tillegg er det valgt å inkludere enda en publikasjon i utvalget ettersom denne publikasjonen presenterer en algoritme innenfor kunstig intelligens med svært nært slektskap til maskinlæring [51].

Et så lite antall publikasjoner kan tyde på at fagområdet fremdeles er i forskningsstadiet, og tilhører TRL-fase 2 eller 3. Samtlige av publikasjonene diskuterer eller tester likevel metodikken sin på et casestudie med reell data fra kraftsystemer i ulike land. Dette kan peke mot utvikling mot en høyere TRL-fase, da testing av metodikken på realistiske problemstillinger tilhører TRL-fase 5 og 6.

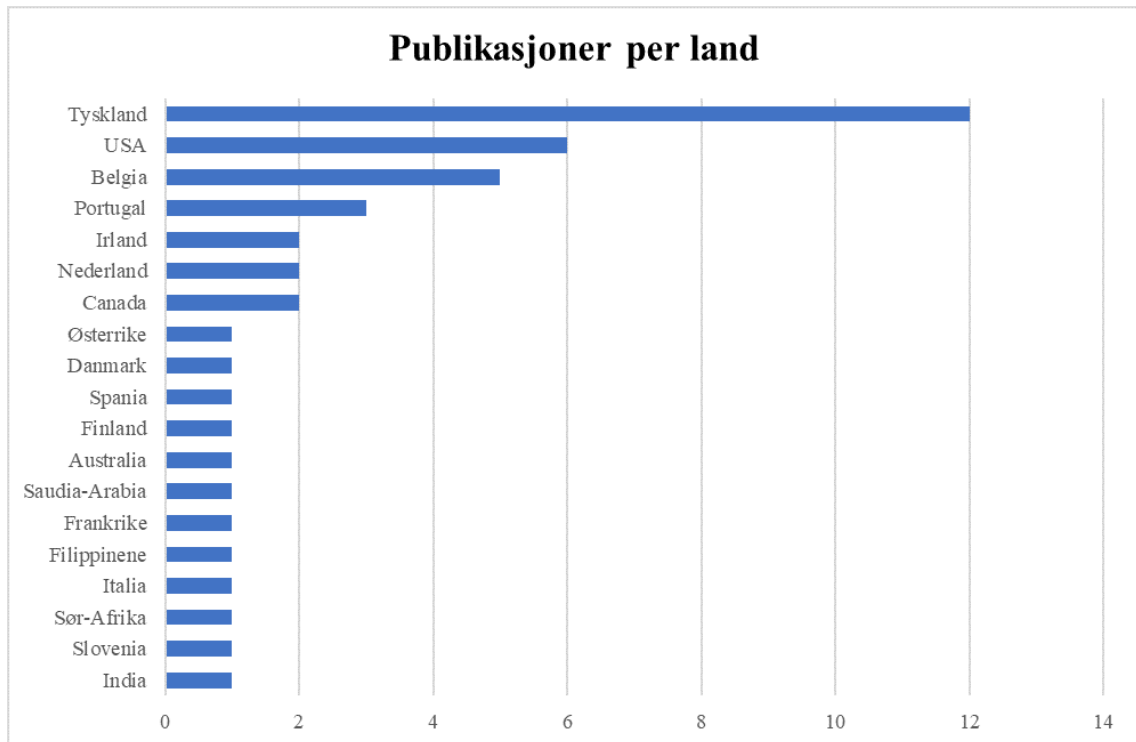
Selv om fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring” fremstår som lite utviklet, er bestanddelene i metodikken allerede godt utviklede metoder. Maskinlæring som fagfelt samsvarer med TRL-fase 9 i tabell 7.1, da metoden er anvendt i drift over lengre tid. Dynamisk dimensjonering i seg selv virker også som et mer utviklet fagområde. Dette kan peke mot at utviklingen av det spesifikke fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring” vil utvikles raskere enn hva som er typisk for nye fagområder, og raskt vil kunne klatre på TRL-skalaen.

7.1.2 Analyse av litteratursammensetning

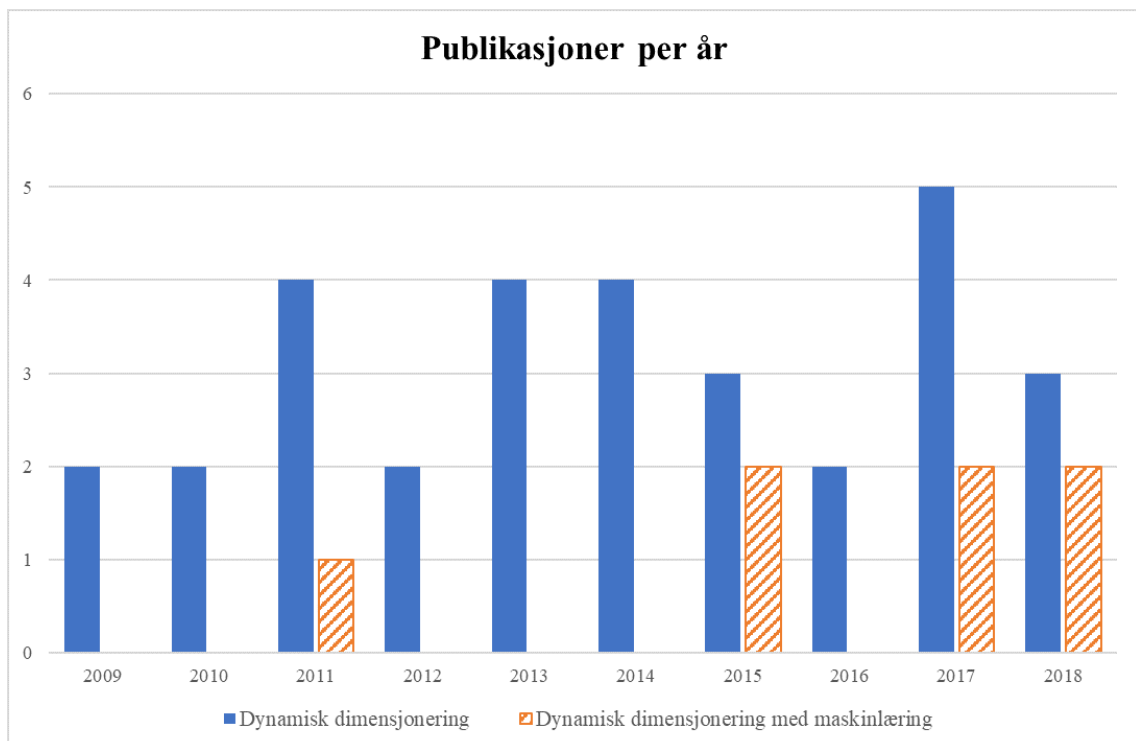
For den valgte litteratursammensetningen, har publikasjoner per land og publikasjoner per år blitt undersøkt. Figur 7.3 illustrerer fordelingen av hvilke land som har bidratt til publikasjonene. Litteratursammensetningen har noe geografisk spredning, men består av en stor andel tyske publikasjoner. 12 av totalt 31 publikasjoner er forfattet med bidrag fra en eller flere forfattere tilknyttet tyske institusjoner. Tre forfattere går igjen to ganger i de tyske publikasjonene, mens en forfatter har vært bidragsytende på tre publikasjoner. I tillegg er et tysk forskningsinstitutt, Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology, utgivelsesinstitusjon for flere av de tyske publikasjonene, og det kan fremstå som at fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” står sterkt her.

Fra figur 7.3 fremgår det også at det er utgitt flere publikasjoner hvor forfattere fra USA og Belgia er involvert. De belgiske bidragene inkluderer studien fra Elia, den belgiske TSOen, og en artikkel skrevet om den samme studien. Disse to bidragene kan derfor sies å utgjøre en stor andel av Belgias totale bidrag på fem publikasjoner.

Figur 7.4 viser fordelingen i publikasjoner per år. Som presentert i metodekapittelet ble det valgt å ikke inkludere publikasjoner publisert før 2009, da disse ikke anses som representative for hvor langt fagfeltene har kommet per i dag. De blå søylene i histogrammet representerer samtlige av de 31 publikasjonene i litteratursammensetningene, mens de oransje søylene kun viser publikasjoner som omhandler dynamisk dimensjonering av FRR ved kunstig intelligens, maskinlæring eller dyplæring som metode.



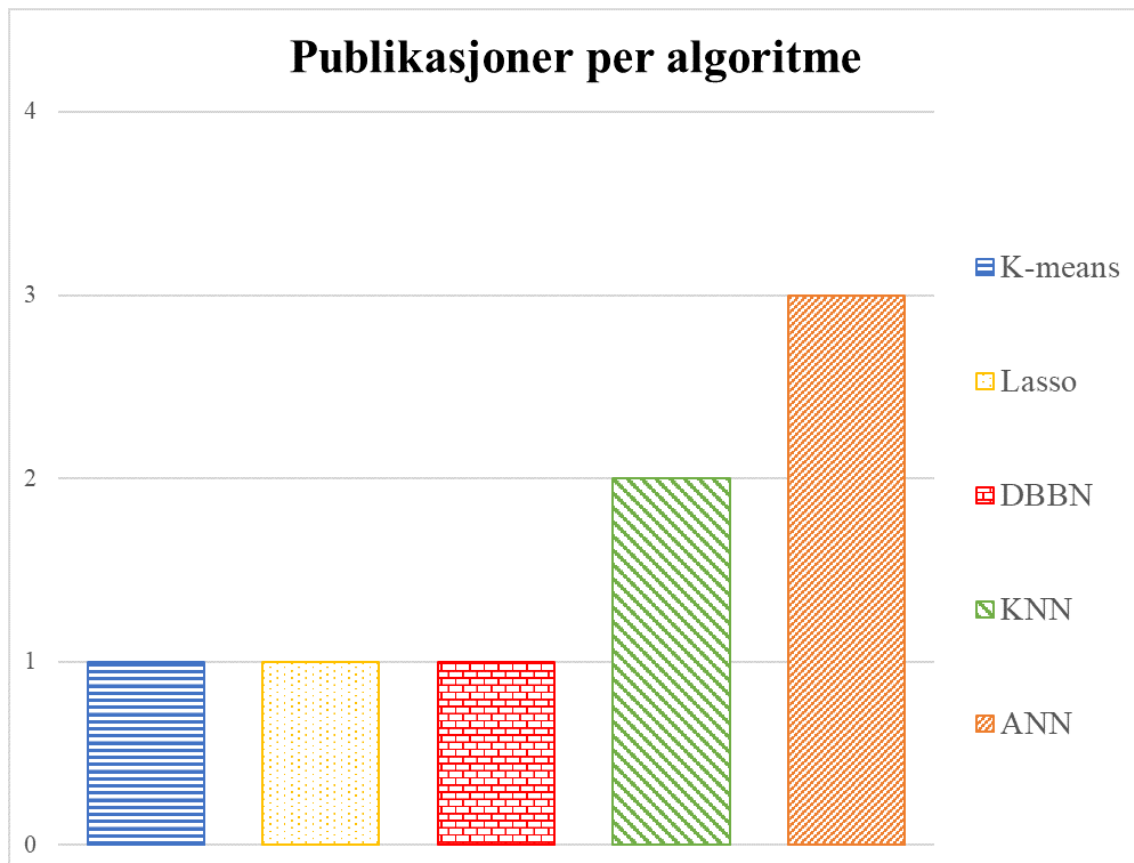
Figur 7.3: Illustrasjon på fordelingen av publikasjoner per land. Ved flere forfattere fra ulike land for en publikasjon, har alle bidragsland fått ett poeng.



Figur 7.4: Histogram over fordelingen av publikasjoner per år.

Generelt for hele litteratursammensetningen finnes ingen tydelig trend i økende antall publikasjoner publisert i de senere år, men det virker som kunstig intelligens, maskinlæring og dyplæring som metodikk har blitt benyttet i økende grad i nyere tid. Dette reflekteres ved at seks av syv valgte publikasjoner med kunstig intelligens, maskinlæring og dyplæring er publisert i 2015 eller senere.

Det er også blitt undersøkt hvilke algoritmer innenfor kunstig intelligens som er blitt benyttet i de ulike publikasjonene, og denne fordelingen vises i figur 7.5. Det fremkommer av figuren at kunstige nevralt nettverk (ANN) er mest undersøkt i litteratursammensetningen.



Figur 7.5: Illustrasjon på hvor ofte ulike algoritmer innenfor kunstig intelligens benyttes i utvalgt litteratur. I tilfeller hvor flere ulike algoritmer diskuteres i samme publikasjon har hver diskuterte algoritme fått et poeng.

7.2 Fordypning i utvalgte publikasjoner

I denne delen er det valgt ut publikasjoner for videre fordypning. Det er i hovedsak valgt å fokusere på publikasjoner som fokuserer på dynamisk dimensjonering av FRR med maskinlæring som fremgangsmåte, og samtlige av publikasjonene i litteratursammensetningen som presenterte denne metodikken har blitt grundig gjennomgått og vurdert for fordypning. I tillegg ble det bestemt at to publikasjoner som ikke benyttet maskinlæring skulle inkluderes, for å belyse andre muligheter ved dynamisk dimensjonering av FRR. Publikasjonene ble valgt ut basert på følgende vurderinger:

- Hvilke institusjoner som hadde bidratt til publikasjonen
- Om metoden er forsøkt anvendt eller diskutert med hensyn til et relevant casestudie (eks. kraftsystemet i et annet land)
- Hvor god og relevant publikasjonen var, særlig med tanke på presentert metodikk og resultater
- Hvor ny publikasjonen var

Artikkelen *Dynamic dimensioning approach for operating reserves: Proof of concept in Belgium* oppfylder de overnevnte kriteriene, men ble utelatt fra litteraturstudien da artikkelen i hovedsak oppsummerer funnene i den inkluderte publikasjonen *Dynamic dimensioning of the FRR needs*. De valgte publikasjonene og grunnlag for utvelgelse presenteres i tabell 7.2.

Tabell 7.2: Oversikt over hvilke publikasjoner som ble valgt ut til fordypningsstudie og begrunnelsen for hvorfor de er valgt. Tre av de valgte publikasjonene er fra Tyskland, noe som er ikke er unaturlig grunnet den geografiske fordelingen av publikasjoner.

