



KANDIDAT

Eriksson Nicklas Lindseth (10005)

PRØVE

TBA4955 1 Jernbane, masteroppgave

Emnekode	TBA4955
Vurderingsform	Oppgave
Starttid	15.01.2019 08:00
Sluttid	11.06.2019 14:00
Sensurfrist	--
PDF opprettet	12.06.2019 11:08
Opprettet av	Carine Louise Nilsen

✓ Tittel, sammendrag og språk

Hva brukes informasjonen til

Informasjonen som registreres ved innlevering brukes til sensur av masteroppgaven, til ditt vitnemål, til arkivering og eventuell publisering av oppgaven i [NTNU Open](#).

Obligatorisk forarbeid

Masteroppgaven skal leveres i .pdf-format. Merk at oppgaven før levering skal ha vært gjennom en ferdigstilling beskrevet på [informasjonssiden om masteroppgaver på Innsida](#).

Tittel

Oppgavetittelen skal være identisk med den som benyttes i selve oppgaven. Om oppgaven originalt ikke er skrevet på engelsk, kan feltet for "Engelsk tittel" benyttes i tillegg.

Oppgavetittel (vil stå på ditt vitnemål)

Bruk av fremsynsmetodikk for jernbaneprosjekter med ulike tekniske utfordringer

Engelsk tittel (vil stå på ditt vitnemål)

Use of foresight methodology for railway projects with distinct technological aspects

Sammendrag

Et sammendrag av oppgaven skal skrives både på norsk (eller et annet skandinavisk språk) og engelsk (ref. Studieforskriften §5-8). Sammendraget skal være identisk med det som benyttes i selve oppgaven; man skal ikke skrive et nytt til innleveringen.

Sammendrag på norsk (evt. dansk eller svensk)

Å fatte riktige beslutninger for langsiktige investeringer i jernbaneprosjekter kan være en krevende prosess. I dag er disse avgjørelsene hovedsakelig basert på kost-nytte analyser som tar lite hensyn til teknologiske eller politiske forandringer over tid. Fremsynsmetodikk som analysemetode er derimot et relativt lite kjent konsept i de fleste beslutningsprosesser, men disse metodene tillater beslutningstagerne å ta fremtidige betingelser i betraktning. Målet til denne oppgaven er å studere hvorvidt bruk av fremsynsmetodikk kan forbedre beslutningsprosessen i praksis gjennom å velge en metode og implementere denne for et virkelig case.

Det finnes flere relevante fremsynsmetoder. For denne oppgaven er to metoder diskutert og vurdert. En litteraturanalyse av Teknologikart (TK) og Morfologisk analyse (MA) er gjennomført. Begge metoder som er noe mer egnet enn andre fremsynsmetoder når komplekse problemer av teknologisk art skal analyseres. Mens TK er et verktøy for å nå et ønsket fremtidsscenario fastsatt av en organisasjon, bedrift eller lignende, er MA noe mer søkende. Resultatene fra en MA viser ikke nødvendigvis ett konkret scenario, men kan imidlertid avdekke et mulighetsområde. Valget falt dermed på å benytte MA for denne oppgaven ettersom MA er mer egnet til å svare på åpne spørsmål, mens TK er bedre når løsningen er kjent.

To caser ble vurdert som kandidat for evalueringen av MA. Begge er jernbaneprosjekter som krever langsiktige investeringer og bygges med lang levetid. Prosjektet Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen vurderer løsninger for å bygge en ny godsterminal i Trondheimsområdet, mens Modernisering av Trønderbanen ser på løsninger for å skape et effektivt, pålitelig og fleksibelt jernbanenettnettverk for innbyggerne i Trøndelag. Det er mindre sannsynlig at det førstnevnte prosjektet faktisk blir gjennomført og forkastes dermed for denne oppgaven.

Første steget i gjennomføring av en MA er å foreslå en problemstilling for oppgaven som skal analyseres. For denne oppgaven ble «Hvordan kan vi redusere reisetiden mellom Stjørdal og Steinkjer med 30 minutter?» valgt som problemstilling. Videre ble syv

opprinnelige opprinnelige parametere, eller egenskaper som beskriver problemet, definert av fasilitator. Parameterne ble presentert for syv eksperter i én-til-én intervjuer og i gruppe. Ekspertene foreslo tilstander disse parameterne kunne inneha, og definerte egne parametere når de opprinnelige parameterne ikke fult ut beskrev problemet. Arbeidet resulterer i et såkalt problemfelt, en matrise som viser både parameterne og deres tilsvarende tilstander, som ble oversendt til SweMorph. SweMorph, et firma som spesialiserer seg på MA, stilte programvare til disposisjon og programmerte inn det morfologiske området som ble skapt av ekspertene. Etter dette gjennomførtes en krysskonsistenskontroll. Her ble hver tilstand evaluert mot hverandre én-til-én for å kontrollere om de kan eksistere i samme konfigurasjon eller ikke.

Denne analysen avslører at å bygge tunnel gjennom Forbordsfjellet, som foreslått i den opprinnelige KVUen fra 2011 antagelig ikke er gjennomførbart som følge av økonomiske overslag. Kun dersom kostnadene antatt i KVUen hadde blitt doblet ville denne tunnellen være mulig å bygge. Videre viser analysen at å elektrifisere banen på linjen mellom Stjørdal og Steinkjer ikke er en optimal løsning som følge av det rullende materiellet som trafikkerer linjen. Elektrifisering reduserer heller ikke reisetiden i like stor grad som det ble anslått i KVUen. Analysen inneholder mer informasjon som ikke er direkte knyttet til problemstillingen, men som likevel er av interesse for beslutningstagerne i dette prosjektet.

Gitt at disse resultatene er pålitelige innebærer dette at for å redusere reisetiden mellom Stjørdal og Steinkjer er det mest sannsynlig å vurdere løsninger med færre jernbanestasjoner og øke kurveradiusen på linjen, eller gjøre linjeinnskorting der det er mulig.

Dette forsøket viser også at fremsynsmetodikk kan avdekke hvilke muligheter som finnes for et gitt problem, og hvilke som ikke er relevant å utrede videre. Samtidig tar det kortere tid å gjennomføre og krever mindre ressurser enn utredninger. Det bør likevel nevnes at konseptene som skapes som følge av en MA fortsatt må utredes for å avdekke virkelige kostnader og samfunnsnytte.

Sammendrag på engelsk

Making the right decision for long-term investments in railroads projects can be a challenging task. Nowadays, these decisions are primarily based on cost-benefit analysis that gives little consideration to technological or political changes over time. On the contrary, foresight methodologies are still foreign concepts in most decision processes, but they allow decision makers to take into consideration the variability of future conditions. The aim of this study was to investigate whether using foresight methodology can improve decision making in practice by choosing a method and implementing it on a real case.

There are several relevant foresight methods. In this thesis two methods are discussed and considered. A review of the literature on Technology Roadmaps (TR) and General Morphological Analysis (GMA) was conducted. Both methods are slightly better suited than other foresight methods when considering problems with complex technical aspects. Furthermore they have seen little prior use in Norway. While a TR is a great tool for creating a plan for reaching a concrete future scenario decided by the decision maker, the GMA is more exploratory. The results from a GMA does not necessarily show one concrete future scenario, but rather it can reveal an area of possibilities. The choice fell on using GMA for this thesis because GMA is better suited to answer open ended questions, while TR is better when the wanted solution is already defined.

Two cases were taken into consideration as candidate for the evaluation of GMA. Both cases are railroad projects which require long term investments and are built to last for a considerable amount of time. The project Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen is considering solutions for construction of a new freight terminal in the region surrounding Trondheim, while Modernisering av Trønderbanen is investigating

solutions in order to create a more effective, reliable and flexible railway network for the inhabitants in Trøndelag. The former project is however less likely to come to fruition, and is thereby discarded for this thesis.

The first step in implementing a GMA is proposing a research question for the task at hand. For this task "How could the travel time between Stjørdal and Steinkjer be reduced by 30 minutes?" was proposed. Second, seven initial parameters, or aspects describing the problem were proposed by the facilitator. Third, the parameters were presented to a group of seven experts in interviews both one to one and in a group. The experts proceeded to propose conditions these parameters could take, and further parameters were added by the experts when the initial parameters did not fully describe the problem. The resulting morphological field, a matrix showing the parameters and their corresponding conditions, was then sent to SweMorph. SweMorph, a company specializing in GMA, supplied the software and programmed it with the morphological field created by the experts. After this a cross-consistency analysis was conducted. Here each condition is evaluated against each other one to one to check whether they can in fact exist in the same configuration or not.

The analysis reveals that building a tunnel through Forbordsfjellet as proposed in the initial concept investigation from 2011 is not likely a feasible option because of the assumed costs. Only if the costs assumed in the initial investigations are doubled would a tunnel be possible. Furthermore it would only reduce the travel time by approximately ten minutes. The analysis further reveals that electrification on the line between Stjørdal and Steinkjer is not an optimal solution given the rolling stock that is trafficking the line. Furthermore, electrification does not reduce travel time as much as was assumed in the initial investigation. The analysis contains more information that are not directly linked to the research question, but are never the less interesting findings for the decision makers for this project.

Given that the results are reliable this means that in order to reduce the travel time between Stjørdal and Steinkjer it is most likely necessary to reduce the number of train stops and increase the curve radius of the track, or shorten the line where possible.

This study also shows that foresight methodology may reveal what possibilities exist for a given problem, and which solutions are not relevant for further concept investigations. At the same time it takes comparatively little time to implement and demands less resources compared to full concept investigations. It should be noted however that the concepts that are created after a GMA should still be investigated further in order to discover actual costs and benefits.

Språket masteroppgaven er skrevet på

- Norsk bokmål
- Norsk nynorsk
- Engelsk
- Svensk
- Dansk
- Ingen av disse

Besvart.

☑ Forfattere og veiledere

Forfatter(-e) av masteroppgaven

Navn på forfatter(-e) av masteroppgaven, skrives på formen "Nordmann, Ola". Dersom det er flere forfattere skal disse separeres med linjeskift.

Eriksson, Nicklas Lindseth

Veileder(-e) for masteroppgaven

Navn på din(-e) veileder(-e) ved NTNU, skrives på formen "Nordmann, Ola". Dersom det flere veiledere skal disse separeres med linjeskift.

Sager, Tore
Nicolaisen, Tor Johan

Besvart.

☑ Publisering

Publisering

Publisering av en masteroppgave innebærer at den vil bli åpent tilgjengelig i [NTNU sitt institusjonelle arkiv](#), [NTNU Open](#). Dette skjer først etter at sensur er endelig. Ved publisering godkjenner du/dere samtidig gjeldende avtale for publisering (versjon 1.0) - denne finner du på [wikisiden publisering og båndlegging av oppgaver på Innsida](#). Avtalen finnes også arkivert i NTNU sitt arkivsystem.

Om oppgaven som leveres har flere forfattere, så gjelder publiseringsavtalen for samtlige forfattere. Om en av forfatterne ikke ønsker publisering av en gruppeoppgave, så skal svaret være "Nei".

NTNU oppfordrer til publisering av alle oppgaver, men valget er opp til deg/dere som forfatter(e). Om du/dere ikke ønsker å publisere din/deres oppgave, vil ikke oppgaven være tilgjengelig noe sted.

Merk at uavhengig av valget som gjøres, så vil metadata (tittel, forfatter, veileder, sammendrag) bli tilgjengeliggjort.

Om du for din oppgave har inngått en avtale om utsatt publisering, så vil oppgave og metadata ikke bli publisert før angitte dato i den aktuelle inngåtte avtalen.

Tillater du/dere publisering av din/deres masteroppgave?


- Ja, jeg tillater publisering av masteroppgaven.
- Nei, jeg tillater ikke publisering av masteroppgaven.

Når du har kommet hit er du ferdig med å fylle ut informasjon om oppgaven, og kan gå videre til å laste opp selve oppgaven og eventuelle vedlegg.




Besvart.

1 Masteroppgaven

Last opp din masteroppgave her.



Din fil ble lastet opp og lagret i besvarelsen din.

 Last ned Fjern Erstatt

Filnavn:	NLE_TBA4955.pdf
Filtype:	application/pdf
Filstørrelse:	9.46 MB
Opplastingstidspunkt:	10.06.2019 11:01
Status:	Lagret

Besvart.

2 Eventuelt vedlegg

Last opp eventuelle vedlegg til masteroppgaven her.



Kun én fil.

Følgende filtyper er tillatt: **.zip** Maksimal filstørrelse er **35 GB**.

 Velg fil for opplasting

Ubesvart.

Nicklas Lindseth Eriksson

Bruk av fremsynsmetodikk for jernbaneprosjekter med ulike tekniske utfordringer

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Tore Sager og Tor Johan Nicolaisen

Juni 2019

Nicklas Lindseth Eriksson

Bruk av fremsynsmetodikk for jernbaneprosjekter med ulike tekniske utfordringer

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Tore Sager og Tor Johan Nicolaisen
Juni 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Sammendrag

Å fatte riktige beslutninger for langsiktige investeringer i jernbaneprosjekter kan være en krevende prosess. I dag er disse avgjørelsene hovedsakelig basert på kost-nytte analyser som tar lite hensyn til teknologiske eller politiske forandringer over tid. Fremsynsmetodikk som analysemetode er derimot et relativt lite kjent konsept i de fleste beslutningsprosesser, men disse metodene tillater beslutningstagerne å ta fremtidige betingelser i betraktning. Målet til denne oppgaven er å studere hvorvidt bruk av fremsynsmetodikk kan forbedre beslutningsprosessen i praksis gjennom å velge en metode og implementere denne for et virkelig case.

Det finnes flere relevante fremsynsmetoder. For denne oppgaven er to metoder diskutert og vurdert. En litteraturanalyse av *Teknologikart* (TK) og *Morfologisk analyse* (MA) er gjennomført. Begge metoder som er noe mer egnet enn andre fremsynsmetoder når komplekse problemer av teknologisk art skal analyseres. Mens TK er et verktøy for å nå et ønsket fremtidsscenario fastsatt av en organisasjon, bedrift eller lignende, er MA noe mer søkende. Resultatene fra en MA viser ikke nødvendigvis ett konkret scenario, men kan imidlertid avdekke et mulighetsområde. Valget falt dermed på å benytte MA for denne oppgaven ettersom MA er mer egnet til å svare på åpne spørsmål, mens TK er bedre når løsningen er kjent.

To caser ble vurdert som kandidat for evalueringen av MA. Begge er jernbaneprosjekter som krever langsiktige investeringer og bygges med lang levetid. Prosjektet *Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen* vurderer løsninger for å bygge en ny godsterminal i Trondheimsområdet, mens *Modernisering av Trønderbanen* ser på løsninger for å skape et effektivt, pålitelig og fleksibelt jernbanenettverk for innbyggerne i Trøndelag. Det er mindre sannsynlig at det førstnevnte prosjektet faktisk blir gjennomført og forkastes dermed for denne oppgaven.

Første steget i gjennomføring av en MA er å foreslå en problemstilling for oppgaven som skal analyseres. For denne oppgaven ble «*Hvordan kan vi redusere reisetiden mellom Stjørdal og Steinkjer med 30 minutter?*» valgt som problemstilling. Videre ble syv opprinnelige opprinnelige *parametere*, eller egenskaper som beskriver problemet, definert av fasilitator. Parameterne ble presentert for syv eksperter i én-til-én intervjuer og i gruppe. Ekspertene foreslo *tilstander* disse parameterne kunne inneha, og definerte egne parametere når de opprinnelige parameterne ikke fult ut beskrev problemet. Arbeidet resulterer i et såkalt problemfelt, en matrise som viser både parameterne og deres tilsvarende tilstander, som ble oversendt til SweMorph. SweMorph, et firma som spesialiserer seg på MA, stilte programvare til disposisjon og programmerte inn det morfologiske området som ble skapt av ekspertene. Etter dette gjennomførtes en krysskonsistenskontroll. Her ble hver tilstand evaluert mot hverandre én-til-én for å kontrollere om de kan eksistere i samme *konfigurasjon* eller ikke. Det resulterende *løsningsrommet* kan sees i figur 0.1.

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrisitet	Bimodale tog	Dobbeltspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen rushtid	Regionstog med få, store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokaltog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteleietildelingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokaltog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 0.1: Det primære løsningsrommet etter gjennomført MA (egenprodusert).

Denne analysen avslører at å bygge tunnel gjennom Forbordsfjellet, som foreslått i den opprinnelige KVUen fra 2011 antagelig ikke er gjennomførbart som følge av økonomiske overslag. Kun dersom kostnadene antatt i KVUen hadde blitt doblet ville denne tunnelen være mulig å bygge. Videre viser analysen at å elektrifisere banen på linjen mellom Stjørdal og Steinkjer ikke er en optimal løsning som følge av det rullende materiellet som trafikkerer linjen. Elektrifisering reduserer heller ikke reisetiden i like stor grad som det ble anslått i KVUen. Analysen inneholder mer informasjon som ikke er direkte knyttet til problemstillingen, men som likevel er av interesse for beslutningstagerne i dette prosjektet.

Gitt at disse resultatene er pålitelige innebærer dette at for å redusere reisetiden mellom Stjørdal og Steinkjer er det mest sannsynlig å vurdere løsninger med færre jernbanestasjoner og øke kurveradiusen på linjen, eller gjøre linjeinnkortinger der det er mulig.

Dette forsøket viser også at fremsynsmetodikk kan avdekke hvilke muligheter som finnes for et gitt problem, og hvilke som ikke er relevant å utrede videre. Samtidig tar det kortere tid å gjennomføre og krever mindre ressurser enn utredninger. Det bør likevel nevnes at konseptene som skapes som følge av en MA fortsatt må utredes for å avdekke virkelige kostnader og samfunnsnytte.

Abstract

Making the right decision for long-term investments in railroads projects can be a challenging task. Nowadays, these decisions are primarily based on cost-benefit analysis that gives little consideration to technological or political changes over time. On the contrary, foresight methodologies are still foreign concepts in most decision processes, but they allow decision makers to take into consideration the variability of future conditions. The aim of this study was to investigate whether using foresight methodology can improve decision making in practice by choosing a method and implementing it on a real case.

There are several relevant foresight methods. In this thesis two methods are discussed and considered. A review of the literature on *Technology Roadmaps* (TR) and *General Morphological Analysis* (GMA) was conducted. Both methods are slightly better suited than other foresight methods when considering problems with complex technical aspects. Furthermore they have seen little prior use in Norway. While a TR is a great tool for creating a plan for reaching a concrete future scenario decided by the decision maker, the GMA is more exploratory. The results from a GMA does not necessarily show one concrete future scenario, but rather it can reveal an area of possibilities. The choice fell on using GMA for this thesis because GMA is better suited to answer open ended questions, while TR is better when the wanted solution is already defined.

Two cases were taken into consideration as candidate for the evaluation of GMA. Both cases are railroad projects which require long term investments and are built to last for a considerable amount of time. The project *Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen* is considering solutions for construction of a new freight terminal in the region surrounding Trondheim, while *Modernisering av Trønderbanen* is investigating solutions in order to create a more effective, reliable and flexible railway network for the inhabitants in Trøndelag. The former project is however less likely to come to fruition, and is thereby discarded for this thesis.

The first step in implementing a GMA is proposing a research question for the task at hand. For this task "*How could the travel time between Stjørdal and Steinkjer be reduced by 30 minutes?*" was proposed. Second, seven initial *parameters*, or aspects describing the problem were proposed by the facilitator. Third, the parameters were presented to a group of seven experts in interviews both one to one and in a group. The experts proceeded to propose *conditions* these parameters could take, and further parameters were added by the experts when the initial parameters did not fully describe the problem. The resulting *morphological field*, a matrix showing the parameters and their corresponding conditions, was then sent to SweMorph. SweMorph, a company specializing in GMA, supplied the software and programmed it with the morphological field created by the experts. After this a cross-consistency analysis was conducted. Here each condition is evaluated against each other one to one to check whether they can in fact exist in the same configuration or not. The resulting solution space can be viewed in

figure 0.2.

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrisitet	Bimodale tog	Dobbelspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få, store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokaltog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteleietildelingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokaltog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 0.2: The primary solution space after implementing GMA (self-produced).

The analysis reveals that building a tunnel through Forbordsfjellet as proposed in the initial concept investigation from 2011 is not likely a feasible option because of the assumed costs. Only if the costs assumed in the initial investigations are doubled would a tunnel be possible. Furthermore it would only reduce the travel time by approximately ten minutes. The analysis further reveals that electrification on the line between Stjørdal and Steinkjer is not an optimal solution given the rolling stock that is trafficking the line. Furthermore, electrification does not reduce travel time as much as was assumed in the initial investigation. The analysis contains more information that are not directly linked to the research question, but are never the less interesting findings for the decision makers for this project.

Given that the results are reliable this means that in order to reduce the travel time between Stjørdal and Steinkjer it is most likely necessary to reduce the number of train stops and increase the curve radius of the track, or shorten the line where possible.

This study also shows that foresight methodology may reveal what possibilities exist for a given problem, and which solutions are not relevant for further concept investigations. At the same time it takes comparatively little time to implement and demands less resources compared to full concept investigations. It should be noted however that the concepts that are created after a GMA should still be investigated further in order to discover actual costs and benefits.

Forord

Denne oppgaven er levert som et mastergradsprosjekt ved NTNU i samarbeid med Jernbanedirektoratet. Oppgaven er utformet i samarbeid med veileder ved NTNU *Tore Sager* samt biveileder fra Jernbanedirektoratet *Tor Johan Nicolaisen*. Uten deres uvurderlig innsikt og konkrete tilbakemeldinger ville denne oppgaven hverken ha oppstått og enda mindre gjennomført.

Jeg vil takke ekspertene som har bidratt med tid og innsikt til denne oppgaven. De har vært på tilbudssiden og stilt opp på kort varsel og gitt mer av sin tid enn det som var forespeilet.

Til sist vil jeg takke SweMorph som har stilt sin programvare og ekspertise til rådighet. De har svart raskt på alle henvendelser og gitt gode råd. Deres tilbud for studenter er helt enestående og gir denne oppgaven et mye mer solid resultat enn dersom jeg selv hadde måttet programmere tilsvarende program.

