

Concept

Eivind Tveter, Morten Welde og James Odeck

Usikkerhet i nytte- kostnadsanalyser

Concept arbeidsrapport 2023-2

Forord

I utredninger av potensielle vegprosjekter spiller nytte-kostnadsanalyser en viktig rolle. Samfunnsøkonomisk lønnsomhet uttrykkes ved lønnsomhetsmål som netto nåverdi og netto nåverdi per budsjettkrone. Hensikten er at beslutningstakere skal kunne fatte opplyste beslutninger basert på kunnskap.

Men hvor sikre er nytte-kostnadsanalysene? Gir resultatene kunnskap eller er de bare illusjoner av kunnskap? Er det like sannsynlig at et prosjekt som er beregnet å være samfunnsøkonomisk lønnsomt, viser seg å være ulønnsomt når det er gjennomført, og motsatt? Denne usikkerheten er tema i denne rapporten.

Tradisjonelt har lønnsomhetsmål i nytte-kostnadsanalyser blitt presentert som punktestimater og uten tilleggsinformasjon som viser hvor usikre slike estimater er. Det står i kontrast til kostnadsanslag som bygger på omfattende usikkerhetsanalyser. Denne rapporten drøfter dette paradokset og viser til ulike studier som har sett på hvor usikre sentrale parametere i nytte-kostnadsanalysen er. Den bruker data fra tre vegprosjekter som er under planlegging eller gjennomføring og estimerer usikkerheten i lønnsomhetsberegningene.

Rapporten er utarbeidet i samarbeid mellom Eivind Tveter fra Høgskolen i Molde, Morten Welde fra NTNU/Concept og James Odeck fra NTNU/Statens vegvesen.

Trondheim, november 2023

Ansvaret for informasjonen i rapportene som produseres for Concept-programmet ligger hos forfatterne. Synspunkter og konklusjoner står for forfatternes regning og er ikke nødvendigvis sammenfallende med Concept-programmets syn.

Innhold

SAMMENDRAG	4
1 INNLEDNING	6
2 NÆRMERE OM USIKKERHET	8
2.1 Klassifisering av usikkerhet.....	8
2.2 Usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser	9
Ex post studier.....	10
Ex ante studier.....	13
Usikkerhet i nytte over planfaser	13
2.3 Omtale av usikkerhet i veiledere	16
2.4 Prosjekt- og porteføljeusikkerhet.....	19
Arrow Lind-teoremet.....	19
Kostnadsanslag i en portefølje	19
Trafikant- og netto nåverdi i en portefølje	22
2.5 Oppsummering.....	22
3 METODE OG DATA	23
3.1 Analytisk rammeverk.....	23
3.2 Monte Carlo simulering.....	24
3.3 Utvalgte prosjekter fra NTP prosjektporteføljer for region øst.....	27
3.4 Spesifikasjon av usikkerhetsfaktorer.....	28
Tidsverdier.....	28
Kostnadsestimat	29
Trafikknivå	30
Kalkulasjonsrenten.....	30
Analyseperiode.....	31
Netto ringvirkninger	31
Realprisvekst	32
4 RESULTATER	33
4.1 Deskriptiv statistikk for usikkerhet for utvalgte prosjekter.....	33

4.2	Illustrasjon av usikkerhet.....	34
	Sannsynlighet for negativ netto nåverdi.....	34
	Usikkerhet i netto nåverdi per budsjettkrone som et intervall	35
	Hvilke parametere, enhetsverdier og anslag betyr mest for usikkerheten?	36
5	AVSLUTTENDE KOMMENTARER	38
	REFERANSER.....	40
	VEDLEGG: BEHANDLING AV BEREGNINGER MED EFFEKT.....	45

Sammendrag

Usikkerhet er en del av all prosjektplanlegging. Vi kan ikke vite utfallet av et vegprosjekt før det er åpnet og selv etter prosjektet er åpnet for trafikk vil det ta flere tiår før vi kan få oversikt over alle virkninger vegen har ført til. For utbyggingskostnadene har vi for lengst erkjent at usikkerheten må tas hensyn til. Gjennom transportetatens arbeid og påfølgende ekstern kvalitetssikring estimeres usikkerheten til kostnadsanslagene, som illustreres gjennom relativt standardavvik, persentiler mv. Denne usikkerheten blir synliggjort for beslutningstakerne gjennom styrings- og kostnadsrammer som kan avvike betydelig fra det mest sannsynlige kostnadsanslaget. For nyttesiden derimot, finnes ingen omforent metode for å estimere eller synliggjøre usikkerhet. Det er et paradoks siden nytten beregnes ut fra en rekke usikre parametere, enhetsverdier og anslag, i tillegg til at den beregnes flere tiår frem i tid.

I denne studien ser vi derfor på usikkerheten i nytte-kostnadsanalyser, representert ved lønnsomhetsbegreper som netto nåverdi og netto nåverdi per budsjettkrone (NNK). Vi forsøker å tallfeste usikkerheten med simuleringer av parametrene og anslag som inngår i analysen.

Studiens forskningsspørsmål er som følger:

1. Hva er sannsynligheten for negativ netto nåverdi?
2. Hva er et rimelig intervall for netto nåverdi per budsjettkrone?
3. Hvilke parametere, enhetsverdier og anslag betyr mest for usikkerheten?

Analyser av usikkerhet har en lang historie i både transportanalyser og i prosjektfaget og det finnes en omfattende litteratur som diskuterer ulike former for usikkerhet. I transportsektoren er det gjort en rekke studier som har illustrert at utfallsrommet for sentrale parametere i nytte-kostnadsanalysen kan være bredt. Både ex ante og ex post evalueringer, har vist at samfunnsøkonomisk lønnsomhet varierer betydelig og at usikkerheten er høyest tidlig i prosjektfasen. Betydningen av dette kan diskuteres. Hvis hensikten med nytte-kostnadsanalyser er å rangere prosjektalternativer påvirker ikke nødvendigvis usikkerhet rangeringen. Studier fra vårt naboland Sverige tyder på at usikkerheten ikke påvirker rangeringen. Men hvis vi derimot er opptatt av et enkeltprosjekts lønnsomhet, vil informasjon om usikkerheten i estimert lønnsomhet kunne ha betydning – spesielt hvis prosjektet er så stort at usikkerheten ikke kan diversifiseres bort. Prosjekter skal i tillegg alltid vurderes opp mot et (valgbart) nullalternativ. Hvis analysene er urealistiske eller svært usikre, vil dette også påvirke valget om å investere eller ikke. Usikkerhet burde derfor være av interesse for de største prosjektene.

Ulike norske utredninger og veiledere omtaler usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser og sier at den skal belyses, men dette er i liten grad operasjonalisert i praksis. Det synes også å være situasjonen internasjonalt. De fleste land omtaler begrepet, men det er kun Storbritannia som har egne retningslinjer og en verktøykasse for å utføre analyser av usikkerhet.

I studien bruker vi data fra tre norske vegprosjekter: E18 Lysaker–Strand, Rv4 Gjelleråsen–Mjøsbrua og E18 Lysaker–Ramstadsletta. Det første er estimert å være samfunnsøkonomisk

ulønnsomt med en NNK på -2,5; det andre en lønnsomhet nær null (NNK 0,2); og det siste er estimert å være lønnsomt med en NNK på 0,8.

Vi reproducerer en forenklet nytte-kostnadsanalysen for hvert prosjekt før vi estimerer usikkerheten rundt netto nåverdi og netto nåverdi per budsjettkrone med programmet Stata16. Vi benytter statistiske fordelinger for de mest relevante usikkerhetsfaktorene i analysen basert på empiriske data fra tidligere studier. Deretter simulerer vi usikkerheten ved hjelp av Monte Carlo simulering.

Resultatene av våre simuleringer er som følger:

- 1) Sannsynligheten for at de to lønnsomme prosjektene er ulønnsomme er om lag 30-40 prosent. Det er også større sannsynlighet for at trafikantnyttan blir lavere enn anslått enn at den blir høyere (venstreskjev fordeling).
- 2) Et rimelig intervall for NNK, representert med utfallsrommet P10–P90, avhenger av lønnsomheten. For prosjektene med positiv lønnsomhet er utfallsrommet for NNK rundt +/- 0,7.
- 3) Trafikkøkningen som følge av prosjektet har mest å si for usikkerheten i trafikantnytte. En lavere engangsøkning enn beregnet kan redusere trafikantnyttan med 20 prosent, mens en høyere trafikkøkning kan øke trafikantnyttan med 40 prosent. Deretter kommer tidsverdi, kalkulasjonsrente og beregningsperiode. Bidraget fra realprisjustering og utelatte virkninger, representert med et anslag på netto ringvirkninger, har ganske likt bidrag. Anslaget på trafikkvekst fremstår som en mindre viktig faktor.

Resultatene i denne studien gir ikke noe komplett bilde på usikkerheten i nytte-kostnadsanalyser, men illustrerer at variasjonen rundt punkttestimater for lønnsomhet kan være betydelig. Usikkerheten er så stor at for enkeltprosjekter der lønnsomhet har stor betydning for prosjektbeslutning for eksempel megaprosjekter der usikkerheten ikke kan diversifiseres bort, vil det ikke være rimelig å fremstille lønnsomheten gjennom et punkttestimat. Vi anbefaler at estimatene i slike prosjekter suppleres med egnede mål på usikkerhet, for eksempel sannsynlighet for negativ netto nåverdi eller et rimelig intervall (for eksempel P10-P90) for netto nåverdi eller netto nåverdi per budsjettkrone.

En svakhet ved studien er at den er basert på eksisterende nytte-kostnadsanalyser. Vi har tatt utgangspunkt i mest sannsynlig verdi for sentrale parametere. Hvis disse i realiteten er preget av optimisme- eller pessimismeskjevhet, eller andre ukjente faktorer, kan usikkerheten være enda større.

«All models are wrong, but some are useful»
– Box (1987)

1 Innledning

Hensikten med denne studien er å øke kunnskapen om usikkerheten til nytte-kostnadsanalyser. Studien fokuserer på transportprosjekter og forsøker å tallfeste usikkerheten med simuleringer av parametrene og anslag som inngår i analysen. Resultatene illustrerer viktigheten av å synliggjøre usikkerhet for beslutninger, spesielt tidlig i planprosessen hvor usikkerheten er størst. Videre gir studien innspill til hvordan et opplegg for usikkerhetsvurdering kan videreutvikles.

Statens prosjektmodell krever at prosjekter med en anslått kostnad på over 1 milliard kroner skal gjennomgå konseptvalgutredning (KVU) og ekstern kvalitetssikring (KS1) før prosjektet eventuelt kan videreføres til en forprosjektfase som kan ende i ny ekstern kvalitetssikring (KS2) og stortingsbeslutning om gjennomføring (Finansdepartementet, 2023). For transportprosjekter innebærer forprosjektfasen utarbeidelse av kommunedelplan med konsekvensutredning samt videre avklaring av detaljer om plassering og utforming av infrastrukturen gjennom reguleringsplan etter plan- og bygningsloven. Det er først i forbindelse med forprosjektfasen at for eksempel vegens utforming blir avklart – herunder hvilken korridor den skal følge, hvordan den skal plasseres i terrenget, teknisk utforming, bru- og tunnelandel etc. Det er derfor grunn til å tro at en nytte-kostnadsanalyse gjort tidlig i planprosessen er spesielt usikker.

Selv om analysen er usikker, har den tidlige nytte-kostnadsanalysen stor betydning for det videre prosjektforløpet. Man kan argumentere for at dersom den påfølgende utredningen viser at prosjektet er samfunnsøkonomisk ulønnsomt (i forprosjektfasen gjennomføres det nytte-kostnadsanalyser av alle aktuelle alternativer innenfor valgt konsept) bør prosjektet avvises. Dessverre tyder ikke praksis på at så er tilfellet. Nullalternativet anbefales så godt som aldri i KVUer (Volden mfl., 2023) og om lag 80 prosent av prosjektene som starter med en KVU blir videreført til forprosjektfasen i en eller annen form (Grindvoll, 2015). Det betyr at de tidlige analysene, og de strategiske valgene som tas som et resultat av dem, har avgjørende betydning for det videre prosjektforløpet. Det betyr at det er viktig å ha gode prosesser for vurdering av tidlige prosjektforslag, og ikke minst at usikkerheten er riktig fremstilt.

Resultatene fra nytte-kostnadsanalysen presenteres normalt som et enkelt tall, og vurderinger av usikkerhet omfatter i beste fall enkelte sensitivitetsanalyser. Begrunnelser for dette finnes i Finansdepartementets rundskriv R-109/21 og vurderingene fra NOU 1997:27. Den siste gjennomgangen av grunnlaget for samfunnsøkonomiske analyser i nyere tid er NOU 2012:16, og har hatt betydning for senere rundskriv og veiledere fra Finansdepartementet og Direktoratet for forvaltning og økonomistyring (DFØ). NOUen omtalte imidlertid kun kalkulasjonsrenten og drøftet ikke hvordan usikkerhet burde vurderes. En begrunnelse for at staten burde se bort fra usikkerheten til et prosjekt kan spores tilbake til Arrow og Lind (1970), som viste at betydningen av risiko blir neglisjerbar dersom en stor gruppe personer deler på kostnaden av prosjektet og tar del i gevinsten. Men dersom vi snakker om de største transportinvesteringene som har en betydelig kostnad og samtidig tilfaller kun en liten avgrenset gruppe individer gjelder ikke

hovedresultatet til Arrow og Lind (1970).¹ Usikkerheten til de største prosjektene, kan ikke nødvendigvis diversifiseres bort, og er derfor beslutningsrelevant.

Kunnskapen om usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser er begrenset. Det finnes kun et fåtall empiriske analyser av usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser i transportsektoren, både nasjonalt og internasjonalt (disse gjennomgås i kap. 2.2). Disse analysene har undersøkt et utvalg prosjekter og sett på hvordan et utvalg av parametere og enhetsverdier påvirker beregningen. Studiene gir imidlertid begrenset innsikt i hvor usikker en nytte-kostnadsanalyse er for et enkeltprosjekt, spesielt i tidlig fase av prosjektutviklingen. For det første består samlet usikkerhet av flere forhold enn det som er undersøkt i eksisterende litteratur. For det andre fokuserer mange av studiene på nasjonal transportplannivå (NTP) eller enkeltprosjekter ved bevilgningstidspunktet.

I studien ser vi på følgende forskningsspørsmål:

1. Hva er sannsynligheten for negativ netto nåverdi?
2. Hva er et rimelig intervall for netto nåverdi per budsjettkrone?
3. Hvilke parametere, enhetsverdier og anslag betyr mest for usikkerheten?

Rapporten er organisert som følger. Kapittel 2 går gjennom eksisterende kunnskap om usikkerhet i en nytte-kostnadsanalyse, hvordan usikkerhet håndteres i veiledere for samfunnsøkonomisk analyse og forskjellen mellom usikkerhet for et enkeltprosjekt og en portefølje av prosjekter. Kapittel 3 presenterer et rammeverk for å vurdere usikkerhet av en nytte-kostnadsanalyse med bruk av Monte Carlo simulering på noen illustrative eksempler og våre vurderinger av usikkerheten til de mest relevante usikkerhetsfaktorene. Kapittel 4 viser resultater fra simuleringene av netto nåverdi per budsjettkrone, trafikantnytte og netto nåverdi. Kapittel 5 diskuterer resultatene og gir noen avsluttende bemerkninger.

¹ Forfatterne er tydelig klar over dette og skriver følgende: “Suppose instead that some benefits and costs of sizeable magnitudes accrued to individuals so that these individuals incurred in the attendant cost of risk-bearing. In this case, it is appropriate to discount for the risk ...” (Arrow og Lind, 1970, s. 377).

2 Nærmere om usikkerhet

Usikkerhetsanalyser er en innarbeidet del av kostnadsestimering av store statlige prosjekter. I de senere årene har det også blitt mer søkelys på usikkerhet innenfor nytte-kostnadsanalyser. For eksempel har Statens vegvesens håndbok for konsekvensanalyser – V712 (Statens vegvesen, 2018) viet oppmerksomhet til følsomhetsanalyser som tilnærming til å vurdere usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser. Ettersom en fullgod håndtering av usikkerhet fortsatt er mangelfull i transportsektoren gir vi i dette kapitlet først en overordnet beskrivelse av usikkerhet, før vi kommer nærmere inn på kunnskapsgrunnlaget for usikkerhet i en nytte-kostnadsberegning og hvorfor det er nødvendig å belyse som en del av beslutningsgrunnlaget.

2.1 Klassifisering av usikkerhet

Diskusjonen om usikkerhet har en lang historie. De første skriftlige kildene dateres tilbake til de greske filosofene, men historien går trolig lenger tilbake (Walker mfl., 2013). Den moderne historien om usikkerhet i et økonomisk perspektiv har sin opprinnelse i Knight (1921), som introduserte et skille mellom risiko og usikkerhet. Ifølge Knight er risiko den kalkulerbare delen usikkerhet, mens den resterende usikre delen er uberegnelig og ukontrollerbar. Denne siste delen ligger tett opptil det som i dag kalles for dyp usikkerhet. Andre lignende merkelapper for dyp usikkerhet er «severe uncertainty», «radical uncertainty», «Black Swans» eller «Wicked problems» (Lempert, 2014; Taleb, 2007; Kay og King, 2020; Walker mfl., 2013).² En annen definisjon av usikkerhet, dyp eller ikke, er begrenset kunnskap om fremtidige, tidligere eller nåværende hendelser (Walker mfl. 2013).