	Publikasjon	Begrunnelse	Ref
1	Dynamic dimensioning of the FRR needs	Benytter maskinlæring. Studien er fra Belgia, og det belgiske kraftsystemet benyttes som case. Svært relevant publikasjon. Ny studie (2017). Den belgiske TSO-en Elia er forfatter.	[8]
2	Data-driven dynamic probabilistic reserve sizing based on dynamic Bayesian belief networks	Benytter kunstig intelligens. Det australske kraftsystemet er case. Ny artikkel (2018). Skrevet av forfattere med tilknytning til universitet og den australske TSO (AEMO). Presenterer metodikk som er i bruk hos AEMO i dag.	[51]
3	Dynamic Dimensioning of Frequency Restoration Reserve Capacity based on Quantile Regression	Benytter dyp læring. Benytter det tyske kraftsystemet som case. Godt forklart metodikk. Relativt ny artikkel (2015). Skrevet av forfattere tilknyttet universitet og sponset av et prosjekt finansiert av "The German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy".	[52]
4	Dynamic Data Driven Dimensioning of Balancing Power with k-Nearest Neighbors	Benytter maskinlæring. Bruker det tyske kraftsystemet som case. Gjennomfører relevante analyser. Relativt ny artikkel (2015). Forfattere tilknyttet universitet.	[56]
5	A new method for day-ahead sizing of control reserve in Germany under a 100% renewable energy sources scenario	Benytter ikke maskinlæring. Bruker det tyske kraftsystemet som case. Gode resultater. Relativt ny artikkel (2014).	[57]
6	Methodologies to Determine Operating Reserves due to Increased Wind Power	Benytter ikke maskinlæring. Presenterer flere mindre casestudier (Nederland, Tyskland, USA, Canada, Irland & Nord-Irland, Portugal, Spania). En av forfatterne er tilknyttet den danske TSO'en Energinet.dk.	[58]

7.2.1 Dynamic dimensioning of the FRR needs

Rapporten er forfattet av den belgiske TSOen Elia, og er en studie som undersøker hvilket potensiale dynamisk dimensjonering av sekundær- og tertiærreserver (FRR) kan ha for Belgia. Det sees på prognosering av både nødvendige opp - og nedreguleringsressurser i studien. Dagens belgiske løsning for dimensjonering av sekundær- og tertiærreserver baseres på at behovet predikeres årlig for det kommende året, ved hjelp av en sannsynlighetsfordeling basert på historisk observerte ubalanser, leveringsprognoser for fornybar energi og sannsynlighet for utfall av produksjonsenheter. Elia legger til grunn at behovet for sekundær- og tertiærreserver vil øke de kommende årene, grunnet økt fornybar energiproduksjon og innkoblingen av NEMO-link. De mistenker at deres statiske metodikk vil stå i fare for å overdimensjonere behovet grunnet store usikkerheter knyttet til prognoser på fornybar energiproduksjon knyttet til sol - og vindkraft og grunnet økt utfallsrisiko. Elia ønsker derfor å undersøke hvilket potensiale dynamisk dimensjonering av regulerkraftbehovet dagen før driftdøgnet, i et D-1 tidsperspektiv, vil kunne ha. Studien er delt i to deler, hvor den første delen fokuserer på analyse av seks potensielle metoder for dynamisk dimensjonering og del to presenterer "Proof of Concept" og en implementeringsplan for de mest lovende metodene.

I studien blir ulike ubalansedriverne identifisert, analysert og rangert etter potensiell påvirkning på ubalansen i systemet. Ubalansedriverne blir kategorisert som enten en prognoserisiko eller utfallsrisiko. Ubalansedriverne og tilhørende kategori presenteres i tabell 7.4. Det understrekes i studien at de identifiserte ubalansedriverne ikke klarer å beskrive alle ubalanser som oppstår, men at større ubalanser i stor grad forekommer som følge av de identifiserte ubalansene. Årsaken til mindre ubalanser blir ikke beskrevet gjennom de identifiserte ubalansedriverne, noe som studien legger frem at kan tyde på at ubalanserisiko er uforutsigbar på et D-1 perspektiv. Elia legger derfor til grunn at videre analyse av ubalansedriverne bør gjennomføres.

Tabell 7.4: Oversikten over ubalansedriverne og kategori som Elia har identifisert for det belgiske kraftsystemet.

Kategori	Ubalansedriver
Prognoserisiko	Forbruksprognoser Solenergiprognoser Vindkraftprognoser Markedsrisiko
Utfallsrisiko	Utfall av produksjonsenheter Utfall av HVDC-overføringer Utfall av havvindproduksjon

Basert på kategorisering og analyse av ubalansedriverne, blir totalt seks potensielle metoder for dynamisk dimensjonering foreslått. Metodene varierer fra å kun se på utfallsrisiko, være intuitive metoder knyttet til operatørens vurderinger eller være

statistiske metoder basert på maskinlæring. Metodene rangeres etter det Elia kaller ”økende intelligens”, og blir delt inn i tre grupper:

1. ”Minimal changes”: Metoder som benytter grunnleggende statistikk eller menneskelig intuisjon for å predikere ubalanserisiko i spesifikke situasjoner
2. ”Discrete”: Diskrete statistiske, scenariobaserte metoder basert på operatørens vurderinger eller maskinlæring benyttes for å predikere ubalanserisiko i alle situasjoner. Metodene tilhørende denne kategorien er basert på clustering, enten manuelt av operatør eller ved hjelp av maskinlæring.
3. ”Continuous”: Kontinuerlige metoder basert på maskinlæring som predikerer ubalanserisiko i alle situasjoner. To ulike maskinlæringsalgoritmer foreslås - Continuous Neighbours (KNN) og et nevralt nettverk.

De seks metodene ble vurdert ut fra følgende kriterier: gjennomførbarhet, pålitelighet, potensiale for å redusere behovet for FRR og robusthet med tanke på fremtidens systemegenskaper. I tillegg måtte resultatene fra alle metodene kunne kombineres med resultatet fra ”Outage Only”-modellen, en modell som tilhører gruppen ”Minimal changes”, via konvolusjon. Dette fordi ”Outage Only”-modellen er valgt metodikk for prognosering av utfallsrisiko. Vurderingene av de seks metodene etter vurderingskriteriene resulterte i at Elia valgte å inkludere følgende metoder i del to av sin studie: ”Outage Only”, ”Quantitative Clustering” og ”Continuous Neighbours”. De øvrige metodene ble ekskludert grunnet mangel på oppfyllelse av kriteriene eller vanskeligheter med konvolusjon med ”Outage Only”-modellen (gjelder det nevralt nettverket).

”Outage Only”-metoden fokuserer utelukkende på prognosering av FRR som kreves som følge av utfallsrisiko. Metoden baserer seg på prognoser på n r og hvor produksjon og utveksling vil forekomme, og legger disse til grunn for utfallsprognosen sin. På den måten vil kun sannsynligheten for utfall av aktive produksjonsenheter bli inkludert i prognosen, og prognosert retning for utveksling (import eller eksport) vil bli tatt hensyn til i prognosen. Utfallsprognosen vil dermed prognosere mengde FRR påkrevd ut fra de prognoserte systemforholdene, og ikke-aktive produksjonsenheter blir ekskludert fra prognosen.

”Quantitative Clustering”-metoden benytter seg av maskinlæringsalgoritmen ”k-means” for å dimensjonere FRR med hensyn til prognoserisiko. Algoritmen deler historiske observasjoner inn i grupper basert på observasjonenes likhet med hverandre. For ”k-means” algoritmen er likhet definert som gjennomsnitt, og hver observasjon tilskrives den gruppen som har gjennomsnittsverdi nærmest sine egne verdier. Ut fra de prognoserte systemforholdene plasseres også observasjonsenheter for det påfølgende døgnet i de gruppene de har mest likhet med. Ut fra variablene til alle enhetene innenfor en gruppe, lages en spesifikk sannsynlighetsfordeling for nødvendig FRR påfølgende døgn som følge av prognoserisiko.

”Continuous Neighbours”-metoden er basert på en statistisk analyse hvor modellen trenes til å gjenkjenne lignende systemforhold, og benytter seg av maskinlæringsalgoritmen ”k-nearest neighbours”. Modellen identifiserer ”nærmeste” historiske en-

hetene til påfølgende døgn systemforhold, og lager basert på disse en sannsynlighetsfordeling for nødvendig FRR grunnet prognoserisiko for det påfølgende døgnet. Denne fordelingen blir så benyttet til å dimensjonere nødvendig FRR.

I del 2 av studien undersøkes de valgte metodene grundigere. Det konkluderes med at alle tre metodene oppnår en reduksjon i predikert FRR-behov, og samtidig har høyere pålitelighet enn dagens statiske løsning. Dette tyder på at modellene overdimensjonerer i mindre grad enn den tidligere statiske modellen gjorde. ”Outage Only”-metoden identifiseres som en nyttig metode å benytte i overgangen fra statisk til full-dynamisk dimensjonering, og som en potensiell metode å falle tilbake på fordi den har lav grad av kompleksitet. For ”Quantitative Clustering”- og ”Continuous Neighbours”-metodene understrekes det at disse viser større potensiale jo mer fornybar, uregulerbar produksjon som installeres, hovedsakelig fordi de predikerer prognoserisikoer godt.

I tillegg gjennomfører studien en vurdering på hvor tett opp til driftsdøgnet prognoseringen kan og bør gjøres, hvor ledetidene D-1 og D-3 sammenlignes, og de undersøker hvilken tidsoppløsning som er hensiktsmessig å dimensjonere for. Motivasjonen for vurderingen rundt ledetid er at det kan bli knapt med tid for å skaffe tilstrekkelig med regulerkraft ved D-1. Funnene gjort tyder på at prognosene for FRR på et D-3 perspektiv er betraktelig dårligere enn på D-1. Spesielt trekkes det frem at prognosene for sol - og offshore vindkraft er langt dårligere for D-3, mens prognosene for forbruk, last og planlagt flyt på utenlandskabler fremdeles er gode for lengre ledetid. Det konkluderes med at en ledetid på D-3 ikke er ønskelig dersom ikke prognosene for sol - og vindkraft forbedres kraftig, og at D-1 perspektivet er det beste alternativet. I diskusjonen rundt tidsoppløsning understrekes viktigheten av å ha en høy nok tidsoppløsning til at variasjoner innad i driftsdøgnet kan bli tatt hensyn til. Det konkluderes med at en 8-timers oppløsning vil være tilstrekkelig til å fange de store variasjonene i behovene for oppreguleringsressurser. Nødvendige nedreguleringsressurser varierer stort innenfor et kortere tidsrom og en 4-timers oppløsning regnes som nødvendig for å kunne fange de viktigste variasjonene.

7.2.2 Data-driven dynamic probabilistic reserve sizing based on dynamic Bayesian belief networks

Artikkelen [51] introduserer en data-drevet probabilistisk metode for dimensjonering av FRR som baserer seg på Dynamiske Bayesian-Belief Nettverk (DBBN). Bayesian-Belief nettverk regnes som en probabilistisk modell innenfor kunstig intelligens som brukes for sannsynlighetsberegninger. Hovedmålet for artikkelen er å omdefinere pålitelighetsnivåene for FRR i det australske kraftsystemet. Den presenterte metodikken er i bruk hos den australske TSO’en AEMO til dimensjonering av FRR og vurdering av pålitelighetsnivå i dag.

Artikkelen påpeker at forbruk og produksjon har blitt vanskeligere å prognosere grunnet økt andel uregulerbar fornybar energi, økt energibehov, endret forbruksmønster, svingende kraftpriser og flaskehalser i nettet, og dette legges til grunn for å gå fra statisk til dynamisk dimensjonering av sekundær- og tertiærreserver (FRR). DBBN presenteres som en metode som håndterer disse usikkerhetene på en god måte. Bayesian-Belief Nettverk er grafiske modeller basert på rette, asykliske grafer,

hvor nodene i nettverket representerer tilfeldige variabler og kantene mellom node-
ne representerer variabelenes avhengighet av hverandre. Dynamiske Bayesian-Belief
Nettverk er statiske Bayesian-Belief Nettverk modellert over en tidsserie. DBBN-
modellen benyttes for å modellere de avhengige usikkerhetene i systemet. Hovedmål-
et til modellen er å prognosere hvor mye ”overflødig” produksjon som er tilgjengelig
ved en bestemt last, under forutsetningen av at dette da er tilgjengelig som driftsre-
server. Modellen trenes på inputdata som inkluderer prognoser for last, utveksling
mellom regioner, vær, systempriser og nåværende produksjonsnivå fra ulike energi-
kilder.

I etterkant av treningen av modellen, har det blitt gjennomført en følsomhetsanaly-
se som avslører at viktigheten av de ulike inputvariablene varierer både ut fra hvor
lenge før driftstimen dimensjonering av FRR foregår og hvilken region i kraftsystemet
det dimensjoneres for. Dette tas i betraktning når endelig trening av modellene
for de ulike regionene gjennomføres. For omdefinering av pålitelighetsnivåene til
FRR, introduseres det en ny enhet for kvantifisering av usikkerheten ved prognose-
ne av tilgjengelig overflødig produksjon kalt Forecasting Uncertainty Measurement
(FUM). Pålitelighetsnivåene er knyttet til sannsynligheten for at systemet ikke har
nok FRR til å kunne opprettholde driftsikkerheten ved ulike systemforhold, og de
nye definisjonene tar FUM-verdien i betraktning ved erklæring av pålitelighetsnivå.

Artikkelen presenterer gode resultater med den nye metodikken. Faren for at sys-
temet skulle få et pålitelighetsnivå tilsvarende at dimensjonerende feil i systemet
fører til utilstrekkelig FRR og påfølgende lastutkobling ble predikert en dag tidli-
gere ved bruk av dynamisk metodikk enn ved tidligere statisk metodikk. Generelt
klarte DBBN-modellen å predikere tidligere og mer treffsikkert når situasjoner med
utilstrekkelig FRR kan forekomme, noe som gir operatørene bedre tid å håndtere
situasjonen.

7.2.3 Dynamic Dimensioning of Frequency Restoration Re- serve Capacity based on Quantile Regression

Artikkelen introduserer en ny metodikk for prognosering av nødvendig FRR basert
på kvantilregresjon og nevralt nettverk på et D-1 perspektiv. Motivasjonen for ut-
viklingen av en ny, dynamisk metodikk er at statiske metoder ikke tar hensyn til
oppdaterte prognoser for viktige faktorer, som vindkraftprognoser, som kan føre til
feildimensjonering av nødvendig FRR. Dette er spesielt tilfelle i systemer med stor
andel uregulerbar fornybar energi, slik som det tyske kraftsystemet, som benyttes
som scenario for sammenligning i prestasjonene til statisk og dynamisk metodikk.

Artikkelen identifiserer relevante ubalansedrivere som benyttes som inputdata i mo-
dellen, et feedforward nevralt nettverk med et skjult lag. Disse inkluderer last og
lastens gradient, andel sol- og vindkraft i produksjonsmiksen og tilhørende gradi-
enter, utendørstemperatur, og tidspunkt (både time og ukedag). Modellen benyttes
for å prognosere den mengden FRR, for både opp - og nedregulering, som vil være
tilstrekkelig for å kunne respondere tilstrekkelig på ubalanser med en viss sannsyn-
lighet P . Modellen trenes på reelle data fra det tyske kraftsystemet fra 2012, og
testes for dimensjonering av FRR i Tyskland i 2013.