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Innhold	vii
Figurer	ix
Tabeller	ix
Forkortelser/symboler	x
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål	2
2 Metode	3
2.1 Litteraturstudie	3
2.2 Intervju	4
3 Fremsynsmetodikk	6
3.1 Begrep	6
3.2 Teknologikart	6
3.3 Morfologisk Analyse	9
4 Casene	13
4.1 Modernisering av Trønderbanen	13
4.2 Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen	15
5 Morfologisk Analyse av Modernisering av Trønderbanen	18
5.1 Valg av metode	18
5.2 Valg av case	20
5.3 Swedish Morphological Society	21
5.4 Formulering av problemstilling	23
6 Parametere	25
6.1 Første intervjurunde	26
6.2 Parameter 1: Frekvens	31
6.3 Parameter 2: Togprodukt	32
6.4 Parameter 3: Geometri	34
6.5 Parameter 4: Fremdrift	35
6.6 Parameter 5: Signalsystem og togteknologi	36
6.7 Parameter 6: Spordesign	37

6.8	Parameter 7: Kapasitetsfordeling	38
6.9	Parameter 8: Bevilgninger	38
6.10	Strøket parameter: Reisetilbud	39
6.11	Strøket parameter: Antall stopp	40
6.12	Strøket parameter: Traséstandard	40
6.13	Strøket Tilstand: Tilstand 4.I: Hyperloop	41
6.14	Morfologisk område etter intervjuer	42
7	Krysskonsistensmatrisen	43
7.1	MA/Carma™	45
7.2	Andre intervjurunde	45
7.3	Formelle inkonsistenser	48
7.4	Empiriske og Normative inkonsistenser	48
7.5	Krysskonsistensmatrisen	54
8	Det Morfologiske Området	55
8.1	Ugyldige tilstander	56
8.2	Videreutvikling av løsningsrommet	58
8.3	Gjenstående utredninger	59
8.4	Løsningsrom etter intervju	60
9	Konklusjon	61
9.1	Sentrale funn	62
9.2	Samarbeidet med Swedish Morphological Society	64
9.3	Usikkerheter i analysen	64
9.4	Videre arbeid	65
	Referanser	67

Figurer

0.1	Det primære løsningsrommet etter gjennomført MA (egenprodusert).	ii
0.2	The primary solution space after implementing GMA (self-produced).	iv
3.1	Teknologikart laget for <i>Intelligent Connected Vehicle</i> (Automotive Council UK, 2017).	7
3.2	Eksempel på hvordan et generisk teknologikart kan visualiseres (Sager, 2017).	9
3.3	Eksempel på et morfologisk område (Ritchey, 2005).	10
3.4	Et generisk morfologisk område med en konfigurasjon markert i blått (egenprodusert).	12
4.1	Denne tabellen, hentet fra KVUen, viser de aktuelle tiltakene i Konsept 1 (Statens Vegvesen, 2011).	14
5.1	Bildeutsnittet viser Trønderbanen og er tatt fra togkart.no (Bane NOR, 2019)	21
5.2	Eksempel på hvordan en krysskonsistensmatrise kan se ut (Ritchey, 2018)	22
5.3	Eksempel på morfologisk område hvor tre parametere er bestemt som drivere (Ritchey, 1998).	22
6.1	Utgangspunktet som ble presentert for bidragsyterne produsert av fasilitator (egenprodusert).	25
6.2	Foreløpig morfologisk området etter intervju av bidragsytere med elleve parametere (egenprodusert).	28
6.3	Redningstjenestens ressurser i det venstre feltet påvirker hva som er mulig å yte i det høyre feltet (Ritchey, 2018).	30
6.4	Stopp på Trønderbanen som presentert av Sivertsvoll (2019).	33
6.5	Kartutsnitt fra Norgeskart.no (2019). Jernbanen er markert i svart.	34
6.6	Morfologisk område som det fremstår etter intervjuene (egenprodusert).	42
7.1	Blideutsnitt av krysskonsistensmatrisen slik den blir presentert i MA/Carma™ (SweMorph, 2019).	44
7.2	Antall formelle-, primære- og sekundære konfigurasjoner som eksisterer for et morfologisk område som vist i MA/Carma™ (Ritchey, 2018).	46
7.3	Blideutsnitt av krysskonsistensmatrisen, fylt ut av forfatteren før intervju (egenprodusert).	47
7.4	Blideutsnitt av krysskonsistensmatrisen (egenprodusert).	54
8.1	Det sekundære løsningsrommet til det morfologiske området, alle mulige matcher (egenprodusert).	55
8.2	Det primære løsningsrommet til det morfologiske området, kun optimale matcher (egenprodusert).	55
8.3	Det primære løsningsrommet til det morfologiske området etter intervju av beslutningstager (egenprodusert).	60
8.4	Det sekundære løsningsrommet til det morfologiske området, etter intervju av beslutningstager (egenprodusert).	60

Tabeller

2.1	Ekspertter benyttet i gjennomføring av morfologisk analyse	5
4.1	Beskrivelse av samfunnsmålene i <i>Konseptvalgutredning for transportløsning veg/bane Trondheim - Steinkjer</i> (Statens Vegvesen, 2011)	13
4.2	Gjenskapelse av tabell for prosjektets effektmål (Jernbaneverket region nord, 2011)	17
7.1	De tre typene inkonsistenser som kan oppstå i følge Ritchey (2015).	43

Forkortelser/symboler

KVU Konseptvalgutredning

MA Morfologisk analyse

NTP Nasjonal Transportplan

1 Innledning

Det kan være utfordrende å fatte gode beslutninger for store og langsiktige investeringer. I dag baseres disse avgjørelsene hovedsakelig på kost/nytte-modeller, og det benyttes i liten grad fremsynsmetoder, ettersom det er vanskelig å tallfeste en del av fremsynsmetodenes resultater (Sager, 2017).

Endringer i teknologi, politikk og samfunnsforhold kan raskt gi nye forutsetninger for et prosjekt i løpet av dets livssyklus. Innen jernbanen er det stor usikkerhet knyttet til ny teknologi, og løsningene som presenteres bør ideelt sett være fleksible for at de skal kunne optimaliseres for prosjektets levetid. Et jernbaneprosjekt kan dermed styrkes og gjøres mer robust dersom det formuleres en plan for hvordan gevinster kan realiseres til tross for at de opprinnelige premisene for prosjektet blir forandret. Det kan dermed, med bakgrunn i uunngåelige og stadige endringer i forutsetninger og rammebetingelser, være av høy nytteverdi og potensiell kostbesparelse å utvikle fremtidsscenarioer for tiltak eller prosjekter. På denne måten kan sannsynlige fremtidsscenarioer utvikles og man kan unngå å foreslå løsninger som vil fremstå som utdaterte i løpet av sin planlagte livssyklus.

1.1 Bakgrunn

Det ble gjennomført et litteratursøk i emnet *TBA4590 Jernbane, fordypningsprosjekt*, hvor en analyse av ulike fremsynsmetoder, hvordan de kan gjennomføres og hvordan de har vært brukt tidligere, var sentralt. Litteratursøket ble direkte input til prosjektet *M21* for Jernbanedirektoratet. Dette prosjektet, ble startet opp i 2012 (Subito! Research & Futures, 2013) og var en analyse av om:

[...] det bør tas i bruk nye analysemetoder for transportsektoren. De nye metodene skal bidra til å styrke beslutningsgrunnlaget i sektoren, særlig innen områder der dagens transportanalysemodeller ikke gir fullgode svar.

I dag er prosjektet et «levende prosjekt» som samler informasjon om, og forklarer hvordan fremsynsmetoder kan brukes for å styrke prosjekter internt i Jernbanedirektoratet.

For litteratursøket ble Tore Sagers *Fremsynsmetoder (Concept-rapport nr 53)* (2017) viktig:

Det er vårt syn at dette er normalsituasjonen, og at langsiktige prognoser har begrenset verdi i åpne komplekse system. Men selv om man ikke planlegger med tanke på at et bestemt fremtidsscenario vil bli realisert, er det verd å tenke gjennom hvilke muligheter som kan åpne seg og eventuelt kreve avbøtende innsats etter hvert. Fremsynsmetodenes fremste oppgave er å bidra til å gjøre denne utforskende prosessen fruktbar (Sager, 2017).

1. INNLEDNING

Fremsynsmetodikk bør med andre ord supplere, ikke erstatte, nytte-kostanalyser.

1.2 Mål

Målet er å gjennomføre en fremsynsmetode på et reelt prosjekt. Dette for å vurdere om bruk av metoden kan være med på å styrke et prosjektet, og gi et bedre grunnlag for beslutningstagere til å fatte den beste beslutningen. Denne oppgaven vil vurdere to metoder:

1. Morfologisk analyse
2. Teknologikart

Disse metodene er ikke tatt i bruk i større omfang i Norge, men bruken av dem kan være interessant for langsiktige investeringer i jernbaneprosjekter med ulike teknologiske utfordringer.

Metoden skal prøves ut på et reelt prosjekt som foregår ved Jernbanedirektoratet i dag. Valget står mellom to prosjekt:

1. Modernisering av Trønderbanen
2. Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen

Casene er valgt fordi de planlegges med lang livssyklus, og fordi forfatteren allerede har god kjennskap til prosjektene. Det er også sannsynlig at ny teknologi vil påvirke nytten av prosjektene innenfor planlagt levetid. Prosjektene vil sannsynlig periodevis måtte analyseres med hensyn på effektivitet hvor å implementere nye løsninger må vurderes.

Etter at metodene og casene er presentert vil den valgte metoden gjennomføres. Resultatene vil bli presentert i sin helhet og funnene vil bli analysert. Det vil så gjøres en vurdering av hvorvidt resultatene skiller seg fra de opprinnelige løsningene i prosjektet, og hva dette eventuelt innebærer. Resultatene vil også presenteres for en ekspert som benyttes som beslutningstager, som vil komme med innspill eller ønsker til hvilke utredninger det eventuelt ville ha vært behov for som følge av resultatet. Til slutt vil en vurdering av hvorvidt bruk av metoden kan styrke prosjektet presenteres.

2 Metode

I denne oppgaven vil det gjennomføres et litteraturstudie. Litteraturstudiet er valgt delvis for å innhente mer informasjon om hvordan fremsynsmetodene bør gjennomføres, og også for å utforske hvilke utfordringer ved metodene som har oppstått tidligere.

2.1 Litteraturstudie

Deler av litteraturstudiet blir å innhente prosjektdokumenter fra Jernbanedirektoratet, for å få en oversikt over hvor prosjektene er i dag. En del av litteraturen som er benyttet i denne oppgaven ble funnet i litteratursøket til forprosjektet i emnet *TBA4590 Jernbane, fordypningsprosjekt*. Det er imidlertid behov for en grundigere analyse av metodene *morfologisk analyse* og *teknologikart*. Dette da disse metodene ikke stod i fokus for forprosjektet som ble gjennomført i forkant av denne oppgaven. Funnene fra litteratursøket vil bli presentert i kapittel 3: Fremsynsmetodikk.

2.1.1 Søkeord og fremgangsmåte

Fremgangsmåten for litteratursøket baserer seg på undervisning om emnet forelest av Jardar Lohne, forsker ved NTNU, i TBA4590 Jernbane, fordypningsprosjekt. Det ble under dette kurset vektlagt hvordan en korrekt søkealgoritme settes opp og hvordan kvaliteten på kildene kan bedømmes. I tillegg er det basert på informasjon oppgitt på NTNUs nettsider om emnet (Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet, 2019).

Følgende søkeord er benyttet:

- Fremsynsmetodikk
- Teknologikart
- Morfologisk metode
- Morfologisk analyse

Og tilsvarende på engelsk:

- Foresight methodology
- Technology roadmap
- Morphological analysis
- General Morphological Analysis
- Creative Combinations

2. METODE

I tillegg er søk etter relevante forfattere blitt utført etterhvert som litteraturen ble kartlagt. Det er også hentet inn tekster og rapporter knyttet til casene som presenteres i kapittel 4. Disse rapportene er imidlertid oversent fra Jernbanedirektoratet, og det er ikke gjennomført noe omfattende litteratursøk utover dette for å støtte den tilgjengelige litteraturen angående casene.

2.2 Intervju

For å sikre at de kvalitative metodene skal gi et pålitelig resultat er det viktig at det blir benyttet eksterne eksperter på området. Dette blant annet for unngå at forfatteren utilsiktet legger føringer for resultatet selv.

Etter samtale med veiledere ble det bestemt at å intervjuere eksperter én-til-én er den mest hensiktsmessige måten å utføre datainnsamlingen. Dette på tross av at dette ikke er slik metoden vanligvis gjennomføres (se kapittel 3.3). Denne avgjørelsen er tatt av hensyn til omfanget på oppgaven, samt tidsrommet oppgaven skal gjennomføres på.

Intervjuobjektene er før gjennomføringen kort forberedt på hvordan metoden skal gjennomføres og hvilket arbeidsomfang de kan forvente seg i tilknytning til oppgaven. Ingen av intervjuobjektene er betalt for å delta og bruker dermed av sin egen tid.

Kvalitative intervjuer, som benyttes i denne oppgaven, krever nøye forberedelser for å kunne gi ønsket resultat. Det er vanlig å strukturere en intervjuguide eller lignende og deretter å transkribere intervjuene slik at resultatene kan etterprøves. I denne oppgaven vil intervjuene foregå i form av diskusjon. Ekspertene som er identifisert vil bli presentert for en konkret problemstilling og deres svar vil være direkte input inn i oppgaven.

Det vil bli gjennomført tre runder med intervjuer i denne oppgaven. En kort beskrivelse av hver intervjurunde vil bli presentert i forbindelse med temaet for intervjuet, og det vil i tillegg vises til enkelte interessante funn som avdekkes som følge av intervjuet.

2.2.1 Identifisering av eksperter

Ekspertene ble identifisert og foreslått av veileder og biveilder for denne oppgaven, og deretter forespurt formelt. Syv av de ni spurte var i utgangspunktet positive til å bidra inn mot oppgaven. Det viste seg imidlertid at kun fem av de spurte bidragsyterne hadde mulighet til å la seg intervjuer når intervjuene startet. Ekspertene består av fagpersoner med ulik kompetanse som enten er eller har vært knyttet til jernbanen eller NTNU.

2. METODE

Tabell 2.1: Ekspertene benyttet i gjennomføring av morfologisk analyse

Organisasjon/Rolle	Fagfelt
Jernbanedirektoratet	Fremsynsmetodikk/Jernbanestrategi
Jernbanedirektoratet	Terminaler/godsstrategi
Ph.D.-student ved NTNU	Jernbaneteknikk/sporveksler
Prosjektleder for det ene caset, Jernbanedirektoratet	Regional utvikling
Jernbanedirektoratet	Fremsynsmetodikk

I tillegg til disse vil både veileder og biveileder bli benyttet som eksperter da de både har kjennskap til metoden og også kjenner prosjektet som vil bli belyst.

3 Fremsynsmetodikk

I dette kapitlet vil metodene som er aktuelle beskrives i korte trekk. Oppsettet er basert på det oppsettet som ble benyttet i forprosjektet til denne oppgaven, som igjen er basert på oppsettet benyttet i *Concept-rapport nr. 53 Fremsynsmetoder* (Sager, 2017). Dette oppsettet var også ønsket av Jernbanedirektoratet i M21 prosjektet, som forprosjektet var direkte input til. Det nevnes i tillegg et par andre fremsynsmetoder i dette kapitlet. Disse metodene vil ikke bli diskutert nærmere, men den tidligere nevnte *Concept-rapport nr. 53 Fremsynsmetoder* anbefales dersom det skulle være av interesse å studere disse metodene nøyere.

3.1 Begrep

Fremsynsmetoder kan brukes til å gi et sannsynlig bilde av hvordan fremtiden vil se ut. Dataene innsamles i hovedsak på to måter. De kan være helt eller delvis kvalitative, hvor eksperter, politikere eller andre fagpersoner vil presentere idéer og tanker om fremtiden. De kan også være kvantitative hvor datainnsamling av trender og observasjoner fra dagens utvikling kan gi grunnlag for trendforlengelser eller årsak-virkning-modeller (Sager, 2017). En svakhet ved dette kan derimot vise seg når det oppstår *trendbrudd*. Disse kommer brått og kan medføre en fullstendig omveltning for trendene man observerer for øvrig. De er av natur vanskelige å forutse.

Sager (2017) viser også at fremsynsmetoder brukes til å gi to typer resultater:

- Preskriptiv: metode som benyttes for å beskrive en ønsket tilstand.
- Predikativ: metode som benytter tidligere observasjoner og trender i samfunnet for å beskrive en forventet fremtidssituasjon basert på dagens forutsetninger.

I noen tilfeller vil disse to formene brukes i samspill for å gi et mer reelt fremtidsscenario. Selv om det i teorien er tenkt et spesifikt fremtidsscenario er det lite sannsynlig at det oppstår dersom det ikke kan avdekkes noen tegn eller trender i dagens situasjon. Samtidig er det lite sannsynlig at dagens situasjon vil vedvare. På samfunnsnivå kan fremtiden også til dels styres gjennom hvilken type teknologi som tillates i transportsektoren og hvilke teknologier som gis bevilgninger til videreutvikling.

3.2 Teknologikart

Et teknologikart, eller «*technology roadmap*», tar sikte på å beskrive utviklingen til bestemte hendelser eller produkter. Det identifiseres et konsept eller et produkt og det konstrueres en tidslinje for hvilke faktorer og hendelser som må inntreffe for at produktet eller konseptet skal kunne realiseres.

3. FREMSYNSMETODIKK

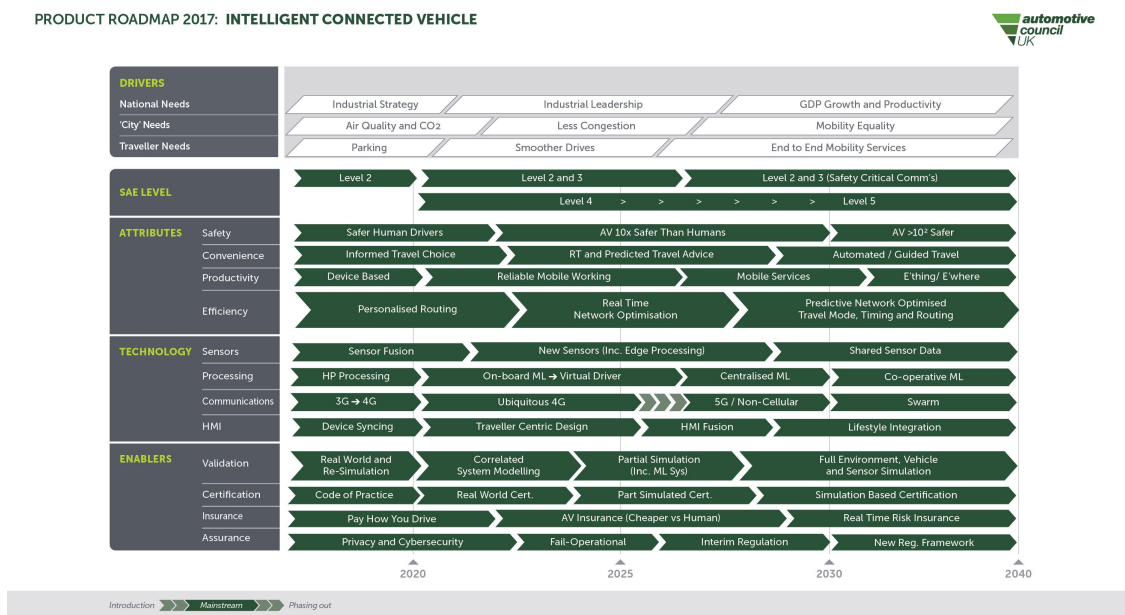
Det kan konstrueres en fysisk tidslinje i flere nivåer som beskriver ønsket mål, hvilke eksterne faktorer som må inntreffe, hvilke interne faktorer som må ligge til rette, og når og hvor ressurser bør implementeres for å realisere det ønskede konseptet eller produktet. Det finnes imidlertid også teknologikart uten det visuelle hjelpemiddelet (Phaal et al., 2004).

Metodens brukes både *preskriptivt* ved at den beskriver en ønsket situasjon, men også *predikativt* ved at den tar høyde for dagens trender eller teknologier som er under utvikling og tar sikte på å beskrive sannsynlige teknologiske løsninger.

3.2.1 Metodens bruksområder

Teknologikartet kan brukes som et hjelpemiddel i langsiktig planlegging eller for å kartlegge den teknologiske utviklingen i en gitt sektor (Phaal et al., 2004). Selv om teknologikartet ofte benyttes til å utvikle et fremtidsbilde eller scenario kan det også «[...]ta utgangspunkt i et eksisterende forsknings- og teknologiprojekt og så arbeide seg frem mot forskjellige anvendelsesområder.» (Subito! Research & Futures, 2013).

Teknologikart har blant annet blitt benyttet av Automotive Council UK (2017) til å lage ulike teknologikart for transportsektoren med fokus på vegtrafikk. Metoden har også blitt benyttet av Hansen et al. (2016) for å utvikle et teknologikart som beskriver veien mot automatisering av jernbanen.



Figur 3.1: Teknologikart laget for *Intelligent Connected Vehicle* (Automotive Council UK, 2017).

3. FREMSYNSMETODIKK

3.2.2 Metoden brukes ofte sammen med

På grunn av teknologikartets natur benyttes metoden ofte i forbindelse med en metode kalt *tilbakeskuing* (eller *backcasting*), som tar for seg en del av de samme prosessene. Phaal et al. (2004) viser til at det i utviklingen av teknologikartet kan benyttes både Delfi-undersøkelse og scenarioutvikling.

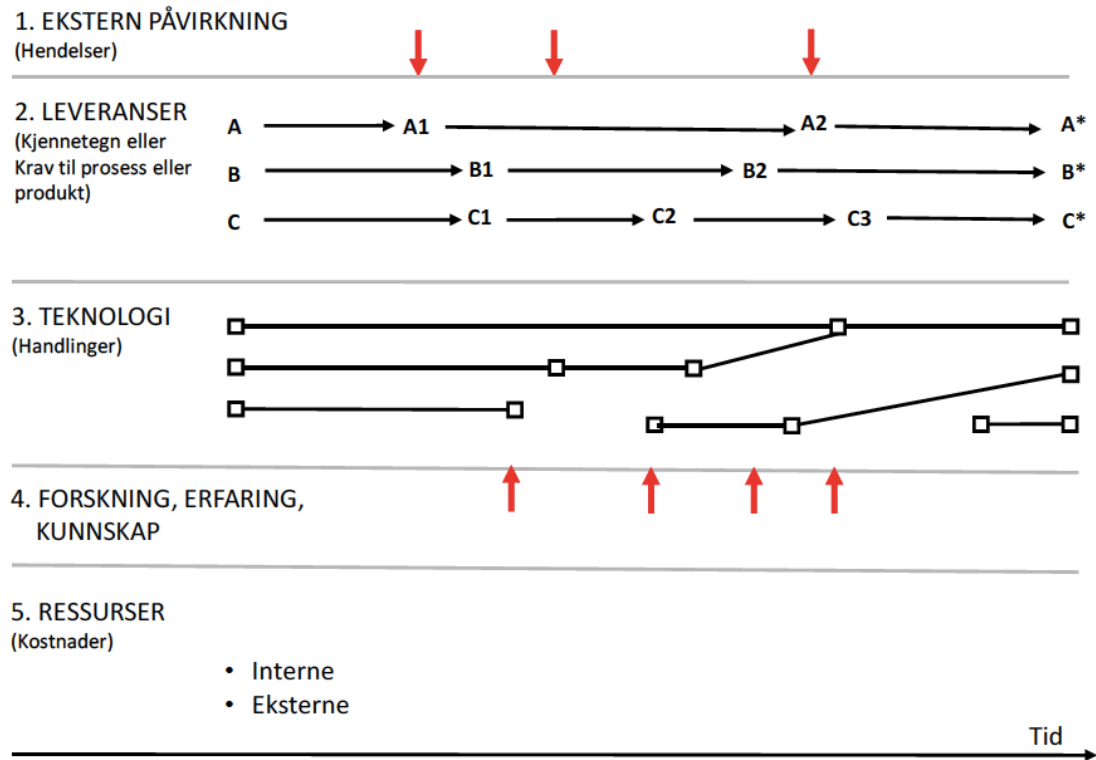
3.2.3 Metoden trinn for trinn

Denne steg for steg modellen er hentet fra (Sager, 2017):

1. Klargjør hvilket produkt eller hvilken tjeneste som teknologikartet skal rettes inn mot.
2. Formuler organisasjonens mål på dette saksområdet og kravene til produkt og prosess.
3. Avgrens de mest aktuelle tema- og problemområdene.
4. List opp hva og hvem som driver teknologiutviklingen på disse områdene, og hva de forsøker å oppnå.
5. Identifiser teknologiske alternativ og knytt utviklingsbanene deres til en tidsakse.
6. anbefal teknologiske alternativ som organisasjonen bør prøve å utvikle og bruke.
7. Skriv vegkart-rapporten.

Sager (2017) gir også et eksempel på hvordan et teknologikart kan se ut og viser dette i fem nivåer:

3. FREMSYNSMETODIKK



Figur 3.2: Eksempel på hvordan et generisk teknologikart kan visualiseres (Sager, 2017).

3.2.4 Styrker og svakheter med metoden

Sager (2017) beskriver noen av utfordringene ved metoden ved at det er vanskelig å vurdere verdien av et teknologikart, og at det kan være krevende å vedlikeholde og oppdatere teknologikartet underveis. Det kan således tenkes at teknologikartet fort blir utdatert eller irrelevant, og at brukeren ikke får med seg visse utviklinger eller trender i teknologien og samfunnet som ikke er beskrevet i teknologikartet. Teknologikartet forutsetter dermed systematisk oppfølging.

Teknologikartet egner seg ikke til å forutse plutselige gjennombrudd eller oppdagelser innen forskning, men kan derimot benyttes til forsøk på å forutse følgene av disse når de først har oppstått (Moehrle et al., 2013).