Den internasjonale litteraturen definerer ofte usikkerhet som noe uønsket, det vil si knyttet til et mulig negativt utfall. Austeng mfl. (2005) brukte en noe annen inndeling. De delte usikkerhet i risiko og mulighet. Mens risiko er et uttrykk for den fare som uønskede hendelser representerer, og således knyttet til et mulig tap, omfatter usikkerhet begge deler og er knyttet til manglende viten. Høy usikkerhet kan innebære risiko, altså en potensiell fare for negative virkninger, men også mulighet – en oppside der utfallet kan bli bedre enn ventet.

For vårt formål er definisjonen av usikkerhet fra prosjektlitteraturen mer hensiktsmessig. I denne litteraturen omtales usikkerhet som *differansen mellom den informasjonen som er nødvendig for å ta en sikker beslutning og den informasjonen som er tilgjengelig på tidspunktet for beslutningen* (Wangsness mfl., 2015). Definisjonen fra Wangsness mfl. (2015) er anvendbar for vårt formål, siden vi er opptatt

² Ord (2020) diskuterte en spesiell type dyp usikkerhet hvor forfatteren analyserte eksistensiell risiko og menneskehetens fremtid.

av hvor pålitelig informasjon vi kan få fra en nytte-kostnadsanalyse som i dag gjøres i tidlig fase av et prosjekt.

En nyttig skala for usikkerhet ble presentert i Walker mfl. (2013), hvor skalaen går fra total sikkerhet til total uvitenhet (Tabell 2-1). Mellom disse ekstrempunktene er det fem nivåer, hvorav 1-3 kan tallfestes. Nivåene som ikke er egnet for tallfesting merkes med kursiv skrift i tabellen. Selv om disse ikke kan tallfestes er de sentrale å inkludere, siden den samlede usikkerheten er større enn det som kan tallfestes.

Tabell 2-1: Usikkerhetsnivå

Nivå	Beskrivelse
0	Total sikkerhet
1	Usikkerhet som kan beskrives med ulike alternativer (sensitivitetsanalyse)
2	Usikkerhet som kan beskrives statistisk (Monte Carlo simulering)
3	Flere scenarier som kan rangeres etter sannsynlighet (flere Monte Carlo simuleringer)
4	<i>Mange scenarier med ukjent sannsynlighet</i>
5	<i>Ukjente ukjente (dyp usikkerhet/ «Black Swans»)</i>
6	Total uvitenhet

Kilde: Basert på Walker mfl. (2013).

2.2 Usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser

Welde og Odeck (2020) klassifiserte usikkerhet for en nytte-kostnadsanalyse av et investeringsprosjekt i transportsektoren i tre kategorier:

1. Usikkerhet i parametere og enhetsverdier
2. Usikkerhet i kostnadsestimater
3. Usikkerhet i trafikkprognoser

Den første kategorien dreier seg om hvordan en beregner virkninger i kroner. Både hvilken verdi en setter på tid og distanseavhengige kjørekostnader, samt verdsetting av indirekte effekter som klimagassutslipp og ulykker. I tillegg kommer beregningstekniske forutsetninger i nytte-kostnadsanalysen som kalkulasjonsrente, realprisjustering, beregningsperiode, levetid og vurdering av restverdi. Den andre kategorien er knyttet investeringskostnaden og dreier seg om usikkerhet rundt kostnadsanslaget. Den tredje kategorien dreier seg om forventet trafikkmengde. Dette inkluderer forventet trafikkmengde i åpningsåret, forventet trafikkøkning som følge av prosjektrealisering (inkludert en mulig justeringsperiode) og årlig trafikkvekst i beregningsperioden.

Disse tre kategoriene er nyttige for å dele inn faktorene (drivkreftene) bak usikkerhet. Vi benytter en justert inndeling (se Tabell 2-2) hvor vi deler inn den første kategorien i to deler. I lys av den generelle omtalen av usikkerhet inkluderer vi også usikkerhet i form av scenariosikkerhet og den ukjente usikkerheten. Som tidligere nevnt kan ikke de to siste kategoriene tallfestes, men vi inkluderer dem i listen for å fremheve at den samlede usikkerheten inkluderer elementer som vi

ikke kan adressere i vår analyse. Den øverste raden inkluderer usikkerhet i enhetsverdier slik som tidsverdi, distansekostnad, ulykkeskostnad, verdi av et statistisk liv og karbonpris. Den andre raden lister parametere som bestemmer modellspesifikasjonen, og inkluderer kalkulasjonsrente, beregningsperiode, realprisvekst og sekkeposten 'andre forhold'. Den andre hovedtypen er anslagsusikkerhet som gjelder trafikk og kostnadsestimater. Den tredje typen er scenariosikkerhet. Med dette mener vi utviklingsbaner for økonomisk vekst, teknologi, klima (klimaendringer og karbonprisbaner) og politiske forhold, for å nevne noen. Disse forholdene kan påvirke både parametere og anslag samtidig. Til slutt har vi 'ukjente ukjente' som vi i natur mangler kunnskap om.

Tabell 2-2: Usikkerhetsfaktorer for en nytte-kostnadsanalyse av et transportprosjekt

Type		Faktor
Parametere og enhetsverdier	Enhetsverdi	Tidsverdi, distansekostnad, verdi av statistisk liv og karbonpris
	Parametere	Kalkulasjonsrente, beregningsperiode, realprisvekst, velferds-/fordelingsvekter, skattekostnad, null-alternativ, restverdi og utelatte virkninger (f.eks. netto ringvirkninger)
Anslag	Trafikk	Nivå, engangsvekst, ramp-up og årlig vekst
	Kostnadsestimater	Investering, drift og vedlikehold
Scenario		Konjunkturer; teknologi; demografi; næringsstruktur; klimaendringer; politisk og institusjonell risiko
Ukjent		Ukjent

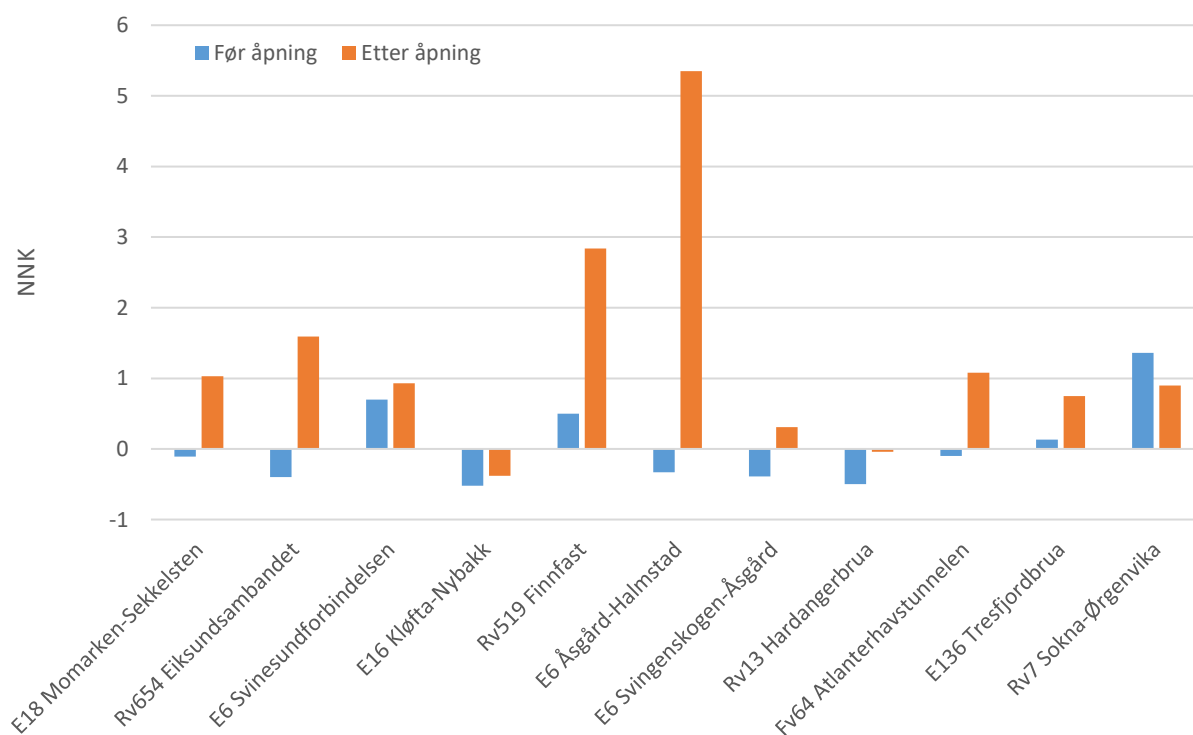
En alternativ kategorisering av usikkerhet ble presentert i Wangsness mfl. (2015). Wangsness mfl. (2015) skilte mellom systematisk og usystematisk risiko slik det ofte gjøres i diskusjonen om valg av kalkulasjonsrente (se NOU 2012:16 for en grundig gjennomgang), i tillegg til om usikkerheten er prosjektspesifikk eller prosjektovergrepene. Den systematiske usikkerhet er kun konjunkturusikkerheten, mens de øvrige elementene i scenariotypen samt kostnadsusikkerhet defineres som prosjektspesifikk.

En tredje mulighet er å gjøre et skille langs tidsdimensjonen. Virkninger som kommer tidlig, er mindre usikre enn virkninger som kommer lenger frem i tid. I prinsippet håndteres denne usikkerheten gjennom kalkulasjonsrenta, men rent praktisk er det ytterligere faktorer som spiller inn. For eksempel kan en gjøre analyser hvor en forutsetter at prosjektet bygges mange år inn i fremtiden, men for å kunne sammenligne prosjekter beregnes alle prosjektene med et felles referanseår, slik det gjøres i NTP-arbeidet.

Ex post studier

Vi er kun kjent med to studier av systematiske forskjeller i netto nåverdi før og etter åpning av et transportprosjekt. Den tidligste studien, Kelly mfl. (2015), tok for seg 10 store EU-prosjekter fra åtte ulike land. Ved å sammenligne ex ante- med ex post-analysen, fant de gjennomgående høyere ex ante verdier enn ex post verdier, en forskjell de benevner som optimismeskjevhet. Det andre bidraget, Odeck og Kjerkreit (2019), gjorde en lignende sammenligning for 27 norske vegprosjekter. I den analysen ble netto nåverdi underestimert med 50 prosent, altså en pessimismeskjevhet. Hovedårsaken til dette var, ifølge forfatterne, undervurdert trafikk.

Flere eksempler fra en norsk sammenheng finner vi fra evalueringene til forskningsprogrammet Concept. Slike etterevalueringer av vegprosjekter er imidlertid ikke vanlige. I Europa er Frankrike og Storbritannia, i tillegg til Norge, de eneste landene som driver systematisk etterevaluering av veg- og jernbaneprosjekter (Welde og Volden, 2018; ITF, 2022). Concept evaluerer 2-4 store statlige prosjekter hvert år og har ved utgangen av 2023 evaluert 39 prosjekter. Av disse er 11 vegprosjekter, åtte jernbaneprosjekter, og resten fra andre sektorer. Evalueringene er basert på en standard målorientert evalueringsmodell, hvorav samfunnsøkonomisk effektivitet (lønnsomhet) utgjør ett av evalueringskriteriene. Det stilles ikke krav til at de samfunnsøkonomiske analysene ex ante og ex post skal baseres på samme beregningsforutsetninger og metodikk, selv om evaluator i noen grad forsøker å kontrollere for endringer i modell- og beregningsforutsetninger. Det betyr at forskjellene mellom beregningene også kan tilskrives endrede beregningsforutsetninger. Det betyr likevel at ex post beregningene gir et riktigere bilde av lønnsomheten enn ex ante beregningene. Figur 2-1 viser forskjellen i netto nåverdi per investert krone (NNK) før og etter åpning.



Figur 2-1: Netto nåverdi per investert krone (NNK) før og etter åpning. Kilde: Vegprosjekter evaluert av Concept programmet, se <https://www.ntnu.no/web/concept/evalueringsrapporter>

Figuren viser at forskjellene i beregnet lønnsomhet på beslutningstidspunktet og noen år etter åpning kan være betydelig. I gjennomsnitt økte beregnet NNK fra 0,03 til 1,3. Vi ser også, med kun ett unntak, at NNK var høyere ex post enn ex ante. I en del tilfeller skyldes nok dette endrede beregningsforutsetninger. Blant annet ble en del av prosjektene beregnet med en diskonteringsrente på 8 prosent og en analyseperiode på 25 år (Halse mfl., 2021). Idag er

diskonteringsrenten 4 prosent og standard analyseperiode 40 år. Figur 2-1 viser uansett at anslagene for samfunnsøkonomisk lønnsomhet er omfattet av betydelig usikkerhet.

En bredere del av denne litteraturen ser på usikkerhet i kostnadsanslag, trafikk eller begge deler, men hvor interessen er på disse elementene og ikke på nytte-kostnadsanalysen. Fra studiene som tar for seg kostnadssiden, er det mye som tyder på at usikkerheten har vært undervurdert, særlig i tidlig fase. De fleste prosjekter har opplevd en kostnadsøkning fra KVVU/KS1 frem mot endelig investeringsbeslutning – i gjennomsnitt 43 prosent (Jordal, 2019). I NTP 2018-2029 viste transportetatene at vegprosjekter som var prioritert i NTP 2018-2029, og som også hadde vært prioritert i NTP 2014-2023, hadde en gjennomsnittlig kostnadsøkning på om lag 40 prosent. Den tilsvarende kostnadsøkningen for jernbaneprosjekter var 30 prosent.

Studier har dokumentert at kostnadsusikkerhet reduseres frem mot endelig investeringsbeslutning. Welde og Odeck (2017) fulgte et utvalg vegprosjekter fra prioritering i NTP, via KS2, til vedtak i Stortinget om gjennomføring og til slutt, åpning. De fant at mens avviket mellom sluttkostnad og kostnadsanslag i NTP var 30 prosent, var avviket mellom sluttkostnad og vedtatt styringsramme i de samme prosjektene ubetydelig, kun 1 prosent. Variasjonen i tidlig fase var også større. Kostnadsendringene fra NTP til ferdig prosjekt varierte fra om lag -25 prosent til nesten +250 prosent (standardavvik 58 prosent). Variasjonen rundt vedtatt styringsramme var fra -40 til +50 prosent (standardavvik 17 prosent).

Det finnes en rekke studier som har dokumentert usikkerheten til trafikkprognoser. Odeck (2013) analyserte i hvilken grad de nasjonale og fylkesvise prognosene for trafikkvekst treffer. Prognosene ble sammenlignet med faktiske trafikkvekst. Data besto av trafikkprognoser for tidsperioden 1996-2008. Resultatene viste stor variasjon mellom fylkene, men et fellestrekk var en underestimering på 1,3 prosentpoeng, målt som gjennomsnitt. Transportmodellene som prognosene bygget på, fikk en stor revisjon i 2001. Analysene viste at treffsikkerhet for prognosene ble mye bedre i perioden etter revisjonen (gjennomsnittlig prosentfeil på 0,7) sammenlignet med perioden før (gjennomsnittlig prosentfeil på 2,02). En statistisk test visste også at prognosene ikke var skjevfordelte. Odeck og Welde (2017) studerte treffsikkerheten av trafikkprognoser på bompengeprosjekter i Norge. De fant en lav gjennomsnittlig prosentfeil på 4 prosent. Odeck og Kjerkreit (2019) gjennomførte en ex post analyse av 27 vegprosjekter med bruk av nytte-kostnadsanalyse. De fant at trafikkprognosene ofte var undervurderte (gjennomsnittlig prosentfeil 14,4). I 16 av 27 prosjekter var den faktiske trafikken større enn prognostisert.

Også den internasjonale litteraturen har viet stor oppmerksomhet til usikkerhet i trafikkprognoser. Parthasarathi og Levinson (2010) brukte data fra gjennomførte prosjekter i Minnesota, USA, og fant en underestimering på 20 prosent og et stort variasjonsintervall [-0.99, 7.94]. Nicolaisen og Driscoll (2014) gjennomførte en litteraturgjennomgang av ex post studier av trafikkprognoser. De fant at for vegprosjekter er det som regel en underestimering (3-11 prosent), mens det er overestimering for jernbaneprosjekter (-16 til -44 prosent). En annen internasjonal studie som har sett på omfanget av usikkerhet i trafikkprognoser er Flyvbjerg mfl. (2006). Ved bruk av data fra 14 land fant de at overestimering av trafikk var vanligere i jernbaneprosjekter enn i vegprosjekter.

Ex ante studier

Flere studier tar en ex ante tilnærming til usikkerheten i nytte-kostnadsanalyser. Slike studier kan gjøres ved å se på hvor mye nytte-kostnadsanalysen endres ved å variere de viktigste faktorene i analysen (sensitivitetsanalyse) eller å simulere beregninger basert på statistiske fordelinger av usikkerhetsfaktorene (Monte Carlo simulering). Vi starter med sensitivitetsanalysene.