Den dynamiske metodikken sammenlignes med statistisk metodikk med hensyn til hvor ofte de prognoserer utilstrekkelig FRR, hvor mye de prognoserer feil, hvilke konsekvenser feil prognosering fikk og hvor mye FRR som ble prognosert totalt. Det settes krav om at sikkerhetsnivået som skal oppnås ved dynamisk metodikk er tilsvarende dagens nivå hvor 99,955% av ubalansene skal kunne dekkes av prognosert FRR. Resultatene som fremlegges i artikkelen viser at den dynamiske modellen på en bedre måte fanger opp mønsteret i ubalansene, og dimensjonerer mindre FRR i perioden hvor lite er påkrevd. Dynamisk dimensjonering ved hjelp av det nevralt nettverket gjør det bedre enn statistisk dimensjonering på samtlige kriterier, og det konkluderes at den foreslåtte metodikken er både gjennomførbar og hensiktsmessig.

7.2.4 Dynamic Data Driven Dimensioning of Balancing Power with k-Nearest Neighbors

Artikkelen undersøker en ny metodikk for dynamisk dimensjonering av FRR basert på en KNN-modell. Dette gjøres ved å undersøke hvilke variabler som vil påvirke behovet for FRR og hvordan disse avhenger av hverandre, for å kartlegge om en KNN-modell vil kunne prestere godt under de gjeldende forutsetningene. Ingen resultater fra testing av KNN-modellen eller fra sammenligningen av KNN-modellen mot statistisk metodikk presenteres i artikkelen.

Artikkelen legger frem flere utfordringer ved prognosering av nødvendig FRR, som effekten av periodisitet på behovet for FRR og utfordringene ved å finne et riktig mål på prestasjon for modellen. I tillegg trekkes det frem at det er vanskelig å finne globalt optimale variabler for opptrening av modellen. Artikkelen presenterer en følsomhetsanalyse for kraftbalansen i Tyskland for perioden 2011-2013. Denne avdekker at kraftbalansen er avhengig av ukedag, tid på døgnet og hvilket kontrollområde som vurderes, fordi det er store regionale forskjeller fra område til område. Det understrekes at det derfor er viktig å finne lokalt optimale variabler og trene opp en modell per kontrollområde.

Videre analyser viser at ubalanse i områder med høy andel uregulerbar fornybar energi korrelerer med andel vindkraft i produksjonsmiksen. For områder med lite andel uregulerbar fornybar energi finnes ingen tilsvarende sammenheng mellom aktuelle variabler og ubalanse. Artikkelen konkluderer med at en dynamisk metodikk bygget på en KNN-modell vil ha en klar fordel ovenfor statiske modeller, ettersom den bedre tilpasser dimensjonering av FRR til de aktuelle systemforholdene.

7.2.5 A new method for day-ahead sizing of control reserve in Germany under a 100% renewable energy sources scenario

Artikkelen presenterer en ny probabilistisk, dynamisk metode for dimensjonering av FRR på timesbasis for det påfølgende døgnet, hvor prognoser for andel sol- og vindkraft i systemet inngår i dimensjoneringen. Artikkelen tester metodikken på et scenario hvor det tyske kraftsystemet har en produksjonsmikse på 100% fornybar energi. Resultatet fra dette sammenlignes med hvordan en statistisk metodikk ville prestert på samme scenario.

Den statistiske metoden som benyttes for referansemåling er en probabilistisk metode som tar hensyn til systemets stokastiske oppførsel. Metodikken dimensjonerer sekundær- og tertiærreserver for hvert kvarter for de påfølgende tre månedene. Den baserer seg på utviklingen av sannsynlighetsdistribusjoner for ulike ubalansedrivere basert på historiske data, hvor de ulike distribusjonene gjennomgår konvolusjon for å lage en distribusjon for sekundærreserver og en for tertiærreserver. Metodikken tar ikke hensyn til prognoser for sol - og vindkraft i sin dimensjonering, kun historiske data.

Artikkelen argumenterer for at dersom sol- og vindprognoser skal bli inkludert, må dimensjoneringen av FRR foregå tettere opp til driftsøyeblikket. I tillegg må produktlengden for FRR reduseres til eksempelvis en time, slik at store tidsavhengige variasjoner i prognosene kan bli tatt hensyn til. Den dynamiske metoden som foreslås i artikkelen bygger på samme metodikk som den statiske de sammenligner seg med, men den benyttes på et day-ahead perspektiv og dimensjonerer FRR for hver time påfølgende dag. I tillegg er sol- og vindprognoser er inkludert i metodikken. Det lages en sannsynlighetsdistribusjon for sol - og vindkraft for den påfølgende dagen som avhenger både av prognosene for påfølgende dag og av sannsynlighetsdistribusjonen for sol - og vindkraft for nåværende dag. På denne måten er det tiltenkt å fange opp de spesifikke karakteristikkene for sol- og vindkraftprognoser på en bedre måte enn normaldistribusjon ville gjort.

Artikkelen sammenligner resultatene fra statisk metodikk og dynamisk metodikk på det presenterte scenario, og konkluderer med at den dynamiske metodikken bidrar til å halvere det totale behovet for sekundær- og tertiærreserver sammenlignet med den statiske metodikken når samme sikkerhetsnivå opprettholdes.

7.2.6 Methodologies to Determine Operating Reserves due to Increased Wind Power

Artikkelen presenterer nye definisjoner for kategorisering av FRR-produkter etter hvilke ubalanser de reagerer på og hvilken reaksjonstid produktene har. Videre bruker artikkelen disse definisjonene til å presentere tre fremgangsmåter for dimensjonering av FRR for systemer med økende andel vindkraft - deterministiske metoder, statistiske metoder og metoder som benytter seg av konvolusjon, hvor alle tre metodene kan benyttes enten for statisk dimensjonering eller dynamisk dimensjonering. Avslutningsvis blir flere casestudier presentert, hvor de ulike metodene er benyttet.

Artikkelen presenterer to hovedkategorier for FRR-produkter: FRR som benyttes i normaldrift ved ubalanser grunnet prognosefeil eller avvik fra produksjonsplanen (kategori 1), og FRR som benyttes ved utfall eller større uforutsette hendelser (kategori 2). Videre påstår artikkelen at tidligere studier gjennomført på påvirkningen av vindkraft på behovet for FRR har vist at vindkraft ikke påvirker behovet for FRR-produkter som faller innenfor kategori 2. Årsaken presenteres som todelt: utfall av potensiell vindkraft tilsvarer ikke et stort nok utfall til at det er den dimensjonerende hendelsen i systemet, og vindkraftproduksjonen endrer seg ikke kjapt nok til at det regnes som en "uforutsett hendelse".

Videre deler artikkelen opp metodene for dimensjonering av FRR i deterministiske metoder og probabilistiske metoder. Det påpekes at deterministiske metoder er for-

delaktige på grunn av deres enkelhet, men at metoden ofte overestimerer behovet for FRR. Artikkelen påpeker også at TSO-er gjerne benytter seg av ”operasjonelle prinsipper” som har utviklet seg over tid som følge av erfaring, og at dette ofte bidrar til at dimensjoneringen av FRR skjer i henhold til konservative, deterministiske metoder. Som en motvekt til deterministiske metoder, løftes probabilistiske metoder frem. Det spesifiseres at både deterministiske og probabilistiske metoder kan benyttes for både statisk dimensjonering og dynamisk dimensjonering.

Artikkelen presenterer flere mindre casestudier innenfor flere områder. Disse inkluderer casestudier på sammenligning av statiske metoder (deterministiske og probabilistiske), sammenhengen mellom ledetid for dimensjoneringen og FRR-behovet som følge av andel vindkraft i produksjonsmiksen, og sammenligning av dynamiske metoder (deterministiske og probabilistiske). Avslutningsvis konkluderer artikkelen med at dynamiske metoder vurderes som mest hensiktsmessige, fordi disse i mindre grad overdimensjonerer behovet for FRR. Med tanke på vurderingen av deterministiske metoder mot probabilistiske metoder, løftes probabilistiske metoder frem som fordelaktige grunnet deres mulighet til å informere operatøren om sannsynlighet og risiko knyttet til dimensjoneringen av FRR. Casestudien knyttet til sammenhengen mellom ledetid og FRR-behovet som følge av andel vindkraft i produksjonsmiksen benyttet to scenarioer: det tyske kraftsystemet anno 2009 (7,5% vindkraft i produksjonsmiksen) og det tyske kraftsystemet anno 2020 (antatt 19,5% vindkraft i produksjonsmiksen). Ledetidene D-1, og fire, to og en time før driftsøyeblikk ble sammenlignet, og det ble vist at kortere ledetid reduserte usikkerheten i vindkraftprognosene kraftig. Dette reduserte igjen behovet for FRR. En ledetid på 2-3 timer ble løftet frem som mest hensiktsmessig.

7.3 Diskusjon av litteraturstudie

7.3.1 Diskusjon av litteratursøk og litteraturanalyse

Litteratursøket ble gjennomført med begrensningene beskrevet i kapittel 5.3. Det ble i hovedsak gjennomført med fokus om å finne litteratur som omhandlet dimensjonering av FRR med maskinlæring som metode, og som nevnt i klassifiseringen av TRL-fase for fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” er det stor sannsynlighet for at litteratur som omhandler dynamisk dimensjonering uten maskinlæring som metode ikke er funnet. Likevel består en stor andel av litteratursammensetningen av publikasjoner uten maskinlæring som metodikk (24 av 31 publikasjoner). Grunnen til dette er sannsynligvis som todelte:

- Kriteriene satt for inkludering av litteratur muliggjorde utvelgelsen av litteratur uten maskinlæring som metodikk
- Litteratursøket ble utvidet med siste søkekombinasjon ”Dynamic dimensioning of balancing power”

Det er likevel viktig å bemerke seg at litteratursammensetningen ikke regnes som representativ for fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR”, da belysning av dette fagområdet ikke var hovedmotivasjonen ved utvelgelse av litteratur.

Det er usikkerhet knyttet til om det endelige utvalget av litteratur er et representativt utvalg for fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring”. Utvelgelsesmetodikken for litteratur var basert på vurdering av tittel og sammendrag for publikasjonen, og dersom kunstig intelligens, maskinlæring eller dyplæring ikke er nevnt eksplisitt her, kan publikasjonen ha blitt utelatt. Sjansen for dette ble forsøkt minimert ved å inkludere kriterium 2 i vurderingen: ”Nevnes dynamisk dimensjonering i tittelen/sammendraget til publikasjonen?”, og ved å definere at kun 2 av 3 kriterier formulert i kapittel 5.3 måtte oppfylles for inkludering. Likevel kan relevante publikasjoner ha blitt utelatt dersom verken kriterium 2 eller 3 har blitt oppfylt.

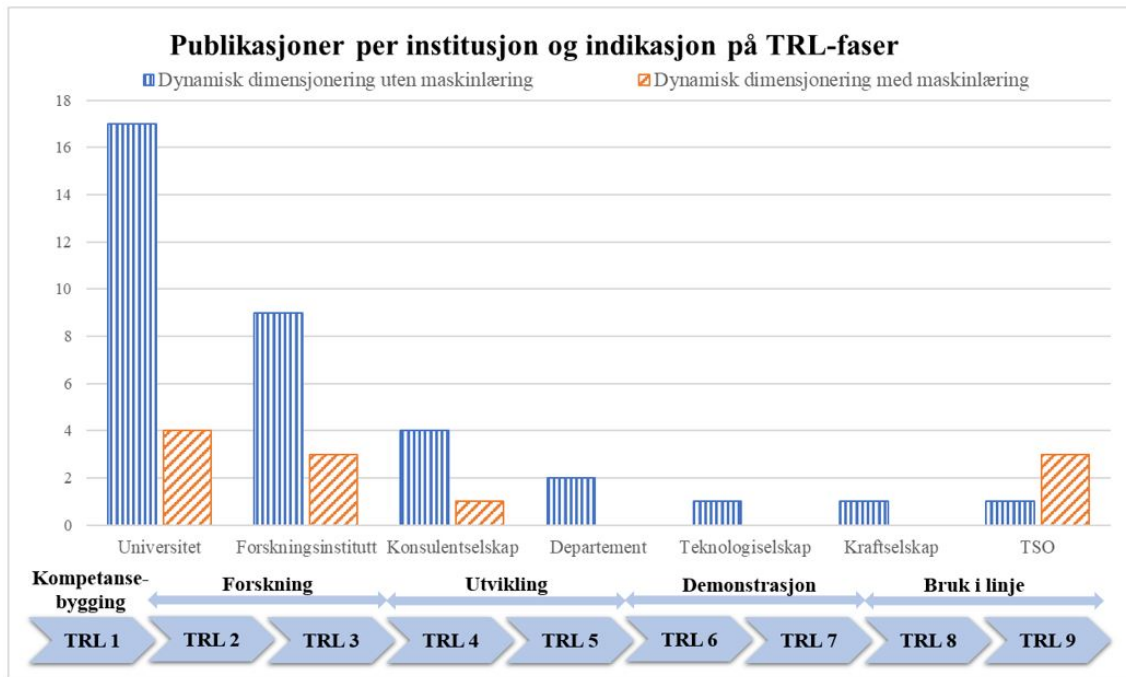
Litteratursøket ble avsluttet når et tilstrekkelig antall publikasjoner var funnet. Flere kombinasjoner av søkeord og søkemotorer ble derfor ikke testet ut, og dette kunne gitt en annen litteratursammensetning. De utvalgte søkeordene og kombinasjonen av de anses likevel som de mest relevante, og det antas derfor at de har gitt en relativt representativ litteratursammensetning.

7.3.2 Diskusjon av fordypningspublikasjoner

For utvelgelsen av publikasjoner for fordypning, ble det valgt å ha hovedfokus på fordypning i publikasjoner hvor maskinlæring/dyplæring presenteres som metodikk, fordi det er fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring” som i utgangspunktet ønskes belyst. Fire av de valgte publikasjonene reflekterer denne hensikten. I tillegg ble det valgt å inkludere to publikasjoner som viste gode resultater uten maskinlæring som metodikk, slik at andre metodikker for dynamisk dimensjonering også kunne vurderes.