Et velutviklet teknologikart kan også gi konkurransefortrinn dersom det tar høyde for teknologiutviklingen til konkurrerende selskap i samme felt (Moehrle et al., 2013).

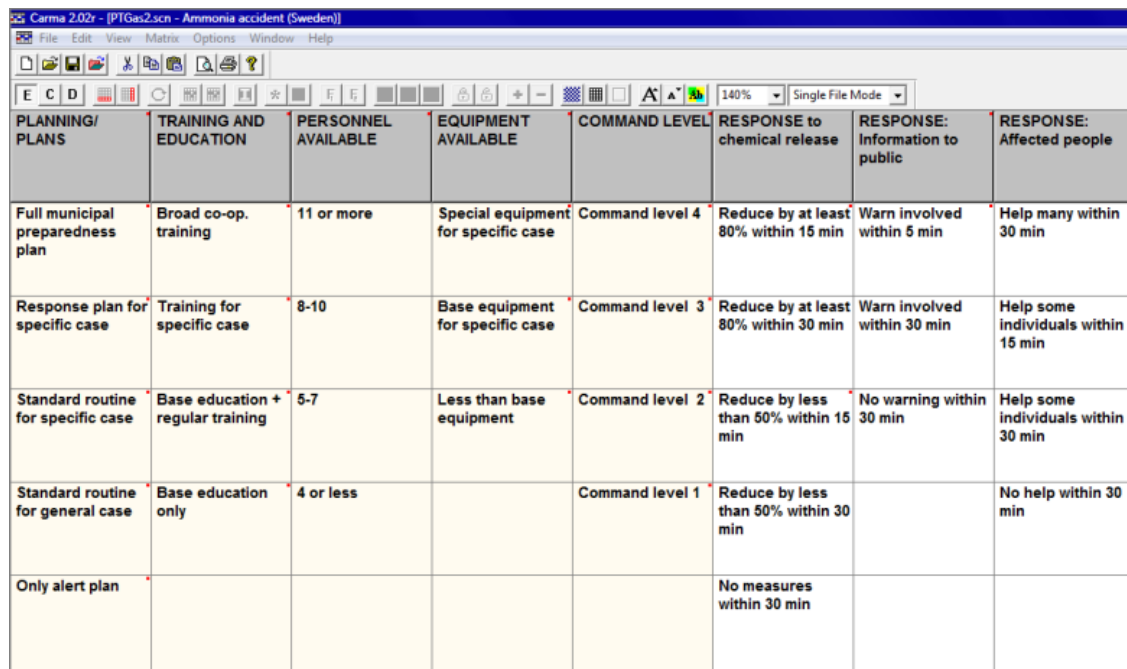
3.3 Morfologisk Analyse

Morfologisk analyse er en metode for å strukturere avanserte problemer og kartlegge alle muligheter ved et problem. Problemet kan være konkret, som en spesifikk oppgave som

3. FREMSYNSMETODIKK

skal løses, eller det kan være mer abstrakt som hvilken retning en bedrift kan eller bør ta. Metoden er dermed først og fremst preskriptiv i og med at den beskriver muligheter som vil eksistere.

Metoden ble utviklet av den sveitsiske astrofysikeren Fritz Zwicky. Han beskrev metoden som en måte å strukturere og studere det totale utfallsrommet med sammenhenger i et flerdimensjonalt, ikke-kvantitativt, problemkompleks (Zwicky, 1967). Senere har metoden blitt forbedret og forsterket gjennom bruk av datamodellering (Ritchey, 2005).



The screenshot shows a software window titled "Carma 2.02r - [PTGas2.scn - Ammonia accident (Sweden)]". The window contains a morphological matrix with the following columns: PLANNING/ PLANS, TRAINING AND EDUCATION, PERSONNEL AVAILABLE, EQUIPMENT AVAILABLE, COMMAND LEVEL, RESPONSE to chemical release, RESPONSE: Information to public, and RESPONSE: Affected people. The matrix contains five rows of data representing different levels of preparedness.

PLANNING/ PLANS	TRAINING AND EDUCATION	PERSONNEL AVAILABLE	EQUIPMENT AVAILABLE	COMMAND LEVEL	RESPONSE to chemical release	RESPONSE: Information to public	RESPONSE: Affected people
Full municipal preparedness plan	Broad co-op. training	11 or more	Special equipment for specific case	Command level 4	Reduce by at least 80% within 15 min	Warn involved within 5 min	Help many within 30 min
Response plan for specific case	Training for specific case	8-10	Base equipment for specific case	Command level 3	Reduce by at least 80% within 30 min	Warn involved within 30 min	Help some individuals within 15 min
Standard routine for specific case	Base education + regular training	5-7	Less than base equipment	Command level 2	Reduce by less than 50% within 15 min	No warning within 30 min	Help some individuals within 30 min
Standard routine for general case	Base education only	4 or less		Command level 1	Reduce by less than 50% within 30 min		No help within 30 min
Only alert plan					No measures within 30 min		

Figur 3.3: Eksempel på et morfologisk område (Ritchey, 2005).

För varje cykel höyer vi kvalitén på innehållet. Det här innebär att morfologisk analys har en inbyggd kvalitetssäkring (Stenström, 2011).

Ettersom metoden er relativt lite utprøvd i Norge er det ikke fastsatt noen enhetlig begrepsbruk. Begrepene som blir benyttet i denne oppgaven er delvis basert på hva som er benyttet tidligere, men også på begrepene benyttet av Ritchey (2018).

3.3.1 Metodens bruksområder

Metoden er blant annet brukt i prosjektet publisert i boken *Norge 2030: fem scenarier om offentlig sektors fremtid* (Øverland, 2000) og i rapporten fra forsvarrets forskningsinstitutt *Scenarioklasser i Forsvarsstudie 2007: En morfologisk analyse av sikkerhetspolitiske utfordringer mot Norge* (Johansen, 2006). Videre har forsvaret brukt det både i prosjektene *Forsvarets fremtidige operasjoner : en morfologisk analyse av*

3. FREMSYNSMETODIKK

operasjonsspekteret (Diesen, 2016) og *En morfologisk analyse av tilsiktede uønskede handlinger rettet mot forsvarsinformasjonsinfrastruktur* (Farsund, 2017).

Metoden benyttes også av det svenske forsvaret (Totalförsvarets forskningsinstitut, 2019) hvor de blant annet har benyttet metoden på følgende prosjekt:

- Scenarier för framtidens lantbruk
- Värdering av räddningstjänstens beredskap för kemikalieolyckor
- Förbandsutveckling inom Försvarmakten

Videre finnes en liste over 98 ulike prosjekter som er gjennomført av *Swedish Morphological Society*, grunnlagt av Dr. Tom Ritchey, hvor morfologisk analyse er benyttet (SweMorph, 2019).

3.3.2 Metoden brukes ofte sammen med

Ritchey (2009) benytter morfologisk analyse som metode for å komme frem til logisk input til metoden *scenarioutvikling*.

3.3.3 Metoden trinn for trinn

Fremgangsmåten er basert på den Farsund (2017) foreslår i *En morfologisk analyse av tilsiktede uønskede handlinger rettet mot forsvarsinformasjonsinfrastruktur*. Målet etter at metoden er gjennomført er å skape et *Morfologisk område* som vist i figur 3.4.

1. Problemstillingen som skal studeres formuleres så presist som mulig.
2. De viktigste *parameterne* som beskriver problemstillingen identifiseres.
3. Til hver parameter blir det tilordnet *tilstander* som denne parameteren kan inneha.
4. Parameterne med sine tilhørende tilstander ordnes i en matrise. Matrisen kalles det morfologiske områdets *problemrom*.
5. *Konfigurasjoner* dannes gjennom å velge en tilstand fra hver parameter.
6. Deretter gjennomføres en *krysskonsistenssjekk*. Dette gjøres ved å analysere alle tilstander fra ulike parametere opp mot hverandre én-til-én for inkonsistens. Konfigurasjoner med tilstander som ikke kan sameksistere, på bakgrunn av teknisk, økonomisk eller etisk grunnlag, blir fjernet. Til slutt gjenstår et mindre antall mulige konfigurasjoner i det morfologiske områdets *løsningsrom*.

Det er også mulig å lage et tilstøtende morfologisk område hvor konfigurasjonen som settes i det ene påvirker løsningsrommet i det andre. Dette kalles en *duplex-modell* (Ritchey, 2018).

3. FREMSYNSMETODIKK

Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
Tilstand 1.1	Tilstand 2.1	Tilstand 3.1	Tilstand 4.1
Tilstand 1.2	Tilstand 2.2	Tilstand 3.2	Tilstand 4.2
Tilstand 1.3	Tilstand 2.3	Tilstand 3.3	Tilstand 4.3
Osv.	Osv.	Osv.	Osv.

Figur 3.4: Et generisk morfologisk område med en konfigurasjon markert i blått (egenprodusert).

Selv om det her er beskrevet en trinnvis fremgangsmåte understreker Ritchey (2015) at det ikke er en lineær metode. Etterhvert som problemer ved, eller omformulering av, parametere eller tilstander dukker opp i løpet av prosessen er det hele tiden mulig å reevaluere og eventuelt gjenta deler av prosessen.

3.3.4 Styrker og svakheter med metoden

Metoden kan fort bli meget omfattende. Sager (2017) viser til at dersom det for eksempel benyttes syv parametere og seks mulige tilstander i hver parameter vil dette generere nesten 280.000 muligheter.

Ett viktig resultat av morfologisk analys är at gruppen ensar begrepp och skapar ett gemensamt och tydligt språk (Stenström, 2011).

Det er med andre ord viktig at gruppen som gjennomfører metoden samarbeider og skaper forståelse for hverandres spesialkunnskap og erfaring. Stenström (2011) skriver videre at prosessen skal føre til at deltagerne slapper av og fokuserer på å løse oppgaven fremfor å forsikne seg bak egne meninger eller holdninger til emnet som studeres. Således kan det være at prosessen ikke blir like fruktbar dersom ekspertene ikke samles til felles møter.

4 Casene

Det er som tidligere nevnt valgt ut to prosjekter som skal vurderes etter hvor egnet de er å benytte som case for oppgaven. I dette kapittelet følger en kort presentasjon av de to prosjektene. Ytterligere informasjon om det valgte prosjektet finnes i kapittel 5 hvor også fremgangsmåte blir presentert.

4.1 Modernisering av Trønderbanen

Modernisering av Trønderbanen (tidligere *Tiltak på Trønderbanen*) ble satt i gang i 2012 med bakgrunn i *Konseptvalgutredning for transportløsning veg/bane Trondheim - Steinkjer* (Statens Vegvesen, 2011). Her ble det foreslått fire ulike konsepter. Av disse ble konsept 1: *Moderniseringskonseptet* foreslått. Dette innebar følgende:

Moderniseringskonseptet utbedrer kritiske veg- og jernbanestrekninger og fokuserer på etablering av gode knutepunkt for å koble sammen transporttilbudet i korridoren. Tiltakene på jernbanen muliggjør økt frekvens på strekningen Trondheim - Stjørdal. 4-felts veg mellom Trondheim og Stjørdal skal kunne ta fremtidig trafikkvekst (Statens Vegvesen, 2011).

4.1.1 Samfunnsmål og effektmål

Tabell 4.1: Beskrivelse av samfunnsmålene i *Konseptvalgutredning for transportløsning veg/bane Trondheim - Steinkjer* (Statens Vegvesen, 2011)

Samfunnsmål	Definisjon
Effektiv	Transportbehovet skal tilfredstilles med lavest mulig bruk av ressurser og lavest mulig reisetid. I effektmålene presiseres dette til 1 time mellom Trondheim og Steinkjer i 2040.
Pålitelig	De reisende skal komme til rett plass, til rett tid.
Fleksibel	De reisende skal kunne velge transportmiddel selv, men det legges fokus på at kollektivtilbudet skal gjøres mer attraktivt. I effektmålene presiseres det at det skal være hyppigere avganger, lavere kostnad og flere «[...] godt utbygde knutepunkt» (Statens Vegvesen, 2011) for kollektivtransport.

4.1.2 Dagens situasjon

I dag lever prosjektet videre, men noen av løsningene er forandret. Det lages stadig nye utredninger for å finne de beste løsningene, noe som også ligger som et forbehold i konseptvalgutredningen (Statens Vegvesen, 2011).

4. CASENE

Tiltak Konsept 1 Modernisering	
Veg	Ranheim - Stjørdal Oppgradere eksisterende trasé til 4-felts veg (S7-S8). 20 m vegbredde. Fartsgrense 90 km/t
	Kvithammer - Vist Utbedre E6 til 2 - 4-felt med midtrekkverk på strekningen Ved Langstein og fram til nedre del av Vuddudalen bygges en ca 5 km lang tunnel med 2 løp (4 felt). 15 m vegbredde. Fartsgrense 90 km/t. Sykling på lokalveg.
	Legge E6 utenom tettstedene Åsen, Røra og Sparbu
	Vegomlegging ved Nossumhylla og Koabjerga
Bane	Elektrifisering av strekningen Trondheim - Steinkjer
	Trondheim - Stjørdal Etablering av dobbeltspor. Benytter eksisterende trasé der dette er mulig. 5 nye tunneler på strekningen, 3 korte og 2 lange, samt nytt tunnelløp gjennom Gjevingåsen.
	Stjørdal - Åsen Dagens jernbanelinje Stjørdal - Devla. Dobbelspor Devla - Åsen med jernbanetunnel gjennom Forbordfjellet, bru over Vuddu og tunnel gjennom Grenneåsen.
	Åsen - Steinkjer Forlengelse av 4 kryssingsspor: Ronglan, Verdalen, Sparbu - Mære samt ett som ikke er plassert.
Gang/sykel	Sammenhengende gang- og sykkelvegnett. Opprustning av 36 km eksisterende g/s-veg. 31 km ny gang- og sykkelveg. Sykkelruter skiltes.
Trafikksikkerhet	Midtrekkverk og avkjørselssanering inngår som en del av vegtiltakene. Sanering av alle planoverganger for jernbanen.
Kollektiv	Nye ruteplaner for jernbane (Trondheim - Stjørdal: 15 minutters frekvens i rush, 30 min frekvens utenom rush, Stjørdal - Steinkjer: 30 min frekvens i rush, 60 min frekvens utenom rush) Ekspressbusstilbud langs E6 Stjørdal - Steinkjer (1 avgang per time i rush, 1 avgang hver 3. time utenom rush). Tilbudet skal komplettere togavganger Knutepunktsutvikling - legge til rette for skifte av transportmiddel med gode parkeringsforhold for sykkel og bil, attraktive venteområder for kollektivtransportbrukeren. Skilting og belysning av områdene. Etablere Park & Ride anlegg langs E6
Trafikantbetaling	Bompenger kan være aktuelt for å finansiere tiltak
Miljø	Legge E6 utenom tettstedene Åsen, Røra og Sparbu/Mære
Sårbarhet	Trafikksikkerhetstiltakene reduserer risiko for store ulykker på vegnettet med tilhørende blokkering av vegbane. Sammenhengende lokalvegnett av tilstrekkelig standard for midlertidig avvikling av tungtrafikk.

Figur 4.1: Denne tabellen, hentet fra KVUen, viser de aktuelle tiltakene i Konsept 1 (Statens Vegvesen, 2011).

Jernbanedirektoratet har nylig anbefalt å ikke elektrifisere hele strekningen. Dette på grunn av anskaffelse av ny teknologi i form av bimodale tog (Jernbanedirektoratet, 2018b). Disse kan per i dag benytte både diesel og strøm, men i fremtiden kan *mellomvogna* (som per i dag benytter diesel) byttes ut med en mellomvogn som bruker en annen form for drivstoff, som hydrogen, eller annen teknologi, som batteripakker. Dette er en av faktorene som medfører at å prioritere elektrifisering av trønderbanen per i dag antagelig ikke er det mest samfunnsøkonomisk nyttige.

Det er dog ønskelig å elektrifisere strekningen Trondheim-Stjørdal-Hell-Storlien (kalt

4. CASENE

Meråkerbanen). Dette for å sørge for felles driftsform på begge sider av riksgrensen, noe som vil gi en mulighet til å videreutvikle den internasjonale trafikken både med tanke på person- men også godstransport (Jernbaneverket, 2011).

Videre jobbes det fra Jernbanedirektoratets side med å utvide prosjektet fra å gjelde *Trondheim by* til å omfatte hele Trondheimsområdet, nærmere spesifikt fra Melhus.

I dag er prosjektet delt inn i tre trinn (Sivertsvoll, 2019):

- Trinn1:
 - 2 tog i timen Melhus-Steinkjer
 - Nye tog
 - Del-elektrifisering
 - Stasjonsoppgraderinger
- Trinn 2:
 - 4-6 tog i timen Trondheim-Stjørdal
 - Redusert reisetid
 - Dobbelspor Trondheim-Stjørdal
- Trinn 3:
 - Ytterligere redusert reisetid (ny trasé Stjørdal-Åsen)

I dag er prosjektet i Trinn 1. Disse punktene er i stor grad allerede akseptert og er forpliktet av NTP 2018-2029 (Meld.St.33, 2017). For punktet i Trinn 2 *redusert reisetid* menes det redusert reisetid på hele strekningen som beskrevet i KVUen (Statens Vegvesen, 2011), altså at det skal oppnås en reisetid på 79 minutter mellom Trondheim-Steinkjer.

4.2 Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen

I 2011 ble det gjennomført en konseptvalgutredning av Jernbaneverket for utbygging av nytt logistikknutepunkt i Trondheimsregionen kalt *Hovedrapport: konseptvalgutredning (KVU) for nytt logistikknutepunkt i Trondheimsregionen* (Jernbaneverket region nord, 2011). Situasjonen den gang var at det ble omlastet 112.000 *Twenty-foot equivalent unit* (TEU, basert på volumet til en 20 fots container (Wikipedia, 2018)). Analyser viste den gang at kapasitetsgrensen på Brattøra kunne være nådd innen 2020. Brattøra er per i dag en kombiterminal med korte sporganger. Dette medfører at tog må *klippes*, altså deles og kjøre inn noen vogner av gangen på sporet, for at det skal få plass. Dagens godsstrategi legger også føringer om at det i dag skal planlegges for toglengder på 740 meter mot dagens 645 meter. Dette innebærer at det blir ytterligere problematikk for ankomende tog på Brattøra. Det er dermed et helt klart behov for å effektivisere

4. CASENE

godsterminalen. Fra et byutviklingsperspektiv er det også ønskelig å legge ned terminalen på Brattøra. Dersom terminalen legges ned kan mellom 60 og 300 daa frigjøres til utbygging i området (Jernbaneverket region nord, 2011) som kan benyttes til byutvikling og å forbedre persontransporttilbudet.

Prognosen for gods på jernbanen som presenteres i KVUen er på 3,1 mill tonn i 2040 og over 5 mill tonn i 2060. Kapasiteten på Brattøra var på 2,5 mill tonn og ville således være sprengt allerede i 2030. Videre viser prognosene at større kapasitet for gods på jernbanen først og fremst vil hindre vekst i gods på vegnettet. Dette er en ønskelig situasjon ettersom gods fraktet med dieseltog er mer miljøvennlig enn gods fraktet med diesellastebil. (Jernbaneverket region nord, 2011).

I KVUen ble det presentert tre konsepter i tillegg til 0-alternativet som er å videreføre den nåværende driften på Brattøra.

1. 0 - videreføre dagens terminal- og havneinfrastruktur
2. M - Modernisere dagens terminalinfrastruktur
3. D - Ny kombiterminal med god havnetilknytning
4. I - Ny kombiterminal lokalisert på samme sted

Valget falt til slutt på alternativ D-sør eller konsept *Delt sør*. Dette alternativet går ut på å bygge ut en ny kombiterminal på Torgård eller Søberg, mens havneterminalen flyttes til Orkanger. Den endelige anbefalingen blir lokalisering på Torgård, med tunnel gjennom Vassfjellet.

4.2.1 Samfunns mål og effektmål

Prosjektets samfunns mål: Prosjektet skal gi Midt-Norge et kapasitetssterkt, kostnadseffektivt, fleksibelt og intermodalt logistikknutepunkt for fremtidens næringstransporter. (Jernbaneverket region nord, 2011)

4. CASENE

Tabell 4.2: Gjenskapelse av tabell for prosjektets effektmål (Jernbaneløst region nord, 2011)

Tema: Kapasitet og vekstmulighet	
K1	1. Logistikknutepunktet skal gi grunnlag for økt omlasting av gods til minst 300.000 containere i 2020 og minst 400.000 innen 2040.
	2. Tiltaket skal gi vekstmuligheter for andre togslag (vognlast).
	3. Logistikknutepunktet skal ivareta muligheten for betydelig økt containerbasert godstransport på sjø i Trondheimsfjorden.
	4. Logistikknutepunktet skal ha mulighet til kapasitetsutvidelse.
K2	Det skal være nok areal til samlastere, operatører og tredjeparts logistikkaktører.
Tema: Effektivitet og attraktivitet	
E1	Logistikknutepunktet skal tilby økt punktlighet og en pålitelig godshåndtering.
E2	Logistikknutepunktet skal være kostnadseffektivt og bidra til billigere transportløsninger enn i dag (for hele transportkjeden).
E3	Logistikknutepunktet skal kunne tilby nok kapasitet og arealer til annen transportkrevende næringsvirksomhet.
Tema: Lokaliseringens konsekvenser for brukere og samfunn	
L1	Kostnad knyttet til distribusjon via bane- og havneterminaler skal optimaliseres.
L2	Samfunnsmessig kostnad inkludert tilkobling mellom hovedveg, jernbane og havn skal optimaliseres.

4.2.2 Dagens situasjon

Etter at Dovre Group gjennomførte en supplerende KS1 (Finsveen, 2016) kom det frem at tunnel gjennom Vassfjellet ble en for kostbar investering. Derimot besto fortsatt anbefalingen om å bygge ny sekketerminal på Torgård fremfor Søberg. Dette alternativet ble således bestemt gjennomført i Nasjonal Transportplan 2018-2029 (Meld.St.33, 2017). Det ble også besluttet at det skulle gjennomføres en tilleggsutredning som skal sendes inn i 2019. Anbefalingen fra tilleggsutredningen er ikke offentlig i skrivende stund.

Det er med andre ord flere aspekt ved dette prosjektet som ennå er uavklart. Det er usikkert om prosjektet vil fremholdes eller om det vil vurderes nye løsninger etter anbefalingen fra Jernbanedirektoratet. I 2018 åpnet også en ny godsterminal på Heggstadmoen. I følge Jernbanedirektoratet er kapasiteten på denne større enn forventet, noe som trolig vil ha innvirkning på samfunnsnyttene av Torgård, som blir sammenlignet med fortsatt bruk av Brattøra i kombinasjon med terminalen på Heggstadmoen. Dette er imidlertid ikke tatt hensyn til i tilleggsutredningen i følge prosjektleder. Dette prosjektet er i skrivende stund ikke offentlig ennå, så dette kan ikke bekreftes.

5 Morfologisk Analyse av Modernisering av Trønderbanen

5.1 Valg av metode

I arbeidet med denne oppgaven ble det tydelig at å skulle gjennomføre begge disse metodene blir for omfattende av hensyn til oppgavens omfang og kunne ha gitt nok data til to oppgaver. Det ble derfor besluttet at det kun skulle fokuseres på morfologisk analyse (heretter MA). Dette valget ble foretatt fordi metoden er lite prøvd ut i Norge, og det finnes heller ingen data som tilsier at det er utprøvd i jernbaneprosjekter etter litteratursøket. MA virker også mest egnet å benytte i disse tilfellene hvor sluttresultatet først og fremst er konsepter uten én konkret teknologisk løsning. En mulighet ville ha vært å studere deler av casene og utviklet teknologikart for en tenkt del av konseptet. Til sist virker MA mer realistisk å kunne gjennomføre på en tilfredstillende måte i løpet av tiden som er til rådighet, mens å utvikle et teknologikart kan se ut til at ville kreve mer tid, og det er samtidig en risiko for at det ikke kan bli gjennomført på den relativt korte tiden. Faren er imidlertid stor for at det favnes for bredt i analysen i begge metodene.