Et flertall av ex ante studiene har vurdert usikkerhet basert på sensitivitetsanalyser. Börjesson mfl. (2014a) undersøkte usikkerhet i noen utvalgte scenarier knyttet til bilbruk samt endringer i verdsetting av tid, distanse, ulykker og CO²-utslipp, og analyserte konsekvensene med tanke på porteføljerangering. Studien fant liten endring i rangeringen av prosjekter som følge av endringer i enkeltparametere. Holz-Rau og Scheiner (2011) studerte robustheten til porteføljerangering ved å variere relativ verdsettelse av reisetidsbesparelser og trafikkdødsfall. De konkluderte med at rangeringen av rundt 400 veginvesteringer var robust mot slike variasjoner. Börjesson mfl. (2014b) studerte effekten av arealbruk og fant ingen virkning på rangeringen av seks store prosjekter. Eliasson mfl. (2009) undersøkte hvor sensitiv nytte-kostnadsanalysen er for anslag og parametere knyttet til miljøpolitikk (f. eks. oljepris, drivstoffpriser og bortfall av ladbare hybridbiler). Dette endret nytten med mindre enn 10 prosent. Eliasson og Börjesson (2013) viste at rutetabellforutsetninger har en avgjørende betydning for nytte-kostnadsanalysen for jernbaneinvesteringer. Selv om det er noe variasjon, er hovedresultatet at disse studiene viste liten effekt av usikkerhet når det gjelder porteføljeprioritering.

Færre studier har sett på usikkerhet ved bruk av simuleringer. En serie artikler undersøkte usikkerhet i nytte-kostnadsanalysen for noen utvalgte danske vegprosjekter (Barfod og Salling, 2015; Salling og Leleur, 2012; Salling og Banister, 2009). Tilnærmingen her dreier seg mye om bruk av simuleringer for å bedre informasjonsunderlaget for beslutningstagerne. Simuleringene tar imidlertid kun for seg enkelt av de usikre faktorene. Det nyeste bidraget kom fra Asplund og Eliasson (2016) som undersøkte usikkerhet ved bruk av simuleringer. I likhet med Börjesson mfl. (2014a) undersøkte forfatterne usikkerhet opp mot hvordan det slo ut på rangering av prosjekter innen en prosjektportefølje. Analysen varierte på sentrale parametere i nytte-kostnadsanalysen, og så på hvordan usikkerhet i disse parameterne påvirket rangeringen av transportprosjekter basert på et rent nyttekostnads-kriterium. Resultatet var at selv om beregningen av enkeltprosjekter er usikker, påvirkes rangeringen i liten grad fordi prosjektene påvirkes på samme måte.

Usikkerhet i nytte over planfaser

Det har vært gjennomført få systematiske gjennomganger av hvordan nytten utvikler seg gjennom planfaser, sannsynligvis fordi nytte er mer krevende å anslå både ex ante og ex post, til tross for velutviklede verktøy for nytte-kostnadsanalyser. Studier av enkeltprosjekter tyder på at usikkerheten i anslått netto nåverdi kan være stor.

Jordal (2019) så på utviklingen i nytte og kostnad mellom KS1 og KS2 for flere prosjekter. Hun så nærmere på sju av prosjektene og fant at anslått netto nåverdi kunne variere betydelig i løpet av få år, se Figur 2-2.

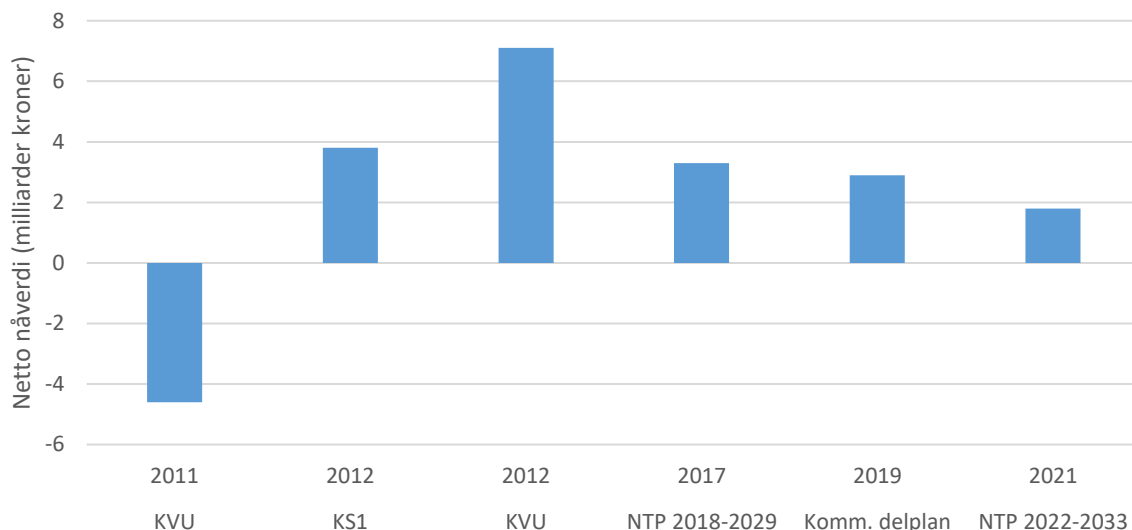


Figur 2-2: Netto nåverdi ved KS1 og KS2. Utvalgte prosjekter fra Jordal (2019).

De største prosjektene er ofte gjenstand for flere og oppdaterte analyser over tid. Noen eksempler på dette er Stad skipstunnel, E39 Ådland-Svegatjørn (Hordfast) og Ringeriksbanen.

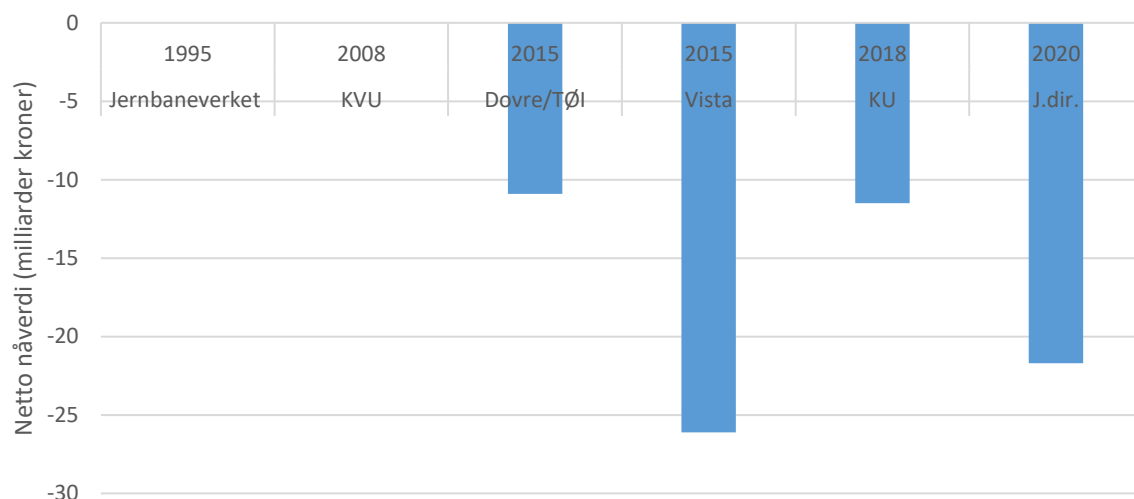
Kvalheim (2015) så på 11 samfunnsøkonomiske analyser av Stad skipstunnel (hvorav ni var nyttekostnadsanalyser) fra 1990 til 2012. Han fant at den estimerte kostnaden varierte fra 290 til 2 500 millioner kroner i faste 2011-kroner. Videre fant han at estimert samlet nytte varierte fra 296 til 3 750 millioner kroner. Estimert netto nåverdi varierte fra minus 1 697 til pluss 1 282 millioner kroner. Kvalheim pekte på at analysene manglet konsistens over tid. For det første hadde nyttekomponentene blitt vektlagt ulikt. Dernest hadde metodiske forutsetninger knyttet til særlig kalkulasjonsrenten endret seg i perioden. For det tredje hadde noen av analysene prissatt virkninger som ikke var prissatt i andre analyser. Til slutt pekte forfatteren på det påfallende i at analysene finansiert av en part med antatt nøytral holdning (typisk staten) kom ut med negativ netto nåverdi, mens analysene finansiert av parter med et antatt ønske om realisering (private lobbyister, kommuner, fylkeskommuner, mv.) kom til motsatt resultat. Bardal og Reinart (2018) pekte på det samme; det vil si at det kan være en sammenheng mellom hvem som er oppdragsgiver for en utredning og hvilket resultat utredningen kommer frem til. De gjennomgikk åtte prosjekter som hadde blitt utredet på 1990- og 2000-tallet og viste at resultatene av analysene sprikte betydelig. Forfatterne pekte på at det særlig er nyttesiden i prosjektene som kan ha en tendens til å bli justert opp når oppdragsgiver har sterke interesser i at prosjektet realiseres, og motsatt.

Figur 2-3 viser utviklingen i estimert netto nåverdi for prosjektet Hordfast over tid. I den opprinnelige konseptvalgutredningen anslo Statens vegvesen at prosjektet ville ha en negativ netto nåverdi, men en ny KVVU året etter fant høy og positiv netto nåverdi. Siden da har estimert utbyggingskostnad økt betydelig. Netto nåverdi blir nå beregnet til å være positiv, men betydelig lavere enn for 10 år siden. I NTP 2022-2033 ble utbyggingskostnaden estimert til 37,7 milliarder kroner og netto nåverdi til pluss 1,8 milliarder kroner. Før prosjektet eventuelt kan vedtas av Stortinget må det gjennom KS2. Da vil lønnsomhetsberegningene oppdateres nok en gang.



Figur 2-3: Beregninger av netto nåverdi av E39 Ådland - Svegatjørn (Hordfast).

Endringen i beregnet netto nåverdi for prosjektet Hordfast er ikke unikt. Den planlagte Ringeriksbanen mellom Hønefoss i Ringerike og Sandvika i Bærum (40 km) har vært utredet i flere tiår. I nyere tid er det gjennomført flere samfunnsøkonomiske analyser av prosjektet, se Figur 2-4 (Tvetter mfl., 2021). I den første, fra 1995, ble Ringeriksbanen beregnet som et samfunnsøkonomisk lønnsomt prosjekt uten at man oppga netto nåverdi. Senere beregninger har indikert at prosjektet er samfunnsøkonomisk ulønnsomt med god margin, men med variasjoner i resultatene på over 100 prosent. Dette også til tross for at endringer i beregningsforutsetninger underveis isolert sett har økt beregnet nytte kraftig.



Figur 2-4: Beregninger av netto nåverdi for Ringeriksbanen.

Sprikene i netto nåverdi for enkeltprosjekter kan ha ulike årsaker. Over tid vil endringer i beregningsforutsetningene kunne gi store utslag, men også endringer i estimert kostnad vil kunne ha store konsekvenser for resultatet av analysene. Ulike analyser på ulike tidspunkter gjør sjelden eller aldri rede for hvorfor resultatene avviker fra tidligere analyser. Vi kan derfor ikke si noe om hvilken type usikkerhet det er som forårsaker de store sprikene.

2.3 Omtale av usikkerhet i veiledere

Et mer praktisk spørsmål er hvordan usikkerhet behandles i veiledere for nytte-kostnadsanalyser i transportsektoren. I den norske sammenhengen er Finansdepartementens ulike rundskriv, senest R-109/21, utgangspunktet for de sektorspesifikke veilederne hvor usikkerhet omtales i kapittel 8. Rundskrivet understreker at virkninger av et tiltak er usikre og bør belyses. Det gis ingen spesifikk anbefaling om håndtering av usikkerhet utover at følsomhetsanalyser kan benyttes. Håndtering av usikkerhet ble, som tidligere nevnt, ikke behandlet i detalj i NOU 2012:16, men omtalt noe grundigere i NOU 1997:27. Det ble imidlertid ikke gitt noen konkret anbefaling om hvordan usikkerhet burde illustreres.

For å vurdere den norske praksisen om usikkerhet går vi gjennom de mest relevante veilederne for vegtransport og ser i tillegg på praksis i noen utvalgte land. Tabell 2-3 viser resultatene fra Wangsness mfl. (2022) sin gjennomgang av praksis i syv land samt vår egen gjennomgang av den norske praksisen. Vi har også sett på en tidligere gjennomgang om usikkerhet fra Wangsness mfl. (2015) samt Vennemo mfl. (2020) sin undersøkelsen av praksisen i prosjektene omfattet av statens prosjektmodell. I tillegg inkluderer vi behandlingen av usikkerhet fra Direktoratet for forvaltning og økonomistyring (DFØ) og Statens vegvesen. Vi konsentrerer oss om vurdering av usikkerhet til de prissatte virkningene. Vi ser først på de norske retningslinjene og deretter utvalget fra Wangsness mfl. (2022).

Tabell 2-3: Omtale av usikkerhet i veiledere som gjelder for transportsektoren. Utvalgte land

Land	Følsomhet	Scenario	Simulering
Norge (V712)	Følsomhetsanalyser for investeringer, trafikkvekst og spesielt usikre effekter.	Scenario med annet nullalternativ.	Nevnes ikke.
Norge (DFØ)	Følsomhetsanalyse for alle relevante mengder og priser.	Scenarier med konsistent beskrivelse av utviklingen, ideelt sett langs politiske, økonomiske og teknologiske dimensjoner.	Relevant for større prosjekter. Beskrives i detalj.
Australia	Følsomhetsanalyser for mindre prosjekter med enkeltvis endring i kostnader, trafikk, andel tunge kjøretøy, hastighet og ulykkesrater.	Beskrives inngående.	Relevant for større prosjekter. Beskrives i detalj.
Nederland	Følsomhetsanalyser for alle viktige kostnads- og nyttevirksomheter i tillegg til kalkulasjonsrenten.	Usikkerhet spesifisert i scenarier av nullalternativet med ulik utvikling i befolkning, økonomisk vekst, regional fordeling og klimapolitikk. Anbefales å gjøre beregninger med ulike scenarier.	Nevnes ikke.
Storbritannia	Bruk av følsomhetsanalyse når en faktor er spesielt usikker. Faktorer inkluderer både nytte- og kostnadsvirkninger og modellusikkerhet (parametere i analysen).	Utførlig beskrivelse.	Beskrives i detalj.
Sverige	Følsomhetsanalyser for investeringskostnader og trafikkvekst.	Diskuteres kort.	Nevnes ikke.
Danmark	Følsomhetsanalyser ved å variere de viktigste faktorene (fremgår ikke hvilke) enkeltvis.	Nevnes ikke.	Nevnes ikke.
New Zealand	Minimum følsomhetsanalyser av kalkulasjonsrente, kostnader og nyttevirksomheter inkl. trafikk.	Anbefaler en forenklet scenarioanalyse hvor flere antagelser varieres samtidig.	Nevnes ikke.
Irland	Minimum følsomhetsanalyser for investeringskostnad, trafikk, usikre nyttevirksomheter (f.eks. køkostnader) og samspill med andre prosjekter (ulike nullalternativ).	Nevnes ikke.	Nevnes ikke.

Kilder: Wangsness mfl. (2022), Statens vegvesen (2018) og Direktoratet for forvaltning og økonomistyring (2023).

Statens vegvesens Håndbok V712 om Konsekvensanalyser anbefaler følsomhetsanalyser for sentrale variabler. Som et minimum anbefales det følsomhetsanalyser for investeringskostnad og årlig trafikkvekst. Det nevnes også at tilleggssanalyser burde gjøres dersom tiltaket er spesielt usikkert. Det gis også detaljerte instruksjoner til hvordan følsomhetsanalysene skal utføres. I utredningsfasen legger en til grunn ± 40 prosent endring i investeringskostnader, mens variasjonen reduseres i senere faser. For trafikkveksten gis det også detaljerte instruksjoner med spesifiserte variasjonsområder. Beregningene skal utføres både for netto nåverdi og netto nåverdi

per budsjettkrone. Det presiseres at enhetsverdier ikke skal varieres i følsomhetsanalysen fordi disse er felles for alle transportetatene. Scenarier nevnes også, og det trekkes frem at dersom nullalternativet er spesielt usikkert kan en presentere scenarier med alternative nullalternativ. Simuleringer (Monte Carlo simulering) nevnes ikke i det hele tatt.