I tillegg var bidragsinstitusjon(er) en viktig faktor for utvelgelse av publikasjonene, som presentert i kapittel 7.2. Alle fire publikasjonene som hadde en TSO som bidragsyter er valgt ut for videre fordypning. Dette fordi en TSOs bidrag innenfor et fagfelt kan tyde på at fagområdet nærmer seg en implementeringsfase med en høy TRL-fase, og disse publikasjonene ble ansett som mest relevante for å avdekke hvor utviklet fagområdet var. Figur 7.6 illustrerer en mulig sammenheng mellom bidragsinstitusjon og TRL-fase for et fagområde. Det fremkommer tydelig fra figur 7.6 at en overvekt av publikasjonene er utgitt i samarbeid med universiteter og forskningsinstitutt, noe som ofte tilsvarer lave TRL-faser. Trenden for området ”Dynamisk dimensjonering uten maskinlæring”, og generelt ”Dynamisk dimensjonering av FRR” (resultatet av blå og oransje søyle sammenlagt) er typisk for fagområder med en lav TRL-fase. Mange publikasjoner blir fremdeles gitt ut i samarbeid med universiteter, og institusjoner som driver med fagfeltet i praksis, kraftselskap og TSO i dette tilfellet, er mindre involvert i forskningen på fagfeltet. Trenden for ”Dynamisk dimensjonering med maskinlæring” er derimot mindre typisk, ettersom TSO-er har vært involvert i tre av totalt syv publikasjoner.

Det er vanskelig å sammenligne resultatene fra de ulike metodene presentert i fordypningspublikasjonene, fordi de testes på ulike scenario og med hensyn til ulike målenheter. Enkelte av de foreslåtte metodene er testet bedre enn andre, som tillegger resultatet mer troverdighet. Resultatene fra samtlige publikasjoner peker dog



Figur 7.6: Illustrasjon på en mulig sammenheng mellom bidragsinstitusjon og TRL-fase.

på at dynamisk metodikk, både ved maskinlæring og uten, er bedre enn statisk metodikk for dimensjonering av FRR. Det løftes frem at årsaken til dette er at statiske metoder ikke tar eller har muligheten til å ta prognoser for uregulerbar, fornybar produksjon med i betraktningen, fordi disse har liten eller ingen verdi for prognosering gjort for driftstimer langt frem i tid. Dynamisk dimensjonering, som skjer med mindre ledetid, vil kunne inkludere disse prognosene.

Alle publikasjonene i fordypningsstudien bruker økt andel av fornybar, uregulerbar produksjon i produksjonsmiksen som argument for å gå fra statisk dimensjonering til dynamisk dimensjonering. Et flertall av publikasjonene har et særlig fokus på hvordan økt andel vindkraft vil påvirke behovene for FRR, og hvordan usikkerhetene knyttet til vindkraftprognoser vil være avgjørende for mengden nødvendig FRR. Det norske kraftsystemet har en svært høy andel fornybar, men regulerbar produksjon. Det er derfor usikkert hvor overførbar problematikken rundt en høy andel uregulerbar produksjon i produksjonsmiksen er til Norge, fordi dette per i dag ikke er tilfelle hos oss. En kan likevel se for seg at dette vil være en mer relevant problemstilling når andelen vindkraft øker i Norge.

I fire av de fem publikasjonene som har gjennomført testing av foreslått metodikk, henholdsvis publikasjon 1, 2, 3 og 5, har D-1 perspektivet blitt benyttet for dimensjoneringen av FRR. Det er implisitt via "dynamisk" at dimensjoneringen skjer jevnlig og med oppdaterte systemforhold som grunnlag, men analyser rundt tilstrekkelig og passende ledetid bør gjennomføres. I publikasjonen fra Elia (publikasjon 1) gjøres en vurdering på ledetid hvor D-1 og D-3 sammenlignes, og den store andelen sol- og vindkraft i produksjonsmiksen ligger til grunn for hvorfor D-3 perspektivet blir ansett som et dårlig alternativ. Elia løfter likevel frem i sin studie at prognosene for

forbruk, last og flyt på utenlandskabler vurderes til å være tilstrekkelig gode for et D-3 perspektiv. Publikasjon 6 presenterer en casestudie på sammenhengen mellom ledetid og FRR-behovet som oppstår som følge av andel vindkraft i produksjonsmiksen. Her undersøkes ledetidene D-1 og fire, to og en time før driftsøyeblikket. Det løftes her frem at kortere ledetid reduserer usikkerheten i vindkraftprognosene betraktelig, som reduserer behovet for FRR. Denne artikkelen konkluderer med at en ledetid på mellom 2-3 timer er passende for dimensjonering av FRR for det tyske kraftsystemet anno 2009 og 2020. Ettersom andelen uregulerbar kraft i den norske produksjonsmiksen ikke er tilsvarende stor som i den belgiske eller den tyske, og prognoser for sol- og vindkraft derfor ikke vil være like utslagsgivende, kan en se for seg at dimensjonering av FRR for det norske kraftsystemet kan gjøres med en lengre ledetid. Dette vil derimot kunne endre seg når spesielt andelen vindkraft i den norske produksjonsmiksen øker i årene fremover. Dette bør derfor undersøkes nærmere etter at en følsomhetsanalyse for påvirkende variabler i de norske regulerkraftprognosene er gjennomført.

To av de undersøkte fordypningspublikasjonene, henholdsvis fordypningsartikkel 2 og 4, viser til at følsomhetsanalyser har pekt på at det kan variere fra område til område hvilke variabler som påvirker prognosene for nødvendig FRR. I fremtiden vil det være aktuelt å prognosere nødvendig m-FRR for hvert elspotområde separat i Norge. Tilsvarende forskjeller i variabler som påvirker prognosen vil derfor kunne finnes fra elspotområde til elspotområde. Spesielt kan en se for seg muligheten for store forskjeller i inputvariabler for en modell som skal prognosere nødvendig regulerkraft for NO1, et typisk forbruksområde med lite egen produksjon, og en modell som skal prognosere nødvendig regulerkraft for et elspotområde med mye produksjon og lite forbruk.

I publikasjon 1 og 5 diskuteres produktlengden til FRR (aFRR og mFRR). Statnett deler per i dag døgnet opp i to i RKOM: 'Natt' (00-05) og 'Dag' (05-24). Publikasjonene som er inne på tidsoppløsning for FRR-produkter, anser en så lav oppløsning som begrensende for potensialet til dynamisk dimensjonering av FRR. En av fordelene til dynamisk dimensjonering av FRR er at du i større grad kan fange opp periodiske variasjoner, og for FRR-behovet eksisterer disse variasjonene også innenfor døgnet. Det argumenteres derfor for at en høyere oppløsning med kortere produktlengder vil bidra ytteligere til bedre treffsikkerhet for prognosene.

Metodene lagt frem i de utvalgte publikasjonene skal prognosere mengden nødvendig FRR, for både opp- og nedregulering. I det norske regulerkraftopsjonsmarkedet kjøpes det kun inn opsjoner for oppreguleringskraft, som gjøres for å sikre tilstrekkelig bud for oppregulering i regulerkraftmarkedet. For nedreguleringsbud blir det ikke kjøpt inn opsjoner, da mengden bud på listen hittil alltid har vært tilstrekkelig til å dekke behovet. I Norge i dag blir derfor ikke nødvendig nedreguleringskraft prognosert. I fremtiden kan det hende behovet for å sikre seg tilstrekkelig nedreguleringsbud oppstår. Da vil det være naturlig at samme metodikken benyttes for å prognosere nødvendige opp- og nedreguleringsressurser.

Dagens løsning i Norge for dimensjonering og kjøp i RKOM legger opp til at det skal kjøpes tilstrekkelige opsjoner til at mengden oppreguleringsressurser tilgjengelig alltid tilsvarer eller overstiger kravet på 1700 MW. I publikasjon 1 fokuserer Elia på, i

sin prognosering for utfallsrisiko, at det er viktig å ta hensyn til hvilke produksjonsenheter som faktisk er aktive, og hvilken retning flyten på eventuelle kabler har. På denne måten vil ikke utfallsrisikoen for ikke-aktive enheter bli tatt hensyn til, noe som gjør at den aktuelle dimensjonerende hendelsen varierer fra hvilke enheter som er aktive.

7.4 Oppsummering av funn fra litteraturanalyse

Litteraturstudiet gjennomført i denne oppgaven har resultert i flere funn, og disse oppsummeres punktvis her.

- TRL-fase for fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” er vanskelig å sette basert på litteratursøkene gjort i denne oppgaven, men funnene tyder på et utviklet felt med TRL-fase over 5.
- Fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring” er som helhet i stor grad fremdeles i forskningsfasen, men har begynt utviklingen mot implementering og testing på reelle caser. Implementering av metoden er gjennomført i Australia. Fagområdet består også av to relativt utviklede fagområder, ”Dynamisk dimensjonering av FRR” og ”Maskinlæring” (TRL-fase 9). Utviklingen for fagområdet fra forskningsfasen til en høyere TRL-fase kan derfor antas å skje raskere enn vanlig.
- Universiteter står bak eller har bidratt til 68% av publikasjonene i litteratursammensetningen, og er institusjonen med klart flest bidrag.
- Noe geografisk bredde finnes i den valgte litteratursammensetningen, og til sammen 19 bidragsland er identifisert. Tyskland er likevel den utvilsomt største bidragsyteren med 12 bidrag, noe som kan skyldes at det tyske forskningsinstituttet Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology har gjort mye arbeid innenfor fagområdet.
- Blant algoritmene innenfor kunstig intelligens, maskinlæring og dyplæring som diskuteres i litteratursammensetningen er kunstige nevralt nettverk mest diskutert.
- Litteratursammensetningen anses som relevant for fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring”, men utvalget av publikasjoner er ikke representativt for fagområdet ”Dynamisk dimensjonering av FRR” da belysning av dette fagområdet ikke var fokuset for litteraturstudiet.
- Alle seks publikasjonene valgt for fordypning benytter økt andel av fornybar og uregulerbar produksjon i produksjonsmiksen som et argument for å undersøke mulighetene knyttet til dynamisk dimensjonering av FRR.
- Alle seks publikasjonene valgt for fordypning argumenterer for at dynamisk dimensjonering av FRR utkonkurrerer statiske metoder i kraftsystemer med stor andel fornybar, uregulerbar kraft i produksjonsmiksen.

- To av publikasjonene diskuterer prognosering av FRR-behov per område, og argumenterer for at påvirkende variabler i prognosen varierer ut fra systemforholdene i området.
- Høy andel sol- og vindkraftproduksjon i produksjonsmiksen løftes frem i publikasjonene som en årsak til at ledetiden bør være D-1 eller mindre for prognosering av nødvendig FRR.
- To av publikasjonene vurderer det dithen at høy tidsoppløsning for FRR-produkter er nødvendig for å kunne ta nytte av det fulle utbyttet fra dynamisk dimensjonering.
- Publikasjon 1 anser det som viktig å ta hensyn til hvilke enheter som er aktive for utfallsanalyser på et D-1 perspektiv, slik at man ikke inkluderer sannsynligheten for utfall av ikke-aktive enheter i analysen.

Kapittel 8

GAP-analyse for beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet

Denne GAP-analysen vil følge strukturen presentert i kapittel 5.1, og deles inn i tre hoveddeler: sammenfatning og vurdering av dagens praksis, identifikasjon av visjonen for et nytt verktøy og belysning av hva som skal til for å tette gapet mellom dagens tilstand og ønsket tilstand.

8.1 Sammenfatning og vurdering av dagens praksis

Sammenfatningen av dagens praksis er basert på funn fra respondentintervjuene, kapittel 1.1, kapittel 3.2.2 og i Statnett sitt interne dokument *Sjekkliste ved kjøp i RKOM-uke* [4].

I dag gjennomføres kjøp i RKOM-uke to ganger i uken, torsdag for den kommende helgen (lørdag og søndag) og fredag for kommende uke (mandag-fredag). Dagens løsning for dimensjonering av nødvendige kjøp i RKOM-uke baserer seg på en helhetlig vurdering av hvilken time som vil være dimensjonerende med hensyn til tilgjengelige bud i RK-markedet for den kommende perioden. Vurderingen av hvilken time som vil være dimensjonerende og hvilke bud man kan forvente seg i RKM gjøres basert på inputvariablene presentert i tabell 8.1.

I tabell 8.1 oppgis også kilden til de ulike variablene. Verdien for prognosert forbruk i den dimensjonerende timen den kommende uken hentes ut fra Wattsight og/eller SysPower. Det står spesifisert i ”Sjekkliste ved kjøp i RKOM-uke” at både SysPower og Wattsight skal sjekkes [4]. Sjekklisten spesifiserer ikke hvilken av verdiene som skal benyttes dersom de ikke samsvarer. Her virket det som om retningslinjene knyttet til hvilken verdi for forbruk man skal benytte er uklare.

Tabell 8.1: Oversikt over dagens inputdata i beslutningsstøtteverktøyet og opphavskilde til dataen.

Variabel	Kilde	Kommentar
Prognosert forbruk for dimensjonerende time kommende uke (timesverdi)[MW]	Wattsight/SysPower	
Prognosert/forventet utveksling kommende uke (timesverdi)[MW]	SysPower/Ansvarlig operatør/Overordnet vakt	Prognosert høyeste verdi for uken, verdi for utveksling i time med høyest forbruk eller høyeste mulige verdi ut fra eventuelle reduksjoner i eksportkapasitet
Generatorrevisjoner for dagen med høyest produksjon i den aktuelle tidsperioden [MW]	Internt system 1. Statnetts interne planleggingsverktøy for driftsstanser.	Verdien gjelder for dagen som helhet, ikke spesifikt for aktuell time
”RK opp”, referansedag [MW]	Internt system 2. Statnetts markedsverktøy.	
Kjøpt RKOM, referansedag [MW]	Internt system 2	
Generatorrevisjoner, referansedag [MW]	Internt system 1	

Verdien for forventet utveksling skal i følge retningslinjene bestemmes ut fra prognosert utveksling i SysPower, vindkraftprognoser fra Wattsight og ut fra eventuelle kapasitetsbegrensninger i kraftsystemet. Verdien for forventet utveksling skal vurderes sammen med forventet forbruk den kommende perioden, og operatøren skal basert på dette konkludere med hvilken time den kommende uken som har høyest prognosert produksjon. Ansvarlig operatør skal sammen med overordnet vakt så vurdere om prognosen virker fornuftig ut fra de rådende og forventede systemforholdene [4].

Retningslinjene lager rom for mye individuell frihet, noe funnene fra respondentintervjuene også peker på. Seks av respondentene løfter frem nettopp høy grad av individuell frihet som en svakhet ved dagens løsning. Når vurderingen av prognosert utveksling, vindkraftprognoser og eventuelle begrensninger opp mot hverandre skal gjennomføres, spesifiserer retningslinjene i liten grad hva som skal vektas tyngst. Med tanke på påvirkningen av vindkraftprognosene på utvekslingsverdien står det skrevet i retningslinjene [4]:

”Ved lav vindkraftproduksjon kan det forventes høyere eksport på Ska-gerak og Hasle og motsatt.”