Den morfologiske analysen gjennomføres som en serie intervjuer med eksperter fra ulike felter innen fremsynsmetodikk og jernbanefag. Dette er for å spare tid og for bedre å muliggjøre gjennomføring av morfologisk analyse på såpass kort tid med dertil knappe ressurser.

Morfologisk analyse først og fremst et verktøy som brukes i grupper satt sammen av personer med ekspertise i ulike fagfelt knyttet til det som skal analyseres. Det er med andre ord ikke vanlig at MA gjennomføres i én-til-én-intervjuer, slik det gjøres i denne oppgaven. Likevel hevder Ritchey (1998) at det teoretisk sett kan fungere å gjennomføre MA i en mindre gruppe, for deretter å benytte andre bidragsyttere til å kontrollere arbeidet, som for eksempel en referansegruppe.

5.1.1 Gjennomføring

I følge Stenström (2011) er det som tidligere nevnt viktig at arbeidet med analysen foregår i en fast gruppe. Stenström nevner også at størrelsen på gruppen bør være på mellom fire og seks personer utenom fasilitator. Derimot skriver hun at ved ønske om å inkludere flere deltagere i gruppen kan opprettes en referansegruppe, hvis jobb vil være å styrke eller vurdere hvor troverdig valgene eller innspillene som har dukket opp er. Dette understøttes videre av Ritchey (1998).

Det kan også skapes undergrupper som gjennomfører morfologisk analyse for deler av problemet som diskuteres. Dette forutsetter imidlertid at problemstillingen i hovedproblemet er besvart og at strukturen i denne er gjennomført slik at det kan

5. MORFOLOGISK ANALYSE AV MODERNISERING AV TRØNDERBANEN

identifiseres hvilke problem som skal videreutvikles.

Dermed kan det opprettes en mindre gruppe som møtes og gjennomfører morfologisk analyse for å besvare et spørsmål. Deretter kontrolleres validiteten av innspillene av andre eksperter. Dersom mangler eller feil i analysen blir avdekket vil prosessen gjentas i tilfeller hvor det er behov for dette. Mindre mangler kan rettes opp i etterhvert som disse avdekkes.

I følge Ritchey (2018) er det mest hensiktsmessig å gjennomføre analysen for grupper bestående av 6-8 personer. Stenström (2011) fastslår minimalt 4 personer. Dette passer godt overens med antallet intervjuobjekter som allerede er identifisert (se kapittel 2.2.1).

Fasilitators rolle vil også bli litt mer utstrakt. Stenström (2011) skriver at fasilitator gjerne kan foreslå parametere, men understreker at gruppen som gjennomfører MA skal være samstemt både om hvilke parametere som benyttes samt betydningen av disse. I denne oppgaven vil fasilitator (forfatteren) foreslå parametere, delvis i samarbeid med veiledere, men først og fremst på egenhånd. Ettersom de fleste ekspertene som blir benyttet har liten eller ingen kompetanse i bruk av metoden på forhånd, og relativt kort tid å avse for gjennomføringen er det lite sannsynlig at de vil foreslå parametere på egenhånd. En mulig fallgrube som kan oppstå i dette er at fasilitator legger for mye føring i utgangspunktet for analysen og at den således ikke vil fange opp alle forhold ved problemet som blir analysert.

Den første intervjurunden vil bli brukt til å samle inn tilstander til parameterne som er foreslått på forhånd. Tilstandene til hver parameter beskrives i kapittel 6. Disse dataene vil så bli analysert og bearbeidet. Overlappende tilstander vil enten slås sammen eller delt opp i flere tilstander. Det kan også tenkes at det i denne syntese-fasen avdekkes at parameterne som er foreslått er for vide, eller for upresist formulert slik at de ikke belyser de aspektene ved problemet som er ønsket.

Deretter vil det morfologiske området bli kontrollert for kryssinkonsistenser. Matrisen, som blir satt opp av SweMorph, vil bli oversendt bidragsyterne som først og fremst vil fungere som en kontroll av arbeidet fasilitator utfører ved å kontrollere for kryssinkonsistens i forkant av intervjuet. Det er også trolig at fasilitator kan overse eller ta feil i denne fasen, og med denne kontrollen kan bidragsyterne bidra til å gjøre analysen mer robust.

Etter krysskontrollen er gjennomført er resultatet et løsningsrom for det morfologisk område. Dette er på mange måter det endelige produktet av analysen, men i en virkelig situasjon ville det vært vanlig at et antall tilstander som er ønskelig å ta med i løsningen fastsettes av en beslutningstager for å redusere antall mulige løsninger ytterligere. Disse mulige løsningene må så analyseres for å konstruere ulike konsept som kan utredes. Det er viktig å understreke at antallet mulige konfigurasjoner i løsningsrommet ikke nødvendigvis tilsvarer antallet mulige konsept. Konfigurasjonene kan ende opp med å

5. MORFOLOGISK ANALYSE AV MODERNISERING AV TRØNDERBANEN

være relativt like og bare ha et par tilstander som skiller dem fra hverandre, noe som ikke nødvendigvis gjør det relevant å gjennomføre ulike utredninger.

Kvalitative intervjuer krever vanligvis en god del etterarbeid. Intervjuene som gjennomføres i denne oppgaven vil bli spilt inn og dataene vil bli lagret. I mange tilfeller ville det trolig ha vært hensiktsmessig å transkribere disse intervjuene, slik at dataene kan etterprøves. I kombinasjon med MA har derimot forfatteren i samråd med veileder bestemt at dette ikke er nødvendig. Dette kommer av at intervjuene vil bli benyttet til å formulere tilstandene som er nøye beskrevet i kapittel: 6. Det er derfor antatt at dette er tilfredstillende dokumentasjon.

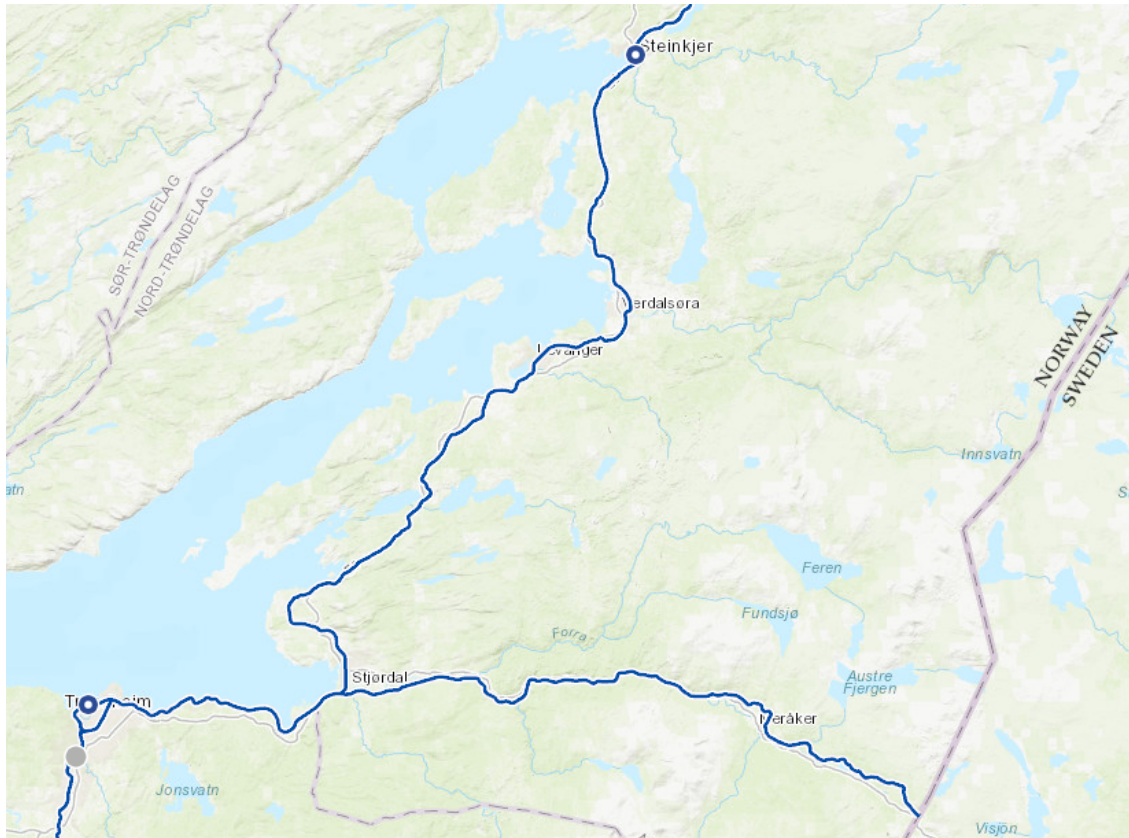
5.2 Valg av case

Fra Konseptvalgutredning for transportløsning veg/bane Trondheim - Steinkjer (Statens Vegvesen, 2011) kan det leses at det allerede er noen forutsetninger som lå til grunn den gang da som allerede er forandret per dags dato. Det er også sannsynlig at et prosjekt som gjennomføres over over såpass lang tid og har såpass lang levetid vil være sårbart for endringer vedrørende både teknologiske, økonomiske og politiske forutsetninger. Sett i en slik sammenheng kan dette caset ha god effekt av å benytte fremsynsmetodikk.

Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen er et prosjekt som forutsetter lang levetid og det er sannsynlig at teknologien som blir tatt i bruk i dag vil forandre seg i løpet av prosjektets levetid. Ved effektiv bruk av fremsynsmetodikk kan det legges til rette for dette i dag og kostnader kan antagelig spares i fremtiden når nye tekniske løsninger implementeres. Imidlertid bør det nevnes at det er en overhengende fare for at *Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen* vil bli lagt på is, i følge tidligere prosjektleder for prosjektet. Resultatene fra en MA vil således være helt eller delvis bortkastet.

Casen er valgt med bakgrunn i hvor åpen selve casen er, og hvilke eksperter som er tilgjengelig. I skrivende stund er det en del informasjon knyttet til *Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen* som ikke er offentlig og som dermed gjør det noe mer tungvindt å arbeide med caset. Et annet tungtveiende poeng er at prosjektleder for dette prosjektet har byttet jobb, og er således ikke tilgjengelig for å bruke som ekspert inn mot MA.

5. MORFOLOGISK ANALYSE AV MODERNISERING AV TRØNDERBANEN



Figur 5.1: Bildeutsnittet viser Trønderbanen og er tatt fra togkart.no (Bane NOR, 2019)

5.3 Swedish Morphological Society

Tome Ritchey, som er mye sitert i denne oppgaven, jobber til daglig for organisasjonen *Swedish Morphological Society* (heretter SweMorph). SweMorph har utviklet et eget dataverktøy til å gjennomføre MA kalt MA/Carma™. Dette dataprogrammet stilles til rådighet for studenter pro bono (SweMorph, 2019). Dette vurderes som et nyttig tilbud og gir en enklere struktur for kontroll av krysskonsistens og vil gjøre analysen mer effektiv.

Programmet strukturerer analysen etter parametere og tilstander. Det regner fortløpende ut hvor mange mulige konfigurasjoner som eksisterer i det morfologiske området. Videre setter det automatisk opp en matrise for kontroll av krysskonsistens. Her vil gruppen kunne avgjøre hvilke tilstander som ikke kan sameksistere på bakgrunn av formelle-, empiriske- eller normative hensyn. Dette diskuteres nærmere i kapittel 7. Programmet regner så på nytt ut antall mulige konfigurasjoner som følge av hvilke tilstander som ikke kan sameksistere.

Endelig kan en beslutningstager legge føringer på utfallsrommet. I MA/Carma™ kan det velges en eller flere tilstander som fungerer som *drivere*, det vil si tilstander som *må* være en del av konfigurasjonen (se figur 5.3). Programmet viser så hvilke konfigurasjoner som

5. MORFOLOGISK ANALYSE AV MODERNISERING AV TRØNDERBANEN

		Variable type			Directedness		Quantification		Cyclicality	
		Continuous	Discrete	Black-box	Directed	Undirected	Quantified	Non-quantified	Cyclic	Acyclic
Directedness	Directed									
	Undirected									
Quantification	Quantified									
	Non-quantified	1								
Cyclicality	Cyclic									
	Acyclic									
Nature of connections	Causal: deterministic			4		5		6		
	Causal: probabilistic							7		
	Non-causal									
	Unspecified	2	3							

Figur 5.2: Eksempel på hvordan en krysskonsistensmatrise kan se ut (Ritchey, 2018)

er mulig som følge av dette valget, og oppgir antall mulige konfigurasjoner. Som vist tidligere kan antallet mulige konfigurasjoner fort bli uhåndterlig høyt dersom prosessen med å kontrollere for krysskonsistens og å legge føringer ikke blir fulgt.

Geographic priority	Functional priorities	Size and cramming	New construction	Maintenance	General philosophy
Metropolises	All socio-tech. functions	Large, not crammed	With new construction	More frequent maintenance	All get same shelter quality
Cities + 50,000	Tech support systems	Large & crammed	Compensation	Current levels	All take same risk
Suburbs and countryside	Humanitarian aims	Small, not crammed	New only for defence build up	No maintenance	Priority: Key personnel
No geo-priority	Residential	Small & crammed			Priority: Needy

Figur 5.3: Eksempel på morfologisk område hvor tre parametere er bestemt som drivere (Ritchey, 1998).

Et alternativ til å samarbeide med SweMorph ville ha vært å programmere tilsvarende funksjoner for eksempel i Microsoft Excel. Dette er mer tungvindt og vil være betydelig mer tidkrevende. Det er derfor et klart ønske å benytte programvaren som er utviklet av SweMorph.

5.4 Formulering av problemstilling

I følge både Ritchey (1998) og Stenström (2011) er en viktig forutsetning for å gjennomføre en god MA at det er formulert en tydelig og presis problemstilling for analysen. Problemstillingen fastsettes av fasilitator og oppdragsgiver, i forkant av de første møtene med gruppen. For denne casen vil en av bidragsyterne fungere som oppdragsgiver for MAen. Det er foreslått følgende problemstillinger i forkant av første møte:

- Hvordan kan vi oppnå at Trønderbanen bli effektiv, pålitelig og fleksibel
- Hvordan kan man oppnå høyere frekvens på strekningen Melhus - Steinkjer
- Hvordan kan vi oppnå en reisetid på 79 minutter mellom Trondheim og Steinkjer
- Hva slags scenarier vil føre til at man ikke oppnår forbedring på Trønderbanen innen 2030

Etter et møtet med oppdragsgiver, ble det fastslått følgende problemstilling:

- Hvordan kan vi redusere reisetiden mellom Stjørdal og Steinkjer med 30 minutter?

Grunnen til dette er at det ved å bygge dobbeltspor på strekningen Trondheim til Stjørdal vil spares inn ca 15 minutter. Med dagens reisetid og målet om å oppnå en reisetid på 79 minutter gjenstår det dermed ca 30 minutter som må hentes inn på strekningen mellom Stjørdal og Steinkjer. Dette er per i dag foreslått å løse blant annet gjennom ny tunnel gjennom Forbordsfjellet, kurveutretninger på strekningen samt elektrifisering av strekningen.

I og med at disse tiltakene allerede er bestemt, men ennå ikke ligger inne i NTP kan denne strekningen vurderes uten at den påvirkes hverken av frekvensen på strekningen mellom Trondheim og Stjørdal, eller hvilke tekniske løsninger som implementeres. Ved hjelp av denne metoden kan det dermed ende med at det foreslås helt andre løsninger for å oppnå en mer fornuftig bruk av de tiltenkte midlene for å oppnå det samme målet.

I arbeidet med å fastslå problemstilling ble det tydelig hvorfor det er viktig å ha en spesifikk problemstilling, eller en som ikke er for vid. I de første forslagene ble oppgaven veldig åpen. I tillegg ble det tydelig at en del av avgjørelsene som allerede er fastslått i innværende NTP vil bli vanskelig å se bort fra i analysen dersom hele strekningen fra Trondheim til Steinkjer i analysen. Det morfologiske området vil enten måtte bli u hensiktsmessig komplisert og uoversiktlig, eller så vil det bli vanskelig å skille deler av Trønderbanen fra hverandre i analysen.

Ettersom forfatteren aldri tidligere har gjennomført en MA før medfører også en åpen problemstilling at det er vanskelig å foreslå parametere som kan gi et tilfredstillende resultat. Selv om det er sannsynlig at en mer erfaren fasilitator vil kunne arbeide med mer åpne problemstillinger nevner Stenström (2011) viktigheten av å formulere en

5. MORFOLOGISK ANALYSE AV MODERNISERING AV TRØNDERBANEN

problemstilling slik at de som gjennomfører analysen er samstemte i nøyaktig hva den betyr.

Gjennom å ta for seg analysen slik det gjøres her vil det være mulig å kontrollere at resultatet er realistisk. Dersom det opprinnelige forslaget kan gjenskapes i det morfologiske området vil dette muligens tilsi at resultatet er pålitelig. Det er samtidig et poeng at resultatet i all hovedsak skal komme fra bidragsyterne og ikke fasilitator. Således kan det være en fallgrube at fasilitators ønske, om å kunne finne det opprinnelige konseptet i løsningsrommet, vil påvirke bidragsyterne i for stor grad. Det kan også tenkes at dersom det fokuseres for mye på muligheten til å oppnå dette vil parametere ekskluderes på bakgrunn av at de ikke vil inneholde den ønskede løsningen.

5.4.1 Avgrensing

Med denne problemstillingen sees det bort fra all trafikk mellom Trondheim og Stjørdal. I følge KVUen (Statens Vegvesen, 2011) er det kun et mål å oppnå frekvens på 2 tog i timen begge veier på strekningen mellom Trondheim og Steinkjer. Det sees videre bort fra den grensekryssende trafikken som går på Meråkerbanen. Her er det også bestemt i innværende NTP at det skal elektrifiseres for å oppnå målet om felles driftsform på begge sider av riksgrensen. For øvrig vil det ikke diskuteres andre forhold som påvirker Meråkerbanen.

I analysen vil fjerntogene og godstogene som trafikkerer strekningen ikke belyses. Det tas for gitt at all trafikk på Trønderbanen vil nyte godt av redusert reisetid som følge av modernisering, men det vil ikke påvirke oppgaven som gjennomføres her. Å planlegge ruteleietildeling for banen er en annen oppgave.

For at analysen skal være av interesse for prosjektet skal det likevel være et mål at kravene fra KVUen i størst mulig grad oppfylles. Det er også av interesse for prosjektet å vurdere alternativer til elektrifisering av strekningen. Dette må dermed også tas med i analysen.

6 Parameterer

I denne delen vil de ulike parameterne og deres tilstander bli presentert. Noen av parameterne er formulert av forfatteren på forhånd, mens resten er formulert av bidragsyterne i forbindelse med fasiliteringen/intervjuene. Tilstandene som blir presentert er formulert av bidragsyterne. De er ikke bedt om kilder på det de hevder, det antas at deres faglige bakgrunn er kilde i seg og at deres påstander er pålitelige. Det er imidlertid oppgitt noen kilder der bidragsyteren har referert til dette. Bidragsyterne ble intervjuet i to omganger. En gang for å samle data til parameterer og tilstander og igjen for å gjennomføre en krysskonsistensanalyse som blir presentert i kapittel 7. Ettersom en MA ikke er en lineær metode (Ritchey, 2015) ble parameterne og tilstandene hele tiden definert og revurdert underveis i prosessen. Deres endelige definisjon er presentert i dette kapitlet, men det er forsøkt å beskrive når i prosessen en parameter eller tilstand har blitt redefinert som følge av diskusjon som oppstod i arbeidet med modellen.

I følge (Stenström, 2011) må parameterne være godt definert slik at alle deltagerne vet hva de betyr i analysen. Det innebærer at når et morfologisk område betraktes uten kjennskap til betydningen av hver parameter eller tilstand kan dette føre til en situasjon hvor det er umulig å forstå hva det morfologiske området faktisk forteller.

Ettersom ekspertene som vil bli benyttet ikke nødvendigvis har kjennskap til metoden som benyttes har forfatteren, i samråd med veiledere, besluttet at parameterne, i alle fall til en viss grad, bør formuleres på forhånd. De opprinnelige parameterne, formulert av forfatteren, er vist i figur 6.1. Bidragsytternes oppgave er dermed å formulere de ulike tilstandene hver parameter kan inneha. Disse er også presentert i dette kapitlet.

Frekvens	Togprodukt	Reisetilbud	Antall stopp	Tunneller	Fremdrift	Bevilgninger

Figur 6.1: Utgangspunktet som ble presentert for bidragsyterne produsert av fasilitator (egenprodusert).

Det er også ønskelig at bidragsyterne skal foreslå egne parameterer. Dette kan også komme som følge av innspillene til tilstander. For bedre å sikre at bidragsyterne skal kunne forstå hva slags tilstander de ulike parameterne kan eller bør ha vil de bli beskrevet nøye i forkant av intervjuet. Denne beskrivelsen vil også bli gjengitt under.

6. PARAMETERE

Parameterne er valgt for at de i størst mulig grad skal fange opp alle muligheter som påvirker valg av løsning. De skal også kunne beskrive den opprinnelige løsningen som ble foreslått i KVUen. Videre kunne det trolig ha blitt foreslått ytterligere parametere på forhånd, men det er imidlertid tatt en avgjørelse på at parameterne bør kunne beskrive situasjonen så godt som mulig, uten å bli for kompleks. Altså unngå at det morfologiske området blir for omfattende, som følge av flere parametere og tilhørende tilstander.

Parameterne skal ikke ha noen målbare verdier, men numeriske verdier kan være med for å utgjøre et sammenligningsgrunnlag (Ritchey, 2018). Det kan likevel fremstå som om noen parametere har målbare tilstander, som i parameter 8: *Bevilgninger*. Dette er imidlertid bare tall som beskriver tilstanden og er ikke nøye utregnet.

Ritchey (2018) beskriver to typer parametere. De består enten av *boolske ELLER-lister* eller *boolske OG-lister*. En boolsk eller-liste er en parameter som består av gjensidig utelukkende tilstander. Det vil si at en parameter ikke kan ha mer enn en av tilstandene. En parameter som defineres som en boolsk OG-liste består derimot av tilstander som kan oppstå samtidig, altså hvor flere av tilstandene kan forekomme i samme konfigurasjon. Et morfologisk område kan bestå av begge typer parametere.

I følge Ritchey (2018) hevder enkelte at kun ELLER-lister er det som gir en vitenskapelig metode. Selv mener han at OG-listene gir mer realistiske bilder av virkeligheten og gir brukeren mulighet til å lage smidigere morfologiske områder. Etter å ha laget parameterne er dette også tydelig. Dersom kun parametere med boolske ELLER-lister kan benyttes, kan det morfologiske området ende med å bestå av uhensiktsmessig mange parametere, som kun har en eller to tilstander. Det er også viktig å nevne at selv om tilstandene *kan* eksistere samtidig er det ikke nødvendigvis slik at de hverken *må* eller *bør* gjøre det.

6.1 Første intervjurunde

Det ble ikke formulert noen form for intervjuguide i forkant av intervjuene. Bidragsyterne ble presentert for metoden, caset og parameterne av forfatteren. Under intervjuet fungerte forfatteren som fasilitator for gjennomføring av oppgaven. Intervjuobjektene har på egenhånd kommet frem til de ulike tilstandene som er beskrevet senere i dette kapittelet. De har også formulert egne parametere.

Intervjuene fortoner seg mer som en slags strukturert diskusjon, og forfatteren hentet inspirasjon fra Stenström (2011) sine tips til hva slags åpne spørsmål som kan stilles for å stimulere diskusjonen.

Da forespørsel om tidspunkt hvor det passet for bidragsyterne å bli intervjuet ble sendt ut var det tre av de villige bidragsyterne som ikke svarte på forespørselen. Dermed ble det ikke intervjuet ni personer (bidragsytere pluss veileder og biveileder) slik det opprinnelig

6. PARAMETERE

var planlagt, men kun syv. Dette antallet er likvel hverken flere eller færre eksperter enn hva Ritchey (1998) og Stenström (2011) anbefaler, så dette frafallet er ikke å anse som kritisk for gjennomføringen av analysen.