DFØ sin veileder har et kapittel om usikkerhetsanalyse, hvor usikkerhetsanalysen omtales som den sjette fasen i en samfunnsøkonomisk analyse. Denne fasen deles inn følgende arbeidsoppgaver:

- i. Kartlegging av usikkerhetsfaktorene. Kartleggingen av usikkerhetsfaktorene skal gjøres ved å gå gjennom alle forhold forbundet med usikkerhet. Type faktorer kan være trafikk, investeringskostnaden, sentrale forutsetninger i den samfunnsøkonomiske analyser og ikke prissatte virkninger.
- ii. Klassifisering av usikkerhetsfaktorene. Denne oppgaven består i å klassifisere faktorene for å unngå dobbelttelling samt å vurderer viktigheten av hver faktor ved å klassifiserer de på en skala fra kritisk til lav. Som et verktøy i denne klassifiseringen presenteres en matrise med dimensjonene sannsynlighet for avvik og utslag på lønnsomhet. Faktorene som vurderes som kritiske (stor sannsynlighet for avvik og stort utslag på lønnsomhet) vil være de viktigste å følge opp.
- iii. Gjennomføring av usikkerhetsanalyse. For å gjøre usikkerhetsanalysen nevnes følsomhetsanalyser, scenarioanalyser og simuleringer. Som et eksempel på følsomhetsanalyse vises det til en beregning med pessimistiske, forventede og optimistiske verider for investeringskostnaden og presentasjon av hvordan dette påvirker netto nåverdi. Men det nevnes også at følsomhetsanalysene kan utføres for alle øvrige usikkerhetsfaktorer noe det også er utarbeidet et tilgjengelig regneark for å gjøre. I tillegg nevnes det ulike ulemper med å benytte følsomhetsanalyser, for eksempel at den ikke ivaretar faktorer som samvarierer. I omtalen av scenarier nevnes den som en utvidelse av følsomhetsanalyse – for eksempel som en måte å ivareta samvariasjon av usikkerhetsfaktorer. Det gis også en ytterligere beskrivelse samt noen råd til gjennomføringen. Til slutt omtales Monte Carlo simulering. Monte Carlo simulering blir anbefalt dersom tiltakene er store og når det foreligger kompliserte sammenhenger mellom kritiske faktorer. Det nevnes også at en slik metode er resurskrevende og at man ofte ikke har tallgrunnet om alle usikkerhetsfaktorene til å gjøre analysen troverdig.
- iv. Vurdering av risikoreducerende tiltak. Det siste steget består i å identifisere aktiviteter som kan redusere risikoen og beskrive eventuell kostnader knyttet til dem.

Gjennomgangen av veiledere for syv land fra Wangsness mfl. (2022), viser betydelige forskjeller i omfang og metodikk for behandling av usikkerhet. Den vanligste anbefalingen er at det gjøres sensitivitetsanalyser av sentrale variabler, oftest trafikkvekst og kalkulasjonsrenten. Det varierer imidlertid hvilke variabler som inkluderes og ofte er vurdering av usikkerheten avgrenset til investeringskostnaden. Scenarioanalyser både anbefales og nevnes sjeldnere, og det er store sprik i omtalen og hva som anbefales. Flere retningslinjer anbefaler statistiske simuleringer, slik som Monte Carlo simuleringer. Men så vidt vi er kjent med, er ikke dette vanlige praksis på

nyttessiden. Riktignok er det flere steder vanlig praksis å gjøre slike analyser av usikkerhet på kostnadssiden. Department for Transport i Storbritannia har imidlertid nylig utviklet en retningslinje som inkluderer flere simuleringsmetoder og scenarioanalyser sammen med en verktøykasse for å utføre analysen (DfT, 2021).

Hva som er den faktiske praksisen i usikkerhetsanalyser fremgår hverken av veilederne eller gjennomgangen i Wangsness mfl. (2022). I enkelte tilfeller gis det anbefalinger om hvilke usikkerhetsanalyser som burde gjøres, men hva som er faktisk praksis dokumenteres ikke. Veilederne gir uansett et inntrykk av hva som er anbefalt praksis.

2.4 Prosjekt- og porteføljeusikkerhet

Arrow Lind-teoremet

I forrige kapittel viste vi til at det er flere usikre variabler i en samfunnsøkonomisk analyse og at disse kan bidra til at lønnsomheten i det enkelte prosjekt kan avvike i forhold til hva man la til grunn på et bestemt tidspunkt. Men de fleste prosjekter som gjennomgår samfunnsøkonomisk analyse gjennomføres av offentlig sektor. Flere statlige virksomheter, som for eksempel Statens vegvesen og Jernbanedirektoratet, planlegger og gjennomfører et høyt antall prosjekter hvert år. Det kan ha konsekvenser for måten disse håndterer usikkerhet på. Arrow og Lind (1970) argumenterte for at hvis risikoen (for både nytte og kostnad) spres på et høyt antall skattebetalere blir den neglisjerbar både for den enkelte og for samfunnet. Derfor bør, ifølge forfatterne, staten være risikonøytral når den prioriterer mellom investeringer. Sagt på en annen måte, siden staten gjennomfører mange prosjekter kan risikoen diversifiseres bort. Noen prosjekter går godt, andre dårlig, men i sum blir utfallet om lag som forventet.

Arrow-Lind teoremet er omdiskutert og det finnes et utall forskningsartikler som diskuterer dets relevans. Vi går ikke nærmere inn på denne litteraturen her, men en innvending fra en norsk kontekst er at staten ikke nødvendigvis har et porteføljeperspektiv på sine investeringer. Selv om prosjekter i eksempelvis transportsektoren blir planlagt som en del av en portefølje gjennom Nasjonal transportplan og påfølgende handlingsplaner, blir beslutninger om enkeltprosjekter fattet på prosjektnivå, spesielt i tidlig fase der det handler om vurderinger av alternative konsepter (og nullalternativet) i det enkelte prosjekt. Videre kan det innvendes at noen prosjekter er så store at nytte- og kostnadskonsekvenser ikke kan diversifiseres bort, slik det forutsettes i Arrow og Lind (1970). Eksempelvis vil Nord-Norgebanen, skulle den noen gang bli vedtatt, innebære en utbyggingskostnad som tilsvarer 10-20 ganger de årlige bevilgningene til jernbaneinvesteringer i hele landet.

Kostnadsanslag i en portefølje

Fokuset i denne studien er å øke kunnskapen om usikkerheten til en nytte-kostnadsanalyse for et prosjekt i tidlig fase. Det er likevel relevant å se på sammenhengen mellom et prosjekt og en samling av prosjekter (portefølje). Spesifikt hva som er forskjellen mellom usikkerheten til et enkeltprosjekt og en portefølje.

Ifølge Finansdepartementets rundskriv 108/2023 om statens prosjektmodell tar Regjeringen stilling til konseptvalget ut fra et kostnadsestimat beregnet som P50-anslaget (medianen) i tillegg til angitt usikkerhet (Finansdepartementet, 2023). P50-anslaget er det punktet i en sannsynlighetsfordeling der halvparten av arealet under kurven ligger til venstre og den andre halvparten av arealet ligger til høyre. I en høyreskjev fordeling vil P50-anslaget være lavere enn forventet kostnad (se eks. Drevland, 2013). Grunnen er at det er begrenset hvor lav kostnaden kan bli. I hvert fall blir den ikke lavere enn null. Derimot er det nærmest ingen grense for hvor høy kostnaden kan bli.

For å summere kostnaden i en planlagt portefølje, for eksempel NTP, er det fristende å summere P50-estimatene i de enkelte prosjektene som inngår i porteføljen. Det er imidlertid ikke riktig. Det er kun forventningsverdien som er additiv for en gruppe av prosjekter med skjevfordelte sannsynlighetsfordelinger (Hollmann, 2016). Med andre ord, summen av P50-estimer gir ikke et P50-estimat dersom store overskridelser er mer sannsynlig enn store underskridelser. Altså at

$$P50_X + P50_Y \neq P50_{X+Y}/2.$$

hvor $P50_X$ er medianen til prosjekt X , $P50_Y$ er medianen til prosjekt Y , mens $P50_{X+Y}$ er medianen til en portefølje bestående av både prosjekt X og Y . Med andre ord, det mest sannsynlige kostnadsanslaget for å realisere en portefølje av prosjekter er ikke gitt ved summen av P50 anslagene. For forventede verdier, derimot, vet vi at summen av forventede verdier tilsvarer forventningen av summen. Altså at

$$E(X) + E(Y) = E(X + Y)$$

Disse forholdene kan vises med å simulere en prosjektportefølje bestående av kostnader til to prosjekter som begge har en høyreskjev fordeling. I vårt eksempel bruke vi en lognormal fordeling med følgende spesifisering

$$X, Y \sim \exp(N(0,0.7))$$

hvor gjennomsnittsverdien blir 1,28 og medianen 1,00 – altså en forskjell på nærmere 30 prosent. Ved å trekke kostnader fra disse fordelingene 10 000 ganger får vi resultatene som vises i Tabell 2-4.

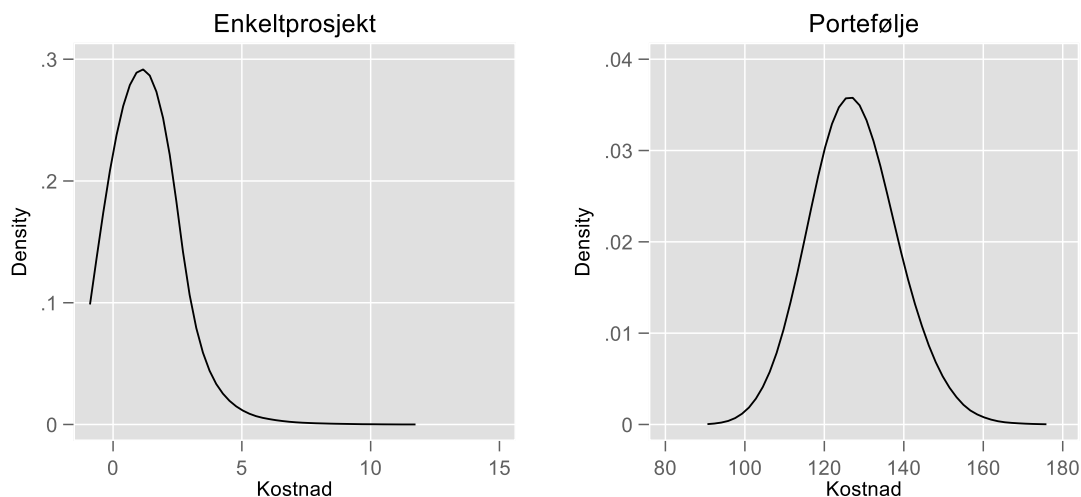
Tabell 2-4: Simulerte kostnader

Portefølje	Gjennomsnitt	P50
X	1,27	1,00
Y	1,28	1,00
X og Y	2,55	2,23
$X_1, X_2, \dots, \text{og } X_{100}$	128,95	128,49

Tabell 2-4 viser gjennomsnitts- og P50-kostnader for ulike prosjektporteføljer. De to øverste radene viser at medianen til prosjektene X og Y er begge lik 1. Fra neste rad som inkluderer en portefølje av begge prosjektene ser vi at den medianen blir 2,23, noe som er høyere enn summen

av P50 verdiene for enkeltprosjektene. Dette viser at å summere P50-kostnadene fra enkeltprosjektene vil føre til en underestimering av porteføljekostnadene. Vi ser av tabellen at forskjellen mellom gjennomsnittet og P50 avhenger av antallet prosjekter i porteføljen. I den nederste raden vises simuleringer med en portefølje med hele 100 prosjekter. Vi ser at i dette tilfellet ligger gjennomsnittet tett opp til P50-kostnaden, altså gjennomsnittskostnaden for enkeltprosjektet multiplisert med antall prosjekter. Disse beregningene viser at gjennomsnittskostnaden for enkeltprosjektet burde benyttes når en skal kostnadsberegne en portefølje.

I dette enkle tilfellet kan vi forklare avviket med at summen av P50-estimatene gir en underestimering siden dette ikke hensyntar at vi beregnet kostnader for to prosjekter som begge er høyreskjeve. Siden vi antar identiske fordelinger kan vi tenke på P50 for porteføljen av to prosjekter, som at vi foretar to uavhengige trekninger fra den samme fordelingen. Når vi gjør to uavhengige trekninger blir gjennomsnittet nærmere en normalfordeling enn en lognormal fordeling. Dette resultatet følger av sentralgrenseteoremet som sier at gjennomsnittet er normalfordelt uavhengig av underliggende fordeling.



Figur 2-5: Fordeling av enkeltprosjekt og portefølje

Dersom en har en portefølje bestående av mange prosjekter vil sentralgrenseteoremet slå enda klarere inn, noe som gjør at gjennomsnitt og P50 nærmer seg hverandre. Dette ser vi av nederste linje i tabellen hvor vi har konstruert en portefølje bestående av 100 prosjekter med identisk lognormal fordeling. Vi ser her at simuleringene for både gjennomsnittet og medianen blir porteføljekostanden nær 128 noe som er den «riktige» porteføljekostnaden i dette tilfellet. Dersom en istedenfor tar utgangspunkt i P50-kostnadene for hvert av prosjektene isolert og simulerer disse blir porteføljekostnaden lik 100 (hvert prosjekt har en P50-kostnad lik 1, summen blir derfor $1 \cdot 100$). I dette tilfellet blir derfor porteføljekostnaden undervurdert med nesten 30 prosent dersom en summerer P50-kostnadene. Dette kommer til syne i Figur 2-5 som illustrerer at porteføljekostnaden er symmetrisk og normalfordelt på grunn av sentralgrenseteoremet.

En viktig observasjon er at selv om porteføljekostnaden er normalfordelt (både teoretisk og empirisk) betyr ikke dette at den underliggende fordelingen på prosjektnivået er normalfordelt. Selv om de fleste kostnadsestimater i KS2-rapporter er normalfordelte, så vet vi at den reelle, men ukjente, fordelingen er skjevfordelt. Gjennom å legge til grunn normalfordelte estimater av kostnad der P50 er lik forventningsverdien risikerer vi derfor å underestimere kostnaden i det enkelte prosjekt og ikke minst på porteføljenivå. Dette kan forklare hvorfor gjennomsnittlig avvik fra P50 i store statlige prosjekter er noe over null (Welde og Klakegg, 2022) og være en del av forklaringen for hvorfor kostnadsestimater i NTP tradisjonelt har vært underestimert.

Trafikant- og netto nåverdi i en portefølje

I motsetning til kostnader er det både mindre kunnskap om, og tilsynelatende mindre interesse for, den statistiske fordelingen til nyttesiden. Viktigheten av dette spørsmålet avhenger av i hvilken retning nytten eventuelt er skjev og om det er usikkerhet på prosjektnivå eller porteføljenivå som er av interesse. Dersom nytten er symmetrisk, kan nytten på tvers av prosjekter i prinsippet summeres uavhengig av om en benytter P50 eller gjennomsnitt. Her kan vi imidlertid påpeke at det ikke gjøres noen systematiske simuleringer av trafikantnytte så det er uklart hvilken type sannsynlighetsfordeling som ligger til grunn. Det er imidlertid grunn til å tro at det er anslagene utrederne har mest tro på som ligger til grunn i analysene.

Netto nåverdi for et gitt prosjekt vil høyst trolig ikke være symmetrisk fordelt. Dersom trafikantnyttens er symmetrisk, blir netto nåverdi likevel typisk skjevfordelt siden kostnaden er skjevfordelt. Dersom trafikantnyttens også er venstreskjev vil dette forsterke skjevheten, mens dersom trafikantnyttens er høyreskjev vil det motvirke skjevheten på kostnadssiden. Den samlede effekten vil bestemmes av forholdet mellom trafikantnyttens og kostnaden samt hvor skjeve de ulike fordelingene er. Konsekvensen av at netto nåverdi trolig er skjevfordelt på prosjektnivå betyr at summen av netto nåverdi i en NTP-portefølje som baserer seg på P50-kostnader gjennomgående vil overestimere netto nåverdi av porteføljen.

2.5 Oppsummering

Vi har i dette kapitlet gått gjennom faktorer som gjør en nytte-kostnadsanalyse usikker. Videre har vi gått gjennom hver av disse faktorene og vist til at den relevante litteraturen viser at beregninger i nytte-kostnadsanalyser varierer betydelig og derfor burde sees på som usikre størrelser. Spesielt viser vi at usikkerhet ser ut til å være stor tidlig i planfasen.

Vi har også sett på aktuelle veiledere for samfunnsøkonomiske analyser og undersøkt hva de sier om usikkerhet. Vi finner at enkelte veiledere omtaler usikkerhetsanalyser som kan brukes til å gi et anslag på den samlede usikkerheten slike det forsøkes i en Monte Carlo analyse. Det påpekes at slike analyser er ressurskrevende og at det kan være vanskelig å utføre analysene siden de krever anslag på omfanget av usikkerhet innen en rekke områder.

Siden vi har dokumentert at usikkerheten i en nytte-kostnadsanalyse er betydelig, men at det ikke foreligger et rammeverk for å studere denne usikkerheten systematisk foreslår vi i det neste kapitlet et rammeverk for å kunne si noe om usikkerheten til en typisk nytte-kostnadsanalyse.