”Lav vindkraftproduksjon” og ”høyere eksport” blir stående som lite definerte be- greper å forholde seg til, og det blir opp til den individuelle operatør å vurdere hva dette innebærer.

Verdien for generatorrevisjoner som hentes ut tilsvarer alt som er ute for revisjon i MW for den gjeldende dagen og ikke spesifikt for den gjeldende timen, enten dimensjonerende time eller referansetimen. Dette kan føre til at det benyttes et revisjonstall som er høyere enn hva som er tilfelle for den dimensjonerende timen eller referansetimen. Under respondentintervjuene pekte flere av respondentene på en uklarhet rundt hvordan dimensjonerende time skulle velges. Det ble og trukket frem at det var usikkerhet knyttet til hvor mye eventuelle revisjoner skulle påvirke hva som ble dimensjonerende time. Sjekklisten for kjøp i RKOM [4] legger frem følgende punkt knyttet til dette:

”Er det noen andre dag i neste uke der det er vesentlig mer generator- revisjoner, sjekk i så fall forventet produksjon den dagen/timene og gjør en ny prognose for den dagen i excel-skjemaet.”

Dette punktet åpner for individuell tolkning av hva som tilsvarer ”vesentlig mer generatorrevisjoner”, noe som vil kunne føre til at de ulike operatørene vurderer det på forskjellige måter.

I tillegg til stor grad av individuell frihet, er den andre svakheten som trekkes mest frem av respondentene svak metodikk for referansetime. I dagens løsning prognoseres forventet ”RK opp” ut fra hva som var ”RK opp” i en time (referansetime) med tilsvarende produksjon. I *Sjekklisten ved kjøp i RKOM-uke* [4] beskrives prosessen for valg av referansetime på følgende måte:

”Sjekk i [internt system 2] etter timer med tilsvarende produksjonsplan og hva som var anmeldt volum i RK i den timen. Sjekk helst nært i tid og unngå å sammenlikne med timer som har store produksjonsendringer (for eksempel time 6-7).”

I tillegg presiseres det i retningslinjene at dersom det ikke finnes en passende re- feransetime, kan man ta utgangspunkt i timen med likest produksjon, og teoretisk beregne seg frem til RK-volum ut fra gitte regler [4]. Det er tydelig fra retningslin- jene at referansetime kun velges basert på produksjonsplan. Dette tilsvarer kun et kriterium for valg av referansedag, samsvarende med respondentenes kritikk angå- ende få kriterier for valget. Det sammenlignes også kun mot en time, som kritisert av respondentene. Retningslinjene oppleves også som uklare på dette punktet, noe som kan åpne for individuell tolkning rundt hva ”nært i tid” og ”store produksjons- endringer” innebærer.

Mengde ”RK opp” for referansetimen, når kjøp i RKOM er trukket fra, danner grunnlaget for forventet ”RK opp” for dimensjonerende time. I tillegg påvirker for- skjellen i generatorrevisjoner mellom dimensjonerende time og referansetime for- ventningen. Faktoren for påvirkning av generatorrevisjoner på mengde ”RK opp” er

0,75 i dagens beslutningsstøtteverktøy. 0,75 er en konstant, erfaringsbasert faktor satt av Statnett. Faktoren tilsvarer at en økning på 1000 MW i generatorrevisjoner fra referansetime til dimensjonerende time, reduserer forventet "RK opp" med 750 MW [4]. Denne sammenhengen mellom generatorrevisjoner og "RK opp", med en faktor på 0,75, blir trukket frem som en svakhet fra to respondenter.

8.1.1 Oppsummering av tekniske og brukerrelaterte faktorer ved dagens løsning

Dagens verktøy består av et Excel-ark hvor alle inputvariablene fylles inn manuelt av operatøren. Variablene hentes fra fire ulike kilder, og må manuelt leses av fra kilden. Dette åpner for avlesningsfeil fra kilden og tastefeil inn i verktøyet, som anses som klare feilkilder i dagens løsning. Variablene som vurderes, presentert i tabell 8.1, anses av respondentene som variabler som er viktige når regulerkraft skal dimensjoneres.

Dagens løsning gjennomfører dimensjoneringen av nødvendige regulerkraftopsjoner med en ledetid på maksimalt syv dager, da dimensjonering for hverdager gjennomføres fredag for mandag til fredag kommende uke. For dimensjonering av nødvendige opsjoner i helgen er ledetiden kortere, maksimalt tre dager, da dimensjoneringen for helg gjennomføres torsdag for lørdag og søndag samme uke. Basert på dette, anses dagens løsning som en løsning som befinner seg i mellomsjiktet mellom statisk og dynamisk dimensjonering.

Dagens beslutningsstøtteverktøy dimensjonerer "RK opp" med utgangspunkt i "RK opp" i en referansetime med tilsvarende produksjon som forventet dimensjonerende time den kommende tidsperioden. Siden påvirkes forventet "RK opp" av eventuelle forskjeller i generatorrevisjoner mellom referansetime og dimensjonerende time med en faktor på 0,75. Denne faktoren er en satt faktor som ikke tar hensyn til hvilke aggregat som er ute for revisjon.

Grunnet utformingen på dagens beslutningsstøtteverktøy, med manuell inntasting av data, og de individuelle vurderingene som *Sjekklisten for kjøp i RKOM-uke* åpner for, legger dagens løsning opp til høy grad av menneskelig påvirkning og innflytelse. Operatørene uttrykker selv i respondentintervjuene at de opplever en høy grad av individuell frihet. I tillegg opplevde flere operatører usikkerhet rundt hvilke vurderinger som skulle gjøres i prosessen med dimensjonering av regulerkraft, grunnet dårlige/uklare retningslinjer.

8.2 Identifikasjon av visjonen for et nytt verktøy

For å definere hva som er ønskelig fra et nytt verktøy, har respondentintervjuer og litteraturstudie blitt gjennomført. Beskrivelser av metodikken bak intervjuer og litteraturstudien presenteres henholdsvis i kapittel 5.2 og 5.3. Funn fra respondentintervjuene og litteraturstudien er lagt frem i kapittel 6 og 7.

8.2.1 Visjonen for beslutningsstøtteverktøyet

En visjon kan defineres som: ”... en ideell, fremtidig situasjon for en organisasjon.” [59]. Visjonen for beslutningsstøtteverktøyet for dimensjonering og kjøp av regulerkraftopsjoner som legges frem her, er tiltenkt å være et fremtidig og ønsket bilde av det ideelle beslutningsstøtteverktøyet. Visjonen er todelt, hvor første setning belyser det brukerrelaterte faktorene ved visjonen og den andre setningen belyser det tekniske aspektet.

Visjonen baserer seg på ønskene fremført av operatørene under respondentintervjuer, og funn knyttet til hva som er mulig å forvente fra et verktøy som dimensjonerer regulerkraft fra litteraturstudien. Visjonen er satt med utgangspunkt i det norske kraftsystemet og Statnett som case.

Følgende visjon foreslås for fremtidens beslutningsstøtteverktøy:

Fremtidens beslutningsstøtteverktøy er brukervennlig, gir operatøren trygghet og innsikt, og fører til enhetlig oppførsel i markedet på tvers av operatører. Beslutningsstøtteverktøyet legger opp til en effektiv prosess, er automatisert og dimensjonerer nødvendig kjøp av regulerkraftopsjoner per elspotområde i Norge.

Innenfor ”brukervennlig” inngår det at verktøyet skal være enkelt for operatøren å ta i bruk og forstå. ”Trygghet og innsikt” setter krav til at verktøyet visualiserer inputdata og gjør operatøren trygg på at riktige og viktige variabler er vurdert i dimensjoneringen. En enhetlig oppførsel i markedet vil oppnås gjennom klarere retningslinjer til hvordan og hva som skal vurderes av beslutningsstøtteverktøyet.

”Effektiv prosess” sikter til at verktøyet må legge til rette for mindre tidsbruk ved dimensjonering av regulerkraftopsjoner. Automatisering av verktøyet vil bidra til en mer effektiv prosess, da blant annet innhenting av inputdata vil foregå raskere. Dimensjonering av nødvendige regulerkraftopsjoner per elspotområde innebærer at verktøyet dimensjonerer for hvert elspotområde for seg, ikke for Norge som helhet som i dag.

8.2.2 Målsetting for verktøyet for ulike tidsperspektiv

Overgangen til D-2 for regulerkraftopsjonsmarkedet er forventet å skje i løpet av slutten av 2019 eller starten av 2020. Det er ønskelig at en ny løsning er testet og implementert i forkant av dette, da D-2 krever at det brukes mindre tid på dimensjoneringen per gang. Flere av ønskene og mulighetene som respondentintervjuene og litteraturstudien belyste, er likevel større endringer som vil ta lengre tid å utvikle og implementere. Det er derfor blitt ansett som hensiktsmessig å legge frem to forslag til ny løsning for det norske kraftsystemet og Statnett som case, basert på to tidsperspektiver - ”Innen 2020” og ”Innen 2024”.

Ved utvikling og implementering av en kortsiktig løsning innen 2020, åpner det for at utvikling, testing og implementering av en mer langsiktig løsning kan foregå over et lengre tidsrom hvor den kortsiktige løsningen benyttes. I tillegg er det tiltenkt

at den kortsiktige løsningen løser det mest presserende problemet presentert i kapittel 1.1 knyttet til tidsbruk, mens en langsiktig løsning kan utvikles med hensyn på forventede endringer i kraftsystemet som vil kunne påvirke behovet og dimensjoneringen av regulerkraft. Begge løsningene, og antatte systemforhold som ligger til grunn for kravene som stilles til løsningen, presenteres i tabell 8.2 og videre i kapittelet.

Det understrekes at selv om den kortsiktige løsningen som presenteres vil kunne anses som en videreutvikling av dagens løsning, er ikke den langsiktige løsning en videreutvikling av den kortsiktige løsningen. De samme inputvariablene som dagens løsning og den kortsiktige løsningen benytter vil bli vurdert også for den langsiktige løsningen, men utover det vil den langsiktige løsningen utvikles fra bunn av. Hensikten med en langsiktig løsning vil være å utvikle et verktøy som på en bedre måte klarer å finne sammenhengen mellom ”RK opp” og aktuelle inputvariabler enn hva dagens løsning og den kortsiktige løsningen klarer.

Tabell 8.2: Oversikt over de ulike systemforholdene som ligger til grunn og hvilke målsettinger som settes for beslutningsstøtteverktøyet.

Tidsperspektiv	Systemforhold	Beskrivelse av verktøyet
Innen 2020	Tilsvarende dagens.	Samme utregningsalgoritme og fremgangsmåte som i dag. Automatisert innhenting av data. Visualisering av inndata.
Innen 2024	Mer fornybar, uregulerbar produksjon i produksjonsmiksen. Økt kapasitet på mellomlandsforbindelser. mACE-balansering i Norden.	Flere inputvariabler. Ny metodikk for sammenligning mot referansedag. Dimensjonering av nødvendig kjøp i RKOM per elspotområde.

I tabell 8.2 er tekniske krav til verktøyet nevnt. Visjonen formulert for verktøyet er derimot todelt, og den første delen av visjonen er knyttet til brukerrelaterte faktorer. Denne delen av visjonen søkes oppnådd både av den kortsiktige og den langsiktige løsningen. Andre del av visjonen, som omhandler tekniske spesifikasjoner, søkes oppnådd gjennom den langsiktige løsningen.

Forventningene til endring i det norske kraftsystemet frem mot 2024 og i etterkant legges til grunn for utviklingen av to løsninger. Per i dag anses dagens løsning med beslutningsstøtteverktøy for kjøp i RKOM som tilstrekkelig god, med unntak av tidsbruk, og det legges til grunn at Statnett vil anse denne metodikken som god nok også i nær fremtid. Frem mot 2024 er det derimot forventet større endringer i det

norske kraftsystemet, med stadig økt andel uregulerbar kraft i produksjonsmiksen og flere mellomlandsforbindelser. Dette gjør at 2024 anses som absolutt siste frist for innføringen av en ny og mer langsiktig løsning for dimensjonering av regulerkraft og regulerkraftopsjoner.

I *Forslag til nasjonal ramme for vindkraft* [15], lagt frem av NVE 1. april 2019, legges det frem at vindkraft sto for nesten 4% av Norges totale kraftproduksjon i et normalår ved utgangen av 2018. Dette tilsvarte en samlet produksjon på 5,3 TWh. I tillegg var 13 vindkraftverk under bygging ved utgangen av 2018, tilsvarende 6,9 TWh, og 37 vindkraftprosjekter med konsesjon som ikke er påbegynt, tilsvarende 10,7 TWh [15]. Dette tilsvarer en stor økning i vindkraft i norsk produksjonsmikse, og Statnett SF presiserer i sin rapport *Et elektrisk Norge - fra fossilt til strøm* [60] fra 19. mars 2019 at: ”Med alle investeringsbeslutningene som nå er tatt ser vi at norsk vindkraftproduksjon vil firedoble seg i løpet av tre år”. Denne endringen i produksjonsmikse i Norge, og i Norden generelt, med overgangen til mer uregulerbar kraftproduksjon vil gi større stokastiske ubalanser med produksjonsvolum som endres uventet og raskt. Dette utfordrer balanseringen, da det vil kunne skje store endringer fra markedsklareringen i elspotmarkedet og frem mot driftsøyeblikket [6], noe som setter krav til at mengden RKOM som kjøpes inn er riktig dimensjonert og gir tilstrekkelig regulerkraft.

Frem mot 2024 vil to nye mellomlandsforbindelser fra Norge idriftsettes: NordLink fra Sirdal til Tyskland, og North Sea Link fra Suldal til England. I *Nettutviklingsplan 2017* [23] understreker Statnett SF at de nye mellomlandsforbindelsene fører til en mer krevende systemdrift, blant annet grunnet større skift i kraftflyten og mer variasjon gjennom døgnet, økte strukturelle ubalanser innenfor timen og økt reguleringsbehov. De nye mellomlandsforbindelsene vil kunne øke den dimensjonerende hendelsen i Norge fra 1200 MW til 1400 MW [6], og med det påvirke utgangspunktet som benyttes for dimensjoneringen av reserver i Norge. NordLink og North Sea Link vil begge gå fra NO2, i likhet med Norges mellomlandsforbindelser til Danmark og Nederland. Dette vil kunne medføre enda større flytendringer i Sør-Norge, og potensielt by på utfordringer knyttet til flaskehalshåndtering fra NO2 [6].