Under de første intervjuene ble det tydelig at parameterne som på forhånd var formulert av forfatteren ikke nødvendigvis fanget opp hele utfallsrommet som var ønskelig å oppnå. Utgangspunktet med syv parametere ble dermed for snevert, og bidragsyterne foreslo selv parametere for å beskrive problemstillingen nærmere. I og med at bidragsyterne har såpass ulik bakgrunn og kompetanse foreslo de også med helt ulike tilstander, noe som ga det morfologiske området et større bilde enn dersom fagpersoner med lik bakgrunn skulle ha gjennomført analysen. Å planlegge og å drive jernbane er en kompleks oppgave, og det gir seg også uttrykk i hvor stort det morfologiske området ble etter at intervjuene var gjennomført.

Det viste seg også at behovet, men også ønsket, om mer informasjon på forhånd var større enn først antatt, og deler av tiden under den første intervjurunden gikk derfor med til å informere bidragsyterne om metoden. Metoden ble imidlertid oppfattet som intuitiv av bidragsyterne og de forstod raskt sin oppgave. Samtlige bidragsyterne foreslo parametere som belyste problemet fra sider som var viktige sett fra deres fagfelt. Dette var meget nyttige innspill for å få belyst helheten i dette komplekse problemet.

Parameter 5: *Tunneller* ble blant annet problematisert. Mens tunneller beviselig er en måte å redusere reisetiden på er dette først og fremst som følge av at det kan bygges jernbane med optimalisert gradient og færre eller slakere kurver. Tiltaket tillater dermed høyere hastigheter for den gitte strekningen. I tillegg gir det i mange tilfeller mulighet til å gjennomføre kraftige linjeinnkortinger, som tunnelen gjennom Forbordsfjellet eksempelvis vil gjøre. Dermed kan denne parameteren enten stå som den er og foreslå steder hvor tunneller kan plasseres (eller om det bør være tunneller i det hele tatt), eller den kan endres og beskrive ulike tiltak som forbedrer sporgeometrien. Dette vil i så fall være en parameter hvor flere av tilstandene kan være med i én konfigurasjon.

Det siste intervjuet i denne runden ble gjennomført i gruppe. Denne gruppen bestod av veileder og biveileder og én bidragsyter. I denne gruppen ble det morfologiske området slik det forelå etter én-til-én-intervjuene presentert og diskutert. Noen tilstander ble formulert litt annerledes for å kvalitetssikre at deres betydning fremstod enhetlig for alle. Ordlyden til de ulike parameterne ble også diskutert og spisset slik at det skulle være mindre usikkerhet knyttet til hvordan den ble oppfattet. Diskusjonen rundt opprettelse av ytterligere-, samt spissing av eksisterende tilstander og parametere ble oppfattet som positiv for oppgaven.

Det morfologiske området som ble oversendt SweMorph etter den første intervjurunden kan sees i kapittel 6.14.

6. PARAMETERE

6.1.1 Stryking av parametere

En forutsetning for å kunne bruke datastøttet MA fra SweMorph er at det kun kan opprettes 8 parametere. Etter intervjurundene endte imidlertid det morfologiske området på 11 parametere. En del av syntesen består i å slå sammen overlappende parametere (Stenström, 2011). Ritchey (2015) hevder imidlertid at dette ikke i seg selv er grunn til å stryke parameteren. Parametere med overlappende innhold kan i mange tilfeller kan belyse en del av problemet fra ulike sider eller for ulike interessenter, for eksempel fra et økonomisk perspektiv og et politisk perspektiv. Det er derfor viktig å poengtere at parameterne ikke er strøket kun fordi de overlapper, men fordi de ikke nødvendigvis gir et bredere perspektiv til analysen.

Frekvens	Togprodukt	Reisetid	Antall stopp	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Traséstandard	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag		Færre stopp enn i dag	Flere tunneller på strekningen	Hyperloop	Binodale tog	Dobbeltspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	160 km/t	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få, store knutepunkt		Likt antall stopp som i dag	Større kurveradius	Elektrifisert	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	250 km/t	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokalstog for hele strekningen		Flere stopp enn i dag	Optimalisering av gradienten	Diesel	Færreløse tog	Forenkle dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteledelse		Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En mikstog av regionstog og lokalstog			Løseløstopp	Hydrogen	ERTMS				
				Redusere antall planoverganger	Batteripakker					

Figur 6.2: Foreløpig morfologisk området etter intervju av bidragsytere med elleve parametere (egenprodusert).

Flere av bidragsyterne pekte nettopp på at noen av parameterne virket å overlapse hverandre. Spesielt ble parameteren kalt *Reisetilbud* diskutert. Denne parameteren overlapper spesielt parameteren *Antall stopp*, men også parameteren *Togprodukt*. Dersom det velges én tilstand i den ene parameteren vil det være nødvendig å velge en tilsvarende tilstand i den andre parameteren. Det ble dermed bestemt å stryke *Reisetilbud* ettersom denne fremstod som mer kompleks enn *Antall stopp*. Det var heller ingen bidragsytere som foreslo noen spesifikk tilstand til denne parameteren, noe som gjorde det enklere å velge hvilken av disse som burde strykes.

Parameteren *Antall stopp* har derimot et annet problem i og med at den kan sies å kun ha én ønsket tilstand, eller med andre ord, kun ha ett riktig svar. For at denne parameteren skal kunne føre til reduksjon i reisetid må tilstand II.1 *Færre stopp enn i dag* velges. Samtidig har denne parameteren såpass stor overlapping med parameter 2: *Togprodukt* at dersom det velges én tilstand for den ene parameteren kan den kun sameksistere med tilsvarende tilstand hos den andre. Parameter 2: *Togprodukt* blir stående ettersom den viser et mer sammensatt bilde enn *Antall stopp*, og kan dermed gi mer innsikt til den eventuelle videre bruken av resultatet.

Til sist strykes parameteren *Traséstandard*. Dette fordi denne parameteren delvis overlapper med parameter 3: *Geometri* da høyere hastighet krever et stivere

6. PARAMETERE

banelegeme enn lavere hastigheter, men også delvis fordi det per i dag fremstår som lite sannsynlig at det vil bygges med hensyn på høyhastighetsbane på Trønderbanen.

Flere parametere kan også strykes som følge av at de ikke direkte påvirker reisetiden mellom Stjørdal og Steinkjer. For eksempel *Togprodukt* eller *frekvens* kan strykes. Imidlertid gir det mulighet til å presentere et litt mer komplekst bilde av mulighetene som foreligger i området. Ved å inkludere disse, og å drøfte dem mot resten av det morfologiske området kan det også vise seg at målsetningen om å redusere reisetiden med 30 minutter for dette området kanskje ikke er den mest optimale løsningen, men at det snarere bør vurderes løsninger med for eksempel litt lengre reisetid enn ønsket, men hyppigere avganger, eller lokaltog for en del av strekningen med spesielt mange interne reiser.

6.1.2 Stryking av urealistiske tilstander

I arbeidet med å samle inn tilstander og parametere fra bidragsyterne ble det også foreslått tilstander som var urealistisk å vurdere for videre analyse. Spesielt skiller tilstand 4.1 *Hyperloop* seg ut som urealistisk. Dette kan sammenlignes med å foreslå at det skal opprettes noe helt annet enn jernbane for denne banestrekningen. Det er heller ikke, etter hva forfatteren vet, noen gevinst å hente ved å legge til rette for å utvikle hyperloop på denne strekningen i fremtiden da denne teknologien har helt andre behov og krav en det en jernbane har. Det ligger også implisitt i forbeholdene som er tatt for denne analysen at det skal være mulig å kjøre godstransport og fjerntog på strekningen.

Ritchey (2013) beskriver imidlertid en MA hvor spesielt den ene deltageren foreslo tilstander som de andre bidragsyterne mente at ikke var egnet for å beskrive modellen, ved at det enten var for urealistisk eller at det var nær sagt ødeleggende for prosessen at denne deltageren fortsatte å foreslå unødvendige tilstander. Ritchey forteller videre at det i krysskonsistenskontrollen viste seg at disse tilstandene var meget nyttige for prosessen, og at når sammenhengen mellom disse "unødvendige" tilstandene og de andre tilstandene ble kontrollert, ble det oppdaget en rekke sammenhenger som viste seg å ha stor innvirkning på den morfologiske analysen i sin helhet.

Dette eksempelet er hva som førte til at tilstanden *hyperloop* har fått være med gjennom denne delen av prosessen. Selv om eksempelet som ble presentert i Ritcheys anekdote var en helt annen analyse, og tilstanden det her diskuteres er en rent ingeniørmessig løsning som sannsynligvis ikke vil kunne eksistere i noe løsningsrom kan det være at det ved å beholde den vil kunne oppdages en løsning eller et problem som ikke ville ha blitt oppdaget uten den.

Overnevnte til tross fjernes denne tilstanden før det gjennomføres en krysskonsistenskontroll. Dette fordi målet med denne oppgaven er å finne utfallsrommet for jernbanestrekningen mellom Stjørdal og Steinkjer. Selv om en løsning med hyperloop

6. PARAMETERE

trolig vil kunne redusere reisetiden på denne strekningen er dette en såpass annerledes teknologisk løsning at lite eller ikke noe av dagens infrastruktur vil kunne beholdes. Sintef (2017) hevder også at dette ikke er en løsning som egner seg for transport over kortere avstander. Det er uvisst nøyaktig hva som menes med kortere avstander, men trolig er det ikke mulig å betjene mer enn et fåtall av dagens stasjoner med hyperloop. I tillegg er det implisitt at det fortsatt skal være mulig å fremføre godstog på strekningen, noe som sannsynligvis ikke ville ha vært mulig dersom det ble bygget hyperloop. Denne tilstanden blir dermed vurdert å være for langt unna den ønskede løsningen til at den vil ha noen påvirkning på det endelige morfologiske området.

6.1.3 Simplex-modell eller duplex-modell

I (Ritchey, 2018) nevnes det at det kan konstrueres to typer morfologiske modeller. En simplex-modell består av ett morfologisk område med parametere som tegner et bilde av en gitt situasjon. På den annen side kan det konstrueres en duplex-modell som består av to morfologiske områder. Her påvirker konfigurasjonen som velges i det ene området hvilke konfigurasjoner som er mulig i det andre området.

Resource field					Response field		
PLANNING/ PLANS	TRAINING AND EDUCATION	PERSONNEL AVAILABLE	EQUIPMENT AVAILABLE	LEADERSHIP LEVEL	RESPONSE to chemical release	RESPONSE: Information to public	RESPONSE: Affected people
Full preparedness plan	Broad co-op. training	11 or more	Special equipment for specific case	Level 4	Reduce by least 80% within 15 min	Warn involved within 5 min	Help many within 30 min
Response plan for specific case	Training for specific case	8-10	Base equipment for specific case	Level 3	Reduce by least 80% within 30 min	Warn involved within 30 min	Help some individuals within 15 min
Standard routine for specific case	Base education + regular training	5-7	Less than base equipment for specific case	Level 2	Reduce by less than 50% within 15 min	No warning within 30 min	Help some individuals within 30 min
Standard routine for general case	Base education only	4 or less		Level 1	Reduce by less than 50% within 30 min		No help within 30 min
Only alert plan					No measures within 30 min		

Figur 6.3: Redningstjenestens ressurser i det venstre feltet påvirker hva som er mulig å yte i det høyre feltet (Ritchey, 2018).

I denne analysen ble det etterhvert tydelig at hvilken tilstand som velges i parameter 8: *Bevilgninger*, helt klart påvirker hvilke tilstander som er mulig å inkludere i en gitt konfigurasjon. Dermed kan det hevdes at det er konstruert en slags duplex-modell med kun én parameter i det ene morfologiske området.

6. PARAMETERE

En duplex-modell er imidlertid i dette tilfellet lik en simplex-modell med én tilstand som driver. Det vil også være vanskelig å ha oversikt over hvilket mulig utfallsrom som eksisterer når det ikke er tilgang til et egnet dataprogram som kan hjelpe brukeren med å vise hvilke morfologiske områder som eksisterer for den enkelte tilstanden. Det er mulig at dette kunne ha blitt løst gjennom nærmere samarbeid med SweMorph.

6.2 Parameter 1: Frekvens

Viktigheten av hyppige avganger merkes mest på mindre områder med mange reisende. Dette blir mindre viktig på reiser over lengre avstander. For slike reiser er reisetiden viktigere for at toget skal være et attraktivt alternativ. Med frekvens menes her hvor mange tog som skal gå fra hver stasjon i timen. I NTP 2018-2029 er det besluttet at det skal gå to tog i timen mellom Melhus og Steinkjer (Meld.St.33, 2017), men er dette den beste løsningen? Kan det oppnås høyere frekvens?

6.2.1 Tilstand 1.1: En gang i timen, som i dag

Til tross for at det foreligger et mål om å oppnå to avganger i timen hver vei i det originale forslaget er ikke dette nødvendigvis riktig løsning for å gjøre jernbanen mer attraktiv. Med dagens infrastruktur medfører en økning i frekvens for regionstoget en dobling av fremføringstiden for godstogene på strekningen, altså fra to timer mellom Steinkjer og Trondheim til fire timer.

Per i dag er godstog mellom Bodø og Oslo et meget konkurransedyktig alternativ, men økt fremføringstid kan bidra til at godstoget blir mindre attraktivt å benytte seg av og således føre til at prosjektet kan bli mindre samfunnøkonomisk nyttig.

6.2.2 Tilstand 1.2: To ganger i timen i rushtid

Selv om det i utgangspunktet et planlagt for to avganger i timen hele døgnet er det ikke dermed sikkert at dette resulterer i den ønskede effekten. Det foreslås at dermed å kun gjennomføre dette i rushtiden for å møte reisebehovet i denne perioden.

6.2.3 Tilstand 1.3: To ganger i timen hele døgnet

Med hele døgnet siktes det til hele trafikkdøgnet (som regel mellom 05:00-24:00 med lokale variasjoner).

6.2.4 Tilstand 1.4: Fire til seks ganger i timen

I kapittel 4.1.2 ble det presentert at det i trinn 2 søkes å opprette mellom fire og seks avganger i timen mellom Trondheim og Stjørdal. Alle avgangene kan forlenges og gå hele veien til Steinkjer i stedet for å stanse i Stjørdal.

6.3 Parameter 2: Togprodukt

Jernbanen i Norge opererer med tre *togprodukter* for persontog:

- Lokaltog - Tog som har ruter over et mindre område og har flere stopp i samme by.
- Regionstog - Tog som opererer innen én region. Toget sørger for transport innad i regionen og stopper på enkelte stasjoner, men som regel ikke flere i samme by.
- Fjerntog - Tog som sørger for transporten mellom regionene i Norge.

Per i dag er det fjerntog og regionstog på Trønderbanen. Samtidig kan det argumenteres for at regionstoget opererer som lokaltog på strekningen mellom Melhus og Stjørdal. Dette fordi toget har flere stopp innad i Trondheim og på mange små steder mellom disse stedene.

Denne parameteren skal ta for seg hva slags togprodukt som i hovedsak skal frekventere Trønderbanen. Det kan være å ha lokaltog hele veien eller et visst antall regiontog som fungerer som et slags ekspressstog, mens andre tog fungerer som lokaltog på deler av banen. Hvor gir det i så fall mening å opprette lokaltog? Dette kan også sees i sammenheng med hva togets rolle i regionen skal eller bør være.

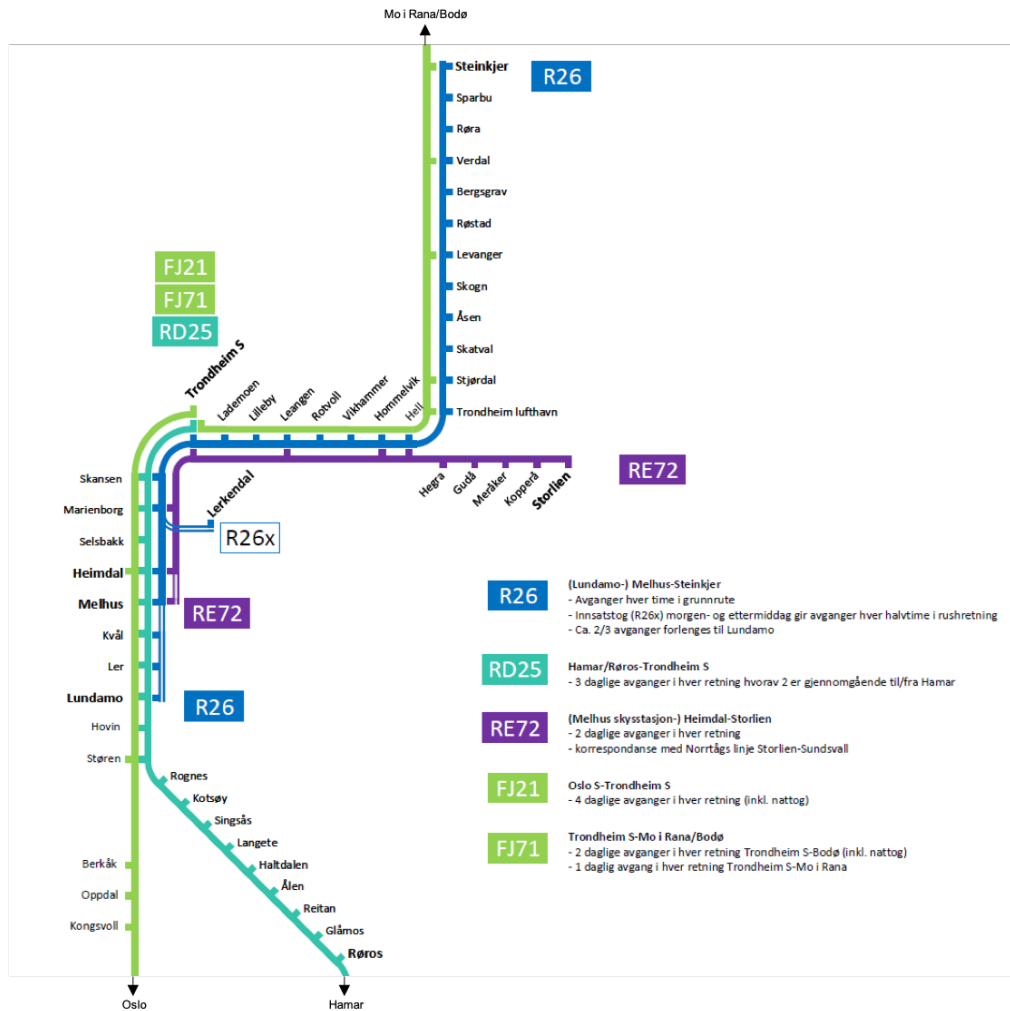
6.3.1 Tilstand 2.1: Regionstog som i dag

Regionstog har per i dag flere stopp i noen områder hvor regionstoget mer eller mindre fungerer som lokaltog.

6.3.2 Tilstand 2.2: Regionstog med få, store knutepunkt

Gjennom å kun operere med regionstogtrafikk for strekningen kan påliteligheten og effektiviteten til jernbanenettet økes. Dette fører dog til dårligere fleksibilitet for området slik det er skrevet i KVUen, ettersom det medfører at enkelte stasjoner i områder som betjenes av flere stasjoner vil bli lagt ned, og andre transportmidler vil være mer attraktiv. Konkurransen med buss om passasjerer som skal reise mellom kortere avstander i regionen opphører, men jernbanen kan bli et mer attraktivt alternativ for reisende som skal reise over lengre avstander.

6. PARAMETERE



Figur 6.4: Stopp på Trønderbanen som presentert av Sivertsvoll (2019).

6.3.3 Tilstand 2.3: Lokaltog for hele strekningen

Dersom det opprettes flere lokaltog for linjen som betjener flere stasjoner kan dette gi et banenett som er mer attraktivt for innbyggerne i området. En løsning for de som pendler mellom Trondheimsområdet og Steinkjer kan være å bytte tog i ulike knutepunkt.

6.3.4 Tilstand 2.4: En miks av regiontog og lokaltog

Det kan opprettes lokaltog i noen områder med spesielt stor intern trafikk i likhet med området mellom Trondheim og Stjørdal. I tillegg vil regionstogene betjene hele strekningen, men ikke stoppe på alle stasjoner på linjen. Dette fører til en meget kompleks rutetabell og det må trolig bygges dobbeltspor for å kunne gjennomføre denne driften.

6.4 Parameter 3: Geometri

Tunnelen gjennom Forbordsfjellet er en sentral del av dagens løsning, men kan samtidig hevdes å være en av de største utgiftspostene for prosjektet. Denne parameteren skal ta for seg hvilke muligheter som finnes på strekningen. Er det behov for tunnel i det hele tatt? Kan det foreslåes andre steder det kunne vært mulig å redusere reisetiden ved å bygge tunnel? Kan det vurderes andre tiltak for å forbedre geometrien?



Figur 6.5: Kartutsnitt fra Norgeskart.no (2019). Jernbanen er markert i svart.

6.4.1 Tilstand 3.1: Flere tunneller på strekningen

Dette inkluderer tunnel gjennom Forbordsfjellet. Ettersom tunneller gir mulighet til å legge sporgeometrien optimalt både med tanke på gradient og kurveradius, kan dette tiltaket redusere reisetiden drastisk dersom det bygges flere enn det som er tenkt. En tunnel kan også muliggjøre større linjeinnskorting.

6.4.2 Tilstand 3.2: Større kurveradius

Gjennom å redusere antall kurver og designe de resterende kurvene med større kurveradius gir det mulighet for togene å holde høyere hastighet gjennom et gitt område.

6. PARAMETERE

6.4.3 Tilstand 3.3: Optimalisering av gradienten

Ved å optimalisere gradienten gir det togene mulighet til å opprettholde en høyere hastighet gjennom et gitt område. Samtidig kan toget holde et jevnere energibruk med mindre behov for å akselerere eller bremse noe som i tillegg kan gi miljøgevinster.

6.4.4 Tilstand 3.4: Linjeinnkorting

Ved å rette ut banelegemet, eller legge det utenom tettsteder jernbanen tidligere har betjent kan avstanden forkortes.

6.4.5 Tilstand 3.5: Redusere antall planoverganger

En sikret planovergang med halvbom kan kun passeres i mindre enn 130 km/t. Ved å redusere antall planoverganger som dette gjelder, enten ved å fjerne dem ved å legge vegen i kulvert, eller på annen måte omdirigere trafikken, eller ved å oppgradere til planoverganger sikret med helbom kan planovergangen passeres i høyere hastighet.

6.5 Parameter 4: Fremdrift

Et annet viktig punkt i KVUen er at det skal elektrifiseres mellom Trondheim og Steinkjer. Det har, i følge flere av bidragsyterne, vist seg at det ikke kan spares inn like mange minutter reisetid i elektrifiseringen alene, som var forutsatt i KVUen.

Det kan virke kontraintuitivt å foreslå å ikke gjennomføre klimatiltak på jernbanen, som elektrifisering. Spesielt siden miljøgevinsten med reiser på jernbanen sammenlignet med andre modaliteter er et viktig argument for å investere i jernbane. Samtidig kan det argumenteres for at et avbøtende tiltak for å komme en fremtid i møte hvor tog drives av mer klimavennlige drivstoff enn elektrisitet, vil være nettopp å ikke elektrifisere linjen. Miljøet spares dermed for utslipp ved utbygging, samt at miljøet spares fremtidig utslipp ved å benytte et mer miljøvennlig alternativ. Hva slags endringer kan gjøres? Hvilke muligheter finnes? Hvilke tekniske løsninger er sannsynlige i fremtiden?

6.5.1 Tilstand 4.1: Elektrisitet

Dersom strekningen elektrifiseres kan utslippene på strekningen reduseres kraftig sammenlignet med dagens situasjon. Elektrifisering er i seg selv et kostbart prosjekt som i fremtiden gir flere utgifter til infrastruktureieren, men færre til operatør.

6. PARAMETERE

6.5.2 Tilstand 4.2: Diesel

Per i dag er strekningen ikke elektrifisert. Bruken av diesel er den største kilden til utslipp på banen. Dette medfører ingen økte kostnader for operatør mot dagens situasjon, og heller ingen for infrastruktureier.