3 Metode og data

3.1 Analytisk rammeverk

Vår modellering av usikkerheten i nytte-kostnadsanalyser starter med en stilisert presentasjon av et prosjekt og deretter vurderer vi hvordan usikkerhet kan inkluderes i analysen. Netto nåverdi av et prosjekt (NNV) defineres som

$$NNV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - (I + c_t)}{(1 + r)^t} + R \quad (1)$$

hvor t angir tid, B_t årlig nytte, c årlige drift- og vedlikeholdskostnader, I investeringskostnaden, r kalkulasjonsrenten, T analyseperioden og R restverdi. Vi bruker store bokstaver på mengdestørrelser (anslag), mens små bokstaver gjelder parametere og enhetsverdier. Nyttens avhenger også av flere underliggende faktorer og må dekomponeres videre. Litt forenklet kan nytten i hver periode beskrives som

$$\begin{aligned} B &= \eta(GC_1 - GC_0)(X_1 + X_0) \\ B_{t+1} &= (1 + x)^t B_t \end{aligned} \quad (2)$$

hvor η er elastisiteten til reisetterspørselen, GC generalisert reisekostnad hvor fotskrift 0 gjelder for prosjektet åpnes og 1 etter åpning og X er trafikknivået. Vi kunne også inkludert andre velferdsvirkninger, som endringer i ulykker, støy og CO²-utslipp. For å holde analysen så enkel som mulig holder vi disse utenfor siden disse effektene typisk utgjør en liten andel av nytte (Odeck mfl., 2023). Vi inkluderer derimot netto ringvirkninger, som en illustrasjon på en mulig utelatt virkninger. I tillegg ser vi bort fra usikkerhet i endringen i reisetid, driftskostnader og kilometerkostnader. Den årlige nytten vokser i henhold til en vekstfaktor x , definert som $\frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}}$, som reflekterer den årlige trafikkveksten. Vi legger til grunn at denne er konstant i analyseperioden. Til slutt kommer definisjonen av generaliserte kostnader. Generelle kan disse kostnadene defineres som

$$GC_t = (1 + g)^t * vtt * Timer + c_{km} * Km + C \quad (3)$$

I denne formuleringen av generaliserte kostnader avhenger verdsettelsen av spart reisetid (vtt) multiplisert med reisetiden i timer, samt avstandskostnaden (km multiplisert med kostnad per km) og andre kostnader som bompenger eller ferge (C). Verdien av tid øker over tid ut fra vekstfaktoren g , som reflekterer forventet vekst i realinntekt, f.eks. målt ved bruttonasjonalprodukt per innbygger. Til sammen inkluderer disse ligningene (1)–(3) de viktigste usikkerhetsfaktorene som er mulige å evaluere. Vi behøver altså å definere den statistiske fordelingen til følgende åtte faktorer

$$T, r, \eta, X_1, X_0, x, g, vtt$$

Et alternativ til å vurdere netto nåverdi er se på netto nåverdi per budsjettkrone (NNK)

$$NNK = \frac{NNV}{I} \quad (4)$$

Fordelen med NNK er at det er et avkastningsmål som ikke påvirkes av størrelsen på prosjektet. I det videre analysen vil vi illustrere usikkerhet med både trafikantnytte, NNV og NNK .

3.2 Monte Carlo simulering

Monte Carlo simulering er en metode for å finne løsninger på matematiske problemer med flere variabler som kan anta flere verdier samtidig. Det kan karakteriseres som en «rå makt» metode der man i stedet for å regne gjennom kalkylen en gang, regner gjennom den fra noen hundre til flere tusen ganger (Drevland mfl., 2005). I takt med utviklingen i datakraft og programvare har metoden fått økt utbredelse. Det er nærmest ingen grenser for hva den kan brukes til og gitt at analytikeren har et bevisst forhold til hvilke fordelingsfunksjoner og hvilken samvariasjon man legger til grunn, er det en anvendbar og nyttig metode for å regne på usikre størrelser. Metoden har også sine kritikere. Lichtenberg (2021) pekte på at resultatene i stor grad avhenger av kvalitet på inndata og oppbygning av modellen som ligger til grunn. Det er en risiko for «søppel inn – søppel ut». Videre pekte han på at algoritmene i modellene som er tilgjengelig på markedet kan ignorere viktige statistiske lover eller sammenhenger, for eksempel ved å forsømme avhengigheter mellom parametere og inndata. I likhet med andre programvarebaserte modeller er det også en mulig «svart boks» der man putter noen tall inn i den ene enden og får noen andre ut i den andre enden, men man hverken ser eller forstår hva som foregår på innsiden. Drevland (2013) anså derfor at metoden kan gi en lite intuitiv forståelse for hvordan regning med usikkerhet fungerer.

I vårt tilfelle er denne prosessen tallfestingen av nytte- og kostnadsvirkninger. Konkret ønsker vi å gjøre dette ved å studere spredningen til nøkkelindikatorene netto nåverdi per budsjettkrone (NNK) og netto nåverdi (NNV). Rent statistisk kan spredningen avledes fra fordelingen til den usikre størrelsen NNK eller NNK , for eksempel

$$NNK \sim f(c_1 Y_1, \dots, c_n Y_n) \quad (5)$$

Hvor NNK representeres et utfall som trekkes fra en ukjent fordeling som avhenger av en serie produkter av parameter, c_i , som multipliserer med ulike mengder, Y . Både parametere og mengder følger ulike statistiske fordelinger. Generelt har både parametere og variablene både ulike fordelinger og spesifikasjoner:

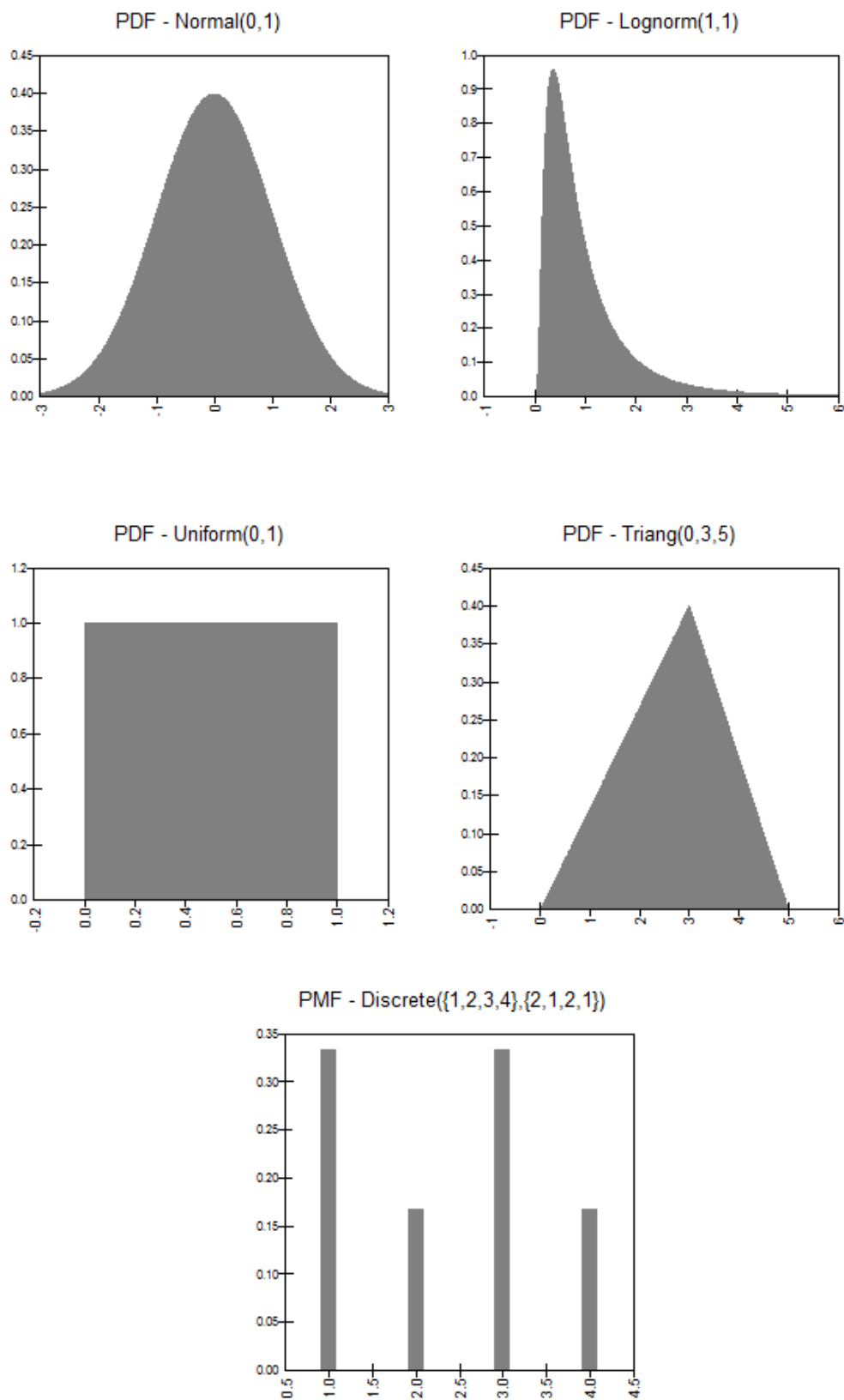
$$Y_i \sim f_i(m_1, \dots, m_k) \quad (6)$$

Hver av faktorene defineres altså med å velge en fordeling, $f(\cdot)$ og de k momentene, m_1, \dots, m_k som spesifiserer fordelingen. For de ulike parameterne og variablene er det forskjellige fordelinger og momenter som passer best etter en faglig vurdering.

En oversikt over noen vanlige sannsynlighetsfordelinger vises i Tabell 3-1. I øverste linje har vi normalfordelingen. Denne har lik forventet verdi og median – den er altså symmetrisk. Verdier nær gjennomsnittet er mest sannsynlig, men det er ingen spesiell grense for ekstremverdiene (høyeste og laveste verdier). Normalfordelingen er spesifisert ut fra kjennskap til forventningsverdien μ og variansen σ^2 . Den neste linjen viser en lognormal fordeling (tilsvarer fordelingen til logaritmen til en normalfordelt variabel). Fordelingen inkluderer kun positive verdier og er egnet for verdier som logisk sett ikke kan være lavere enn null og hvor en forventer en skjev fordeling. Med skjev mener vi at forventningsverdi og median er ulike. Høyreskjev betyr at forventet verdi ligger til høyre for medianen. Den tredje linjen viser en uniform fordeling. Denne fordelingen er egnet dersom en anslår at alle verdier innenfor et intervall er like sannsynlige. Den fjerde linjen viser en triangulær fordeling. Denne krever antagelse om høyeste (Y_{max}), laveste (Y_{min}) og modalverdi (m , hyppigste verdi). Fordelingen kan både være symmetrisk og skjev, avhengig av om den mest sannsynlige verdien settes midt mellom ekstremverdiene eller ikke. Settes medianen nærmest minimumsverdien, gir dette en høyreskjev fordeling. Den mest rimelige måten å definere ekstremverdiene på er å se for seg de høyeste og laveste tenkbare verdiene og ikke bare verdiene som er observert. Spesielt hvis det er få observasjoner virker det urimelig å tolke dette som at utvalget inkluderer de høyeste og laveste mulig verdiene. Den siste linjen viser en diskret fordeling hvor variabelen kun antar et endelig antall verdier. I tillegg til fordelingene fra Tabell 3-1 benyttes også andre fordelinger i slike analyser. Noen eksempler fra Vose (2008) er binomial-, poisson-, logistisk-, gamma- og hypergeometrisk fordeling.

Tabell 3-1: Statistiske fordelinger

Sannsynlighetsfordeling	Beskrivelse	Spesifikasjon
Normal	Symmetrisk fordeling som defineres av forventet verdi og standardavvik. Verdier nær gjennomsnittet er mest sannsynlig.	$N(\mu_i, \sigma_i^2)$
Lognormal	Høyreskjev fordeling som bare antar positive verdier. Egnet for variabler som ikke går under null, men ikke har noen øvre grense.	$L(\mu, \sigma^2)$
Uniform	Alle verdier er like sannsynlige innenfor et angitt intervall.	$U(Y_{min}, Y_{max})$
Triangulær	Bruker definerer minimums-, modal- og maksimalverdier.	$T(Y_{min}, m, Y_{max})$
Diskret	Et endelig antall verdier (m) er mulig for utfallsvariabelen X_i .	Y_1, \dots, Y_m



Figur 3-1: Ulike statistiske fordelinger (*PDF – probability density function, PMF – probability mass function*). Kilde: Palisade (2020)

Valget av sannsynlighetsfordeling består i å fastsette området en variabel kan falle innenfor og formen til sannsynlighetsfordelingen (Savvides, 1994). Måten å velge en fordeling på avhenger både av hvor mye tid en kan bruke på å fastsette dette samt tilgangen til data. I vår analyse er det to grunnleggende forskjeller i type kunnskap vi kan ha om fordelingen. For parametere og enhetsverdier velger vi fordeling ut fra enten variasjonen i de estimerte verdiene, forskjeller i bruk i ulike land eller kombinasjoner av disse. Siden vi har begrenset datatilgang om usikkerhetsfaktorer, benyttes triangulærfordelingen eller uniform fordeling i det videre.

Anslagsvariablene som trafikk og kostnader kan observeres i etterkant basert på ex poststudier. Vi vurderer at den beste kilden til usikkerhet er å ta utgangspunkt i forskjellen mellom ex ante og ex post beregningen for å bestemme fordelingen. For trafikk og kostnader vil vi derfor velge sannsynlighetsfordelingen som i størst mulig grad reflekterer observerte verdier.

3.3 Utvalgte prosjekter fra NTP prosjektporteføljer for region øst

For å illustrere usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser benytter vi Statens vegvesens prosjektdata for region øst, som ble utarbeidet i forbindelse med Nasjonal transportplan (NTP) for periodene 2018-2017, 2022-2033 og 2025-2036. Fordelen med å ha med kun prosjekter fra region øst er at det er regionen med høyest trafikk tetthet og en kombinasjon av land og by-prosjekter.

Vi har valgt ut tre illustrative prosjekter fra NTP-porteføljen for å illustrere usikkerhet. Kriteriene for dette utvalget er at de skal ha en høy investeringskostnad, et av prosjektene skal være svært ulønnsomt, et prosjekt skal ha netto nåverdi nær null og et prosjekt skal være svært lønnsomt. Vi ser på prosjekter med ulikt lønnsomhetsnivå for å illustrere hvor sannsynlig det er at netto nåverdi skifter fortegn.

Tabell 3-2: Beskrivelse av utvalgte prosjekter. Kroneverdi = 2022.

Nr.	Type	Navn	Investeringskostnad (mill. kr.)	Forventet årlig døgntrafikk (ÅDT)	Trafikant-nytte (mill. kr)	Netto nåverdi (mill. kr)	Netto nåverdi per krone (NNK)
1	Negativ	E18 Lysaker - Strand	8 947	111 495	2 468	-8 267	-2,54
2	Nøytral	Rv4 Gjelleråsen - Mjøsbrua	14 796	71 802	20 831	3 077	0,19
3	Positiv	E18 Lysaker - Ramstadsletta	12 936	134 163	17 405	1 882	0,82

Basert på disse kriteriene velger vi ut tre prosjekter (se Tabell 3-2). Vi benytter informasjon fra Staten vegvesen om disse prosjektene.³ Det første prosjektet er E18 Lysaker - Strand. Dette prosjektet er en del av E18 Vestkorridoren som er en ny hovedveg mellom Lysaker i Bærum og Drengsrud i Asker. Prosjektet er beregnet til å koste nesten 9 milliarder kroner og har en forventet ÅDT på 111 000. Netto nåverdi er beregnet til -8,3 milliarder kroner. Det andre

³ Se <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/prosjekt>

prosjektet er Rv4 Gjelleråsen - Mjøsbrua. Prosjektet skal gi en effektiv veg langs strekningen fra Oslo nord til Mjøsbrua med en reduksjon i reisetid ned mot 40 minutter. Prosjektet er beregnet til å koste nesten 15 milliarder kroner. Forventet ÅDT er 72 000 og netto nåverdi beregnet til +3 milliarder kroner. Det tredje prosjektet er E18 Lysaker - Ramstadsletta. Dette prosjektet er også en del av E18 Vestkorridoren, men er i motsetning til det forrige er beregnet til å ha god lønnsomhet. Prosjektet er beregnet til å koste 13 milliarder kroner. ÅDT ventes å være 134 000, og netto nåverdi er beregnet til +1,9 milliarder kroner.

3.4 Spesifikasjon av usikkerhetsfaktorer

Tabell 3-3 viser vår spesifikasjon av alle usikkerhetsfaktorene. Den første kolonnen angir usikkerhetstype, mens den andre kolonnen angir faktor for hver type. Tredje kolonne angir valgt fordeling med spesifikasjon. Siste kolonne angir hovedkilde bak valget for den statistiske fordelingen. Nedenfor begrunner vi disse valgene.

Tabell 3-3: Spesifikasjon av usikkerhetsfaktorer (min, maks, mest sannsynlig)

Usikkerhetstype	Faktor	Statistisk fordeling	Hovedkilde
Enhetsverdier	Tidsverdi (inkluderer også usikkerhet i tidsinnsparing)	$T(98; 294,196)$	Wardman mfl. (2016) Halse mfl. (2021)
Anslag	Trafikknivå	$T(-0.30; 1.80; 0.17)$	Odeck og Kjerkreit (2019)
	Trafikkvekst	$T(0.01; 0.022; 0.015)$	Odeck (2013)
	Kostnadsestimater	$T(-0,10; 1,40; 0.00)$	Jordal (2019)
Parametere	Kalkulasjonsrente	$T(0.02; 0.08; 0.04)$	Groom mfl. (2022)
	Analyseperiode	$T(20; 100; 40)$	HEATCO (2005), Wangsness mfl. (2022), Tveter mfl. (2022b), Mackie mfl. (2014)
	Netto ringvirkninger	$T(0.0; 0.5; 0,0)$	Tveter (2020), Eddington (2006)
	Restverdi	Inkludert i beregningsperiode	
	Realprisvekst	$U(0.0; 2.0)$	Halse mfl. (2021)

Merknad: $T(\cdot)$ angir at en triangularfordeling er benyttet og $U(\dots)$ angir at en uniform-fordeling er benyttet. Se Tabell 3-1 for parametersettingen av fordelingen.