Statnett, Svenska Kraftnät, Energinet og Fingrid jobber per 2019 med utviklingen og implementeringen av en ny, felles balanseringsmodell: *The Nordic Balancing Model* [61]. Inkludert i den nye balanseringsmodellen er blant annet overgangen til et nytt balanseringskonsept kalt mACE - modernized Area Control Error - en modell hvor man har kontroll på ubalansen innenfor hvert elspotområde i Norden [6]. Prosjektet *The Nordic Balancing Model* legger frem i sitt veikart for prosjektet at mACE-basert balansering søkes implementert i løpet av 2021 [61]. Overgangen til regulering per elspotområde vil kreve at man har tilgjengelig regulerkraft i hvert område. Dette, kombinert med at en respondent uttrykte at dimensjonering per elspotområde var ønskelig og at to publikasjoner pekte på at dimensjonering av FRR bør skje på elspotområde-nivå dersom det er store forskjeller mellom områdene, gjør det naturlig at en langsiktig løsning for dimensjonering av regulerkraftopsjoner dimensjonerer per elspotområde.

Overgangen til D-2 vil gjøre både den kortsiktige og den langsiktige løsningen presentert til mer dynamiske metoder, da ledetiden blir kortere enn i dag. En kan også

forvente at begge løsningene treffer bedre enn dagens løsning, nettopp på grunn av den korte ledetiden, da inputvariabler som forbruksprognoser og utvekslingsprognoser er langt sikrere med kortere ledetid. Likevel anses behovet for en mer kompleks løsning for å være tilstede på sikt. Økt andel uregulerbar produksjon i produksjonsmiksen, og innkoblingen av to nye mellomlandsforbindelser i Norge gjør potensialet for ubalanser større. Nettopp slike faktorer er trukket frem som motivasjon for utviklingen av nye metoder for dimensjonering av FRR av fordypningspublikasjonene, og burde være motivasjon for utviklingen av en ny kompleks løsning også i Norge.

Endring i faktorene som påvirker kraftsystemet i Norge kan også medføre endring i faktorene som påvirker dimensjoneringen av nødvendig kjøp i RKOM. Gitt endringene, er det naturlig å undersøke om flere variabler burde inkluderes i prognosene for nødvendig kjøp i RKOM.

8.3 Hvordan tette gapet mellom dagens tilstand og ønsket tilstand?

Dette kapitlet belyser hva som skal til for å tette gapet mellom dagens tilstand og ønsket tilstand. I delkapittel 8.2.2 ble det formulert en kortsiktig og en langsiktig løsning. I dette delkapitlet vil forslag til veien mot både en kortsiktig og en langsiktig løsning presenteres.

8.3.1 Hvordan tette gapet: Kortsiktig løsning

Videre følger punktvis steg for å nå målene presentert for den kortsiktige løsningen i 8.2. Utviklingsstegene er foreslått med utgangspunkt i Statnett som case. Hvert punkt består av en rekke underpunkter. Utvalgte punkter og underpunkter diskuteres under listen.

Punktene i listen er i stor grad basert på funn fra respondentintervjuer, hvor respondentene kommenterte svakheter ved dagens løsning og ønsker til en ny løsning. Den kortsiktige løsningen presentert tar sikte på å oppnå første del av visjonen, knyttet til brukervennlighet, trygghet, innsikt og enhetlig oppførsel i markedet på tvers av operatører. I tillegg er hovedfokuset til den kortsiktige løsningen å kutte ned på tidsbruk og automatisere.

Utviklingssteg for ny, kortsiktig løsning:

1. Bestemme metodikk
 - (a) Avgjøre hvilke(n) kilde(r) som skal benyttes for forbruksprognosen
 - (b) Avgjøre hvordan forventet utveksling skal settes
 - (c) Avgjøre kriterier for valg av dimensjonerende time
 - (d) Avgjøre kriterier for valg av referansetime
 - (e) Avgjøre programmeringsverktøy
 - (f) Avgjøre presentasjonsform mot operatør

- (g) Avgjøre metode for lagring
2. Programmere verktøyet
 - (a) Programmere innhenting av data fra respektive kilder
 - (b) Visualisere inndata og eventuell annen relevant data for operatør
 - (c) Dimensjonere nødvendig kjøp i RKOM basert på samme metode som dagens løsning
 - (d) Presentere resultatet for operatør
 3. Evaluere verktøyets resultater
 - (a) Sammenligne prognosert "RK opp" med faktisk "RK opp"
 - (b) Avholde forum for aktuelle operatører med gjennomgang av verktøyets historiske prestasjoner
 - (c) Gjøre eventuelle nødvendige endringer på verktøyet basert på evaluering

Det første steget som kreves for å kunne utvikle en ny løsning, er at Statnett enes om en metodikk for vurderinger som beslutningsstøtteverktøyet skal gjøre. For å avgjøre hvilke(n) kilde(r) som skal benyttes for forbruksprognose, anbefales det å gjøre en analyse på hvordan forbruksprognosene fra SysPower, Wattsight og en eventuell middelvei mellom de to prognosene har truffet tidligere. Det er også hensiktsmessig for Statnett å undersøke bedre hvilke vurderinger og variabler som ligger til grunn for prognosene, og ta med dette i vurderingen av hvilken de skal benytte. På et D-2 perspektiv kan også andre kilder til prognoser være aktuelt, og på sikt kan Statnetts egne prognoser for forbruk være aktuelle å benytte. Disse er per i dag under utvikling.

Per i dag er det ingen klare retningslinjer knyttet til hvordan verdien for utveksling skal settes, som diskutert i kapittel 8.1. Statnett må beslutte hvilken fremgangsmåte de ønsker for utvekslingsverdien. Det samme gjelder kriteriene for valg av dimensjonerende time - det er viktig at disse er klare og enhetlige, og at det avgjøres hvilken påvirkning generatorrevisjoner skal ha på valg av dimensjonerende time den kommende perioden. For valg av referansetime, anbefales det at kriteriene spesifiseres nøyere. Spesielt viktig er det at det spesifiseres hvilke krav som settes til nærhet i tid og tid på døgnet for referansetimen, og hva som eventuelt er fremgangsmåten ved mangel på referansetime nært nok i tid.

Med tanke på programmeringsverktøy, presentasjonsform ut mot operatør og metode for lagring anses det som viktig å vurdere hva som er mest brukervennlig og forståelig for operatørene på Landssentralen. Verktøyet skal brukes jevnlig under drift, og det er viktig at det oppfattes som en hjelp mer enn noe komplisert operatørene må lære seg. Det burde derfor etterstrebtes at den kortsiktige løsningen lages mest mulig lik dagens løsning, slik at overgangen blir minimal for operatørene. Med tanke på at en langsiktig løsning bør innføres i løpet av 3-4 år, er det lite hensiktsmessig at operatørene må bruke lang tid på å lære seg og sette seg inn i den kortsiktige løsningen.

For presentasjon ut mot operatørene anbefales det å etterstrebe at denne blir mest mulig lik slik informasjonen presenteres for operatørene i dag. Forbruksprognoser og generatorrevisjoner bør presenteres grafisk over den aktuelle kjøpsperioden, slik at operatøren får innsyn i variablene som ligger til grunn for vurderingen til verktøyet. Det anbefales at inndataen og vurderingene gjort lagres på tilsvarende måte som i dag, i et Excel-ark. Dette gjør at operatørene i likhet med i dag kan vurdere dataen under andre tidspunkt enn selve dimensjoneringen, og kan ettergå inputvariablene og resultatet i etterkant.

Avslutningsvis vil det være viktig å involvere alle operatører ansvarlig for dimensjonering og kjøp i RKOM i prosessen med å bestemme metodikken. De bør, i større grad enn ble oppnådd under respondentintervjuene, få komme med sine tanker og innspill til aktuell metodikk. Dette vil gi operatørene økt kjennskap og eierskapsfølelse til det nye, kortsiktige verktøyet, og vil forhåpentligvis føre til at overgangen fra dagens løsning til den kortsiktige løsningen blir god.

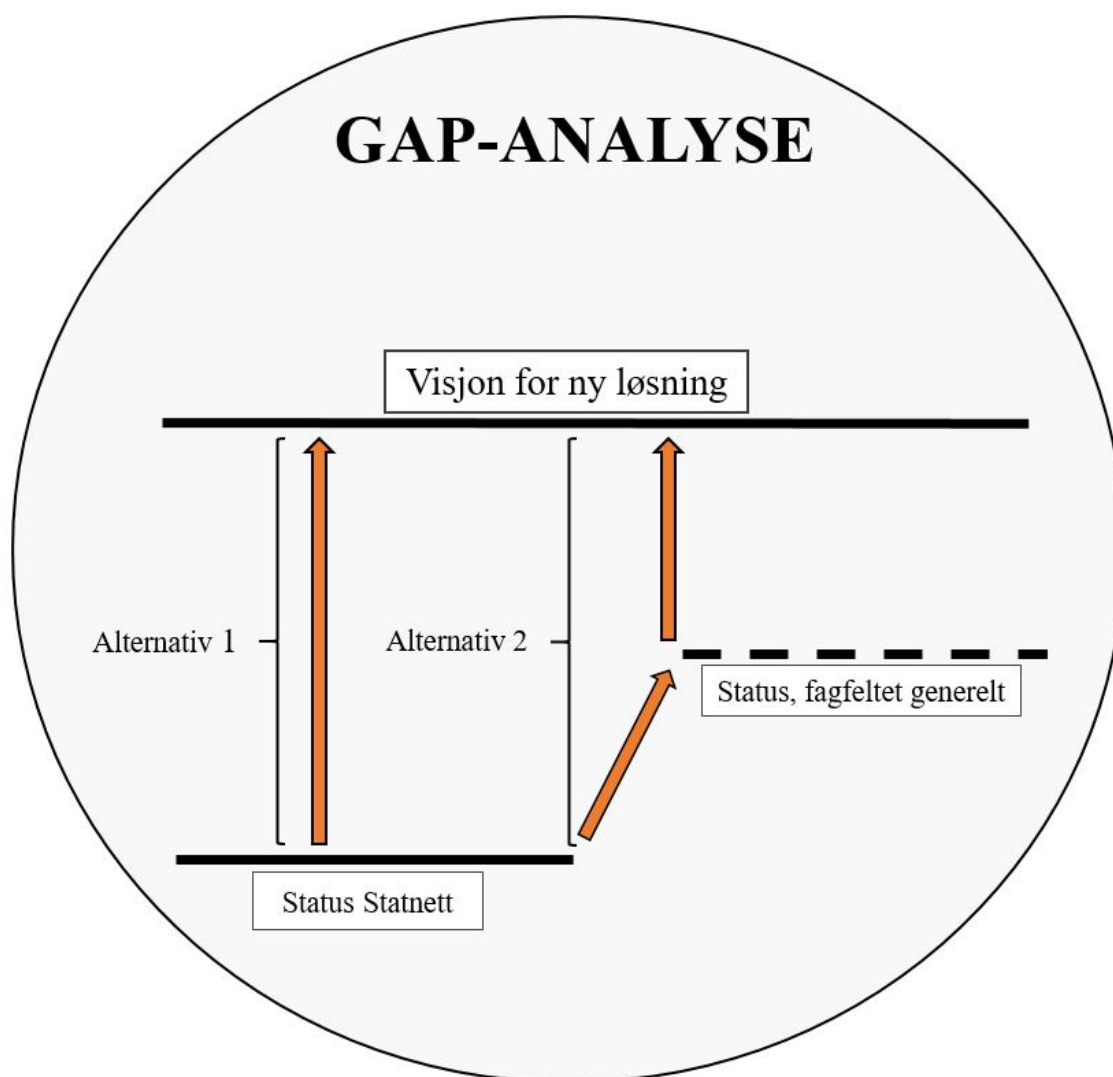
Det andre utviklingssteget som legges frem involverer programmeringen av verktøyet. Hovedmålet ved programmeringen av verktøyet vil være å automatisere innhenting av inndata fra de aktuelle kildene, som bestemt i trinn 1, og visualisere inndataen for operatøren. Det kan også være aktuelt at verktøyet henter inn og presenterer data som operatøren per i dag sjekker for å understøtte sine vurderinger - vindprognoser og temperaturprognoser for utvalgte lokasjoner. Dette vil redusere tidsbruken knyttet til dimensjoneringen, da operatøren ikke trenger å oppsøke eksterne kilder for å få denne dataen presentert. Resultatet av dimensjoneringen bør presenteres for operatøren i verktøyet. I tillegg bør verktøyet åpne for at operatøren kan taste inn hva som var faktisk kjøp i RKOM, og legge inn en kommentar dersom kjøpet avviker fra anbefalingen. Inndata, resultat av dimensjonering, faktisk kjøp og eventuell kommentar bør alt lagres i et Excel-ark, slik som i dagens løsning. Lagringen av denne dataen er også viktig for senere evaluering av verktøyet, og dataen kan eventuelt benyttes for opptrening av en modell i en langsiktig løsning.

40% av respondentene uttrykte i intervjuene at det hadde vært hensiktsmessig med evaluering av prestasjonen til et eventuelt nytt verktøy. Den kortsiktige løsningen bør legge opp til dette. Verktøyet bør åpne for at man kan taste inn en verdi for faktisk "RK opp" i etterkant av perioden man dimensjonerte og kjøpte for, og det bør undersøkes over tid hvor godt samsvar det er mellom prognosert "RK opp" og faktisk "RK opp". Ved større avvik mellom prognosert og faktisk "RK opp", bør det etterstrebes å finne årsaken til avviket. Resultatene bør legges frem for operatørene, som da kan få bedre kjennskap til hvordan verktøyet presterer. Dette kan bidra til at operatørenes tillit til verktøyet, som oppleves som lav i dag, bedres. Det bør også åpnes for at operatørene kan komme med andre innspill til hvordan det kortsiktige verktøyet kan og bør endres.

8.3.2 Hvordan tette gapet: Langsiktig løsning

Videre følger en oversikt over hvilke steg som bør tas på veien mot å utvikle, teste og implementere en langsiktig løsning for dimensjonering av kjøp i regulerkraftoppsjonsmarkedet hos Statnett. En kort beskrivelse av verktøyet og inngående diskusjon

rundt forventede systemforhold som ligger til grunn for den langsiktige løsningen ble presentert i kapittel 8.2.2.



Figur 8.1: Illustrasjon på de to alternativene som finnes for å tette gapet mellom dagens situasjon og ønsket, fremtidig situasjon.