6.5.3 Tilstand 4.3: Hydrogen

Per i dag forskes det en del på bruk av hydrogen til å drive tog. England kan ha tog som benytter hydrogen som drivstoff på jernbanen så tidlig som 2022 (Alstom, 2019). I togtypene som er bestilt for Trønderbanen vil det i fremtiden være mulig å bytte ut diesel med hydrogen, noe som er et mer miljøvennlig alternativ. Dette medfører imidlertid kostnader for eieren av det rullende materiellet, og også for infrastruktureier som må legge til rette for nødvendig infrastruktur for å kunne benytte hydrogen. I tillegg kan det potensielt medføre større kostnader for samfunnet for øvrig i forbindelse med utbygging av nødvendig infrastruktur for å muliggjøre bruken av dette drivstoffet, dette belyses imidlertid ikke i denne oppgaven, og det må forutsettes at denne infrastrukturen allerede er på plass.

6.5.4 Tilstand 4.4: Batteridrevet

Dersom mellomvogna byttes ut med batteri, fremfor diesel, kan mindre ladestasjoner bygges på endestasjonene hvor toget kan lade opp batteripakkene og dermed kan benyttes på strekninger hvor det ikke er kjøreledning. Med denne teknologien kan det være mulig å kun ha kjøreledning på deler av strekningen til oppladning.

6.6 Parameter 5: Signalsystem og togteknologi

Selv om det er bestilt inn bimodale togsett til Trønderbanen er det likevel av interesse å se på alternative løsninger som kan redusere kjøretiden for denne delen av jernbanen. I tillegg kan oppgradering av signalsystemet gi mulighet for høyere hastigheter over lengre strekninger, og kan gi mindre kapasitetsproblemer.

6.6.1 Tilstand 5.1: Bimodale tog

Det er bestilt inn 14 FLIRT Type 76 tog til Trønderbanen (Jernbanedirektoratet, 2018a). Disse er bimodale tog som per i dag kan bruke diesel og elektrisitet, men som i fremtiden kan benytte et mer bærekraftig brensel.

6. PARAMETERE

6.6.2 Tilstand 5.2: Krengetog

Et krengetog kan kjøre raskere gjennom skarpere kurver enn vanlige tog uten at dette påvirker hverken sikkerheten eller komforten til passasjerene. Krengetog er prøvd ut i Norge tidligere uten at det ble anbefalt videre bruk av dette i Norge. Dette kan likevel være en realistisk løsning, som kan gi kortere reisetid på denne strekningen.

6.6.3 Tilstand 5.3: Førerløse tog

Et førerløst tog vil optimalisere kjøremønsteret til en lokfører, og dermed holde høyere gjennomsnittshastighet, uten at dette går utover komforten til de reisende. Denne teknologien ønskes det å ta i bruk allerede i 2023 for TGV linjen i Frankrike. Det er sannsynlig at teknologien kan implementeres for andre linjer så tidlig som i 2030 (Sintef, 2017).

6.6.4 Tilstand 5.4: ERTMS

Det er allerede bestemt at det skal innføres ERTMS av nivå 2 på norske jernbaner. Det finnes derimot ulike nivåer av ERTMS (Jernbaneverket, 2012) og det kan være verdt å undersøke om bruk av et annet nivå kan gi en positiv effekt. ERTMS muliggjør blant annet bruk av kortere blokkstrekninger, som innebærer at rullende materiell ikke trenger like lange avstander mellom hverandre for å operere trygt.

6.7 Parameter 6: Spordesign

Med spordesign menes her hvordan banen skal se ut. Hvilke møtepunkter finnes? Er det behov for dobbeltspor hele veien, eller finnes det andre måter å øke både frekvens og hastighet på linjen?

6.7.1 Tilstand 6.1: Dobbeltspor hele veien

Gjennom å fortsette dobbeltsporet fra Stjørdal hele veien til Steinkjer kan sannsynligvis både høyere frekvens, men også høyere hastighet oppnås på banen ettersom det ikke vil være behov for å vente på motgående tog, dette er derimot mer usikkert. Dobbeltspor gjør det også mer sannsynlig at det kan tilbys ulike togprodukt for ulike deler av strekningen, og dagens godsfrøring kan opprettholdes og kanskje forbedres.

6. PARAMETERE

6.7.2 Tilstand 6.2: Øke antall kryssningsspor

Ved å opprette flere kryssningsspor kan det bli mindre behov for at ulike togsett må vente på motgående tog. Det vil også bli mulig å øke frekvensen på regionstoget og kanskje også fremføre flere tog på strekningen. Dette bidrar til at banen blir mer effektiv og mer pålitelig.

6.7.3 Tilstand 6.3: Forlengte dagens kryssningsspor til 1 km

Gjennom å forlengte kryssningssporene slik at de bli 1 km lange kan tog, som vanligvis står stille og venter på motgående tog, fortsette reisen sin om enn i noe redusert hastighet. Dette kalles *kryssning uten tidstap*.

6.8 Parameter 7: Kapasitetsfordeling

Et viktig punkt som påvirker reisetiden for togfremføringen på strekningen vil være hvilken prioritet som gis til regionstoget. Det er flere måter dette kan gjøres på. Hvilke er relevante, ønskelige eller sannsynlige?

6.8.1 Tilstand 7.1: Etter samfunnsøkonomisk nytte

Det er mulig å gjennomføre ruteleietildeling etter samfunnsøkonomisk nytte. Det er imidlertid ikke gitt hva resultatet av en slik tildeling vil medføre av konsekvenser for regionstoget.

6.8.2 Tilstand 7.2: Full prioritet

Regionsoget prioriteres i alle tilfeller. Dette medfører en økt fremføringstid for godstog på linjen og kan medføre større forsinkelser for annen trafikk på banen.

6.8.3 Tilstand 7.3: Optimalisering av ruteleietildelingen

Gjennom å ta i bruk eller utvikle ny teknologi, datamodellering og lignende kan ruteleietildelingen for alt rullende materiell på strekningen optimaliseres.

6.9 Parameter 8: Bevilgninger

Det satses mye på Jernbane i dagens regjering, spesielt inn mot *InterCity-prosjektet* på Østlandet. Hvordan blir dette i fremtiden? Hvordan vil økt press fra forsvaret og den

6. PARAMETERE

kommende eldrebølgen påvirke hvordan staten fordeler midlene? Hvilke muligheter finnes og hva er realistisk for prosjektet?

Merk at denne parameteren ikke tar utgangspunkt i reelle tall eller summer, men snarere har som målsetning å finne hva som er mulig. Ettersom jernbanesektoren er oppdelt i mange ulike selskaper som alle bidrar til at det kan fremføres tog er det en selvfølge at midler som fordeles til jernbanen må fordeles til helt spesifikke prosjekter for at bevilgningene skal gagne dette caset. For å forenkle denne parameteren er den presisert til å gjelde bevilgninger som er ment for Trønderbanen. Dermed utelates utvikling eller innkjøp av teknologi og materiell som trengs for å oppfylle noen av tilstandene som er beskrevet i denne analysen. Kostnader som er knyttet til drifting og opprettelse av infrastruktur for å kunne drifte ulike typer teknologi skal imidlertid tas høyde for i denne parameteren.

6.9.1 Tilstand 8.1: Mindre enn i dag

Midler som i utgangspunktet var lovet dette prosjektet blir prioritert brukt på andre prosjekter, som følge av lav nytteverdi eller økte kostnader for andre prosjekter, eller andre deler av dette prosjektet.

6.9.2 Tilstand 8.2: Som i dag

Ambisjonen som ligger i NTP etterfølges, og midler som er forespeilet i KVUen vil bli bevilget i kommende NTP. I dag er det forespeilet rundt 8 mrd over to NTP-perioder.

6.9.3 Tilstand 8.3: Mer enn i dag

Politiske endringer og generell oppfattelse av prosjektets nytteverdi blir mer positivt enn hva det er i dag og midler som tidligere var tiltenkt andre prosjekter blir overført til dette prosjektet. For å konkretisere dette, og for å gjøre denne parameteren mer realistisk settes dette tallet til dobbelt så mye som Trønderbanen får per i dag.

6.10 Strøket parameter: Reisetilbud

Med reisetilbud menes hvordan innbyggerne i regionen skal/bør prioriteres. Hva slags reisetilbud skal Trønderbanen stå for? Skal det være likt for alle i hele regionen uavhengig av befolkning eller reisebehov? Det er viktig å ikke bare se på hvor de reisende bor, men også ta hensyn til områder med mange arbeidsplasser, altså hvor de skal. Hva er markedet i området? Hvordan er befolkningen sammensatt og hva slags arbeidsplasser finnes i området?

6. PARAMETERE

I denne parameteren skal det foreslås størrelse på antall reisende hver stasjon genererer før det er interessant nok til å fortsette å betjene stasjonen.

6.11 Strøket parameter: Antall stopp

Hvor mange stoppesteder skal det være på strekningen? Skal det være flere enn i dag, eller færre? Hvis det antas at ett stopp tar fire minutter, hvor mange vil det i så fall være fornuftig å betjene?

6.11.1 Tilstand II.I: Færre stopp enn i dag

Færre stopp gir redusert reisetid, men reduserer på den andre siden fleksibiliteten i regionen i og med at noen reisende ikke lenger vil ha tilbud om å benytte tog. Denne tilstanden kan beregnes til sammenligningsgrunnlag.

6.11.2 Tilstand II.II: Likt antall stopp som i dag

For å opprettholde ønsket om at innbyggerne i regionene skal kunne velge mellom ulike modaliteter må antall stopp som eksisterer i dag opprettholdes.

6.11.3 Tilstand II.III: Flere stopp enn i dag

Gjennom å bygge flere stasjoner kan toget gjøres mer attraktivt og fleksibelt, slik det beskrives i KVUen.

6.12 Strøket parameter: Traséstandard

En åpenbar måte å påvirke reisetiden på jernbanen er hvilken hastighet det bygges for. For InterCityprosjektet bygges det for høyhastighet (250 km/t). Er dette gunstig også i Trøndelag? Vil et stivere banelegeme kunne legges for denne strekningen? På dagens bane varierer den øvre hastighetsbegrensningen mellom 80 og 130 km/t.

6.12.1 Tilstand III.I: 160 km/t

Dersom det planlegges for en topphastighet på 160 km/t er det antatt at store deler av dagens infrastruktur kan opprettholdes og det medfører kun mindre utbedringer i visse områder.

6. PARAMETERE

6.12.2 Tilstand III.I: 250 km/t

Gjennom å legge til rette for høyhastighetstog kan det kjøres med høyere gjennomsnittshastighet på banen. Dette krever dog et stivere banelegeme enn hva som eksisterer i dag, og det er trolig behov for ressurser til gjennomføring av utbedringer i flere områder.

6.13 Strøket Tilstand: Tilstand 4.I: Hyperloop

Gjennom å benytte Hyperloop-teknologi kan en radikalt høyere hastighet på linjen holdes. Denne teknologien ligger imidlertid langt frem i tiden, og er per i dag meget kostbar.

6. PARAMETERE

6.14 Morfologisk område etter intervjuer

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalssystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrifisert	Bimodale tog	Dobbeltspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få, store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokalstog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av rute/leietilteilingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokalstog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 6.6: Morfologisk område som det fremstår etter intervjuene (egenprodusert).

7 Krysskonsistensmatrisen

Etter at det morfologiske områdets problemrom er definert eksisterer det 34.560 mulige konfigurasjoner. Dette er et u håndterlig antall muligheter for en analyse. Ritchey (2018) beskriver hvordan krysskonsistenskontrollen gjennomføres ved å vurdere alle tilstandene fra de ulike parameterne mot hverandre én-til-én. I dette kapittelet vil krysskonsistensmatrisen og deler av krysskonsistenskontrollen bli diskutert. Ettersom spesielt empiriske og normative motsetninger eller inkonsistenser kan framkomme som følge av diskusjon, er det disse som blir spesielt interessante å drøfte i fasilitering/intervju. Resultatet av denne intervjurunden er en ferdig utfyllt krysskonsistensmatrise, samt et løsningsrom. Inkonsistensene og årsakene til hvorfor ulike tilstander ikke kan oppstå sammen er begrunnet senere i dette kapittelet. Det er ikke gitt noen begrunnelse for hvorfor visse tilstander *kan* oppstå sammen, med mindre dette er særs relevant eller sterkt knyttet til en inkonsistens.

Tabell 7.1: De tre typene inkonsistenser som kan oppstå i følge Ritchey (2015).

Formell inkonsistens	Også kjent som logisk eller analytisk inkonsistens, oppstår når to tilstander utelukker hverandre rent matematisk, etter hvordan de er ordlagt, eller på grunn av deres natur.
Empirisk inkonsistens	Når to tilstader utelukker hverandre etter hvor sannsynlig det er at de opptrer sammen. Uavhengig av om det er på grunn av dagens teknologi eller hva det er sannsynlig at det bevilges midler til.
Normativ inkonsistens	Når to tilstander utelukker hverandre på bakgrunn av skjønn, etiske- eller politiske årsaker. Det kan være at det ikke er ønskelig å betale prisen det eventuelt ville ha kostet å gjennomføre begge de to tiltakene, eller at en tilstand vil føre til diskriminering på bakgrunn av alder, kjønn eller etnisitet for eksempel. Denne typen inkonsistens kan være vanskelig å skille fra en empirisk inkonsistens.

Krysskonsistenskontrollen gjennomføres som nevnt for å skape et *løsningsrom* for det morfologiske området. Det er her de tilstandene som er mulig å kombinere i en konfigurasjon presenteres. Tilstander som utelukker hverandre på grunn av motsigelser i deres innhold blir fjernet fra løsningsrommet. Det morfologiske området begrenses således.

Et morfologisk område med et mye mindre løsningsrom enn problemrom er *hyper-begrenset*, mens et morfologisk område med nesten like stort løsningsrom som problemrom er *hyper-koherent* (Ritchey, 2015). Det er imidlertid ingenting feil med noen av delene, men Ritchey (2015) anbefaler likevel å analysere det morfologiske området nøye dersom det avdekkes et hyper-begrenset løsningsrom. Det kan være et tegn på at noen *tilstandspaar* er tilskrevet en direkte påvirkning som ikke egentlig er der.

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

		Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsyste	Spordesi	Kapasitet
		En gang i timen						
		To ganger i timen i rushtid						
		To ganger i timen hele døgnet						
		Fire til seks ganger i timen						
		Regionstog som i dag						
		Regionstog med få, store knutepunkt						
		Lokaltog for hele strekningen						
		En miks av regionstog og lokaltog						
		F flere tunneller på strekningen						
		Større kurveradius						
		Optimalisering av gradienten						
		Linjeinnkorting						
		Redusere antall planoverganger						
		Elektrifitet						
		Diesel						
		Hydrogen						
		Batteripakker						
		Bimodale tog						
		Krengetog						
		Førerløse tog						
		ERTMS						
		Dobbeltspor hele veien						
		Øke antall kryssningsspor						
		Forelengte dagens kryssningsspor til 1 km						
		Etter samfunnsøkonomisk nytte						
		Full prioritet						
		Optimalisering av ruteleietidelingen						
		Mindre enn i dag						
		Som i dag						
		Mer enn i dag						

Figur 7.1: Blideutsnitt av krysskonsistensmatrisen slik den blir presentert i MA/CarmaTM (SweMorph, 2019).

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

I følge Ritchey (1998) er det viktig at de normative inkonsistensene er de siste som avdekkes:

We must first investigate what is *possible* before making judgements about what is, and what is not, *desirable* (Ritchey, 1998).

Samtidig som krysskonsistenskontrollen gjennomføres anbefaler Ritchey (2015) at det skal undersøkes hvilke parametere som påvirker hverandre direkte. I de fleste tilfeller vil det eksistere parametere som ikke har noen direkte påvirkning på hverandre. I disse tilfellene skal det ikke tilskrives tilstandsparet noen verdi, men i praksis gis den «-» i MA/Carma™ (beskrives nærmere under). Dette kan også oppdages gjennom forsøk på å gjennomføre en krysskonsistenskontroll for tilstander som ikke har direkte påvirkning mellom hverandre. Det virker ikke rimelig å tilskrive et slikt tilstandspar noe annet enn *god match* (på bakgrunn av rent formelle årsaker).

7.1 MA/Carma™

For denne delen av oppgaven ble programmet Carma CCA Viewer benyttet. Dette er, hva forfatteren forstår, en variant av MA/Carma™ med noe redusert funksjonalitet. Resultatet av den første fasen, presentert i kapittel 6, altså Excel-dokumentet presentert i figur 6.6, ble oversendt til SweMorph. Materialet ble behandlet av SweMorph som returnerte Carma CCA Viewer sammen med en fil som inneholdt det morfologiske området som ble skapt av bidragsyterne.

I dette dataprogrammet skal brukeren avgjøre om et tilstandspar har én av tre mulige typer begrensning: en god match, en mulig match eller en umulig match. Begrepene er oversatt fra instruksjoner oversendt av SweMorph:

- En god match, beste match eller et optimalt par = -
- Mulig match, kan fungere, men ikke optimalt = K
- Umulig eller veldig dårlig idé = X

Etter at krysskonsistenskontrollen er gjennomført vil MA/Carma™ gi tre tall (se figur 7.2) som beskriver det morfologiske området. Tallet som er markert i grått beskriver hvor mange formelle konfigurasjoner som eksisterer, det vil si alle mulige konfigurasjoner før gjennomføring av krysskonsistenskontrollen. Det grønne tallet viser hvor mange *primære konfigurasjoner* som eksisterer, det vil si hvor mange konfigurasjoner som eksisterer hvor det kun inngår *gode matcher*. Det gule tallet står for hvor mange konfigurasjoner som er *mulige* på tross av at de ikke er optimale. Dette kalles de *sekundære konfigurasjonene*.

7.2 Andre intervjurunde

Også for denne fasen av MA ble det gjennomført én-til-én intervjuer i tillegg til et gruppeintervju. I forkant av intervjuene kan en del tilstandspar utelukkes fra videre

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

Dominate product/service	Co-operation strategies	Main employee incentive	Employee profile
Process + method support	Outside help when needed	Money	Life-long service

Figur 7.2: Antall formelle-, primære- og sekundære konfigurasjoner som eksisterer for et morfologisk område som vist i MA/Carma™ (Ritchey, 2018).

analyse. Dette gjøres først og fremst for å spare tid i intervjuene. I denne analysen er det valgt å kun avgjøre hvilke parametere som ikke påvirker hverandre direkte slik at disse kan fylles ut og all tid i intervjuene kan vies til å diskutere de tilstandsparene som faktisk påvirker hverandre. Selv om denne fremgangsmåten ikke er direkte anbefalt nevner Ritchey (2015) nettopp dette som en mulighet, i de tilfellene det morfologiske området som skal analyseres er stort, eller for å spare tid. Forutenom disse er alle inkonsistenser avgjort av bidragsyterne. Bidragsyterne har også blitt bedt om å kontrollere at parameterne virkelig ikke har noen sammenheng, slik at forfatterens arbeid er kontrollert og kvalitetssikret.

I løpet av intervjurunden ble det oppdaget at definisjonen av parameter 8 *Bevilgninger* var uklar. Det var ikke tydelig hvilke bevilgninger det diskuteres. Med et stadig mer oppdelt jernbanesystem i Norge er det viktig å understreke at midler som blir gitt til jernbane skal fordeles på mange aktører. Dette prosjektet er kun en liten del for et større selskap med mange store jernbaneprosjekter. Etter diskusjon i gruppeintervjuet ble det besluttet at for å forenkle denne parameteren vil denne spisses til å kun omfatte bevilgninger til Trønderbanen i sin helhet hvor dette prosjektet inngår som en del av det. Dette i motsetning til bevilgninger til jernbanen i sin helhet som var utgangspunktet for parameteren. Som følge av dette tar denne analysen ikke hensyn til at det må anskaffes et større antall tog. Den tar heller ikke stilling til utvikling eller anskaffelse av ny teknologi, men ser på driftskostnader for Trønderbanen som kommer som følge av å ta i bruk den nye teknologien. Uavhengig av om det er drifting under fremføring av tog, vedlikehold eller opprettelse av infrastruktur for å kunne drifte.

Etter at parameteren var nærmere definert ble også tilstand 8.3 *Mer enn i dag* funnet å være for upresis. Slik den var definert, uten øvre grense ville alle løsninger ha være mulig som følge av økte bevilgninger. Et mer realistisk anslag vil dermed være å se på en dobling av dagens ambisjoner. Altså nærmere 16 mrd over to NTP-perioder.

Det er vanskelig å finne noen direkte tilknytning mellom parameter 7 *Kapasitetsfordeling* og noen annen parameter. Det ble i intervjuet argumentert for at parameteren har en direkte tilknytning til frekvensen på banen, selv om det ene ofte blir satt før det andre. I realiteten er det en slags iterasjon, hvor både prioritering, ruteleietildeling og frekvensbehov blir diskutert og forhandlet om mellom de ulike faggruppene.

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

		Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsyste	Spordesi	Kapasitet																								
		En gang i timen	To ganger i timen i rushtid	To ganger i timen hele døgnet	Fire til seks ganger i timen	Regionstog som i dag	Regionstog med få, store knutepunkt	Lokaltog for hele strekningen	En miks av regionstog og lokaltog	Flere tunneller på strekningen	Større kurveradius	Optimalisering av gradienten	Linjeinnkorting	Redusere antall planoverganger	Elektrifisert	Diesel	Hydrogen	Batteripakker	Bimodale tog	Krengetog	Førerløse tog	ERTMS	Dobbeltspor hele veien	Øke antall kryssningspor	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Full prioritet	Optimalisering av ruteleietildelingen				
Togprodukt	Regionstog som i dag																															
	Regionstog med få, store knutepunkt																															
	Lokaltog for hele strekningen																															
	En miks av regionstog og lokaltog																															
Geometri	Flere tunneller på strekningen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Større kurveradius	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Optimalisering av gradienten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Linjeinnkorting	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fremdrift	Redusere antall planoverganger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Elektrifisert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Diesel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hydrogen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Signalsystem og togteknologi	Batteripakker	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bimodale tog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Krengetog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Førerløse tog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spordesign	ERTMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Dobbeltspor hele veien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Øke antall kryssningspor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kapasitetsfordeling	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Etter samfunnsøkonomisk nytte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Full prioritet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bevilgninger	Optimalisering av ruteleietildelingen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mindre enn i dag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Som i dag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mer enn i dag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figur 7.3: Blideutsnitt av krysskonsistensmatrisen, fylt ut av forfatteren før intervju (egenprodusert).

7.3 Formelle inkonsistenser

I denne analysen er det få rent formelle inkonsistenser. Kun tre er identifisert. Dette er en følge av at det kun er definert åtte parametere, med få direkte påvirkninger. Samtidig kan dette også være som følge av at å planlegge for jernbane er en sammensatt oppgave med få begrensninger og mange løsninger fremkommer av kompromisser og prioriteringer.

7.3.1 Lokaltog for hele strekningen x En gang i timen

Lokaltog innebærer, i tillegg til flere stopp, at det skal være hyppig frekvens. Dermed utelukkes denne kombinasjonen. Det samme gjelder *Lokaltog for hele strekningen x To ganger i timen i rushtid* som også er underforstått som for sjelden til at det kan kalles et lokaltog.

7.3.2 Lokaltog for hele strekningen x To ganger i timen hele døgnet

Det kan diskuteres om denne kombinasjonen også fører til at det er for få avganger til at togproduktet kan kalles et lokaltog, slik det er definert. Denne kombinasjonen er imidlertid mulig, men ikke optimal.

7.4 Empiriske og Normative inkonsistenser

Etter intervjuene ble det forsøkt å skille mellom empiriske og normative inkonsistenser. Dette viste seg å være en krevende oppgave ettersom mange av inkonsistensene som oppstår i denne analysen ofte er en blanding av både sannsynlighet og hvilke tekniske løsninger det er trolig at det bevilges midler til, men også etter skjønn eller politiske årsaker. Det fremkommer heller ingen åpenbar grunn til at det skulle være av interesse å skille mellom de to i analysen og kapitlene er dermed slått sammen.