Tidsverdier

Litteraturen om verdsetting av tid er stor, og det er ikke åpenbart hvordan en skal sette et spenn for verdsettingen av redusert reisetid (tidsverdi). En mulighet er å se på ulike verdsettinger i en norsk sammenheng. Vi mener en slik tilnærming vil være for usikker og ikke inkludere alle typer usikkerhet. Usikkerheten til verdsetting av tid kan både tenkes på som en genuin estimeringsusikkerhet, gitt en modelleringstilnærming og datasett. Men det finnes en rekke måter å samle inn data på. For eksempel om studien bruker stated preferences (SP) eller revealed preferences (SP), type studie (hvordan valgundersøkelsen foretas) og kontekst. I tillegg er det usikkert om folk faktisk gjør de samme valgene i praksis som det de svarer i en eksperimentell setting (se Fifer mfl., 2014 for en gjennomgang). Andre utfordringer med SP-studier er strategisk

atferd (Fosgerau mfl., 2010), referansepunkt-avhengighet (De Borger og Fosgerau, 2008), og problemer med at deltagerne svarer det de tror er det «riktige» svaret og ikke det de mener selv (Johansson-Stenman og Svedsäter, 2012). Til slutt er det utfordringer med utvalget, hvor det er grunn til å tro at personer som verdsetter tiden sin høyt er mindre villig å delta i studien (Halse mfl., 2019; Kouwenhoven mfl., 2013).⁴

Noe av variasjonen i tidsverdi adresseres i meta-analyser som forsøker å trekke ut de generelle tendensene fra underliggende studier. Den siste vi kjenner til for verdsetting av reisetid er Wardman mfl. (2016). I denne studien påvirker valgsituasjonen tidsverdien med mellom 25 og 59 prosent. Konteksten kan redusere den estimerte verdien med 12 prosent om den er abstrakt, mens observasjonsstudier (RP-studier) gir 7 prosent lavere verdier enn SP-studier. Studier som konsentrerer seg om kun hypotetisk skjevhet fant gjennomgående lavere tidseverdier (Wardman mfl., 2016; Hensher, 2010; Brownstone og Small, 2005), med en tendens ved at RP-studiene gir om lag 50 prosent høyere tidsverdi.

En samlet vurdering av disse studiene impliserer at verdien av tid er noenlunde symmetrisk med en variasjon rundt gjennomsnittet på pluss-minus 50 prosent. Vi legger derfor til grunn en symmetrisk triangulærfordeling med disse egenskapene. Vi legger til grunn at modusen til fordelingen har en tidsverdi på 294 kroner per time. Denne verdien tilsvarer et vektet gjennomsnitt av reiser på tvers av formål og lengde fra V712.

Kostnadsestimat

Som vist til i kap. 2.2, er det gjennomført flere studier om kostnadsusikkerhet. De fleste av studiene er gjort i gjennomføringsfasen hvor usikkerheten er lavere enn i tidlig planfase som denne studien dreier seg om.

Welde og Klakegg (2022) analyserte kostnadsanslag etter KS2 og fant at spennet rundt styringsrammen (P50) var fra -17 (P10) til +27 prosent (P90), med et relativt standardavvik på 20 prosent. Fordelingen av sluttkostnad rundt P50 antok en Laplace fordeling, som er en variant av normalfordelingen, men med en viss høyreskjevhet.

Det er ikke gjennomført tilsvarende studier av kostnadskontroll fra tidlig fase (KVU/KS1). Hovedårsaken er at få prosjekter som har vært gjennom KVU har en endelig sluttkostnad. Det er stor variasjon i blant annet omfang fra KVU til endelig prosjekt, men det er nettopp denne usikkerheten som påvirker resultatet av nytte-kostnadsanalysen. I Statens vegvesens Håndbok R764 om anslagsmetoden (Statens vegvesen, 2021) anbefaler man at nivå på usikkerheten (standardavviket) i avslutningen av KVU-fasen bør ligge mellom 30-50 prosent. Håndboken angir ikke noe anbefalt spenn. I Jernbanedirektoratets veileder om kostnadsestimering i tidligfase (Jernbanedirektoratet, 2019) anbefaler man et kostnadsspenn på mellom -20 til +40 prosent til bruk i KVUer og -30 til +60 prosent i tidligere faser. Siden alle studier viser at

⁴Det er imidlertid også holdepunkter for at personer med høyere utdanning i større grad deltar i studier, og høy utdanning og inntekt er positivt korrelert (Demarest mfl., 2012; Carlsson mfl., 2006).

investeringskostnaden gjennomgående er underestimert i tidlig fase, er det rimelig å anta at usikkerhetspennene som Statens vegvesen og Jernbanedirektoratet opererer med er for lavt.

Hvis vi isteden bruker utvalget på 34 prosjekter fra Jordal (2019), som så på kostnadsutvikling fra KS1 til KS2, er variasjonen fra P50 på -5 prosent for P10 og +135 prosent for P90, rundt en gjennomsnittlig økning på 43 prosent. Ingen av de sju vegprosjektene i utvalget hadde en kostnadsreduksjon. Blant vegprosjektene var det en gjennomsnittlig kostnadsøkning på 70 prosent og spennet (P10-P90) fra +3 til +173 prosent. Hvis data fra historiske prosjekter kan si noe om usikkerhet i fremtidige prosjekter, er det med andre ord rimelig grunn til å anta at usikkerheten i tidlige kostnadsestimater er stor og svært høyreskjev.

Vi legger derfor til grunn en triangulærfordeling med laveste verdi -10 prosent, modus 0 og øvre verdi 140 prosent. Vi legger her til grunn fordelingen fra Jordal (2019) og legger skjønsmessig til grunn 5 prosentpoeng for å reflektere at ekstremverdiene overstiger P10 og P90.

Trafikknivå

Det finnes noen få norske studier som har undersøkt hvor godt anslagene for trafikk treffer faktisk trafikkvolum. Odeck og Kjerkreit (2019) gjennomførte en ex post studie av de nyttekostnadsanalyser som gjennomføres i vegsektoren. Treffsikkerhet med hensyn til trafikkvolumet var en av faktorene de så spesielt på. Basert på 27 prosjekter fant de en median for gjennomsnittlig prosentfeil (MPE) på 9,5 prosent det første året med full trafikk og 17 prosent fem år etter at prosjektene var åpnet for trafikk, med et variasjonsintervall på -20 prosent til 173 prosent. Det er nærliggende å legge vekt ved fem år etter at prosjektet er kommet i drift fordi det tar tid før ting setter seg.

Basert på den studien legger vi til grunn et usikkerhetsintervall for trafikknivået med en mest sannsynlig feil på 17 prosent, laveste verdi -30 prosent og høyeste verdi +180 prosent, altså en høyreskjev fordeling.

Usikkerhet i trafikknivå dreier seg i hovedsak om hva som skjer med trafikknivået som følge av prosjektet som bygges (engangsøkningen). Men en annen usikkerhet for trafikkprognosen er hva som vil være den underliggende trafikkveksten uavhengig av prosjektet. Basert på Odeck (2013) fremstår en gjennomsnittlig prosentfeil på 0,07 i hver retning som rimelig.

Kalkulasjonsrenten

Vi har valgt å benytte en triangulærfordeling for kalkulasjonsrenten med laveste verdi lik 1 prosent, medianverdi på 4,75 og høyeste verdi på 12 prosent. Triangulærfordelingen er etter vår vurdering egnet for denne faktoren siden den logisk sett ikke kan gå under null og heller ikke være langt over 10 prosent. Tallene vi benytter er hentet fra Groom mfl. (2022) som inkluderer en nylig gjennomgang av det faglige grunnlaget for kalkulasjonsrenten samt en oversikt over kalkulasjonsrenter i 20 ulike land. Vi benytter ekstremverdiene og medianen fra denne gjennomgangen.

Dette spennet er litt bredere enn utviklingen av kalkulasjonsrenten i den norske konteksten slik den ble presentert i Hagen-utvalgets rapport (NOU 2012:16). På 1960-tallet ble en kalkulasjonsrente på 10 prosent benyttet, mens den ble redusert til 7 prosent på slutten av 1970-tallet. Ved 2000-årsskiftet ble det introdusert tre ulike risikoklasser på 4, 6 og 8 prosent. I revisjonen i 2005 ble en kalkulasjonsrente på 4 prosent anbefalt, men en kunne benytte 6 prosent for store prosjekter eller spesielt usikre investeringer. Innen samferdselssektoren ble det innført en anbefaling om en kalkulasjonsrente på 4,5 prosent. Denne ble redusert til 4 prosent i etterkant av Hagen-utvalgets rapport og har ligget på dette nivået siden.

Analyseperiode

Også for analyseperioden legger vi til grunn en triangulærfordeling. Vi setter laveste verdi lik 20 år, mest sannsynlig til 40 år og høyeste verdi til 100 år. I dette tilfellet setter vi mest sannsynligverdi lik forutsetningen som gjelder i Norge. Den laveste og høyeste verdien setter vi basert på ekstremverdiene fra oversikten relativt nylige gjennomganger av analyseperiode (HEATCO, 2005; Mackie mfl., 2014; Tveter mfl., 2022b; Wangsness mfl., 2022).

Netto ringvirkninger

Netto ringvirkninger har vært diskutert betydelig i Norge siden 2012. Som diskutert tidligere dreier slike virkninger som om eventuelle tilleggsvirkninger som oppstår på grunn av agglomerasjonsgevinster, skattegevinster fra økt arbeidstilbud eller økt konkurranse. Alle disse virkningene dreier seg om ulike former for markedssvikt. Slike virkninger er i dag ikke inkludert i nytte-kostnadsanalysen, men det åpnes for at slike virkninger kan synliggjøres i en tilleggsanalyse dersom det er grunnlag for det (Finansdepartementet, 2021). Dagens praksis i Norge er å utføre tilleggsanalyser for utvalgte prosjekter basert på rammeverket fra Møreforskning Molde og COWI (2018), som er en forenklet versjon av rammeverket i Storbritannia (DfT, 2020).

Beregninger av netto ringvirkninger i Norge har variert kraftig (Tveter, 2020). Usikkerheten i disse analysene kan deles inn modell- og parameterusikkerhet. En vesentlig del av variasjonen kommer fra ulike måter å modellere virkningene på. For eksempel var det en periode et problem med betydelige forskjeller i beregninger på grunn av ulikt nivå på aggregering. Mesteparten av denne forskjellen kom imidlertid fra en måte å aggregere inputverdier på (Tveter mfl., 2022a). Men det er også usikkerhet i noen avgjørende parameterverdier, som den såkalte agglomerasjonselastisiteten. I den nyeste tilgjengelige studien har denne et intervall på 0,015 og 0,039. I tillegg kommer usikkerhet fra modellspesifikasjonen.

Siden netto ringvirkninger betraktes som for usikre til å inkluderes i analysene ser vi det som rimelig å legge til grunn en triangulærfordeling med modus lik null. Selv om de fleste beregninger i Norge ikke gir betydelige utslag kan vi fortsatt ikke utelukke at disse virkningene er betydelige. Vi legger derfor til grunn et maksimumsnivå på 50 prosent.

Realprisvekst

Siden 2012 har det vært inkludert realprisvekst i nyttekomponenter som avhenger av lønn, slik som tidsverdi. Den praktiske tilnærmingen har vært å inkludere anslaget for forventet vekst i disponibel realinntekt fra Finansdepartementets perspektivmelding. Denne prognosen har ligget mellom 1,6 prosent og 0,9 prosent de siste perspektivmeldingene (Meld. St. 29 (2016-2017); St Meld 12 (2012-2013)). En del land inkluderer ikke denne endringen i sine analyser og setter den implisitt til null. I lys av dette ser vi det som en rimelig forutsetning at realprisveksten følger en uniform fordeling med verdier mellom 0 og 2 prosent.

4 Resultater

I vår gjennomgang av simuleringsresultatene går vi gjennom følgende. Vi tar utgangspunkt i de tre prosjektene presentert i Tabell 3-2 og viser usikkerhet, målt som forskjell mellom P10 og P90 estimatet, for netto nåverdi, trafikantnytte og nytte per budsjettkrone. I tillegg ser vi på hvordan vi kan illustrere sannsynligheten for at et prosjekt gir en negativ netto nåverdi (samfunnsøkonomisk tap) samt en oppsplitting av de ulike usikkerhetsfaktorene.

4.1 Deskriptiv statistikk for usikkerhet for utvalgte prosjekter

Tabell 4-1, Tabell 4-2 og Tabell 4-3 viser deskriptiv statistikk for simuleringen av våre utvalgte prosjekter med resultater for netto nåverdi, trafikantnytte og netto nåverdi per budsjettkrone. Resultatene kommer fra simulering av ligning (1), (2) og (4) basert på spesifikasjoner for de ulike prosjektene og spesifikasjonen av usikkerhetsfaktorene fra Tabell 3-3. De ulike kolonnene viser prosjektnavn, tall før simulering (tallene fra Statens vegvesens prosjektdata) gjennomsnitt, median (P50), P10, P90 og P10-P90 eller (P10-P90)/P50-variasjon.

Tabell 4-1 viser resultater for netto nåverdi per budsjettkrone. Alle tre prosjektene har et gjennomsnitt som er lavere enn medianen. Dette betyr at NNK er noe venstreskjev. Omfanget av usikkerhet i NNK illustreres kanskje best ved å se på forskjellen mellom P10 og P90. For prosjektet med negativ netto nåverdi (E18 Lysaker-Strand) ligger intervallet godt innenfor negative verdier. Selv et optimistisk P90 scenario har NNK på -2,44. For prosjektet med en netto nåverdi nærmest null (Rv4 Gjelleråsen - Mjøsbrua) endres derimot lønnsomhetsvurderingen betydelig. Vi ser her at P10-P90 intervallet går fra -0,81 til 0,64. Selv for prosjektet som er klart lønnsomt (E18 Lysaker – Ramstadsletta) ser vi at et pessimistisk scenario (P10) er ulønnsomt, mens et optimistisk scenario gir en klar positiv NNK på 1,24.

Tabell 4-1: Simulert netto nåverdi per budsjettkrone (NNK), utvalgte prosjekter

Prosjekt	Før simulering	Gjennomsnitt	Median	P10	P90	P90 – P10
E18 Lysaker – Strand	-2,54	-2,58	-2,54	-2,76	-2,44	0,32
Rv4 Gjelleråsen – Mjøsbrua	-0,19	0,02	0,19	-0,81	0,64	1,45
E18 Lysaker – Ramstadsletta	0,82	0,66	0,82	-0,12	1,24	1,36

Merknad: Antall simuleringer = 10 000.

Tabell 4-2 viser resultater for trafikantnyttens isolert. Trafikantnyttens viser også en venstreskjev fordeling hvor gjennomsnittet er lavere enn medianen. Avviket ligger på om lag 15 prosent. Avviket i trafikantnytte i kroner gir ingen god sammenligning, på grunn av en betydelig variasjon i trafikantnytte mellom prosjektene. Vi ser her derfor på forskjellen på P10 og P90 relativt til P50. Vi kan tenke på P10 relativt til P50 som en nedside risiko, mens P90 relativt til P50 kan tenkes på som oppsiderisiko. For alle tre prosjektene ligger nedsiderisikoen på rundt 80 prosent, mens oppsiden ligger på om lag 40 prosent. For trafikantnyttens er med andre ord nedsiderisikoen dobbelt så høy som oppsiderisikoen.

Tabell 4-2: Simulert trafikantnytte i mill. kr, utvalgte prosjekter

Prosjekt	Før simulering	Gjennomsnitt	P50	P10	P90	P10/P50-1	P90/P50-1
E18 Lysaker - Strand	2 468	2 469	2 862	437	3 987	-85 %	39 %
Rv4 Gjelleråsen - Mjøsbrua	20 831	20 831	23 835	5 306	32 428	-78 %	36 %
E18 Lysaker - Ramstadsletta	17 405	17 405	19 877	4 624	26 951	-77 %	36 %

Tabell 4-2 viser resultater for netto nåverdi. I motsetning til NNK og trafikantnyttens, er netto nåverdi høyreskjev, med et gjennomsnittet som er høyere enn medianen. For netto nåverdi vil prosentvise variasjoner i tallene henge sammen med hvor nær null netto nåverdi ligger. Vi ser derfor på intervallet P10 - P90 målt i kroner for å hensynta denne effekten. For det mest ulønnsomme prosjektet går netto nåverdi fra -12 mrd. kr til -3,5 mrd. kr. Rv4-prosjektet varierer mellom -3,3 mrd. kr og +11 mrd. kr. Det mest lønnsomme prosjektet har også en variasjon i netto nåverdi som går fra flere milliarder i samfunnsøkonomisk tap til en gevinst på nesten 9 mrd. kr.

Tabell 4-3: Simulert netto nåverdi i mill. kr, utvalgte prosjekter

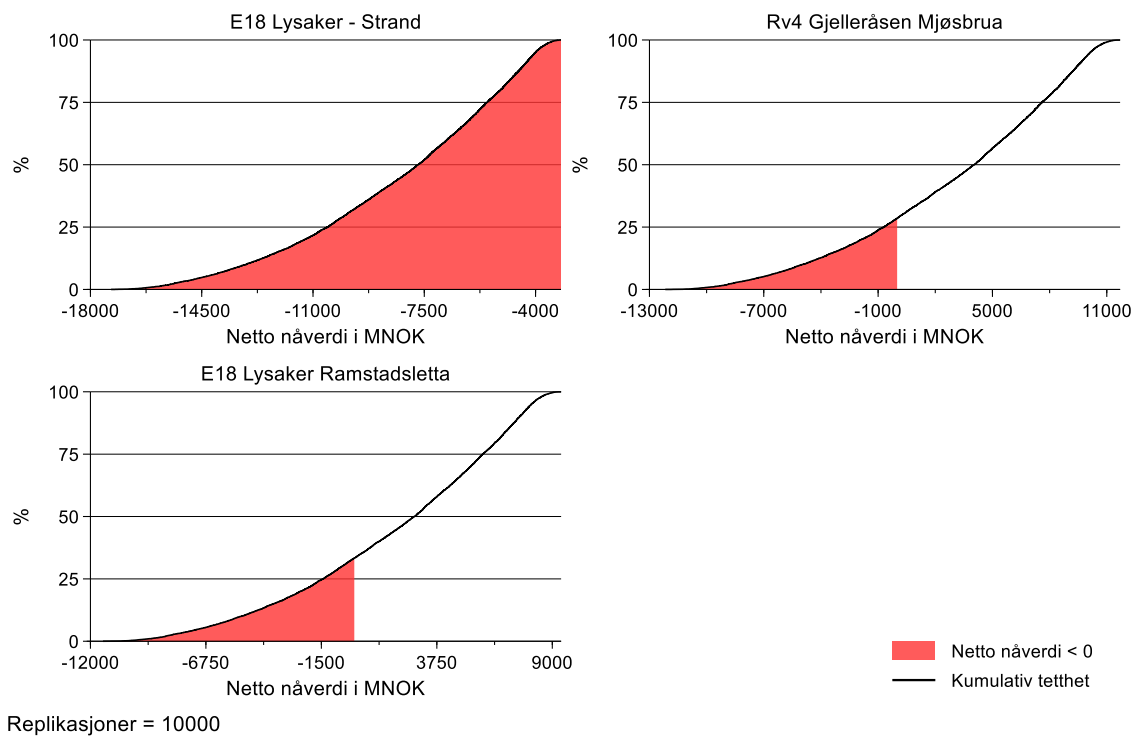
Prosjekt	Før simulering	Gjennomsnitt	Median	P10	P90	P90 - P10
E18 Lysaker - Strand	-8 267	-8 268	-8 832	-12 123	-3 465	8 658
Rv4 Gjelleråsen - Mjøsbrua	3 077	3 077	2 107	-3 283	11 037	14 320
E18 Lysaker - Ramstadsletta	1 882	1 882	1 040	-3 676	8 842	12 518

4.2 Illustrasjon av usikkerhet

I forrige avsnitt presenterte vi deskriptiv statistikk for simulerte verdier for netto nåverdi per budsjettkrone, trafikantnytte og netto nåverdi. Disse tallene gir en god oppsummering av graden av usikkerhet, men kan nok være noe tung informasjon for en beslutningstaker. I dette kapitlet viser vi og drøfter måter å illustrere usikkerheten på en god måte.

Sannsynlighet for negativ netto nåverdi

Figur 4-1 viser de simulerte fordelingene for de tre prosjektene – ett i hver lønnsomhetskategori. Den horisontale akse viser netto nåverdi mens den vertikale viser kumulativ tetthet (venstre akse) og tetthet (høyre akse). Denne figuren viser tydelig formen på fordelingen, som i dette tilfellet er tydelig venstreskjev, noe vi også omtalte i forrige kapittel.

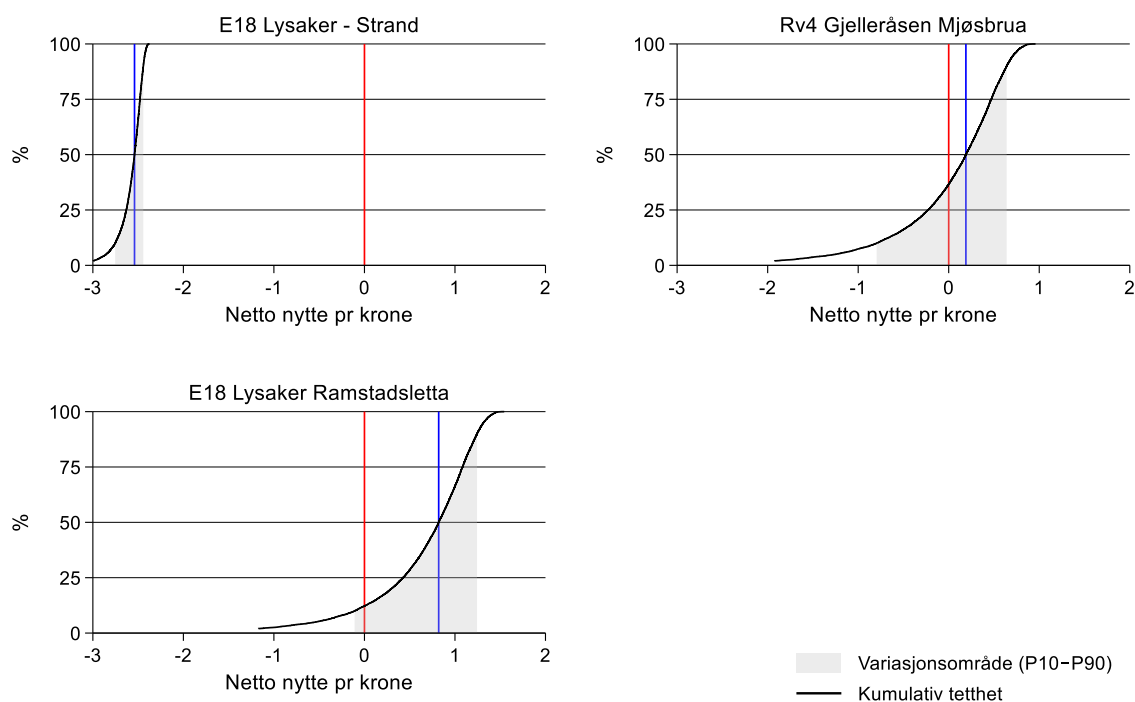


Figur 4-1: Simulert netto nåverdi i de tre utvalgte prosjektene

Figuren illustrer i tillegg hvor stor sannsynlighet det er at prosjektet gir en negativ netto nåverdi. For prosjektet med klar negativ beregnet nytte ser vi at det røde skraverte området fyller hele den kumulative tetthetsfunksjonen. Det betyr at prosjektet er ulønnsomt i alle simuleringene og at sannsynligheten for at prosjekter er ulønnsomt, i lys av de usikkerhetsfaktorene vi har sett på, er lik én. Figuren øverst til høyre viser prosjektet som var beregnet som svakt lønnsomt, men at sannsynligheten for at prosjektet likevel blir ulønnsomt er om lag 30 prosent (vi ser dette ved å lese av venstreaksen på punktet der det røde området slutter). Interessant ser vi at også at prosjektet som er klart lønnsomt i beregningen har en sannsynlighet på over 30 prosent for at det blir ulønnsomt.

Usikkerhet i netto nåverdi per budsjettkrone som et intervall

En annen instruktiv illustrasjon er å se på spennet mellom et pessimistisk og optimistisk scenario for netto nåverdi per krone. En slik illustrasjon vises i Figur 4-2. Figuren viser simulert netto nåverdi per krone sammen med kumulativ tetthet, tetthet og et skravert område som viser intervallet mellom en P10 og P90 verdi.



Replikasjoner = 10000

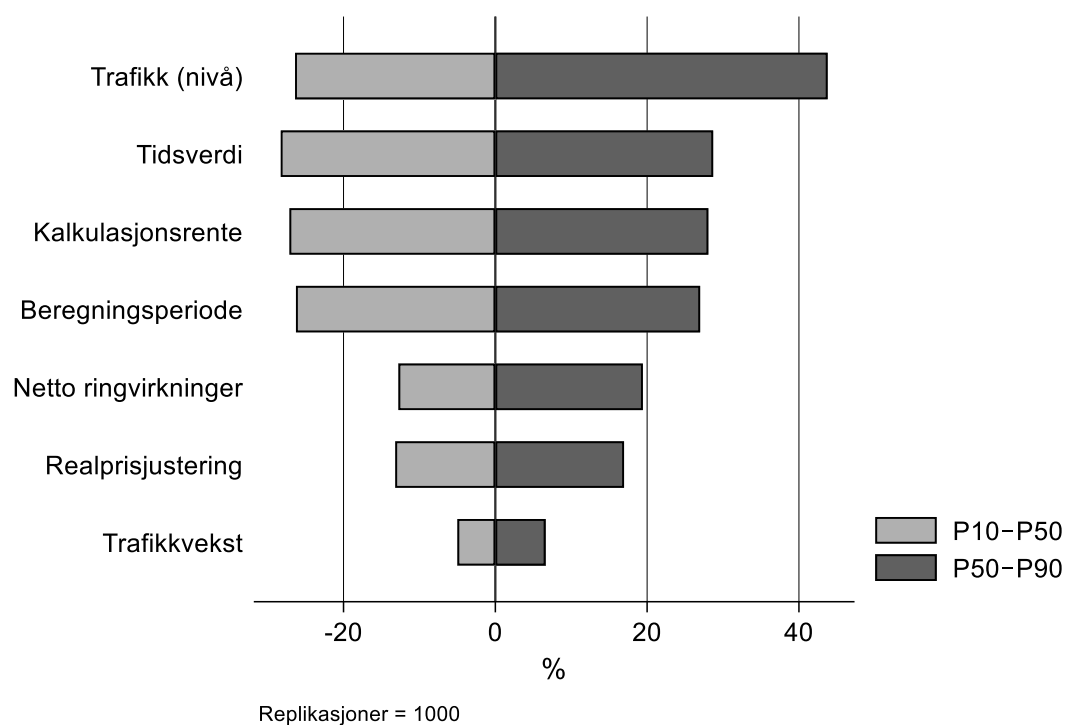
Figur 4-2: Netto nåverdi per budsjettkrone. Utvalgte prosjekter. Blå line = 0. Rød linje = Median.

For det ulønnsomme prosjektet ligger NNK mellom ca. -2,8 og -2,4. Prosjektet med positiv lønnsomhet viser et stort sprik og har en variasjon av NNK mellom -0,9 og +0,8, altså en variasjon mellom å tape 0,9 kroner per investert krone og en gevinst på 0,8 per investerte krone. Med andre ord en betydelig usikkerhet. Det lønnsomme prosjektet varierer mellom en NNK på ca. -0,1 til +1,2.

Hvilke parametere, enhetsverdier og anslag betyr mest for usikkerheten?

Til slutt ønsker vi å se på hvordan ulike faktorer påvirker variasjonen i de ulike målene for prosjekter av forskjellig type. Vi gjør dette ved å lage et tornado-plot, som viser den relative forskjellen mellom P50 og henholdsvis P10 og P90. I beregningen isoleres bidraget fra hver faktor ved å sette hver av de andre faktorene fast i simuleringen.

Figur 4-3 viser bidrag til avvik i trafikantnytte for de tre prosjektene. I dette tilfellet er det ingen forskjell mellom prosjektene siden vi ikke har vurdert noen forskjell i usikkerhet på prosjektnivå. Figuren viser at engangsøkningen i trafikk er faktoren som har mest å si for usikkerheten i trafikantnytte. Trafikkanslaget kan redusere trafikantnyttens med 20 prosent, men i beste fall også øke den med nesten 50 prosent. Deretter kommer tidsverdi og kalkulasjonsrente, tett fulgt av beregningsperioden. Bidraget fra netto ringvirkninger og realprisjustering er ganske likt.



Figur 4-3: Tornadodiagram, trafikantnytte. Avvik fra P50 i prosent.

Figur 4-3 viser hvordan de ulike faktorene påvirker trafikantnytte. I dette tilfellet varierer bidragene mellom prosjektene siden det er forskjeller mellom avvik mellom trafikantnytte og kostnaden. Det første vi observerer er at bidragene er vidt forskjellig mellom prosjektene. For prosjektet med dårlig lønnsomhet er variasjonen fra -10 til +5 prosent.

5 Avsluttende kommentarer

Betydelige ressurser brukes på å utføre nytte-kostnadsanalyser. I transportsektoren har slike analyser blitt utført i flere tiår og følger et standardisert opplegg med kontinuerlige justeringer i tråd med hva som oppfattes som beste praksis. Mye tyder imidlertid på at bruken av analysene når det gjelder prosjektprioritering har vært begrenset. En måte å forbedre analysene på, som kanskje kan gjøre at de vektlegges mer, kan være å bedre illustrere usikkerheten i analysene. Slik det gjøres i dag fremlegges det ikke noe om størrelsen på usikkerhet i analysene. En av grunnene til det, er at det ikke foreligger noen metodikk for hvordan en kan fremlegge slik usikkerhet.

I denne studien har vi derfor forsøkt å etablere et rammeverk og kunnskapsbase om hvor usikre tallene fra en nytte-kostnadsanalyse kan tenkes å være. For å gjøre dette har vi strukturert hvilke faktorer vi kan tilbakeføre usikkerheten til og gitt et anslag på variasjonsområdet til disse faktorene. Variasjonsområdene er blitt satt ut fra en gjennomgang av tidligere relevante studier både fra internasjonal forskning og resultater fra en norske prosjekter. For å konkretisere analysen ser vi på tre ulike prosjekter fra Vegvesenets portefølje.

Bedret kunnskap om usikkerhet i nytte-kostnadsanalyser er viktig av flere grunner. For eksempel vil det være beslutningsrelevant å kunne si noe om hvor sannsynlig det er at et prosjekt som er beregnet til å være lønnsomt vil vise seg å være ulønnsomt. En annen beslutningsrelevant indikator er hva som er et rimelig spenn på for eksempel netto nåverdi per krone. Dersom disse indikatorene varierer i betydelig grad, vil en presentasjon av kun punkttestimatet for lønnsomheten være et for tynt grunnlag å gjøre en beslutning på.

Studien har satt søkelys på usikkerheten tidlig i prosjektfasen, men metoden vi illustrere kan i prinsippet brukes i alle faser. Både erfaring og forskning viser at reelle beslutninger for prosjekter gjøres i tidlig fase. Dersom prosjektet vurderes som godt i denne fasen, er det mye som tyder på at det oppstår innlåsingeffekter og at prosjektet vil gjennomføres selv om det senere skulle vise seg at det har en dårligere (eller enda dårligere) samfunnsnytte enn det som fremsto på et tidlig tidspunkt. I tillegg er både nytte- og kostnadsvirkninger mest usikre i tidlig fase. Til sammen blir derfor usikkerhet i analysene aller viktigst å presentere tidlig i prosjektets levetid.

Studien har gjennomgått flere analyser av norske prosjekter i tidligfasen. Disse eksemplene viser at nytte-kostnadsresultatene varierer betydelig, men gir ikke noe grunnlag for å si noe videre om og hva som ligger bak denne variasjonen.

Våre simuleringer viser at analyseresultatene fremstår med høy grad av usikkerhet. For eksempel tyder simuleringene på at til tross for at et prosjekt er beregnet til å være lønnsomt kan det være en sannsynlighet på over 30 prosent for at prosjektet likevel vil være ulønnsomt. Resultatene viser også at usikkerheten ikke er symmetrisk, altså at faren for at trafikantnyttens blir lavere er høyere enn den mulige oppsiden.

Analysene våre viser også hvilke forhold som bidrar mest til usikkerhet. Den aller viktigste er størrelsen på trafikken. Her inkluderes både nivåforskjellen og økningen som følger av

prosjektet. De nest viktigste er tidsverdien og kalkulasjonsrenten, etterfulgt av lengden på analyseperioden. I motsetning til trafikken kommer disse faktorene fra verdier som legges direkte inn i beregningsverktøyet EFFEKT og vil være like for alle prosjekter. Med tanke på prioritering mellom prosjekter utgjør ikke dette usikkerhet, men med tanke på usikkerhet i prosjektet sett opp mot null-alternativet spiller det likevel en rolle når vurderingen gjøres i tidlig fase. Resultatene tyder på at også netto ringvirkninger og realprisjustering bidrar med usikkerhet, men en del mindre enn de ovenfornevnte faktorene. Et interessant funn her er at usikkerhet fra hvilken realprisjustering som legges inn er nesten vel så viktig som en eventuell netto ringvirkning. Anslaget på trafikkvekst fremstår som en mindre viktig faktor.

Selv om vi undersøker usikkerhet med flere ulike drivere bak usikkerheten, gir ikke analysen noe komplett bilde på usikkerhet. Analysene tar bare for seg usikkerhet som er tallfestbar hvor vi har benyttet kunnskap om enten variasjon mellom tidligere analyser eller forskjell i praksis mellom land for å si noen om usikkerhetsspennet for anslag og parametere som inngår i en nyttekostnadsanalyse. Det samlede usikkerhetsbildet inkluderer midlertid også i og for seg usikkerhet i disse spennene samt andre faktorer som kan ha betydning, men som vi ikke har kunnskap om. Usikkerheten vi har tallfestes burde derfor tolkes som et konservativt anslag på usikkerhet. I tillegg er ikke usikkerhet for alle nytte- og kostnadsvirkninger med, for eksempel ulykkeskostnader og miljøvirkninger.

Etter vår vurdering viser våre resultater at usikkerheten i nytte-kostnadsanalyser er for stor til at det er rimelig å fremstille tallene som punktestimater. Mulig ekstra informasjon kan være å også inkludere sannsynligheten for at lønnsomhetsvurderingen endres (enten ved at prosjektet går fra å ha en negativ netto nåverdi til en positiv netto nåverdi, eller omvendt). En annen mulighet er å presentere intervallene for netto nåverdi og netto nåverdi per budsjettkrone – enten istedenfor punkttestimatet eller som tilleggsinfo.

Etter det vi kjenner til, finnes det få studier av denne typen og det er grunnlag for vesentlig mere forskning og kunnskap innen dette feltet. For det første hadde det vært nyttig å vite mer om hvordan beslutningstakere forstår tallene og en eventuell presentasjon av usikkerhet. Videre forskning er også relevant for å gjennomgå alle prosjektene i en NTP-portefølje og sammenligne P50 og gjennomsnitt og se på hvor stor forskjellen er.

Referanser

- ARROW, K. & LIND, R. C. 1970. Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions. *American Economic Review*, 60, 364-78.
- ASPLUND, D. & ELIASSON, J. 2016. Does uncertainty make cost-benefit analyses pointless? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 92, 195-205.
- AUSTENG, K., MIDTBØ, O. M., JORDANGER, I., MAGNUSSEN, O. M. & TORP, O. 2005. Usikkerhetsanalyse – Kontekst og grunnlag, Concept rapport nr. 10, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- BARDAL, K. G. & REINAR, M. 2018. Sprikende resultater fra prosjektanalyser - En gjennomgang av åtte statlige investeringsprosjekter, NF rapport nr: 8/2018, Norlandsforskning.
- BARFOD, M. B. & SALLING, K. B. 2015. A new composite decision support framework for strategic and sustainable transport appraisals. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 72, 1-15.
- BROWNSTONE, D. & SMALL, K. A. 2005. Valuing time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstrations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39, 279-293.
- BÖRJESSON, M., ELIASSON, J. & LUNDBERG, M. 2014a. Is CBA ranking of transport investments robust? *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 48, 189-204.
- BÖRJESSON, M., JONSSON, R. D., BERGLUND, S. & ALMSTRÖM, P. 2014b. Land-use impacts in transport appraisal. *Research in Transportation Economics*, 47, 82-91.
- CARLSSON, F., MERLO, J., LINDSTRÖM, M., ÖSTERGREN, P.-O. & LITHMAN, T. 2006. Representativity of a postal public health questionnaire survey in Sweden, with special reference to ethnic differences in participation. *Scandinavian Journal of Public Health*, 34, 132-139.
- DE BORGER, B. & FOSGERAU, M. 2008. The trade-off between money and travel time: A test of the theory of reference-dependent preferences. *Journal of Urban Economics*, 64, 101-115.
- DEMAREST, S., VAN DER HEYDEN, J., CHARAFEDDINE, R., TAFFOREAU, J., VAN OYEN, H. & VAN HAL, G. 2012. Socio-economic differences in participation of households in a Belgian national health survey. *European Journal of Public Health*, 23, 981-985.
- DfT 2020. TAG UNIT A2.4: Appraisal of Productivity Impacts, Department for Transport (DfT).
- DfT 2021. Uncertainty Toolkit. TAG Supplementary Guidance. May 2021. Department for Transport (DfT), London.

- DIREKTORATET FOR FORVALTNING OG ØKONOMISTYRING. 2023. Veileder i samfunnsøkonomisk analyse.
- DREVLAND, F. 2013. Kostnadsestimering under usikkerhet, Concept temahefte nr. 4, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- DREVLAND, F., AUSTENG, K. & TORP, O. 2005. Usikkerhetsanalyse - Modellering, estimering og beregning, Concept rapport nr. 11, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- EDDINGTON, R. 2006. The Eddington Transport Study: Main Report: Volume 3, Her Majesty's Stationary Office.
- ELIASSON, J., LUNDBERG, M. & SUNDBERGH, P. 2009. Alternativa scenariers påverkan på lönsamhet Vägverket publikasjon nr. 2009:98, Vägverket.
- FIFER, S., ROSE, J. & GREAVES, S. 2014. Hypothetical bias in Stated Choice Experiments: Is it a problem? And if so, how do we deal with it? *Transportation research part A: Policy and practice*, 61, 164-177.
- FINANSDEPARTEMENTET 2021. Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser, Rundskriv R-109/21, Finansdepartementet.
- FINANSDEPARTEMENTET 2023. Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten, Rundskriv R-108/23, Finansdepartementet.
- FLYVBJERG, B., SKAMRIS HOLM, M. K. & BUHL, S. L. 2006. Inaccuracy in traffic forecasts. *Transport Reviews*, 26, 1-24.
- FOSGERAU, M., HJORTH, K. & LYK-JENSEN, S. V. 2010. Between-mode-differences in the value of travel time: Self-selection or strategic behaviour? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15, 370-381.
- GRINDVOLL, I. L. T. 2015. Hva har Skjedd med KS1-Prosjektene? Status per Mars 2015, Concept arbeidsrapport, Trondheim.
- GROOM, B., DRUPP, M. A., FREEMAN, M. C. & NESJE, F. 2022. The future, now: A review of social discounting. *Annual Review of Resource Economics*, 14.
- HALSE, A. H., FLÜGEL, S., KOUWENHOVEN, S., DE JONG, M. & JORDBAKKE, G. N. 2019. A minute of your time: The impact of survey recruitment method and interview location on the value of travel time, The 42nd Annual Meeting of the Norwegian Association of Economists.
- HALSE, A. H., WANGSNESS, P. B. & MINKEN, H. 2021. Endringer i beregningsforutsetninger og betydning for samfunnsøkonomisk lønnsomhet i samferdselsprosjekter, Concept rapport 66, Ex Ante Akademiske Forlag.
- HEATCO 2005. HEATCO Work Package 3: Current practice in project appraisal in Europe Deliverable 1, Volume 1, COWI AS, Denmark.

- HENSHER, D. A. 2010. Hypothetical bias, choice experiments and willingness to pay. *Transportation research part B: Methodological*, 44, 735-752.
- HOLLMANN, J. K. 2016. Project Risk Quantification., Gainesville, FL: Probabilistic Publishing.
- HOLZ-RAU, C. & SCHEINER, J. 2011. Safety and travel time in cost-benefit analysis: A sensitivity analysis for North Rhine-Westphalia. *Transport Policy*, 18, 336-346.
- JERNBANEDIREKTORATET 2019. Veileder – kostnadsestimering i tidligfase, Jernbanedirektoratet.
- JOHANSSON-STENMAN, O. & SVEDSÄTER, H. 2012. Self-image and valuation of moral goods: Stated versus actual willingness to pay. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 84, 879-891.
- JORDAL, H. A. 2019. Kostnad- og nytteutvikling i tidligfasen For prosjekter som har gjennomgått KS1 og KS2, Concept arbeidsrapport 2019-4, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- KAY, J. & KING, M. 2020. *Radical Uncertainty: Decision-Making Beyond the Numbers*, WW Norton & Company.
- KELLY, C., LAIRD, J., COSTANTINI, S., RICHARDS, P., CARBAJO, J. & NELLTHORP, J. 2015. Ex post appraisal: What lessons can be learnt from EU cohesion funded transport projects? *Transport Policy*, 37, 83-91.
- KOUWENHOVEN, N., DE JONG, G., KOSTER, P., VERHOEF, E., BATES, J. & WARFFEMIUS, P. 2013. Use of internet panels versus en-route recruitment in value-of-time estimation, hEART Conference 2013, Stockholm.
- KVALHEIM, E. V. 2015. Kan man stole på samfunnsøkonomiske analyser? En gjennomgang av elleve analyser av prosjektet Stad skipstunnel, Arbeidsrapport, Concept, Trondheim.
- LEMPERT, R. J. 2014. Embedding (some) benefit-cost concepts into decision support processes with deep uncertainty. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5, 487-514.
- LICHTENBERG, S. 2021. *Proaktiv Ledelse af Usikkerhed ved hjælp af Successiv Princippet*, Aarhus, Scandinavian Book.
- MACKIE, P., WORSLEY, T. & ELIASSON, J. 2014. Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 47, 3-18.
- MELD. ST. 29 (2016-2017). Perspektivmeldingen 2017. Oslo: Finansdepartementet.
- MØREFORSKING MOLDE AND COWI 2018. Veileder for analyse av netto ringvirkninger, juni 2019, COWI.
- NICOLAISEN, M. S. & DRISCOLL, P. A. 2014. Ex-Post Evaluations of Demand Forecast Accuracy: A Literature Review. *Transport Reviews*, 34, 540-557.
- NOU 1997:27. Nytte-kostnadsanalyser : prinsipper for lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor. Oslo: Finans- og tolldepartementet.

- NOU 2012:16. Samfunnsøkonomiske analyser. Oslo: Finansdepartementet.
- ODECK, J. 2013. How accurate are national road traffic growth-rate forecasts?—The case of Norway. *Transport Policy*, 27, 102-111.
- ODECK, J. & KJERKREIT, A. 2019. The accuracy of benefit-cost analyses (BCAs) in transportation: An ex-post evaluation of road projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 277-294.
- ODECK, J. O., BÖRJESSON, M., HAMMES, J. J., VOLDEN, G. H. & WELDE, M. 2023. Hva kjennetegner samfunnsøkonomisk lønnsomme vegprosjekter? En analyse basert på data fra nasjonale transportplaner i Norge og Sverige, Concept rapport nr. 70, Ex Ante Akademiske Forlag.
- ORD, T. 2020. *The precipice: existential risk and the future of humanity*, Hachette Books.
- PALISADE 2020. @Risk. User's Guide Version 8.2, Palisade Company LCC.
- PARTHASARATHI, P. & LEVINSON, D. 2010. Post-construction evaluation of traffic forecast accuracy. *Transport Policy*, 17, 428-443.
- SALLING, K. B. & BANISTER, D. 2009. Assessment of large transport infrastructure projects: The CBA-DK model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43, 800-813.
- SALLING, K. B. & LELEUR, S. 2012. Modelling of Transport Project Uncertainties: Feasibility Risk Assessment and Scenario Analysis. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 12.
- SAVVIDES, S. 1994. Risk analysis in investment appraisal. *Project Appraisal*, 9, 3-18.
- ST MELD 12 (2012-2013). Perspektivmeldingen 2013, Finansdepartementet.
- STATENS VEGVESEN 2018. Konsekvensanalyser. Håndbok V712. Oppdatert 2021, Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- TALEB, N. N. 2007. *The black swan: The impact of the highly improbable*, Random house.
- TVETER, E. 2020. Explaining differences in ex-ante calculations of wider economic impacts: A review of 55 calculations. *Case Studies on Transport Policy*, 8.
- TVETER, E., LAIRD, J. J. & AALEN, P. 2022a. Spatial aggregation error and agglomeration benefits from transport improvements. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 164, 257-269.
- TVETER, E., TOMASGARD, T. & LAINGEN, M. 2022b. Til Dovre faller? : en studie av faktisk levetid for veg og jernbane, Concept rapport nr. 70, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Ex Ante Akademiske Forlag.
- TVETER, E., TORGERSEN, P., MORK, A. G. & SKALDEBØ, H. 2021. KS2 av Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16. Delrapport Samfunnsøkonomi og muligheter for å øke lønnsomheten, Marstrand AS og Møreforskning AS.

- VENNEMO, H., FURUHOLMEN, J., ROSNES, O. & ANDREV, L. 2020. Noen krevende tema i anvendte samfunnsøkonomiske analyser. En undersøkelse av praksis i Statens prosjektmodell., Concept rapport nr. 60, Ex Ante Akademiske Forlag.
- VOLDEN, G. H., ANDERSEN, B. S., ENGEBO, A. & WELDE, M. 2023. Nullalternativets rolle i konseptvalgutredninger, Concept rapport nr. 71, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- VOSE, D. 2008. *Risk analysis: a quantitative guide*, John Wiley & Sons.
- WALKER, W. E., LEMPERT, R. J. & KWAKKEL, J. H. 2013. Deep Uncertainty. I: GASS, S. I. & FU, M. C. (red.) *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Boston, MA, Springer US.
- WANGSNES, P. B., HOLMEN, R. B. & HANSEN, W. 2022. Internasjonal sammenligning av retningslinjer for samfunnsøkonomiske analyser i transportsektoren: 7 land og 21 temaer, TØI rapport nr. 1930, Transportøkonomisk institutt.
- WANGSNES, P. B., RØDSETH, K. L. & MINKEN, H. 2015. Håndtering og sammenstilling av usikkerhet i nyttekostnadsanalyser, TØI rapport nr. 1443, Transportøkonomisk institutt.
- WARDMAN, M., CHINTAKAYALA, V. P. K. & DE JONG, G. 2016. Values of travel time in Europe: Review and meta-analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 93-111.
- WELDE, M. & KLAKEGG, O. J. 2022. Avoiding Cost Overrun Through Stochastic Cost Estimation and External Quality Assurance. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- WELDE, M. & ODECK, J. 2017. Cost escalations in the front-end of projects—empirical evidence from Norwegian road projects. *Transport Reviews*, 37, 612-630.
- WELDE, M. & ODECK, J. 2020. The Robustness of Cost–Benefit Analyses. I: VICKERMAN, R., NOLAND, R. B. & ETTEMA, D. (red.) *International Encyclopedia of Transportation*. 1. utg., Elsevier Science.

Vedlegg: Behandling av beregninger med EFFEKT

Som omtalt i hovedteksten benytter simuleringene i denne studien seg av inngangsverdier fra en portefølje av prosjekter fra Vegdirektoratet. Disse tallene kommer fra beregninger av verktøyet EFFEKT og beregninger fra transportmodellen RTM. For å kunne ta i bruk disse tallene har vi gjort forenklinger av hvilke faktorer som skaper trafikantnytte. Vi har for øvrig også sett bort fra eksterne virkninger som ulykkeskostnader og utslipp av klimagasser (CO²). Vår forenkling er å gjenspeile beregningen slik at den kvalitativt ligner på den opprinnelige analysen når det gjelder forholdet mellom nytte- og kostnadsvirkninger og legge til grunn at nytten som helhet kommer fra tidsgevinster.

Begrunnelsen for å kun fokusere på tidsgevinster er at denne posten ofte står for en stor del av nytten, anslagsvis 90 prosent ifølge Concept-rapport nr. 70. I tillegg mangler vi endringen i trafikk i disse tallene. Vi legger derfor til grunn en endring i trafikk i henhold til en enkel elastisitetsmodell. Til slutt har vi benyttet en kalibreringskoeffisient for at den konstruerte nytteberegningen eksakt tilsvarer den originale analysen.

Teknisk benytter vi oss av følgende sammenhenger. Vi mangler trafikk før åpning av prosjektet X_0 . Trafikken beregnes ut fra en elastisitetsmodell. Vi setter η lik -0.5.

$$X_0 = X_1 \times \left(\frac{GK_1}{GK_0} \right)^\eta$$

Vi definerer generaliserte reisekostnader med følgende enkle definisjon

$$GK_i = VoT \times Timer_i + c_{km} \times km$$

Her setter vi tidsverdien, VoT , lik 193 kroner per time og kjørekostnaden lik 1,65 kroner per km. Begge disse verdiene tilsvarer gjennomsnittsverdier fra V712., Tabell 5.6 og 5.3 og er i 2020-kroner.

Nytte per år regnes med følgende trapesberegning

$$B_t = \frac{1}{2} (GK_1 - GK_0) (X_0 + X_1) \times 365$$

Deretter justeres trafikknivåene slik at beregnet nytte tilsvarer resultatet fra EFFEKT. Vi starter med å beregne nåverdi av trafikantnyttens som

$$NPV = \sum_{t=1}^{40} \frac{B_t x^t g^t}{(1+r)^t} + \sum_{t=41}^{70} \frac{B_t}{(1+r_1)^t}$$

Den første summen inkluderer diskontert nytte over 40 år, inkludert vekst i trafikk og realprisvekst. Den andre summen inkluderer restverdien etter analyseperioden er slutt. Her fjernes trafikkveksten, realprisjusteringen og kalkulasjonsrenten reduseres til $r_1 = 3$ prosent.

Denne summen sammenlignes med nåverdi av trafikantnytt fra EFFEKT (NPV_{EFFEKT}) ved å beregne korreksjonsfaktoren

$$\lambda = NPV / NPV_{EFFEKT}.$$

Til slutt benyttes korreksjonsfaktoren til å skalere trafikkmengden slik at NPV tilsvarer NPV_{EFFEKT}

$$X_i^* = \lambda X_i.$$