Det finnes flere fremgangsmåter for utviklingen av en ny, langsiktig løsning for dimensjonering av regulerkraftopsjoner og kjøp i RKOM. Figur 8.1 illustrerer to veier mot målet. Som litteraturstudien viste, er fagfeltet "Dynamisk dimensjonering av FRR" relativt utviklet med hensyn til TRL-fase, og når Statnett skal utvikle sitt eget verktøy for dimensjonering av regulerkraftopsjoner på sikt vil det kunne være aktuelt å inngå et samarbeid med institusjoner som allerede har jobbet og publisert innenfor fagområdet. Dette tilsvarer alternativ 2 i figur 8.1. Det andre alternativet presentert i figur 8.1, alternativ 1, tilsvarer at Statnett utvikler verktøyet på egenhånd, uten samarbeid eller dialog med øvrige institusjoner. I dette tilfellet anses alternativ 2 som absolutt mest hensiktsmessig, da dette forhåpentligvis vil føre til at utviklingen av verktøyet går raskere.

Særlig aktuelt vil et mulig samarbeid med den belgiske TSOen Elia være, ettersom de har gjort en omfattende studie på området. I mailutveksling med representanter hos Elia i april 2019 [62], ble følgende uttrykt:

"At the moment, the project is live at Elia which means that we are using the developed tool to dynamically dimension our needs and procure them. If you are interested on implementing such a tool we can of course discuss this further together with our partner."

Videre kontakt og et eventuelt samarbeid med Elia ville derfor kunne være svært fruktbart, siden Elia allerede har implementert en metode basert på resultatene i *Dynamic dimensioning of the FRR needs* [8] som benytter maskinlæring.

Uavhengig av hvilket alternativ som velges, vil forarbeid være nødvendig. Dette inkluderer vurdering av nødvendige og ønskede inputvariabler for verktøyet. Flere av publikasjonene presentert i litteraturstudien fokuserer på identifikasjon av ubalansedrivere i forkant av utviklingen av en modell. En variant av dette vil være aktuelt også for et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i RKOM. Verktøyet skal benyttes for å prognosere mengde "RK opp", uten kjøp i RKOM, for forventede systemforhold. For å avgjøre hvilke variabler som bør være input til modellen, vil det derfor være nødvendig å undersøke om det finnes sammenhenger mellom historisk "RK opp" og aktuelle variabler. Som metode, foreslås korrelasjonsplott mellom variabler som benyttes per i dag og variabler som anses som mulig påvirkende, og "RK opp". Dette vil både være nyttig å gjøre for systemet som helhet, men spesielt per elspotområde, da litteraturstudien tyder på at påvirkende variabler kan variere fra område til område. Basert på funn fra respondentintervjuer og litteraturstudien, anbefales det at følgende inputvariabler vurderes i tillegg til de dagens løsning benytter:

- Vindprognoser for det nordiske synkronområdet
- Temperaturprognoser for utvalgte områder i det nordiske synkronområdet
- Totalt installert effekt i systemet
- Solprognoser for det nordiske synkronområdet
- Prisprognoser
- Oversikt over hvilke generatorer og utenlandskabler som er ute i revisjon

I tillegg bør tidspunkt for prognoser og ukedag prognosert for vurderes, slik at eventuelle sammenhenger mellom tidspunkt og ukedag, og forventet "RK opp" også avdekkes.

Elia legger frem i sin studie [8] at en utfallsanalyse burde inkluderes i prognoseringen, og at den burde ta hensyn til hvilke enheter som er aktive. Ved å ta hensyn til dette, vil dimensjonerende hendelse og krav til regulerkraft kunne variere. For et D-2 tidsperspektiv som per i dag er aktuelt for Norge, vil ikke produksjonsplaner være tilgjengelig, og en analyse rundt hvilke enheter som produserer og hvor mye som flyter på utenlandskabler vil være vanskelig å gjennomføre. Dersom man i fremtiden går over til en kort nok ledetid til at produksjonsplaner foreligger, vil

en slik utfallsanalyse kunne være hensiktsmessig. Det som derimot er tilgjengelig for et D-2 tidsperspektiv, er oversikten over hvilke produksjonsenheter og eventuelle utenlandskabler som er ute på revisjon. Dersom enheter som direkte påvirker den dimensjonerende hendelsen i Norge er ute for revisjon burde dette bli tatt hensyn til, slik at det ikke dimensjoneres for en hendelse som ikke kan skje. Nettopp derfor er det siste punktet - oversikt over hvilke generatorer og utenlandskabler som er ute i revisjon - regnet som relevant inputdata for en fremtidig løsning.

Da fremtidens langsiktige løsning er automatisert, vil datainnhenting foregå langt raskere enn for dagens løsning. Dette gjør det mulig å hente inn mer data enn i dag. Det bør etterstrebes at aktuelle inputvariabler og prognoseringen av forventet "RK opp" gjøres for hver time i dimensjoneringsperioden. Selv om tidsoppløsningen i dagens RKOM ikke åpner for kjøp i RKOM på timesbasis, vil prognosering av forventet "RK opp" på timesbasis kunne gi operatørene langt bedre oversikt over forventede systemforhold i perioden det dimensjoneres for. I fremtiden burde det også vurderes om tidsavsnittene i RKOM bør omdefineres, og om det bør være en høyere tidsoppløsning enn kun 'Natt' (00-05) og 'Dag' (05-24). Som diskutert i litteraturstudien, vil en høyere tidsoppløsning kunne føre til at en i større grad har mulighet til å tilpasse mengden som sikres i RKOM til variasjoner innad i døgnet.

Flere metoder kan tas i bruk når man skal utvikle en langsiktig løsning og et verktøy for kjøp i RKOM, og denne oppgavens funn tyder på at maskinlæring som metode bør vurderes. Som presentert i litteraturstudien har flere institusjoner undersøkt maskinlæring som metode, og en TSO - Elia - har implementert en metode for dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring. Dette tyder på at maskinlæring er en hensiktsmessig metode for dimensjonering av regulerkraft, og også kan være en god løsning for utviklingen av et verktøy som dimensjonerer nødvendig kjøp av regulerkraftopsjoner.

Enkelte utfordringer finnes ved bruk av maskinlæring. Det er viktig å være klar over at utviklingen av en maskinlæringsmodell er en tidkrevende prosess, noe Elia også understreker i sin studie [8]. Maskinlæring anses derfor kun som en aktuell metode for den langsiktige løsningen, da en lengre tidsperiode anses som nødvendig for datainnsamling, utvikling, trening, testing og implementering av en maskinlæringsmodell. Det er også viktig at et verktøy med maskinlæring som metode utvikles på en slik måte at operatørene opplever tillit til vurderingene som gjøres, og forstår hvilke vurderinger modellen legger til grunn for prognosen sin. Et samarbeid med Elia vil kunne gjøre utviklingsprosessen raskere, noe som vil redusere utfordringen knyttet til tidsbruk, og Statnett vil også kunne få anbefalinger knyttet til hvordan øke operatørens tillit til maskinlæringsmodellen.

Hensikten med oppgaven var i utgangspunktet å belyse hvordan maskinlæring burde benyttes, men ettersom resultatene fra GAP-analysen viser at maskinlæring kun er aktuelt for en langsiktig løsning, er det ikke fastsatt klart hvordan maskinlæring bør brukes enda. Det vil likevel presenteres en plan for utvikling, testing og implementering av et verktøy for den langsiktige løsningen med dimensjonering av kjøp i RKOM ved hjelp av maskinlæring. Planen er foreslått med Statnett som utgangspunkt. Punkt 3 i planen - utvikling av modell - er tiltenkt for å belyse og avgjøre hvordan maskinlæring bør og skal benyttes i verktøyet.

Planen er inspirert av implementeringsplanen for sin modell som Elia presenterer i studien *Dynamic dimensioning of the FRR needs*[8] og delvis basert på fremgangsmåten for utviklingen av en veiledet maskinlæringsmodell som legges frem i kapittel 4.2.

Utviklingssteg for langsiktig løsning:

1. Innsamling av historiske data
2. Dataprosessering
3. Utvikling av modell
 - (a) Fastsettelse av hvilke(n) algoritme(r) som skal testes
 - (b) Fastsetting av verdi for viktige parametre for de ulike modellene
 - (c) Trening og evaluering av modellene
 - (d) Valg av beste modell for videreutvikling
 - (e) Trening av beste modell på all data
4. Utviklingen av brukergrensesnittet for verktøyet
5. Forfatte dokumentasjon og retningslinjer for verktøyet
6. Brukertest av verktøyet
7. Parallellkjøring av verktøyet med allerede implementert verktøy
8. Vedlikehold av verktøyet
9. Evaluering av verktøyet

Punkt 1, innsamling av historisk data, skjer i henhold til funnene fra analysen rundt hvilke variabler som er påvirkende for mengden ”RK opp”. For punkt 3(a), fastsettelse av hvilke algoritmer som skal testes, peker funnene fra litteraturstudiet på at algoritmene KNN og K-means kan være aktuelle. Elia vurderer begge disse algoritmene i sitt studie [8], og viser til gode resultater når modellene har blitt brukt til predikering av nødvendig FRR. Etersom modeller basert på disse algoritmene har blitt utviklet og testet av Elia, anses et samarbeidsprosjekt eller tett dialog med Elia som spesielt relevant dersom Statnett ønsker å undersøke maskinlæring som metode for dimensjonering av kjøp i RKOM.

For punkt 4, utviklingen av brukergrensesnitt, er det viktig å ta hensyn til et av operatørenes mest nevnte ønsker til en ny løsning - at den skal være transparent. Operatørene må forstå vurderingene som verktøyet gjør, og hvorfor verktøyet prognoserer som det gjør. En del av dette kan bli oppnådd gjennom visualisering av inputvariablene i grafer, slik at operatøren har en oversikt over hvilke systemforhold som er forventet for perioden det prognoseres for. Ved valg av KNN eller K-means som algoritme vil det også være mulig å vise operatøren hvilke ”naboer” eller hvilken ”gruppe” som ligger til grunn for dimensjoneringen, noe som vil gi operatøren god innsikt i vurderingen verktøyet gjør.

Punkt 7 presenterer et viktig punkt i implementeringen av den langsiktige løsningen. Løsningen bør, over en lengre tidsperiode, bli testet mot verktøyet utviklet for den kortsiktige løsningen i drift. På denne måten kan operatørene bygge opp tillit til verktøyet og sammenligne prognosene fra den kortsiktige og langsiktige løsningen over tid.

Punkt 8 og punkt 9 i planen må gjennomføres jevnlig, også etter verktøyet er i drift. Punkt 8 inkluderer blant annet jevnlig opptrening av modellen på aktuell historisk data. Modellen bør til enhver tid være trent opp på den nyeste tilgjengelige historiske dataen, men ettersom man kan forvente at selve opptreningen kan være en tidkrevende prosess, bør det heller ikke gjennomføres for jevnlig. Hensiktsmessig tidsintervall for opptrening anses å være mellom ukentlig og månedlig. Punkt 9 inkluderer evaluering hvor operatørene får komme med tilbakemeldinger på brukervennligheten til verktøyet, i henhold til ønsket som fremkom i respondentintervjuene. Det inkluderer også evaluering på om større endringer av verktøyet må gjennomføres, for eksempel inkludering av en ny inputvariabel eller endring i algoritmen.

Kapittel 9

Konklusjon

Denne masteroppgaven har tatt utgangspunkt i hovedproblemstillingen: Hva er en mulig visjon for et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet, og hva er en mulig vei for å oppnå visjonen?

For å belyse hovedproblemstillingen ytterligere, ble det formulert tre underproblemstillinger som omhandlet kravene som bør settes til et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i RKOM, og eventuell bruk av maskinlæring i utviklingen av et nytt verktøy. Samtlige problemstillinger er besvart med utgangspunkt i Statnett som case.

For å besvare problemstillingene, ble det blant annet gjennomført respondentintervjuer med samtlige operatører ansvarlig for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet ved Statnetts landssentral. Respondentintervjuene ga nyttig og brukerrelatert vurdering av dagens løsning, og innsikt i behov hos de som skal ta fremtidige løsninger i bruk. Det ble også gjennomført en litteraturstudie for å avdekke hva som tidligere var gjort innenfor området.

Basert på funn fra respondentintervjuene og fra litteraturstudien, stilles følgende krav til et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet:

- Automatisert innhenting av data
- Visualisering av inndata
- Flere inputvariabler enn dagens løsning (presentert i tabell 8.1)
- Dimensjonering per elspotområde
- Brukervennlig
- Gi trygghet og innsikt
- Medføre enhetlig oppførsel i markedet på tvers av operatører

I litteraturstudien ble TRL-fasene til fagområdene "Dynamisk dimensjonering av FRR" og "Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring" undersøkt. Det overordnede fagfeltet - "Dynamisk dimensjonering av FRR" - ble vurdert til TRL-fase 5-6. "Dynamisk dimensjonering av FRR ved hjelp av maskinlæring" ble vurdert til å befinne seg i en lav fase (3-4) med utvikling mot TRL-fase 5.

Noe geografisk spredning er funnet blant publikasjonene, med en overvekt av tyske publikasjoner.

Publikasjonene i fordypningsstudien benytter økt andel fornybar og uregulerbar produksjon i produksjonsmiksen som argument for å undersøke muligheter knyttet til dynamisk dimensjonering av FRR. Dette er forventet å skje også i Norge, og i tillegg vil to nye mellomlandsforbindelser kunne medføre større skift i kraftflyten og variasjon innad i døgnet. Disse endringene og kravene formulert til beslutningsstøtteverktøyet ligger til grunn for visjonen som foreslås for verktøyet:

Fremtidens beslutningsstøtteverktøy er brukervennlig, gir operatøren trygghet og innsikt, og fører til enhetlig oppførsel i markedet på tvers av operatører. Beslutningsstøtteverktøyet legger opp til en effektiv prosess, er automatisert og dimensjonerer nødvendig kjøp av regulerkraftopsjoner per elspotområde i Norge.

Det foreslås at det utvikles en kortsiktig løsning og en langsiktig løsning for beslutningsstøtteverktøyet. Overgangen til D-2 er forventet å skje i løpet av kort tid, muligens innen slutten av 2019 eller starten av 2020, og innen det må en løsning med et mindre tidkrevende verktøy være utviklet. Den kortsiktige løsningen vil derfor fokusere på automatisering av innhenting av data og reduksjon av tidsbruk.

Respondentintervjuene og litteraturstudien avdekket likevel at større endringer kan og bør gjøres med beslutningsstøtteverktøyet. I tillegg forventes andelen uregulerbar produksjon i den norske produksjonsmiksen å øke de kommende årene, og to nye mellomlandsforbindelser vil bli driftsatt. Dette, kombinert med overgangen til det nye balanseringskonseptet mACE med ubalansekontroll per elspotområde, gjør at det anses som nødvendig å utvikle en langsiktig løsning som oppfyller større krav og håndterer nye systemforhold bedre. For den langsiktige løsningen, ble maskinlæring vurdert til hensiktsmessig å undersøke som metode. Da GAP-analysen avdekket at utviklingen av den langsiktige løsningen og et nytt verktøy som benytter maskinlæring er en tidkrevende prosess, er det ikke avklart i detalj hvordan maskinlæring bør benyttes.