7.4.1 Regionstog som i dag x fire til seks ganger i timen

Dette kan muligens fungere, men kun for en kortere strekning, altså kanskje en kortere rute som betjener Steinkjer og et par stasjoner sør for Steinkjer avhengig av hvor det er mest intern trafikk. Det er også mer sannsynlig med fire ganger i timen enn seks. Det samme gjelder *Regionstog med få, store knutepunkt x Fire til seks ganger i timen*.

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

7.4.2 Bimodale tog x Elektrisitet

Til tross for at disse tilstandenes parametere ikke påvirker hverandre direkte er det likevel relevant å trekke frem at det er ulogisk å implementere bimodale tog på en toglinje som er elektrifisert.

7.4.3 Førerløse tog x Elektrisitet

Slik det ser ut i dag er førerløse eller autonome tog fortsatt under utprøving, og ikke klart for bruk på bane før en gang i fremtiden. Bidragsyterne mente også at ettersom denne løsningen ligger langt frem i tid er det realistisk å anta at det også har skjedd noe med hvilke drivstofftyper som benyttes på norske baner. Det er selvsagt fortsatt mulig å bruke elektrisitet med kjøreledning som i dag, men denne kombinasjonen er likevel ikke optimal på grunn av hvor sannsynlig dette fremstår.

7.4.4 Førerløse tog x Diesel

Av samme årsaker som over mener bidragsyterne at dette er komplett urealistisk. Det er tvilsomt at denne kombinasjonen noen gang har blitt ønsket av noen tidligere, og den er såpass urealistisk at kombinasjonen bør strykes.

7.4.5 Bevilgninger x Dobbeltspor hele veien

Sammen med tilstand 8.1 *Mindre enn i dag* og 8.2 *Som i dag* vil det ikke være midler til å bygge dobbeltspor hele veien mellom Stjørdal og Steinkjer. Det er imidlertid ikke sikkert hva den endelige kostnaden for et slik prosjekt vil kunne ende på, men det er i følge ekspertene (bidragsyterne) mer enn hva som er ambisjonen per i dag.

Med definisjonen av tilstand 8.3 *Mer enn i dag* som innebærer en fordobling av midlene som blir avsatt til Trønderbanen vil selv ikke dette føre til at det er sannsynlig å bygge en dobbeltsporet bane hele veien. Dersom parameteren hadde vært definert til å være en tredobling av dagens ambisjon ville det kanskje ha vært mulig, men dette er vurdert å være meget urealistisk.

Følgene av dette er at tilstand 6.1 *Dobbeltspor hele veien* muligens må strykes fra det morfologiske området. I anbefalingen bør det likevel nevnes at det er tatt stilling til denne muligheten, men at den innebærer for høye kostnader til at det blir ansett som en realistisk løsning.

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

7.4.6 Dobbeltspor hele veien x En gang i timen

Det finnes ingen grunn til å bygge dobbeltspor dersom regionstoget kun skal ha en frekvens på én gang i timen. Dette ville selvsagt ha gagnet andre aktører på banen, men for denne analysen er det irrelevant. Det er dermed ikke trolig at det ville ha blitt bevilget penger til et tiltak som dette. Det samme gjelder *Dobbeltspor hele veien x To ganger i rushtid*.

7.4.7 Dobbeltspor hele veien x To ganger i timen hele døgnet

Ettersom dette fører til en del mer trafikk er det mulig at denne kombinasjonen kanskje kunne ha vært relevant. Det er derimot høyst usannsynlig, og midler som kunne ha blitt brukt på dette tiltaket ville ha vært mer fornuftig å benytte andre steder.

7.4.8 Dobbeltspor hele veien x Fire til seks ganger i timen

For at det skal være mulig å operere med en frekvens på fire til seks ganger i timen er det en forutsetning at det bygges dobbeltspor på banen. Ellers vil det ikke være mulig å opprettholde en så høy frekvens.

7.4.9 Øke antall kryssningsspor x En gang i timen

I dag opereres det allerede med frekvens på en gang i timen, uten at det er behov for flere kryssningsspor. Det er dermed ikke nødvendigvis behov for å opprette dette. Det vil imidlertid være til hjelp for all togfremdrift på jernbanen. Det samme er begrunnelsen for *Forlenging dagens kryssningsspor til 1 km x En gang i timen*.

7.4.10 Øke antall kryssningsspor x Fire til seks ganger i timen

Det vil ikke være tilstrekkelig å øke antall kryssningsspor dersom ønsket er å operere med frekvens på fire til seks avganger i timen. *Forlenging dagens kryssningsspor til 1 km x Fire til seks ganger i timen*.

7.4.11 Etter samfunnsøkonomisk nytte x To ganger i timen hele døgnet

Det kan være vanskelig å fremføre to regionstog i timen dersom regionstoget ikke prioriteres, og annen transport blir prioritert fremfor regionstoget. Dermed er det usikkert om denne kombinasjonen vil kunne fungere. Dersom det skal opereres med høyere frekvens som i *Etter samfunnsøkonomisk nytte x Fire til seks ganger i timen* blir det helt

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

umulig å kunne opprettholde den høye frekvensen uten at regionstoget prioriteres.

7.4.12 Mindre enn i dag x To ganger i timen i rushtid

Ettersom å opprette en frekvens av en viss mengde vil føre til høyere utgifter knyttet til drift og vedlikehold er det usannsynlig at denne kombinasjonen kan forekomme. Det blir videre helt umulig å opprette frekvens på *To ganger i timen hele døgnet* og *Fire til seks ganger i timen*.

7.4.13 Som i dag x Fire til seks ganger i timen

Den voldsomme belastningen denne frekvensen medfører gir som nevnt høyere utgifter knyttet til drift og vedlikehold. Det *kan* muligens la seg gjøre dersom det bevilges *Mer enn i dag*.

7.4.14 Mindre enn i dag x Regionstog med få, store knutepunkt

For å ta høyde for flere reisende ved noen store knutepunkt vil det muligens måtte tilrettelegges for denne driften på stasjonene som blir definert som knutepunktstasjoner. Dermed er det ikke sikkert at dette er mulig å gjennomføre dersom det bevilges mindre penger enn i dag.

7.4.15 Mindre enn i dag x Lokaltog for hele strekningen

Det må også utføres en del tiltak tilknyttet infrastrukturen for å muliggjøre lokaltog på hele strekningen. Det er heller ikke realistisk å oppnå dette dersom det bevilges mindre enn i dag, og dermed også umulig å tilby *En miks av regionstog og lokaltog*. Det fremstår også usannsynlig å ønske å prioritere disse tilstakene selv dersom det ble bevilget midler som i dagens ambisjon.

7.4.16 Mindre enn i dag x Redusere antall planoverganger

Dersom det bevilges mindre ressurser enn i dag er det lite sannsynlig å kunne gjennomføre noen tiltak knyttet til geometrien på linjen forutenom muligens å redusere antall planoverganger. Dette krever imidlertid at det ikke tilkommer store kostnader knyttet til å legge om vegen eller sikring av planovergangen.

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

7.4.17 Som i dag x Flere tunneller på strekningen

Per i dag er det forventet bevilgninger på 8 mrd fordelt over to NTP-perioder. Et anslag som er gjort på kostnader ved å bygge Forbordsfjellet er estimert til 10 mrd. NOK. Dermed er ikke dette en mulig løsning selv med dagens ambisjonsnivå.

7.4.18 Som i dag x Større kurveradius

Det vil muligens være mulig å gjennomføre å lage større kurveradiuser med dagens ambisjonsnivå for bevilgninger til Trønderbanen. Dette krever imidlertid at det ikke blir behov for å appropriere store nye landeområder. Dette kan være meget kostbart, noe som gjør at det selv med dagens ambisjonsnivå kan bli for dyrt.

7.4.19 Som i dag x Optimalisering av gradienten

Ettersom det er kostbart å skulle optimalisere gradienten er det mer sannsynlig at andre tiltak vil prioriteres. Det er dermed utelukket at denne kombinasjonen vil oppstå.

7.4.20 Mer enn i dag x Flere tunneller på strekningen

Som nevnt vil tunnelen gjennom Forbordsfjellet anslagsvis koste 10 mrd. Med en dobling av bevilgninger til Trønderbanen vil det anslagsvis bevilges 16 mrd. Det er mulig å bygge tunnel gjennom Forbordsfjellet, men nytten av dette tiltaket er såpass mye lavere enn det som ble antatt i den opprinnelige KVUen at det er mer sannsynlig at det vil prioriteres andre tiltak for å redusere reisetiden.

7.4.21 Mer enn i dag x Større kurveradius/Optimalisering av gradienten

Med en dobling av bevilgninger mot dagens ambisjoner vil det være mulig å gjennomføre disse to tiltakene. Ofte vil de også gjennomføres samtidig. Det er likevel fortsatt kostbart å gjennomføre og det kan føre til at det ikke er mulig å gjennomføre andre tiltak. Begge blir likevel ansett som *god match*.

7.4.22 Mindre enn i dag x Elektrisitet

Dersom det skal benyttes elektrisitet som drivstoff for togene som trafikkerer Trønderbanen må det bygges kjøreledning for hele strekningen. Dette er kostbart både å bygge, men også å drifte. Den er dermed utelukket å gjennomføre dersom det bevilges mindre enn i dag, og fortsatt vanskelig å gjennomføre dersom det bevilges *Som i dag*. For øvrig vil kostnader knyttet til de andre tilstandene knyttet til parameter 4: *Fremdrift*

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

tilfalle operatøren eller utviklerne av teknologien som kreves, og disse påvirker derfor ikke denne analysen.

7.4.23 Mindre enn i dag x Førerløse tog

Selv om det er definert at utvikling av teknologi ikke er en del av denne parameteren antas det at det er behov for en del ny infrastruktur knyttet til eventuell fremføring av førerløse tog. Disse kostnadene forventes det at er for dyre for å gjennomføre dersom det bevilges *Mindre enn i dag*, og dermed også dersom ambisjonen holder seg på dagens nivå. Det er mulig å gjennomføre dersom det bevilges *Mer enn i dag*, men det er meget usikkert.

7.4.24 Mindre enn i dag x ERTMS

Å skulle bygge infrastruktur for å legge til rette for ERTMS er kostbart. Det er trolig også mer kostbart å legge til rette for høyere nivå av ERTMS som det er beskrevet her, og det vil trolig ikke være prioritert dersom det bevilges mindre enn i dag.

7.4.25 Mindre enn i dag x Øke antall krysningsspor

Det er trolig mulig å bygge et eller to nye krysningsspor selv med mindre ressurser enn i dag. Dette fremstår imidlertid ikke som veldig sannsynlig.

7.4.26 Som i dag x Forlenge dagens krysningsspor til 1 km

Det er ikke sannsynlig at dette tiltaket gjennomføres med bevilgninger som i dag. Dette tiltaket må i så fall prioriteres fremfor andre tiltak som allerede er bestemt.

7. KRYSSKONSISTENSMATRISEN

7.5 Krysskonsistensmatrisen

		Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsyste	Spordesi	Kapasitet																						
		En gang i timen	To ganger i timen i rushtid	To ganger i timen hele døgnet	Fire til seks ganger i timen	Regionstog som i dag	Regionstog med få, store knutepunkt	Lokal tog for hele strekningen	En mik av regionstog og lokal tog	Fleire tunneller på strekningen	Større kurveradius	Optimalisering av gradienten	Linjeinnkorting	Redusere antall planoverganger	Elektrisitet	Diesel	Hydrogen	Batteripakker	Bimodale tog	Krengetog	Førerløse tog	ERTMS	Dobbeltspor hele veien	Øke antall kryssningspor	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Full prioritet	Optimalisering av ruteleietildelingen		
Togprodukt	Regionstog som i dag	-	-	-	K																									
	Regionstog med få, store knutepunkt	-	-	-	K																									
	Lokal tog for hele strekningen	X	X	K	-																									
	En mik av regionstog og lokal tog	-	-	-	-																									
Geometri	Fleire tunneller på strekningen	-	-	-	-	-	-	-	-																					
	Større kurveradius	-	-	-	-	-	-	-	-																					
	Optimalisering av gradienten	-	-	-	-	-	-	-	-																					
	Linjeinnkorting	-	-	-	-	-	-	-	-																					
	Redusere antall planoverganger	-	-	-	-	-	-	-	-																					
Fremdrift	Elektrisitet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
	Diesel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
	Hydrogen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
	Batteripakker	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
Signalsystem og togteknologi	Bimodale tog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K	-	-	-												
	Krengetog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
	Førerløse tog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K	X	-	-												
	ERTMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
Spordesign	Dobbeltspor hele veien	X	X	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Øke antall kryssningspor	K	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	K	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kapasitetsfordeling	Etter samfunnsøkonomisk nytte	-	-	K	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Full prioritet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Optimalisering av ruteleietildelingen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bevilgninger	Mindre enn i dag	-	K	X	X	-	K	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Som i dag	-	-	-	K	-	-	X	X	X	X	X	X	X	K	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Mer enn i dag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K	-	X	-	-	-	-	-	-

Figur 7.4: Blideutsnitt av krysskonsistensmatrisen (egenprodusert).

8. DET MORFOLOGISKE OMRÅDET

8 Det Morfologiske Området

Etter krysskonsistenskontrollen produseres to løsningsrom for det morfologiske området.

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrisitet	Bimodale tog	Dobbeltspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokaltog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteleietildelingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokaltog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 8.1: Det sekundære løsningsrommet til det morfologiske området, alle mulige matcher (egenprodusert).

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrisitet	Bimodale tog	Dobbeltspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokaltog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteleietildelingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokaltog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 8.2: Det primære løsningsrommet til det morfologiske området, kun optimale matcher (egenprodusert).

Figur 8.1 representerer det sekundære løsningsrommet med 5472 mulige konfigurasjoner mens figur 8.2 representerer det primære løsningsrommet med kun 1410 mulige konfigurasjoner. Det kan også nevnes at fordi en del av parameterne består av boolske OG-lister er det i teorien mulig å kombinere disse på ulike vis for å lage ytterligere konfigurasjoner, men dette er det ikke tatt hensyn til i disse beregningene.

Som nevnt er tilstand 6.1 *Dobbeltspor hele veien* utelukket fra alle konfigurasjoner ettersom det er anslått at det er helt usannsynlig å skaffe bevilgninger til å gjennomføre dette tiltaket. Dette og følgene av det blir diskutert nærmere i kapittel 8.1. Videre er dette en relativt *passivt* morfologisk område. Det vil si at det ikke er mange av parameterne

8. DET MORFOLOGISKE OMRÅDET

som påvirker hverandre direkte. Dette er som forventet da en del av disse parameterne ble strøket tidligere slik at det skulle være mulig å benytte programvaren til SweMorph.

Med dette er i utgangspunktet analysen ferdig. Det er nå fremstilt et morfologisk område med både et primært og sekundært løsningsrom. Det er videre presentert en matrise som viser hvilke muligheter som finnes for dette problemet og hvilke muligheter det ikke er nødvendig å utvikle eller analysere videre. I noen tilfeller ville det også på dette stadiet i analysen avdekkes hull eller mangler. Dette kunne ha gjort det nødvendig å gå tilbake og revidere inkonsistenser eller parametere og tilstander. Dette er imidlertid ikke blitt gjennomført for denne oppgaven av hensyn til oppgavens tidsmessige begrensninger. Når analysen som den er fremstår som rimelig, kan det antas at en eventuell revisjon ikke vil påvirke resultatet i stort omfang.

8.1 Ugyldige tilstander

I krysskonsistenskontrollen ble det hevdet at å bygge dobbeltspor for hele strekningen var fullstendig urealistisk under alle forutsetninger som var foreslått. På bakgrunn av dette kan tilstanden fjernes fra det morfologiske området. Dette kunne i midlertid ha ført til at det ikke ville være åpenbart at denne løsningen er vurdert, til tross for at det eventuelt dokumenteres i vedlegg til det morfologiske området. I tillegg kunne det ha ført til at tilstand 1.4 *Fire til seks ganger i timen* hadde fortsatt å være en del av løsningsrommet, men som det vil bli vist under er denne umulig som følge av at tilstand 6.1 er fjernet. Resten av tilstandene er imidlertid mulig å inkludere i det morfologiske området. Det kan nå analyseres hvilke av tilstandene som inngår i det sekundære løsningsrommet som er relevant å vurdere videre.

8.1.1 Tilstand 6.1: Dobbeltspor hele veien

Som nevnt tidligere er tilstand 6.1 *Dobbeltspor hele veien* vurdert å være usannsynlig i alle tenkelige løsninger. Kostnaden av dette er anslagsvis for stor, selv dersom dagens ambisjonsnivå doubles. Det skal med andre ord mye til før dette blir en potensiell mulighet, for ikke å si realistisk løsning.

8.1.2 Tilstand 1.4: Fire til seks ganger i timen

Følgene av at tilstand 6.1 ikke inngår i noen mulige konfigurasjoner er at også tilstand 1.4 *Fire til seks ganger i timen* ikke kan inngå i noen konfigurasjoner. Dette fordi bidragsyterne i analysen kom frem til at det kun var mulig å oppnå denne frekvensen dersom dobbeltspor ble opprettet hele veien.

8. DET MORFOLOGISKE OMRÅDET

8.1.3 Tilstand 1.1: En gang i timen

Tilstand 1.1 *En gang i timen* kan heller ikke inngå i de primære konfigurasjonene. Som nevnt i kapittel 7.4.6 og 7.4.9 er dette fordi det fremstår som lite relevant å endre spordesignet i en situasjon hvor antallet avganger per dag for regionstoget reelt reduseres.

8.1.4 Tilstand 2.3: Lokaltog for hele strekningen

I gruppeintervjuet ble det diskutert om *lokaltoget* bør defineres ikke bare på bakgrunn av strekningen det reiser, men også som følge av frekvensen det reiser med. Det ble her besluttet at det muligens kan kalles et lokaltog til tross for at det kun hadde frekvens på to ganger i timen, men optimalt sett burde et *lokaltoget* ha hyppigere avganger. På grunn av denne inkonsistensen (kapittel 7.3.2) er tilstand 2.3 *Lokaltog for hele strekningen* utelukket som en del av det primære løsningsrommet.

8.1.5 Tilstand 3.1: Flere tunneller på strekningen

Med bakgrunn i det Sivertsvoll (2019) hevder; at kostnadene for å bygge Forbordstunnellen er anslagsvis 10 mrd NOK og bevilgninger som i dag er satt til ca. 8 mrd NOK fordelt på to NTP-perioder, kan tilstand 3.1 *Flere tunneller på strekninger* kun være mulig å kombinere med tilstand 8.3 *Mer enn i dag*. Selv i dette tilfellet ville store deler ressursene ha gått til å gjennomføre dette ene tiltaket. Derfor er det som nevnt svært usannsynlig at dette er den mest fornuftige løsningen, og tilstanden kan derfor fjernes fra løsningsrommet (som i figur 8.2).

8.1.6 Tilstand 5.3: Førerløse tog

Også for tilstand 5.3 *Førerløse tog* er det størrelsen på bevilgningene som påvirker muligheten for å legge til rette for denne løsningen. Per i dag er dette en dyr investering som, i tillegg til investeringer i infrastruktur, sannsynligvis krever mer forskning, og ikke minst politisk vilje for å kunne gjennomføre. Det er derimot interessant å se på en løsning hvor det tilrettelegges for å oppgradere ERTMS nivået på linjen i fremtiden som et avbøtende tiltak, men det er imidlertid ikke relevant å ha med videre i løsningsrommet.

8.1.7 Tilstand 8.1: Mindre enn i dag

Tilstand 8.1 *Mindre enn i dag* eksisterer heller ikke i noen konfigurasjon i det primære løsningsrommet. Dette fordi det i krysskonsistenskontrollen ble tydelig at det med en halvering av dagens bevilgningsnivå til Trønderbanen vil være vanskelig å gjennomføre noen av tiltakene knyttet til geometrien i det hele tatt. Dette gir også intuitivt mening,

8. DET MORFOLOGISKE OMRÅDET

ettersom det vil være meget vanskelig å oppnå de ønskede effektene, selv med dagens bevilgningsnivå.

8.2 Videreutvikling av løsningsrommet

I en virkelig beslutningssituasjon ville resultatene fra denne MA ha blitt presentert for beslutningstager, som kan bestå av en person eller en gruppe. Beslutningstageren vil bli presenteret for det morfologiske området og velge noen av parameterne som *drivere* (se kapittel 5.3). Disse driverene vil videre begrense løsningsrommet og deretter kan det muligens foreslås et antall konsepter det er håndterlig å utrede.

Dette er interessant å gjennomføre av to grunner. Delvis for å undersøke om det kan skapes konkrete konsepter ved hjelp av denne metoden, men også for å undersøke hvor enkelt det kan oppleves å presentere det morfologiske området til en utenforstående, som ikke har deltatt i prosessen. Bruk av denne metoden kan med andre ord i beste fall forenkle beslutningsprosesser for ellers komplekse problem.

Intervjuobjektet som ble anmodet om å fungere som beslutningstager jobber ved Jernbanedirektoratet, men hadde ingen kjennskap til denne mastergradsoppgaven. I motsetning til en reell beslutningstager har intervjuobjektet kun en vag formening om hva prosjektet *Modernisering av Trønderbanen* dreier seg om. Vedkommende har bakgrunn innen IKT, ledelse og fremsynsmetodikk.

Intervjuobjektet ble bedt om å velge ut noen av tilstandene som drivere, men det ble ikke spesifisert hvor mange som var ønskelig. Intervjuobjektet valgte dermed alle tilstander vedkommende hadde kunnskap til å uttale seg om og reduserte det primære løsningsrommet til 2 konfigurasjoner og det sekundære til 8 mulige konfigurasjoner. Grunnen til at dette ikke er beregnet til 4 og 16 mulige konfigurasjoner er fordi beslutningstager ikke ønsker å vurdere konfigurasjoner som ikke inneholder både tilstand 5.1 *Bimodale tog* og tilstand 5.4 *ERTMS*. Under følger begrunnelsen beslutningstager oppga for valgene presentert i rekkefølgen de ble valgt.

8.2.1 Tilstand 4.4: Batteripakker

Det er mest sannsynlig denne løsningen Jernbanedirektoratet vil satse på i fremtiden. Den er rimeligere enn hydrogen og krever mindre infrastruktur og vil dermed utkonkurrere hydrogen. Inntil dette blir ferdigutviklet vil diesel fungere godt som drivstoff.

8. DET MORFOLOGISKE OMRÅDET

8.2.2 Tilstand 5.1: Bimodale tog

I og med at disse allerede er bestilt faller dette som det naturlige valget. Mellomvogna kan byttes ut når teknologien med batteripakker er tilfredstillende utviklet. I mellomtiden kan toget gå på elektrisitet og diesel.

8.2.3 Tilstand 5.4: ERTMS

Det er allerede bestemt at det skal implementeres ERTMS av nivå 2 på norske jernbaner. Det er likevel ønskelig å utrede hva som skal til for å tilrettelegge for å i fremtiden utvide til høyere nivå av ERTMS. En naturlig følge av å oppgradere ERTMS systemet kan på lang sikt være at det er mulig å implementere førerløse tog.

8.2.4 Tilstand 8.2: Som i dag

På lang sikt, med lavere økonomisk vekst i Norge må det antas at bevilgninger til jernbanen i sin helhet vil bli relativt mindre enn i dag. Med tidsperspektivet for denne analysen er det imidlertid sannsynlig at det vil forbli på dagens nivå.

8.2.5 Tilstand 1.3 To ganger i timen hele døgnet

Dette er den ønskede situasjonen.

8.2.6 Tilstand 2.2: Regionstog med få, store knutepunkt og tilstand 2.4: En miks av regionstog og lokaltog

Fra en tidligere analyse av de store byområdene i Norge ble det anbefalt at det skulle gå lokaltog på Trønderbanen. Det er derfor et ønske at muligheten for å kombinere et regionstog med færre stopp og lokaltog på strekningen skal være med videre. Dette til tross for at MA viser at dette ikke er mulig.

8.3 Gjenstående utredninger

Med dette gjenstår det kun å utrede hvilke planoverganger som kan legges ned og hvor nye krysningsspor kan opprettes gitt det primære løsningsrommet (figur 8.3), i tillegg til utredningen om det er mulig å opprette lokaltog i tillegg til regionstog. Dersom det sekundære løsningsrommet legges til grunn (8.4) er det også ønskelig å utrede videre om det kan implementeres *kryssning uten tidstap* (se kapittel 6.7.3) ved å forlenge krysningssporene til 1 km og om det er mulig å øke kurveradiusen på noen plasser.

8. DET MORFOLOGISKE OMRÅDET

8.4 Løsningsrom etter intervju

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrisitet	Bimodale tog	Dobbelspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få, store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokaltog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteleietildelingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokaltog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 8.3: Det primære løsningsrommet til det morfologiske området etter intervju av beslutningstager (egenprodusert).

Frekvens	Togprodukt	Geometri	Fremdrift	Signalsystem og togteknologi	Spordesign	Kapasitetsfordeling	Bevilgninger
En gang i timen	Regionstog som i dag	Flere tunneller på strekningen	Elektrisitet	Bimodale tog	Dobbelspor hele veien	Etter samfunnsøkonomisk nytte	Mindre enn i dag
To ganger i timen i rushtid	Regionstog med få, store knutepunkt	Større kurveradius	Diesel	Krengetog	Øke antall kryssningspor	Full prioritet	Som i dag
To ganger i timen hele døgnet	Lokaltog for hele strekningen	Optimalisering av gradienten	Hydrogen	Førerløse tog	Forelengte dagens kryssningspor til 1 km	Optimalisering av ruteleietildelingen	Mer enn i dag
Fire til seks ganger i timen	En miks av regionstog og lokaltog	Linjeinnkorting	Batteripakker	ERTMS			
		Redusere antall planoverganger					

Figur 8.4: Det sekundære løsningsrommet til det morfologiske området, etter intervju av beslutningstager (egenprodusert).

9 Konklusjon

Selv om nytte-/kostanalyser fortsatt er et viktig verktøy for beslutningstagerne kan bruk av morfologisk analyse før gjennomføring av en KVV være et meget nyttig verktøy for på en vitenskapelig måte danne seg et bilde av det totale settet med muligheter som eksisterer for en gitt problemstilling. Det ble tidligere i denne oppgaven referert til at det er utfordrende å fatte gode beslutninger for store og langsiktige investeringer. Bruk av MA kan i aller høyeste grad fungere som et egnet verktøy som gir beslutningstagerne mulighet til å avdekke flere løsninger, og kan samtidig fungere som en metode for etterprøvbarehet.

Det er også viktig å understreke at 1.410 mulige konfigurasjoner ikke tilsvarer 1.410 ulike konsepter som kan inngå i en KVV. Det må med andre ord utvikles konsepter som skiller seg tydelig fra hverandre. For eksempel ville det ha vært mulig å utvikle 3-4 konsepter ut i fra det totale løsningsrommet. Disse konseptene vil det så måtte gjennomføres KVV for som vanlig. Det lages imidlertid med denne metoden et underlag som beskriver hvor konseptene kommer fra, i tillegg kan det eventuelt grundig gjøres rede for hvorfor visse alternative konsepter ikke blir utredet nærmere.

Det morfologiske området som ble presentert i kapittel 8 ble ytterligere begrenset etter intervju av en bidragsyter fra Jernbanedirektoratet. Det er likevel viktig å huske på at det er det totale morfologiske området som er produktet av en MA. Det er ikke MAs oppgave å komme frem til det beste konseptet, og mer ekstremt kan det hevdes at det ikke er et mål for MA å komme frem til et konsept i det hele tatt. Ved bruk av MA er målet å få oversikt over hvilke muligheter som eksisterer. Selv om det morfologiske områdets primære løsningsrom inneholder mer enn 1.410 ulike konfigurasjoner er det lett oversiktlig og med litt mindre tekst får det plass på ett A4-ark, noe som bidrar til at det er visuelt og ukomplisert å presentere for en gruppe beslutningstagere eller interessenter. I tillegg kan resultatene fra metodene etterprøves og det kan refereres til hvilke muligheter som har blitt utelukket og hvorfor.

I denne analysen er det beskrevet en parameter for bevilgninger. Det er viktig å vektlegge at dette er en forenkling av virkeligheten. I praksis bevilges ikke en sum penger fra staten, over NTP eller ikke, som Jernbanedirektoratet kan forvalte fritt etter eget for godtbeholdende. Tiltak som skal gjennomføres må dokumenteres og begrunnes, slik at både kostnadseffektivitet og samfunnsnytte kan ivaretas. Parameteren sees på som en forenkling som demonstrerer hvordan de samme effektene kan oppnås med mindre ressurser, noe som igjen kan føre til at det vil være lettere å få de ønskede ressursene bevilget.

9.1 Sentrale funn

I arbeidet med krysskonsistenskontrollen og diskusjonen rundt denne kom det frem at det ikke er mulig å gjennomføre alle de tiltakene som ligger i den opprinnelige løsningen fra KVUen fra 2011. Dersom det antas at det bevilges midler som forespeilet per i dag er det sannsynligvis ikke mulig å bygge tunnelen gjennom Forbordsfjellet. Selv dersom bevilgningene dobles sett mot dagens antagelser viser det seg at det ikke er plausibelt å gjennomføre både tunnel gjennom Forbordsfjellet og å øke antallet kryssningsspor for eksempel.

Det vil ikke la seg gjøre å fortsette dobbeltsporet som vil gå mellom Trondheim og Stjørdal hele vegen til Steinkjer. Selv dersom det legges til grunn en tredobling av bevilgninger er dette mest sannsynlig likevel en for kostbar investering, noe som ville ha lagt beslag på store deler av midlene tildelt Trønderbanen. Dette tiltaket ville riktignok muliggjort høyere frekvens på banen, men dette alene vil ikke redusere reisetiden i vesentlig grad. Som nevnt av en av bidragsyterne er det kjent at på lengre strekninger er reisetid et viktigere moment enn frekvens for at jernbanen skal være et attraktivt tilbud for de reisende.

Tunnelen gjennom Forbordsfjellet vil spare anslagsvis 10 minutter i reisetid. Dersom denne blir bygget gjenstår det fortsatt 20 minutter som må spares inn dersom ambisjonen om å redusere reisetiden med 30 minutter skal kunne oppfylles. Det er også hevdet i intervjuene at reisetiden kan reduseres med ca. 4 minutter per stopp som ikke lenger betjenes. En løsning med regionstog med færre stopp enn det som er i dag bør derfor være en del av konfigurasjonen som velges.

Det er også fremkommet av intervjuene at å optimalisere gradienten er en dyr investering, og det er uvisst hvor stor effekt dette tiltaket vil ha i seg selv. Derimot vil det å øke kurveradiusen eller forkorte linjen, gjennom å legge den rett gjennom visse områder, ha stor effekt på hastigheten som kan holdes på linjen. Dette er derimot kostbart å gjennomføre, dels i bygging, men også i kostnader knyttet til appropriering av de områdene det ville ha vært behov for slik at tiltakene kan gjennomføres. Tiltakene vil imidlertid trolig ha stor effekt.

9.1.1 Å presentere resultatet for beslutningstager

Forsøket med å presentere resultatet for beslutningstager ga flere interessante indikasjoner. Fasilitator burde imidlertid ha vært tydeligere i sin presentasjon av oppgaven, og mer presis på avgrensning for oppgaven. Tidsperspektivet var ikke helt klart for beslutningstager, og dette burde videre vært presisert tydeligere. Beslutningstager hadde også flere og sterkere meninger om hvilke tilstander som burde fungere som drivere enn hva fasilitator hadde forventet. I tillegg ønsket beslutningstager at det skal utredes nærmere om en løsning med både lokaltog og regionstog kan la seg gjøre, til

9. KONKLUSJON

tross for at MA viser at det ikke lar seg gjøre.

Disse aspektene er antagelig ikke urealistisk å forvente under en slik prosess. Det virker sannsynlig at en beslutningstager har sterke meninger knyttet til hva som bør utredes og ikke. Det er heller ikke urealistisk at en beslutningstager vil stille spørsmål ved hvordan visse resultater har framkommet, og kanskje be om tilleggsutredninger. Et eksempel på nettopp dette finnes i det forkastede caset *Nytt logistikknutepunkt for Trondheimsregionen* (se kapittel 4). Det kan likevel stilles spørsmål ved nytten av en MA dersom beslutningstager reduserer løsningsrommet til 1-4 konfigurasjoner som i dette tilfellet. Dette kan være en indikasjon på at det ikke er mulig å skape konsepter, som skiller seg fra hverandre i stor nok grad, ut fra denne analysen til en eventuell KVVU.

Beslutningstageren hadde ønsket seg ytterligere parametere og tilstander for å beskrive den komplekse oppgaven og skulle gjerne sett at det var fordelt på flere morfologiske områder (uten at dette var presentert som en mulighet). En mulighet ville også ha vært å fordele parametere og tilstander på investeringer og tiltak som vil skje innen kort og lang tidshorison. Til tross for det overnevnte opplever bidragsyteren at metoden generelt og fremstillingen spesielt fremstår som meget nyttig i og med at den tar for seg ulike deler av den sammensatte oppgaven det medfører å planlegge for jernbanen hvor tekniske-, økonomiske- og politiske aspekter preger de alternative mulighetene som finnes for et hvert prosjekt.

Dersom forsøket med å presentere resultatene for en beslutningstager skulle ha vært gjentatt ville en klar anbefaling være å oversende det morfologiske området og beskrivelse av tilstandene til beslutningstager på forhånd. På denne måten kunne beslutningstageren hatt mulighet til å forberede seg bedre og funnet ut av eventuelle uklare formuleringer eller spørsmål i forkant av møtet. Dette kunne muligens ha gitt en mer sannsynlig og oversiktlig situasjon. En reell beslutningstager ville trolig ha vært med på å initiere prosjektet og lagt føringer før gjennomføring av MA. Videre ville beslutningstager ha fulgt opp fremdriften og således hatt større innsikt i selve beslutningssituasjonen. Det bør poengteres at dette kun er et enkelt forsøk, som kunne ha vært gjentatt og gitt en større utvalgstørrelse. Forsøket, med å presentere det morfologiske området til en utenforstående som ikke har deltatt i prosessen, er imidlertid ikke hovedmålet med oppgaven og har derfor blitt nedprioritert.

9.1.2 Gruppearbeid

Etter gjennomføring av både én-til-én-intervjuer og gruppeintervjuer er det tydelig at det sistnevnte fremstår som en klart gunstigere måte å gjennomføre metoden på. Det gir en åpenbar effekt på konsistensen i det morfologiske området og reduserer risikoen for at bidragsyterne misforstår hverandre og har ulik forståelse av innholdet i parametere og tilstander. Gruppen som helhet bør også være mer involvert i formulering av problemstilling og mål med analysen for å sikre at alle sider av saken blir belyst. Dette

9. KONKLUSJON

gjelder gruppen som gjennomfører MA, men også for beslutningstager som blir presentert for resultatene. Dette har imidlertid ikke vært mulig å gjennomføre i denne oppgaven av hensyn til bidragsyternes tid og eventuelle kostnader.

9.2 Samarbeidet med Swedish Morphological Society

Samarbeidet med SweMorph har vært problemfritt. Både svar på forespørsler og databehandlingen har skjedd meget raskt. Etter å ha benyttet datavaren de har stilt til rådighet er det ingen tvil om at det ville tatt mye lengre tid å måtte programmere tilsvarende funksjoner i *Microsoft Excel* eller lignende programvare. Det bør også nevnes at dette er et godt tilbud til alle studenter eller ph.d.-kandidater som ønsker å gjennomføre en MA.

Programvaren som ble oversendt var en leseversjon av MA/Carma™. Leseversjonen har antagelig noe redusert funksjonalitet sammenlignet med den fulle versjonen, men for denne oppgaven har dette vært tilstrekkelig. Det er mulig at SweMorph kunne ha gitt tillatelse til å benytte seg av flere parametere eller til å lage en duplex-modell, dersom dette hadde vært undersøkt tidligere i prosessen.

9.3 Usikkerheter i analysen

Forfatteren av oppgaven, som også har fungert som fasilitator for analysen, har ingen tidligere erfaring med bruk av MA. Det kan dermed være at enkelte aspekter ved analysen har blitt tatt for lett på, eller at det ikke har blitt dvelte tilstrekkelig ved noen avgjørelser, formuleringen av parametere eller tilstander. Ritchey (2015) hevder også at det er viktig at fasilitator er profesjonell og upartisk og ikke har noen egeninteresse i problemet som blir analysert. Forfatteren er naturlig nok ikke profesjonell, men har heller ikke noen subjektiv interesse i hva resultatet for analysen blir. Formålet har vært at MA blir gjennomført på en mest mulig korrekt og pålitelig måte.

Analysen er også gjennomført delvis ved bruk av én-til-én-intervjuer til tross for at både Ritchey (1998) og Stenström (2011) hevder at det er viktig at analysen blir gjennomført i gruppe. Dette ble også åpenbart under gruppeintervjuene. Diskusjonene som fulgte rundt hver parameter og tilstand ble mer interessant enn i én-til-én-intervjuene, dette fordi panelet kunne diskutere med hverandre på tvers av fagfelt i stedet for å bli intervjuet individuelt om sin mening eller sine idéer. Som en eventuell følge av dette er det mulig at viktige tilstander eller parametere som påvirker prosjektet ikke har blitt oppdaget da potensielt viktige diskusjoner ikke har kunnet oppstå. Det er også mulig at noen av bidragsyterne ikke har samme oppfattelse av de ulike parameterne eller tilstandene og med bakgrunn i dette kan ha argumentert med ulik oppfattelse i krysskonsistenskontrollen.

9. KONKLUSJON

Som nevnt er det underforstått at intervjuene burde ha vært transkribert. Problemer med teknologi, og manglende utstyr for å spille inn intervjuene over *Skype for business* (Mac-versjon) gjør at det rett og slett ikke har vært mulig å spille inn to av intervjuene. Manglende transkripsjoner av intervjuene innebærer en svakhet ved at det er vanskeligere å etterprøve resultatene. Derimot hevder Ritchey (1998) at denne metoden i seg selv fungerer som dokumentasjon, og at slike analyser i noen tilfeller skal kunne være nærmest etterprøvbare gitt samme problemstilling og bakgrunnsmateriale. Således kan det argumenteres at det ikke er behov for transkripsjon. Videre er det gjort opptak av flere av intervjuene. I en ikke alt for fjern fremtid kan det være sannsynlig at slike lydfiler vil fungere vel så godt som dokumentasjon.

9.4 Videre arbeid

Det er interessant å oppdage at selv uten å ha gjennomført omfattende analyser, og kun gjennom å anslå kostnader kan lages en god oversikt over hvilke tiltak som vil la seg gjennomføre eller ikke. Det er dog viktig å tenke på at dette kun er nettopp anslag og ikke faktiske kostnader. Dermed kunne det ha vært interessant å gjenta prosessen med mer detaljkunnskap om kostnader, eller standardiserte verdier for bygging av dobbeltspor per kilometer, elektrifisering per kilometer og bygging av tunnel per kilometer. Ikke for å kvantifisere resultatet, men for å inneha et stødigere grunnlag for påstandene ekspertene foreslår. Dette kunne for eksempel løses ved å gjennomføre den morfologiske analysen i en større gruppe over et par dager.

Det kunne også ha vært interessant å videreutvikle modellen. Delvis ville det ha vært av interesse å legge inn funksjoner som utelukket tilstander på bakgrunn av hvor mye de valgte tilstandene er anslått å koste. Om dette er funksjoner som finnes i en fullversjon av MA/CarmaTM er uvist. I tillegg er modellen som nevnt tidligere passiv. Det er mulig at ved å gå tilbake og omformulere visse parametere og lage nye tilstander ville det oppnås et annet resultat eller at andre muligheter ville avdekkes. Dette ble ikke gjennomført, dels av pragmatiske årsaker, i tillegg til at modellen har gitt interessante resultater slik den allerede fremstår.

En funksjon som eksisterer, men som ikke er brukt i denne analysen er muligheten til å lage en *duplex-modell*. Som nevnt tidligere kunne det ha vært interessant å se på parametere av mer politisk eller etisk karakter samt ressurser i en separat modell som direkte påvirker hvilket løsningsrom som eksisterer i denne modellen. Denne modellen kunne samtidig ha fått et større omfang med tilskudd av flere tekniske parametere.

En del av det videre arbeidet med modellen vil være å ta i bruk de sentrale funnene og gjennomføre videre analyser. Det bør gjennomføres en analyse av nøyaktig hvor mye tid som spares ved å ikke stoppe på en enkelt holdeplass, samt hvor mange holdeplasser som eventuelt må legges ned for å oppnå ambisjonen om å redusere reisetiden med 30 minutter. Det burde også gjennomføres en nytte-/kostnadsanalyse av hvilke stasjoner på

9. KONKLUSJON

strekningen som gagnar flest brukere. I følge bidragsyterne fra Jernbanedirektoratet er det også ønske om å bruke det morfologiske områdets løsningsområde som underlag til en analyse av kapasitet på Trønderbanen som er nært forestående.

Referanser

- Alstom (2019), 'Alstom, eversholt rail unveils hydrogen train design for the UK', *Fuel Cells Bulletin* **2019**(2), 4–5. ISSN: 1464-2859.
- Automotive Council UK (2017), 'Automotive technology roadmaps'. Tilgjengelig fra: <https://www.automotivecouncil.co.uk/technology-group-2/automotive-technology-roadmaps/> (Hentet: 11.04.19).
- Bane NOR (2019), 'Togkart', Database. Tilgjengelig fra: <http://togkart.banenor.no/> (Hentet: 16.04.19).
- Diesen, S. (2016), 'Forsvarets fremtidige operasjoner : en morfologisk analyse av operasjonsspekteret'. FFI rapport, ISBN: 9788246428659.
- Farsund, B. H. (2017), 'En morfologisk analyse av tilsiktede uønskede handlinger rettet mot forsvarets informasjonsinfrastruktur'. Kjeller, FFI rapport, ISBN: 9788246430331.
- Finsveen, J. (2016), 'Nytt logistikknutepunkt i trondheimsregionen - supplerende analyse'. Utført av Dovre Group på vegne av Finansdepartementet og Samferdselsdepartementet.
- Hansen, C., Daim, T., Ernst, H. and Herstatt, C. (2016), 'The future of rail automation: A scenario-based technology roadmap for the rail automation market', *Technological Forecasting and Social Change* **110**, 196–212.
- Jernbanedirektoratet (2018a), 'Advarer om mulig togkrise for norske passasjerer', Jernbanedirektoratet.no, artikkel 24.08.2018. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/aktualiteter/2018/flirt-tog-nr-100-overtatt/> (Hentet: 11.04.19).
- Jernbanedirektoratet (2018b), 'Bimodale tog framskyndes', Jernbanedirektoratet.no, artikkel. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/aktualiteter/2018/bimodale-tog-framskyndes/> (Hentet: 12.03.19).
- Jernbaneverket (2011), 'Mulighetsstudie Meråkerbanen: Meråkerbanen og Mittbanan sin rolle i det midt-nordiske transportsystemet'. Utredning, Jernbaneverket - plan og utvikling Nord, Trondheim.
- Jernbaneverket (2012), 'ERTMS for dummies 1', Rapportserie for Jernbaneverket (ansvarlig: Kjell Holter). Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/globalassets/documents/ertms/1-ertms-for-dummies-grunnleggende-001.pdf> (Hentet: 07.06.19).
- Jernbaneverket region nord (2011), 'Hovedrapport : konseptvalgutredning (KVU) for nytt logistikknutepunkt i trondheimsregionen'. Oslo, Jernbaneverket region nord Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/6835058762b0402a960669818fef4ee/2011-05-12-hovedrapport-kvu-nytt-logistikknutepunkt-trondheimsregionen.pdf> (Hentet: 07.06.19).

REFERANSER

- Johansen, I. (2006), 'Scenarioklasser i forsvarsstudie 2007 : en morfologisk analyse av sikkerhetspolitiske utfordringer i norge'. Kjeller, FFI rapport, ISBN: 9788246410531.
- Meld.St.33 (2017), 'Nasjonal transportplan 2018 – 2029'. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/> (Hentet: 09.04.19).
- Moehrle, M. G., Isenmann, R. and Phaal, R. (2013), 'Technology roadmapping for strategy and innovation', *Charting Route to Success. Berlin al. Springer* . DOI 10.1007/978-3-642-33923-3.
- Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet (2019), 'oria.no'. Tilgjengelig fra: https://bibsyst-almaprmo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?vid=NTNU_UB (Hentet: 28.01.19).
- Norgeskart.no (2019), 'Togkart', Database. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeskart.no> (Hentet: 02.05.19).
- Phaal, R., Farrukh, C. J. and Probert, D. R. (2004), 'Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution', *Technological Forecasting & Social Change* **71**(1), 5–26.
- Ritchey, T. (1998), General morphological analysis, in '16th euro conference on operational analysis'.
- Ritchey, T. (2005), 'Ma/carma™ advanced computer support for general morphological analysis'. Tilgjengelig fra: <http://www.swemorph.com/macarma.html> (Hentet: 04.04.19).
- Ritchey, T. (2009), 'Futures studies using morphological analysis', (Bearbeidet fra kapittel 17 i Glenn og Gordon 2009). Tilgjengelig fra: <http://www.swemorph.com/pdf/futures.pdf> (Hentet: 25.02.19).
- Ritchey, T. (2013), 'Wicked problems and GMA', Forelesning, EOI i Madrid 11.03.13. Tilgjengelig fra: <https://vimeo.com/61708125> (Hentet: 07.06.19).
- Ritchey, T. (2015), 'Principles of cross-consistency assessment in general morphological modelling', *Acta Morphological Generalis*, Vol.4 No.2. ISSN: 2001-2241.
- Ritchey, T. (2018), 'General morphological analysis as a basic scientific modelling method', *Technological Forecasting & Social Change* **126**, 81–91.
- Sager, T. (2017), *Fremsynsmetoder (Concept-rapport nr 53)*, Concept-programmet, Ex ante akademisk forlag, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- Sintef (2017), 'Teknologitrender som påvirker transportsektoren'. Rapport skrevet på vegne av Jernbanedirektoratet, Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/1e1dfe4a71eb4665a70cea286a80862d/teknologitrender-som-pavirker-transportsektoren-v1.1-signert.pdf> (Hentet: 22.01.19).
- Sivertsvoll, T. (2019), 'Modernisering av trønderbanen'. Forelesning i Ekspert i Team (TBA4861): «Innovativ bytransport», 23.01.2019.

REFERANSER

- Statens Vegvesen (2011), 'Konseptvalgutredning for transportløsning veg/bane trondheim - steinkjer'. Statens Vegvesen.
- Stenström, M. (2011), *Morfologisk analys i grupp: En personlig handledning*, Rapportnummer: FOI-R-3215-SE, Avdelningen för försvarsanalys, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Avdelningen för Försvarsanalys, SE-164 90 Stockholm. Tilgjengelig fra: <https://www.foi.se/rapportsammanfattning?reportNo=FOI-R--3215--SE> (Hentet: 25.01.19).
- Subito! Research & Futures (2013), *Metode 21: Robuste beslutninger - hva trengs?*, Jernbaneverket, Oslo, Jernbaneverket. Tilgjengelig fra: https://www.ntp.dep.no/Forside/_attachment/613727/binary/956388?_ts=14564945570 (Hentet: 28.01.19).
- SweMorph (2019), 'Swedish morphological society'. Tilgjengelig fra: <http://www.swemorph.com> (Hentet: 05.04.19).
- Totalförsvarets forskningsinstitut (2019), 'Försvarets utveckling'. Tilgjengelig fra: <https://www.foi.se/forskning/forsvarets-utveckling.html> (Hentet 25.02.19).
- Wikipedia (2018), 'TEU'. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/TEU> (Hentet: 01.04.19).
- Zwicky, F. (1967), 'New methods of thought and procedure : Contributions to the symposium on methodologies'. Berlin, Heidelberg, ISBN: 3-642-87617-X.
- Øverland, E. F. (2000), *Norge 2030 : fem scenarier om offentlig sektors framtid*, Cappelen akademisk forl, Oslo. ISBN: 8202198798.