Potensielle utfordringer ved bruk av maskinlæring inkluderer at utviklingsprosessen for en maskinlæringsmodell er tidkrevende, og at prognosene fra en maskinlæringsmodell kan ha lav tillit hos en operatør grunnet lav forståelse av vurderingene som gjøres. Ettersom Elia har utviklet, vurdert og senere implementert en metode for dimensjonering av FRR som er basert på maskinlæring, vurderes et samarbeid med Elia som fruktbart. Dette kan også hjelpe Statnett med å finne ut av de nevnte utfordringene, og potensielt fremtidige utfordringer, raskere.

9.1 Forslag til videre arbeid

Løsningene som foreslås utviklet i kapittel 8.3 presenterer en rekke innspill til videre arbeid. Utover dette anses også undersøkelser knyttet til effekten ved reduksjon av ledetid fra D-2 som hensiktsmessig som videre arbeid. Funn fra litteraturstudien peker på at overgangen til enda kortere ledetid enn D-2 vil kunne ha åpenbare

fordeler, og det bør gjøre undersøkelser på om dette stemmer for det norske systemet, og eventuelt hvilke endringer som kreves for å gjennomføre det.

Det ble spesifisert i begrensningene til denne oppgaven at det ikke ville bli gjennomført en samfunnsøkonomisk analyse rundt kostnadene for kjøp i RKOM. Dette anses likevel som svært relevant i fremtiden, og vil kunne gi ytteligere motivasjon for å utvikle en ny løsning og et nytt verktøy for kjøp i RKOM.

Bibliografi

- [1] Statnett. *Reservemarkeder*. URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/>. [Lesedato: 08.01.2019].
- [2] Statnett. *Tertiærreserver*. 2018. URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/tertiarreserver/>. [Lesedato: 08.01.2019].
- [3] Statnett. *Vilkår for tilbud, aksept, rapportering og avregning i regulerkraftopsjonsmarkedet (RKOM)*. 2018. Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/tertiarreserver/regulerkraftopsjonsmarkedet/>[Nedlastningsdato: 09.01.2019].
- [4] Statnett. «Sjekkliste ved kjøp i RKOM-uke». Internt, upublisert dokument. 2018.
- [5] Statnett SF mfl. *Cooperation Agreement. Nordic balancing cooperation*. Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/contentassets//nordic-cooperation-agreement-2018>. 2018. [Nedlastningsdato: 03.05.2019].
- [6] Statnett. *Systemdrifts - og markedsutviklingsplan 2017-2021*. Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/utvikling-av-kraftsystemet/systemdrifts-og-markedsutviklings/>. 2017. [Nedlastningsdato: 24.04.2019].
- [7] Olje - og energidepartementet. *Kraftmarkedet*. 2019. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/>. [Lesedato: 26.02.2019].
- [8] Elia. *Dynamic dimensioning of the FRR needs*. Lastet ned fra: http://www.elia.be/~media/files/Elia/users-group/Working-Group-Balancing/20171030_dynamic-dimension-of-the-frr-needs.pdf. 2017. [Lesedato: 03.05.2019].
- [9] Olje - og energidepartementet. *Forskrift om systemansvaret i kraftsystemet*. 2010. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2002-05-07-448>. [Lesedato: 05.03.2019].
- [10] G. G. Løvås. *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 2.utgave. Universitetsforlaget, 2004.

- [11] Olje - og energidepartementet. *Strømnettet*. 2017. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/>. [Lesedato: 25.02.2019].
- [12] Olje - og energidepartementet. *Forsyningssikkerhet*. 2019. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/forsyningssikkerhet/>. [Lesedato: 26.02.2019].
- [13] Det Norske Akademis Ordbok. *konvolusjon*. URL: <https://www.naob.no/ordbok/konvolusjon>. [Lesedato: 07.03.2019].
- [14] Store Norske Leksikon. *Monte Carlo-metode*. 2017. URL: https://snl.no/Monte_Carlo-metode. [Lesedato: 05.05.2019].
- [15] Norges Vassdrags- og energidirektorat. *Forslag til nasjonal ramme for vindkraft*. Lastet ned fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_12.pdf. 2019. [Nedlastningsdato: 02.05.2019].
- [16] Store Norske Leksikon. *parameter*. 2019. URL: <https://snl.no/parameter>. [Lesedato: 05.05.2019].
- [17] Dag Ingvar Jacobsen. *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* Basert på forelesning "Kvalitative intervjuer" av Tommy Tranvik. Lastet ned fra: <https://www.uio.no/studier/emner/jus/afin/FINF4022/v18/index.html>. [Nedlastningsdato: 16.04.19]. 2015.
- [18] Statnett. «KUBE15: Markedsløsninger for neste generasjon kraftsystem». Internt, upublisert dokument. 2015.
- [19] NVE. *Tilknytning til Europa - kjøp og salg av kraft*. 2015. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/engrosmarkedet/tilknytning-til-europa-kjop-og-salg-av-kraft/>. [Sist oppdatert: 20.02.2019]. [Lesedato: 26.02.2019].
- [20] EnergiNorge. *Kraftsystemet*. URL: <https://www.energinorge.no/fagomrader/stromnett/kraftsystemet/>. [Lesedato: 25.02.2019].
- [21] I. Wangensteen. *Power System Economics - the Nordic Electricity Market*. 2. utgave. Tapir academic press, 2012.
- [22] Olje - og energidepartementet. *Kraftproduksjon*. 2019. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/#vannkraft>. [Lesedato: 25.02.2019].
- [23] Statnett. *Nettutviklingsplan 2017*. Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/nettutviklingsplan-og-kraftsystemutredning/>. 2017. [Nedlastningsdato: 24.04.2019].
- [24] H. Sundheim. «Kurs for analyse: Praktisk kraftsystemforståelse. Del I - Balansering.» Internt, upublisert Statnett-dokument. 2016.
- [25] Nordpool. *Day-ahead overview*. 2019. URL: <https://www.nordpoolgroup.com/maps/#/nordic>. [Hentet dato: 26.02.2019].

- [26] Statnett. *Praktisering av systemansvaret*. 2018.
URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/praktisering-av-systemansvaret/>. [Lesedato: 26.02.2019].
- [27] NVE. *Markedssegmentene*. 2015.
URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/engrosmarkedet/markedssegmentene/>. [Sist oppdatert: 15.02.2018]. [Lesedato: 25.02.2019].
- [28] Nord Pool Group. *Price Calculation*. Udatert.
URL: <https://www.nordpoolgroup.com/trading/Day-ahead-trading/Price-calculation/>. [Lesedato: 06.03.2019].
- [29] Olje - og energidepartementet. *Balansemarked*. Udatert.
URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/balansemarked/>. [Lesedato: 05.03.2019].
- [30] Statnett.
Vilkår for tilbud, aksept, rapportering og avregning i marked for FCR. Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/primarreserver/>. 2019. [Nedlastningsdato: 25.04.2019].
- [31] Statnett. *Primærreserver*. 2018.
URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/primarreserver/>. [Lesedato: 04.03.2019].
- [32] Statnett. *Sekundærreserver*. 2018.
URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/sekundarreserver/>. [Lesedato: 04.03.2019].
- [33] Statnett. *Vilkår for tilbud, aksept, rapportering og avregning i sekundærreservemarkedet*.
[Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/contentassets//vilkar-for-sekundarreserver-afrr-gjeldende-fra-5.3.2019.pdf>]. 2019. [Nedlastningsdato: 05.05.19].
- [34] Statnett. *Vilkår for anmelding, håndtering av bud og prissetting i regulerkraftmarkedet (RKM)*.
[Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/reservemarkeder/vilkar-for-regulerkraftmarkedet-gjeldende-fra-02.04.2019.pdf>]. 2019. [Nedlastningsdato: 05.05.19].
- [35] Statnett. *Regulerkraftopsjonsmarkedet*. 2018.
URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/tertiarreserver/regulerkraftopsjonsmarkedet/>. [Lesedato: 05.03.2019].
- [36] S. Shalev-Shwartz og S. Ben-David.
Understanding Machine Learning - From Theory to Algorithms. Cambridge University Press, 2014.

- [37] S. Raschka og V. Mirjalili. *Python Machine Learning*. 2. Packt Publishing Ltd., 2017.
- [38] Datatilsynet. *Kunstig intelligens og personvern*. 2018. Lastet ned fra: <https://www.datatilsynet.no/globalassets/global/om-personvern/rapporter/rapport-om-ki-og-personvern.pdf> .[Nedlastningsdato: 05.02.2019].
- [39] A. Tidemann og A.C. Elster. *Maskinlæring*. 2017. URL: <https://snl.no/maskinl%C3%A6ring>. [Lesedato: 09.01.2019].
- [40] C. Hopkins. *What Makes a Machine Intelligent?* URL: <https://community.hpe.com/t5/Behind-the-scenes-Labs/Labs-Deep-Learning-Cookbook-headlines-the-launch-of-HPE-s-AI/ba-p/6981300#.XF1PV-SWxaR>. [Lesedato: 05.02.2019].
- [41] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio og Aaron Courville. *Deep Learning*. <http://www.deeplearningbook.org>. MIT Press, 2016.
- [42] Datarobot. *Unsupervised Machine Learning*. URL: <https://www.datarobot.com/wiki/unsupervised-machine-learning/>. [Lesedato: 04.02.2019].
- [43] C. Piech. *K Means*. 2013. URL: <http://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/kmeans.html>. [Lesedato: 06.03.2019].
- [44] The Pennsylvania State University. *Polynomial Regression*. URL: <https://newonlinecourses.science.psu.edu/stat501/node/324/>. [Lesedato: 05.02.2019].
- [45] R. Tibshirani. *The Lasso Page: L1-constrained fitting for statistics and data mining*. Udatert. URL: <http://statweb.stanford.edu/~tibs/lasso.html>. [Lesedato: 03.05.2019].
- [46] G.H. Chen og D. Shah. *Explaining the Success of Nearest Neighbor Methods in Prediction*. Lastet ned fra: https://devavrat.mit.edu/wp-content/uploads/2018/03/nn_survey.pdf. 2018. [Nedlastningsdato: 06.03.2019].
- [47] R. S. Sutton og A. G. Barto. *Reinforcement Learning: An introduction*. URL: <https://web.stanford.edu/class/psych209/Readings/SuttonBartoIPRLBook2ndEd.pdf>. [Lesedato: 18.02.2019].
- [48] R. Pihl og B.M. Vik ren. *gap-analyse-markedsf ring, strategisk ledelse*. 2018. URL: https://snl.no/gap-analyse_-_markedsf%C3%B8ring,_strategisk_ledelse. [Lesedato: 01.02.2019].
- [49] K. De Vos mfl. *Dynamic dimensioning approach for operating reserves: Proof of concept in Belgium*. 2018.
- [50] N.M. Pindoriya, S. N. Singh og S. K. Singh. *Application of adaptive wavelet neural network to forecast operating reserve requirements in forward ancillary services market*. 2010.

- [51] F. Fahiman mfl. *Data-driven dynamic probabilistic reserve sizing based on dynamic Bayesian belief networks*. 2018.
- [52] D. Jost, A. Braun og R. Fritz. *Dynamic Dimensioning of Frequency Restoration Reserve Capacity based on Quantile Regression*. 2015.
- [53] A. Essl, P. Hetteger og A. Ortner. *Machine learning analysis for a flexibility energy approach towards renewable energy integration with dynamic forecasting of electricity balancing power*. 2017.
- [54] Statnett. «FoU i Statnett». Internt, upublisert dokument. 2019.
- [55] Statnett. «Forskning og utvikling: TRL og mulig bruk i F&U». Internt, upublisert dokument.
- [56] A. Ohsenbruegge, T. Klingenberg og S. Lehnhoff. *Dynamic Data Driven Dimensioning of Balancing Power with k-Nearest Neighbors*. 2015.
- [57] D. Jost mfl. *A new method for day-ahead sizing of control reserve in Germany under a 100% renewable energy sources scenario*. 2014.
- [58] H. Holttinen mfl. *Methodologies to Determine Operating Reserves due to Increased Wind Power*. 2013.
- [59] M. Storvik. *Kapittel 2: Mål, strategi og effektivitet i organisasjoner*. Lastet ned fra: <https://www.ntnu.no/iie/fag/ole/Forelesning%202/Kapittel%202.pdf>. 2013. Forelesningsmateriale fra NTNU. [Nedlastningsdato: 01.05.2019].
- [60] Statnett. *Et elektrisk Norge - fra fossilt til strøm*. Lastet ned fra: <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/et-elektrisk-norge--fra-fossilt-til-strom.pdf>. 2019. [Nedlastningsdato: 02.05.2019].
- [61] Statnett mfl. *Design program for Nordic Balancing Model*. 2019. URL: <http://nordicbalancingmodel.net/design-program/>. [Lesedato: 03.05.2019].
- [62] J. Maricq. *Mailutveksling med Johan Maricq, ansatt i Innovation Elia*. 2019. [Dato: 18.04.2019].

Vedlegg A

Intervjuguide

Denne intervjuguiden ble utarbeidet for gjennomføring av individuelle intervjuer med operatørene ansvarlig for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet hos Statnetts Landssentral. Intervjuguiden er utarbeidet basert på problemstillingen: ”Er det per i dag mulig å implementere et automatisert beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet?”*.

1. Hvor lenge har du jobbet for Statnetts landssentral?
2. Hvor lenge har du gjennomført kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet?
3. Hvor lang tid vil du si at du bruker på kjøp i RKOM-uke per gang?
4. Er du fornøyd med dagens beslutningsstøtteverktøy?
5. Hva synes du fungerer godt med dagens beslutningsstøtteverktøy?
6. Hva synes du ikke fungerer så godt med dagens beslutningsstøtteverktøy?
7. Har du tillit til dagens beslutningsstøtteverktøy? Hvorfor/hvorfor ikke?
8. Har du noen ønsker til en ny løsning?
9. Har du ellers noen forslag til hva som kan/burde forbedres?

*: *Problemstillingen som var utgangspunktet for utarbeidelse av intervjuguiden representerer en eldre utgave av oppgavens problemstilling. Spørsmålene i intervjuguiden anses likevel som svært relevante for dagens problemstilling: ”Hva er en mulig visjon for et beslutningsstøtteverktøy for kjøp i regulerkraftopsjonsmarkedet, og hva er en mulig vei for å oppnå visjonen?”.*



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway