

Rapport 2021/24 | For Jernbanedirektoratet



## Videreutviklet følsomhetsmodul i SAGA

Dokumentasjon av arbeidet og brukerveiledning for Monte Carlo-simulering

Henning Wahlquist

# Dokumentdetaljer

Tittel	Videreutviklet følsomhetsmodul i SAGA
Rapportnummer	2021/24
Forfattere	Henning Wahlquist
ISBN	978-82-8126-527-1
Prosjektleder	Henning Wahlquist
Kvalitetssikrer	Tor Homleid
Oppdragsgiver	Jernbanedirektoratet
Dato for ferdigstilling	23.6.2021
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	Jernbane, samferdsel, nytte-kostandsanalyse, metodeverktøy, Monte Carlo-simulering

# Om Vista Analyse

Vista Analyse AS er et samfunnsfaglig analyseselskap med hovedvekt på økonomisk utredning, evaluering, rådgivning og forskning. Vi utfører oppdrag med høy faglig kvalitet, uavhengighet og integritet. Våre sentrale temaområder er klima, energi, samferdsel, næringsutvikling, byutvikling og velferd. Vista Analyse er vinner av Evalueringsprisen 2018.

Våre medarbeidere har meget høy akademisk kompetanse og bred erfaring innenfor konsulentvirksomhet. Ved behov benytter vi et velutviklet nettverk med selskaper og ressurspersoner nasjonalt og internasjonalt. Selskapet er i sin helhet eiet av medarbeiderne.

# Forord

Denne rapporten dokumenterer justeringer og utvidelser av følsomhetsmodulen i SAGA som ble gjennomført av Henning Wahlquist i april-juni 2021. Hensikten med oppdraget har vært å lettere kunne illustrere graden av usikkerhet i analysene og evaluere effekten av endringer i enkelte variabler på de samfunnsøkonomiske analysene som gjøres i SAGA.

Vi takker for veldig godt samarbeid med Jernbanedirektoratet gjennom prosjektet.

23. juni 2021

**Henning Wahlquist**  
Partner  
Vista Analyse AS

# Innhold

1	Innledning .....	6
2	Feilretting og mindre endringer av tidligere følsomhetsmodul .....	7
3	Nyutviklet funksjonalitet for Monte Carlo-simulering.....	9
3.1	Definisjoner	9
3.2	Funksjonalitet	9
3.3	Oppbygging	9
3.4	Brukerveiledning	10
3.5	Forklaring av VBA-koden	19
3.6	Endring i og utvidelse av verktøyet for Monte Carlo-simulering	21
	Referanser .....	23
<b>Figurer</b>		
Figur 3-1	Eksempel på utfylt input for utvalgte eksogene variabler .....	11
Figur 3-2	Eksempel på log-normal fordeling: Sannsynlighetstetthet (venstre) og kumulativ fordeling (høyre) for investeringskostnader i tiltaksalternativet.....	12
Figur 3-3	Eksempel på normalfordeling - sannsynlighetstetthet (venstre) og kumulativ fordeling (høyre) for vekst i godstrafikk .....	12
Figur 3-4	Eksempel på triangulærfordeling - sannsynlighetstetthet (venstre) og kumulativ fordeling (høyre) for CO2-pris i 2020 .....	12
Figur 3-5	Eksempel på valg av og oversikt over stokastiske endogene variabler .....	13
Figur 3-6	Eksempel på valg av stokastisk endogen variabel og tilhørende deskriptiv statistikk.....	14
Figur 3-7	Eksempel på løpende simulert gjennomsnitt for stokastisk endogen variabel .....	15
Figur 3-8	Eksempel på kumulativ fordeling for stokastisk endogen variabel .....	16
Figur 3-9	Eksempel på histogram for stokastisk endogen variabel .....	17
Figur 3-10	Stokastiske eksogene variabler i case basert på KVV Hovedbanen Nord .....	18
Figur 3-11	Kumulativ fordeling for netto nåverdi i case basert på KVV Hovedbanen Nord .....	19

# 1 Innledning

Videreutviklingen av følsomhetsmodulen i SAGA har bestått av to hoveddeler:

- Feilretting og mindre endringer i følsomhetsmodulen
- Utvikling av funksjonalitet for Monte Carlo-simulering

Denne rapporten dokumenter arbeidet som er gjort i forbindelse med de to hoveddelene, og inkluderer brukerveiledning for Monte Carlo-simulering i SAGA.

## 2 Feilretting og mindre endringer av tidligere følsomhetsmodul

I SAGA V 2.6 forekom det enkelte feil ved gjennomføring av følsomhetsanalyser. Disse feilene skal nå være rettet gjennom justering av VBA-kode og oppdatert navngiving av celler det kan utføres følsomhetsanalyse for.

I tillegg er flere parametere lagt til i følsomhetsmodulen. Det vil si at det nå er mulig å gjøre følsomhetsanalyse for en rekke nye parametere:

### Nytte for tredje part

Ved følsomhetsanalyse kan man nå justere omfanget av nytte for tredjepart i prosent. Det er både mulig å justere nytte for tredjepart samlet og å justere kostnader knyttet til undergruppene; ulykker, støy, lokale utslipp og CO<sub>2</sub>-utslipp. Ved å gjennomføre følsomhetsanalyse forutsatt -100% endring fra basisverdi elimineres dermed de valgte kostnadene fra følsomhetsberegningene (inkludert tilknyttede restverdien).

### Trafikantnytte for persontrafikk

Trafikantnytte for persontrafikk erstatter den tidligere parameteren for transportarbeid som ikke lenger fungerte. Ved følsomhetsanalyse kan man dermed justere all trafikantnytte parallelt med like mange prosent.

### CO<sub>2</sub>-pris i 2020

CO<sub>2</sub>-prisen i 2020 er utgangsåret for eksisterende karbonprisbane i SAGA. Justering av CO<sub>2</sub>-pris i 2020 gjør det dermed overflødig å kunne endre hele karbonprisbanen i følsomhetsmodulen. Muligheten for justering av hele prisbanen ble likevel beholdt i tilfellet prisbanens struktur senere endres og ikke lenger er en funksjon av prisen i 2020.

### Transportkostnader og trafikkarbeid for godstrafikk

Ved følsomhetsanalyse kan man nå skalere endring i trafikkarbeid og transportkostnader for godstrafikk parallelt med like mange prosent. Endring i trafikkarbeid og transportkostnader for godstrafikk er de eneste størrelsene for gods i SAGA (i ark, «1.4 Godsmodell») som har betydning for sluttresultatene av nyttekostnadsanalysen.

### Trafikkvekst for persontrafikk

Basisprognosen for årlig prosentvis vekst i persontrafikk etter siste beregningsår er avtagende over tid. Basisprognosen kan gjennom følsomhetsanalyse enten skaleres med en bestemt prosentendring slik at prognosens relative struktur beholdes, eller erstattes med en fast årlig prosentsats (tallverdi) for hele perioden.

### Trafikkvekst for godstrafikk etter siste beregningsår

Basisprognosen for årlig prosentvis vekst i godstrafikk etter siste beregningsår er avtagende over tid. Basisprognosen kan gjennom følsomhetsanalyse enten skaleres med en bestemt prosentendring slik at prognosens relative struktur beholdes, eller erstattes med en fast årlig prosentsats (tallverdi) for hele perioden.

### **Fremtidig vekst i reelt BNP per capita (% reallønnsvekst per år)**

Forutsatt fremtidig vekst i BNP per innbygger bestemmer i SAGA realprisjusteringen miljø, ulykker og helse.

### **CO2-utslipp (kg/km) fra personbil, buss, lastebil, skip, fly**

Basisprognosen for kg CO2-utslipp per kjøretøykm fra personbil, lastebil og buss er i dag basert på prognoser fra nasjonalbudsjettet for CO2-utslipp (tonn) og kjøretøykilometer. Spesielt innfasing av nullutslippskjøretøy vil påvirke fremtidig CO2-utslipp per kjøretøykm.



# 3 Nyutviklet funksjonalitet for Monte Carlo-simulering

## 3.1 Definisjoner

Vi bruker her betegnelsen stokastiske eksogene variabler på forutsetninger som kan representeres stokastisk i simuleringsverktøyet, med tilknyttede sannsynlighetsfordelinger som spesifiseres av brukeren. Det kan gjennomføres følsomhetsanalyse for de samme forutsetningene i arket «4.2 Følsomhetsanalyse», men der blir forutsetningene kalt parametere.

## 3.2 Funksjonalitet

Ved Monte Carlo-simulering kan man simulere simultane konsekvenser av en rekke stokastiske eksogene variabler. Følsomhetsanalysen i SAGA tillater derimot kun analyse av to samtidige eksogene variabler (parametere).

## 3.3 Oppbygging

Modulen for Monte Carlo-simulering ligger i arkfanen «4.2.1 Monte Carlo-simulering», og er basert på VBA-kode. Arket inneholder alt brukeren trenger for å gjennomføre Monte Carlo-simulering (etter at øvrige ark i SAGA er fylt ut i forbindelse med hovedanalysen). Arket beskrives nærmere under brukerveiledningen i kapittel 3.4. Monte Carlo-simuleringen benytter også de skjulte hjelpearkene, «4.2.2 Monte Carlo resultater» og «Parametere».

I «4.2.2 Monte Carlo resultater» skriver VBA-programmet resultater av simuleringen for variablene brukeren har valgt at resultater skal lagres for. For hver trekning skrives både verdiene og det løpende gjennomsnittet per variabel. Arket inneholder også formel- og tallgrunnlaget for kumulativ fordeling og histogram som illustreres for valgt variabel i «4.2.1 Monte Carlo-simulering».

«Parametere» er hjelpeark for både følsomhetsanalyser og Monte Carlo-simulering. Arket inneholder blant annet lister over variabler som kan velges, pekere til input-cellene for disse variablene, tillatte formater (prosent eller tallverdi) og benevning. Listene er felles for både følsomhetsanalyse og Monte Carlo-simulering. Programmet for Monte Carlo-simuleringen benytter også flere øvrige områder i arket, «Parametere». Simulerte verdier blir midlertidig skrevet hit for hver trekning, og arket inneholder lister for mulige sannsynlighetsfordelinger, mulige sprednings- og sentralitetsmål, hvilke variabler som kan lagres ved simulering, pekere til input-cellene og benevning for disse variablene, og tallgrunnlaget for kumulativ fordeling og sannsynlighetstetthet som vises for valgt variabel i «4.2.1 Monte Carlo-simulering».

«4.2.2 Monte Carlo resultater» og «Parametere» må ikke endres av brukeren. Endring og utvidelse av modulen omtales i kapittel 3.5.

## 3.4 Brukerveiledning

### 3.4.1 Om Monte Carlo-simulering

Ved Monte Carlo-simulering utføres trekninger av tilfeldige tall for å simulere stokastiske variabler. Trekningene gjentas et ønsket antall ganger slik at de stokastiske variablene gis mange forskjellige verdier. Ved å ta gjennomsnittet av alle de simulerte verdiene for en stokastiske variabel får man et estimat på forventningsverdien til variabelen. Ved hjelp av de samme verdiene kan man også beregne annen deskriptiv statistikk og beskrive egenskapene til de stokastiske variablene for eksempel gjennom kumulativ fordeling eller histogram.

Ordinære beregninger i SAGA består av en stor mengde forutsetninger. Forutsetningene blir normalt modellert som deterministiske. I praksis er imidlertid de fleste forutsetningene i SAGA usikre, altså stokastiske av natur. Dermed er også resultatene av nytte-kostnadsanalyser i SAGA også beheftet med stor usikkerhet. For å belyse usikkerheten kan det være nyttig i stedet å anta at en eller flere forutsetninger (eksogene variabler) er stokastiske ved hjelp av Monte Carlo-simulering.

### 3.4.2 Utfylling av input<sup>1</sup>

Brukeren må først velge **antall stokastisk eksogene variabler** som skal simuleres, samt **antall trekninger** som gjennomføres for hver variabel. Antall stokastiske eksogene variabler kan enten spesifiseres direkte ved å taste inn et tall, eller ved å «klikke» seg til det ønskede tallet. For hver stokastiske eksogene variabel må følgende spesifiseres av brukeren:

- **Format.** Formatet kan enten være prosent endring fra basisverdi, eller tallverdi. Hvilke av disse det er mulig å velge avhenger av den eksogene variabelen. For variabler som består av en serie verdier kan det være hensiktsmessig å velge prosent endring fra basis for å bevare det relative forholdet mellom verdiene som serien består av (for eksempel for prisbanen for CO2).
- **Sannsynlighetsfordeling.** Det er mulig å velge normalfordeling, log-normal fordeling eller triangulær fordeling. For log-normale fordelinger er de simulerte verdiene av variabelen alltid positive, og logaritmen av fordelingen er normalfordelt. Triangulær fordeling blir typisk brukt hvis det er begrenset mengde med data for å si noe om sannsynlighetsfordelingen.
- **Spredningsmål.** Spredningsmålet bestemmer sannsynlighetsfordelingens variasjonen. Ved normal og log-normal fordeling kan man enten oppgi standardavviket, eller en valgfri persentil som spredningsmål (bortsett fra medianen som tilsvarer gjennomsnittet ved normalfordeling). Ved triangulær fordeling må minimum (P0) og maksimum (P100) oppgis.
- **Sentralitetsmål.** Sentralitetsmålet bestemmer sannsynlighetsfordelingens sentralitet. Ved normalfordeling skal det aritmetiske gjennomsnittet/medianen oppgis. Ved log-normal fordeling skal det aritmetiske gjennomsnittet oppgis hvis standardavviket er valgt som spredningsmål, mens medianen skal oppgis hvis en persentil er valgt som spredningsmål. Ved triangulær fordeling kan kun modus (typetallet) oppgis som sentralitetsmål. Modus er verdien som inntreffer oftest for en stokastisk variabel, altså verdien det er størst sannsynlighet for at en variabel trekkes til ved Monte Carlo-simulering.

---

<sup>1</sup> Det er nødvendig å godta aktivering av makroer hvis dette etterlyses når SAGA åpnes, ellers vil ikke Monte Carlo-simuleringen fungere.

Hvis alle de overnevnte størrelsene er spesifisert kan resulterende gjennomsnitt, standardavvik eller valgfri persentil beregnes for en eksogene variabel, hvis ønskelig. Det er også mulig å **illustrere model- lert usikkerhet** for en valgt eksogen variabel ved hjelp av en dynamisk figur for sannsynlighetstetthet og kumulativ fordeling. Figuren oppdateres ved å velge variabel og type funksjon. Hvis input er endret må man velge variabel på nytt for at figuren skal oppdateres.

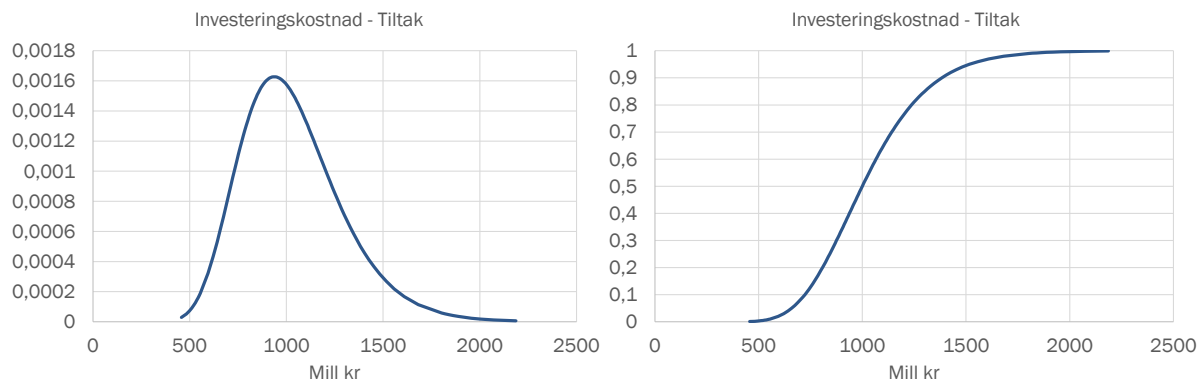
Figur 3-1 viser et utsnitt fra tabellen med input for stokastiske eksogene variabler fra en simulering med tre valgte eksogene variabler; investeringskostnad i tiltaksalternativet, trafikkvekst for godstrafikk etter siste beregningsår og CO2-pris i 2020 (som danner utgangspunkt for resten av prisbanen for CO2). Her er det for illustrasjonens skyld lagt til grunn forskjellige formater, forskjellige sannsynlighetsfordelinger, og forskjellige typer spredningsmål og sentralitetsmål:

- Tallverdien til investeringskostnaden i tiltaksalternativet er forutsatt log-normal fordelt med median på 1.000 mil. kr. og 85-persentil på 1.300 mill. kr. Nettopp investeringskostnaden er forutsatt log-normal fordelt da dette betyr at de simulerte verdiene aldri blir negative og at fordelingen er høyreskjev. 85-persentil er lagt til grunn som spredningsmål da dette ofte er tilfellet ved usikkerhetsanalyse av investeringskostnader i KVU-er. Resulterende sannsynlighetstetthet og kumulativ fordeling er illustrert i Figur 3-2.
- Vekst i godstrafikk (etter siste beregningsår) er forutsatt normalfordelt med prosent endring fra basisverdi som format, og standardavvik og gjennomsnitt på henholdsvis 40 prosent og 0 prosent endring fra basisverdi. Vekst i godstrafikk er her antatt normalfordelt da det ikke er umulig at godstrafikken på jernbanen faller i fremtiden. Prosent endring fra basisverdi er brukt som format da opprinnelig vekst i godstrafikk er forutsatt gjennom en avtagende bane over tid i SAGA. Figur 3-3 illustrerer resulterende sannsynlighetstetthet og kumulativ fordeling.
- Tallverdien for CO2-pris i 2020 er forutsatt triangulærfordelt med minimumsverdi på 500 kr/tonn, modus på 1.500 kr/tonn og maksimumsverdi på 2.500 kr/tonn. Det er her forutsatt en triangulærfordeling hovedsakelig for illustrasjonens skyld. Standard fortsatt CO2-pris i 2020 er 1.500 kr/tonn i SAGA, tilsvarende modus. Figur 3-4 illustrerer resulterende sannsynlighetstetthet og kumulativ fordeling.

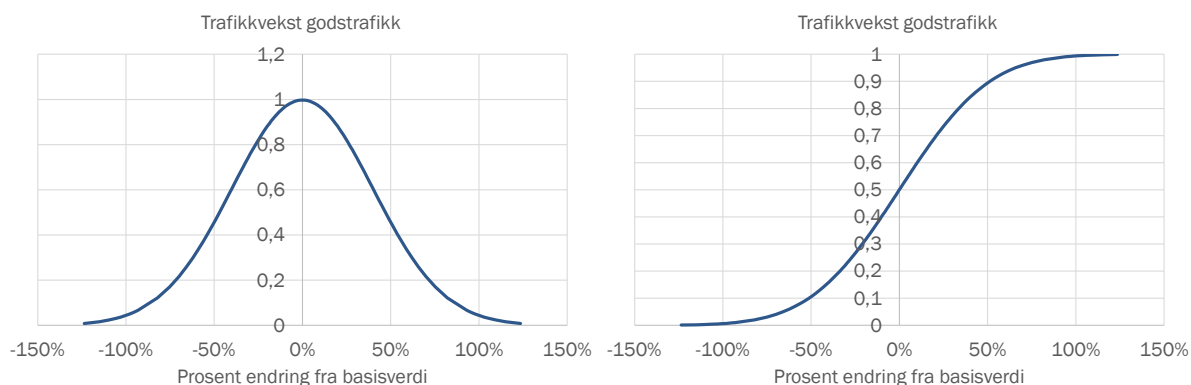
Figur 3-1 Eksempel på utfylt input for utvalgte eksogene variabler

Stokastiske eksogene variabler							
Treknings per simulering:	10 000						
Antall variable:	3						
Variabel	Format	Type sannsynlighetsfordeling	Spredningsmål 1		Sentralitetsmål		Spredningsmål 2
Investeringskostnad - Tiltak	Tallverdi	Lognormal fordeling	P85	1 300,0	P50 (Median)	1 000,0	
Trafikkvekst godstrafikk	Prosent endring fra basisverdi	Normalfordeling	Standardavvik	40,0 %	Gjennomsnitt	0,0 %	
CO2-pris i 2020	Tallverdi	Triangulærfordeling	Min (P0)	500,0	Modus	1 500,0	Maks (P100) 2 500,0

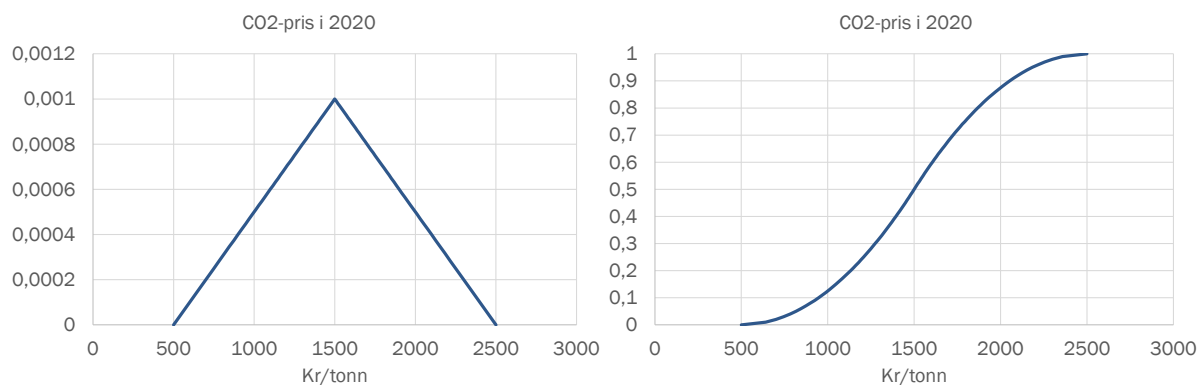
**Figur 3-2** Eksempel på log-normal fordeling: Sannsynlighetstetthet (venstre) og kumulativ fordeling (høyre) for investeringskostnader i tiltaksalternativet



**Figur 3-3** Eksempel på normalfordeling - sannsynlighetstetthet (venstre) og kumulativ fordeling (høyre) for vekst i godstrafikk



**Figur 3-4** Eksempel på triangulærfordeling - sannsynlighetstetthet (venstre) og kumulativ fordeling (høyre) for CO2-pris i 2020



Brukeren må også velge antall og hvilke **stokastiske endogene variabler** som skal lagres under simuleringene (og som senere kan illustreres). Man kan klikke "**Lagre alle mulige hovedresultater**" for å automatisk fylle **tabellen over utvalgte resultater** med alle de endogene variablene det er mulig å lagre, slik at disse blir lagret ved neste simulering. Figur 3-5 viser eksempel på valg av ti endogene variabler, tilsvarende hovedstørrelsene fra resultatarket.

Figur 3-5 Eksempel på valg av og oversikt over stokastiske endogene variabler

Stokastiske endogene variabler		
		Lagre alle mulige hovedresultater
Antall endogene variable som skal lagres		10 ◀ ▶
Variabel	Forventningverdi	Basisverdi
Endring for trafikanter	89	88
Endring for operatører	-	-
Endring for det offentlige	-1 121	-1 100
Endring for samfunnet for øvrig	1 230	1 227
Restverdi av tiltak	44	43
Endring i skattefinansiering	-194	-190
Samfunnsøkonomisk brutto nåverdi	915	911
Samfunnsøkonomisk netto nåverdi (NNV)	48	68
Netto nåverdi per budsjettkrone (NNB)	0,07	0,06
Netto nåverdi per investerte krone	0,15	0,10

Ved å trykke på knappen, «Simuler» gjennomføres selve Monte Carlo-simuleringen. Det dukker da opp et vindu som gir løpende tilbakemeldinger på progresjonen til simuleringen. Når simuleringen er gjennomført får man også beskjed om dette.

### 3.4.3 Analyse av resultater

Når simuleringen er gjennomført kan man analysere resultatene på flere måter. **Tabellen over utvalgte resultater** viser da forventningsverdier fra siste simulering og basisverdier fra hovedberegningen for de stokastiske endogene variablene.

I vinduet for **resultater av siste simulering** kan man velge en stokastisk endogen variabel. I tabellen under vises det da **deskriptiv statistikk** for den valgte variabelen. Samtidig vises figurer for kumulativ fordeling, histogram og løpende simulert gjennomsnitt for den samme variabelen. Man kan også velge om antall desimaler i tabeller og figurer skal formateres automatisk, eller kunne endres manuelt. Ved automatisk formatering vil det kun oppgis desimaler hvis netto nåverdi per budsjettkrone (NNB) eller netto nåverdi per investert krone er utvalgt endogen variabel.

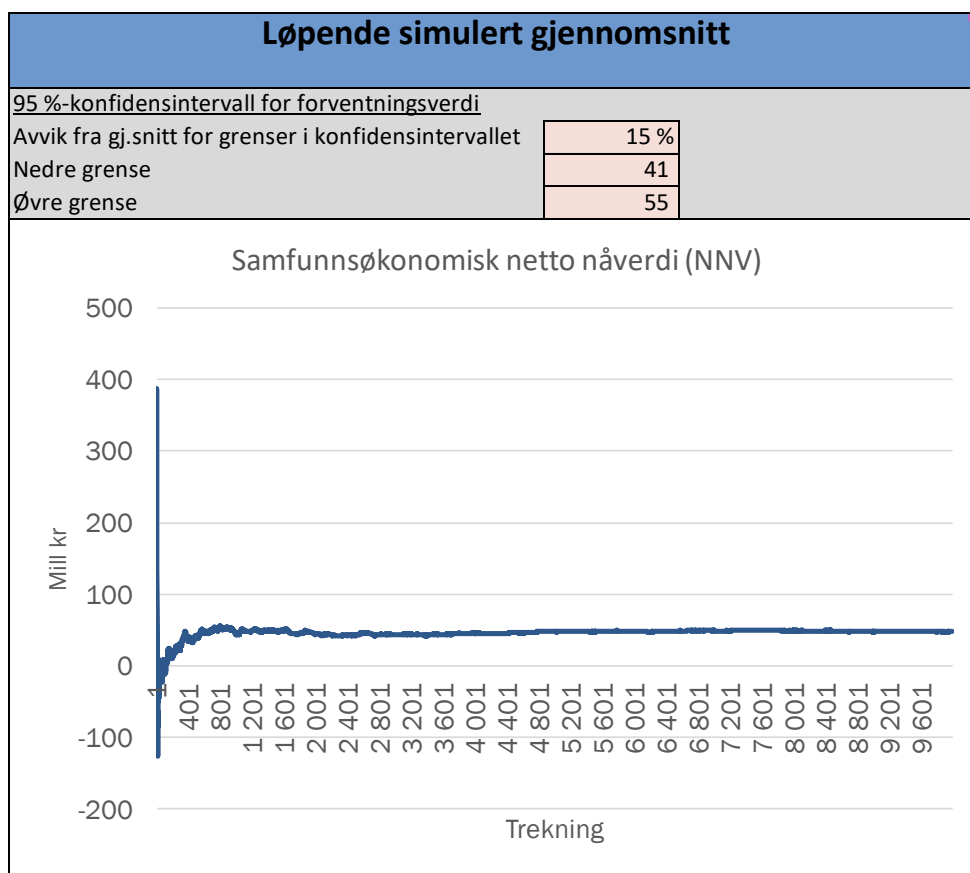
Figur 3-6 til Figur 3-7 illustrerer eksempel på deskriptiv statistikk, løpende gjennomsnitt, kumulativ fordeling og histogram for samfunnsøkonomisk netto nåverdi fra en simulering bestående av 10.000 trekninger av de tre stokastiske eksogene variablene som ble definert over; investeringskostnad i tiltaksalternativet, trafikkvekst for godstrafikk etter siste beregningsår og CO2-pris i 2020.

Figur 3-6 Eksempel på valg av stokastisk endogen variabel og tilhørende deskriptiv statistikk

Resultater av siste simulering	
Stokastisk endogen variabel	Samfunnsøkonomisk netto nåverdi (NNV)
Automatisk bestemme desimaler i tabeller og figurer	Ja
Variabelnr	
Antall trekninger	
	Mill kr
Gjennomsnitt	48
Standardavvik	374
Median	52
Min	-1 503
Maks	1 253

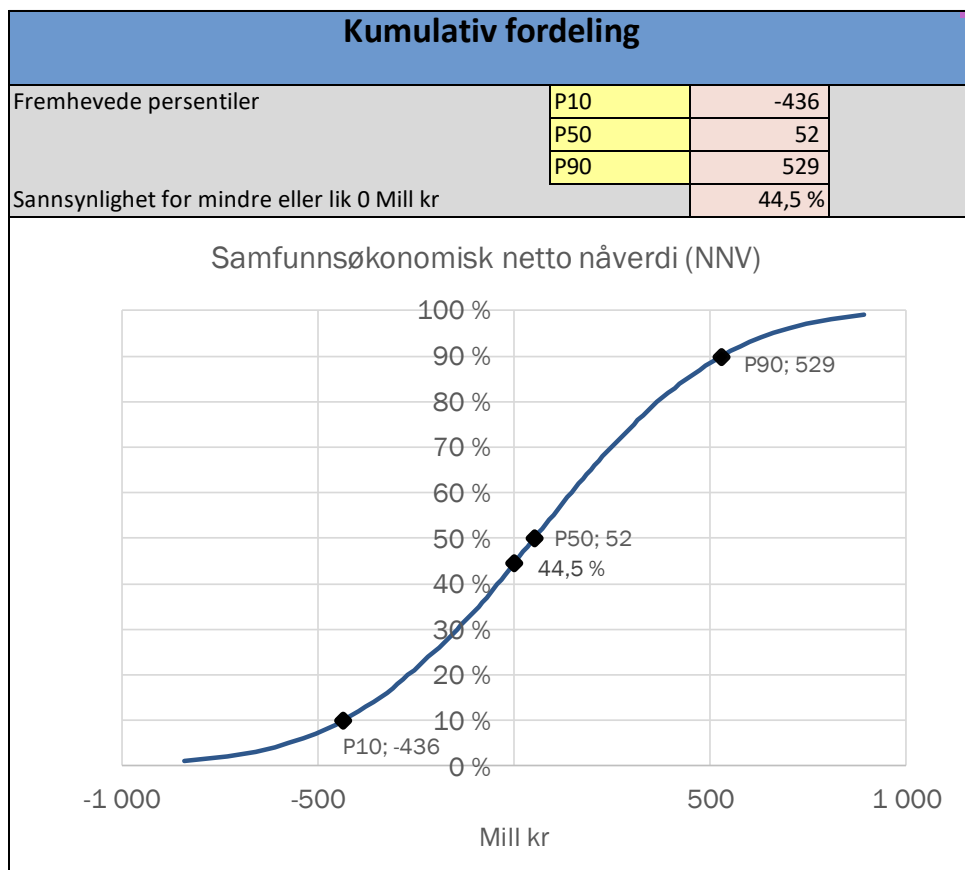
Figuren for **løpende simulerte gjennomsnitt** for den valgte endogene variabelen gir sammen med det beregnede konfidensintervallet en indikasjon på om resultatene av simuleringen har konvergert i tilstrekkelig grad, og om simuleringen er basert på for få, passe eller unødvendig mange trekninger. Flere trekninger medfører økt beregningstid (alt annet likt). I eksempelet Figur 3-7 er hentet fra, ble det som nevnt gjennomført 10.000 trekninger, gitt tre eksogene stokastiske variabler. Dette resulterte i et estimat på 95 % sannsynlighet for forventet samfunnsøkonomisk netto nåverdi mellom 41 og 55 millioner kroner. Grensene i konfidensintervallet tilsvarer +/- 15 prosent avvik fra det simulerte gjennomsnittet, noe som kan virke høyt. Bredden på konfidensintervallet for forventet netto nåverdi på 14 mill. kr. er imidlertid relativt lite sammenlignet med forventet brutto nåverdi på 915 mill. kr. Dette reflekteres i det smale 95 prosent konfidensintervallet for forventningsverdien av netto nåverdi per budsjettkrone på 0,07-0,08. Løpende gjennomsnitt for netto nåverdi per budsjettkrone kan altså være bedre egnet for å vurdere i hvilken grad resultatene av simuleringen har konvergert i tilstrekkelig grad.

Figur 3-7 Eksempel på løpende simulert gjennomsnitt for stokastisk endogen variabel



I figuren for **kumulativ fordeling** kan man fremheve verdier knyttet til tre valgfrie persentiler. Det vises også simulert sannsynlighet for at den valgte endogene variabelen er mindre, eller lik null. Eksempel på kumulativ fordeling for samfunnsøkonomisk netto nåverdi vises i Figur 3-8. Her ser vi at det 44,5 prosent sannsynlighet for at samfunnsøkonomisk netto nåverdi er null eller negativ. Det vil si 55,5 prosent sannsynlighet for positiv samfunnsøkonomisk netto nåverdi.

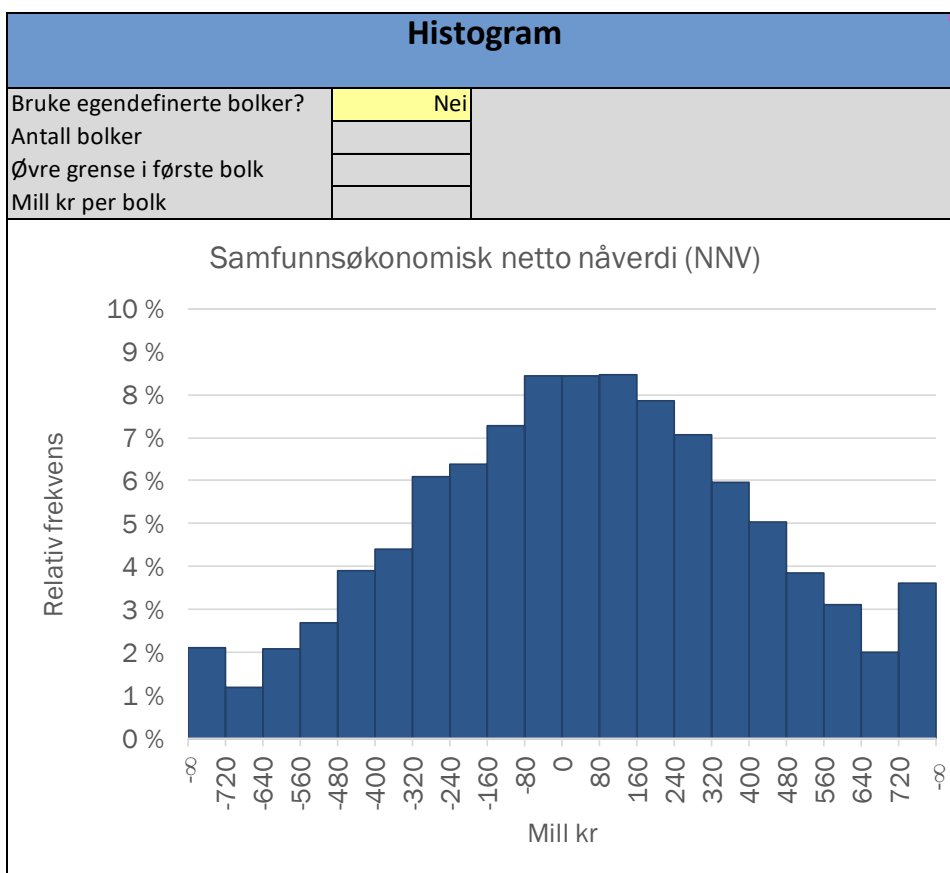
Figur 3-8 Eksempel på kumulativ fordeling for stokastisk endogen variabel



For **histogrammet** beregnes automatisk bredden/størrelsen på stolpene. Det er imidlertid også mulig å bestemme antall og bredden på de stolpene selv, ved å velge «Ja» på spørsmålet om det skal brukes egendefinerte bolker.



Figur 3-9 Eksempel på histogram for stokastisk endogen variabel



### 3.4.4 Case – Hovedbanen Nord

KVU Hovedbanen Nord utreder flere konsepter som gir økt kapasitet for person- og godstransport mellom Lillestrøm og Eidsvoll. I Konsept 4.4 bygges det ut tilnærmet sammenhengende dobbeltspor på denne strekningen. Dermed reduseres reisetiden og det blir det mulig å doble antall lokaltog til fire persontog per time for stasjoner på strekningen gjennom hele driftsdøgnet. I tillegg sørger konseptet for god kapasitet for godstog på strekningen, og er dermed sammen med tiltak på andre strekninger med på å muliggjøre økt godstrafikk på Dovrebanen. Til tross for tilbudsforbedringer for person- og godstrafikk fører imidlertid høye investeringskostnader til svært negativ lønnsomhet av Konsept 4.4 – beregnet netto nåverdi er -9.319 millioner kroner, noe som innebærer -0,8 kroner i netto nåverdi per budsjettkrone.

Det gjennomføres for tiden KS1 av KVU Hovedbanen Nord. I forbindelse med kvalitetssikringen vil det senere antagelig gjennomføres usikkerhetsanalyse av både nytte og kostnader. Flere eksogene variabler i SAGA er både usikre og viktige for resultatene av analysen. Blant disse er nivået på investeringskostnader, fremtidig transportetterspørsel, prisbane for verdsetting av fremtidig CO2-utslipp og utslippsfaktorer for fremtidig CO2-utslipp fra personbiler og lastebiler. Forutsetningene for og resultatene av usikkerhetsanalysen foreligger altså ikke, men vi har gjort en preliminær og forenklet Monte Carlo-simulering for Konsept K 4.4 for å gi et lite inntrykk av betraktningene som kan ligge bak en slik analyse. Av de overnevnte eksogene variablene har vi inkludert nivået på investeringskostnader og flere forutsetninger

som representerer fremtidig transportetterspørsel i simuleringen: Trafikantnytte for persontrafikk for analysens eneste beregningsår, banen for trafikkvekst for persontrafikk etter dette beregningsåret og fremtidig vekst i BNP per capita (som bestemmer realprisjusteringen av tid, miljø, ulykker og helse). Figur 3-10 viser utsnitt av tabellen med format, sannsynlighetsfordeling, spredningsmål og sentralitetsmål som vi har lagt til grunn for simuleringen av disse eksogene variablene. Monte Carlo-simuleringen inkluderer ikke usikkerhet i godstrafikk, prisbanen for verdsetting av fremtidig CO<sub>2</sub>-utslipp og utslippsfaktorer for fremtidig CO<sub>2</sub>-utslipp fra personbiler og lastebiler. Årsaken er at godsanalysen er gjort utenfor SAGA, i verktøyet, Godsnytte, og at mesteparten CO<sub>2</sub>-utslippet også er beregnet i Godsnytte. Det hadde vært mulig å knytte forutsetningene i SAGA til Godsnytte og dermed simulert nytte-kostnadsanalysen i begge verktøy simultant, men vi har droppet dette i denne forenklete Monte Carlo-simuleringen.

- For investeringskostnadene har vi benyttet forventningsverdien fra KVUen og standardavviket fra den tilknyttede usikkerhetsanalysen. KVUens usikkerhetsanalyse nevner ikke hvilken sannsynlighetsfordeling som er forutsatt, men vi antar at sannsynlighetsfordelingen er lognormal for å unngå simulering av negative verdier og samtidig gjenskape en høyreskjev fordeling.
- Trafikantnyttene er i KVUen beregnet ved hjelp av RTM23+ for 2030. For å simulere usikkerhet i trafikantnytte for dette beregningsåret simulerer vi prosent endring fra basisverdiene fra RTM23+. Det er naturligvis vanskelig å vite hvilken sannsynlighetsfordelingen man burde anta at trafikantnyttene følger. I KVUen vises det til 18 prosent forventet vekst i persontrafikken på Hovedbanen Nord fra 2020 til 2030 i referansealternativet. Hvis denne veksten uteblir og persontrafikken forblir på nivået fra 2020, vil beregnet trafikantnytte for referansetrafikken falle rundt det tilsvarende, altså 18 prosent, alt annet likt. På den bakgrunn lar vi et scenario med nullvekst i persontrafikk mellom 2020 og 2030 representerer P10 for trafikantnytte, det vil et fall på 18 prosent fra beregnet basisverdi. Videre antar vi normalfordeling av trafikantnyttene i beregningsåret 2030, med ingen endring fra basisverdi som P50/forventningsverdi.
- Etter siste beregningsår ekstrapolerer SAGA nytte (inkludert trafikantnytte) og kostnader for persontrafikk basert på årlig vekst i grunnprognosen for persontransport. Grunnprognosen vokser 0,67 prosent per år frem til 2030, og 0,44 prosent per år i perioden 2030-2050. Etter dette forutsetter SAGA at veksten faller gradvis mot null i 2100. Grunnprognosen er usikker og blant annet avhengig av befolkningsveksten. Det er ikke umulig at den årlige veksten i persontransport blir dobbelt så høy, men halvert vekst er heller ikke utenkelig. Vi forutsetter at veksten er normalfordelt med dobbel vekst som P90 (100 % prosent endring fra basisverdien) og basisverdiene som P50 (forventningsverdi). P10 tilsvarer dermed nullvekst.
- SAGA forutsetter at verdien av tid, miljø, ulykker og helse vokser i takt med reelt BNP per capita. Prognosen for vekst i reelt BNP per innbygger er 0,8 % per år frem til 2060 og deretter gradvis avtakende vekst mot nullvekst i 2100. Dobbel årlig vekst virker mindre sannsynlig for reelt BNP per innbygger enn for persontrafikken. Vi forutsetter at fremtid årlig vekst i reelt BNP per innbygger er normalfordelt rundt basisprognosen (P50), med P90 tilsvarende 50 % høyere årlig vekst.

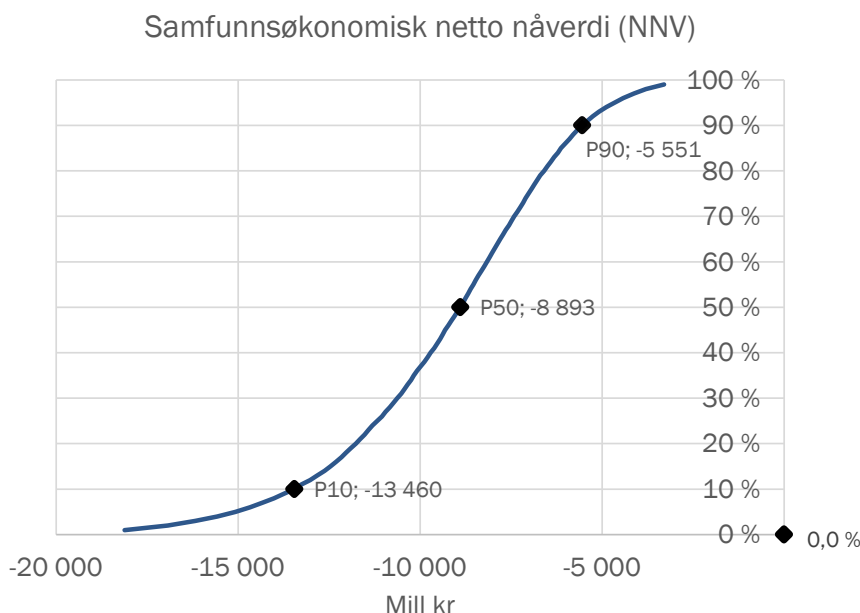
Figur 3-10 Stokastiske eksogene variabler i case basert på KVU Hovedbanen Nord

Variabel	Format	Type sannsynlighetsfordeling	Spredningsmål 1		Sentralitetsmål	
Investeringskostnad - Tiltak	Tallverdi	Lognormal fordeling	Standardavvik	3 100,0	Gjennomsnitt	13 702,6
Trafikantnytte	Prosent endring fra basisverdi	Normalfordeling	P10	-18,0 %	P50 (Median)	0,0 %
Trafikkvekst persontrafikk	Prosent endring fra basisverdi	Normalfordeling	P90	100,0 %	P50 (Median)	0,0 %
Fremtidig vekst i reelt BNP per capita	Prosent endring fra basisverdi	Normalfordeling	P90	50,0 %	P50 (Median)	0,0 %

Resultatene av forenklet Monte Carlo-simuleringen av Konsept 4.4 i KVU Hovedbanen Nord, illustreres av den kumulativ fordelingen for netto nåverdi i Figur 3-11. Her ser vi at ingen trekninger gir positiv samfunnsøkonomisk netto nåverdi. Selv simulert P90 innebærer -5.551 i samfunnsøkonomisk netto

nåverdi, noe som betyr -0,64 i netto nåverdi per budsjettkrone. Vi har som nevnt ikke simulert usikkerhet i alle de viktigste eksogene variablene, og spesielt inkludering av usikkerhet for godstransport ville påvirket simuleringen. Likevel tyder resultatene av denne forenklete analysen på at negativ netto nåverdi er et robust resultat for Konsept 4.4.

Figur 3-11 Kumulativ fordeling for netto nåverdi i case basert på KVU Hovedbanen Nord



## 3.5 Forklaring av VBA-koden

Programmet for Monte Carlo-simulering er skrevet i Visual Basic for Applications (VBA), mens celleformateringen er primært gjort ved hjelp av betinget formatering i Excel. Dette avsnittet er ment for brukere som er kjent med programmering i VBA, for å gjøre det mulig å rette feil eller gjøre utvidelser og forbedringer i modulen. Den jevne bruker trenger ikke kjennskap til eller berøre den underliggende koden.

### 3.5.1 Kode for overvåkning av endring i input og gjennomføring av tilknyttede justeringer og beregninger

Under arket «4.2.1 Monte Carlo-simulering» ligger VBA-kode som følger med på endringer i inputcellene og manipulerer deler av arket basert på valgene som er gjort i disse cellene. Koden tilpasser størrelsen og formatet på navngitte områder med informasjon om utvalgte stokastiske variabler. I tillegg beregnes verdi av valgfrie sprednings-/sentralitetsmål, og det kalles på kode som oppdaterer tallgrunnlaget for sannsynlighetstetthet og kumulativ fordeling for en valgt stokastisk eksogen variabel. Flyten i koden som kjøres kan beskrives kronologisk på følgende måte:

1. Gjør tilpasninger for eksogene variabler
  - a. Tilpasser størrelsen på navngitte områder med informasjon om eksogene variabler
    - i. Gjelder for: Navn, format, type sannsynlighetsfordeling, type spredningsmål og tilknyttet verdi, type sentralitetsmål og tilknyttet verdi, type spredningsmål (sekundært) og tilknyttet verdi, benevnning

- b. Kopierer eller sletter valgmenyer slik at de gjelder for ønsket antall eksogene variabler.
            - i. Setter verdier til "-Velg-" som default for nyopprettede områder
  - c. Setter verdien på «spinnbutton» til antall eksogene variabler
2. Gjør tilpasninger for endogene variabler
  - a. Tilpasser størrelsen på navngitte områder med info om eksogene variabler
    - i. Kopierer eller sletter valgmenyer slik at de gjelder for ønsket antall utvalgte resultater. (Setter verdier til "-Velg-" som default
  - b. Setter verdien på «spinnbutton» til antall endogene variabler
3. Tilpasser tabell for eksogen variabel (ved endring i input for denne variabelen)
  - a. Tilpasser beskrivelse av verdier det ønskes input for
  - b. Tilpasser tallformat
4. Finner verdi knyttet til evt. spesifisert valgfritt sprednings-/sentralitetsmål (ved endring i input for en eksogen variabel)
  - a. Leser inn fra tabell med input for eksogene variabler
  - b. Beregner verdi hvis all nødvendig input foreligger
    - i. Finner standardavvik, gjennomsnitt og/eller ønsket persentil ved normalfordeling
    - ii. Finner standardavvik, gjennomsnitt og/eller ønsket persentil ved log-normal fordeling
    - iii. Finner standardavvik, gjennomsnitt og/eller ønsket persentil ved triangulærfordeling
  - c. Nullstiller output for valgfri sentralitet-/spredningsmål hvis ikke all nødvendig input foreligger
5. Oppdaterer tallgrunnlag for figur for sannsynlighetsstetthet og kumulativ fordeling for eksogene variabler (ved aktivering eller endring av valgt variabel figurene ønskes vist for)
6. Tilpasser x-akse i figurer som illustrerer resultater for endogene resultater hvis ønskelig
7. Tilbakestiller innstillinger

### 3.5.2 Kode for simulering

Makroen som gjennomfører selve simuleringen ligger i modulen, «MonteCarloSimulering» og heter «Simulering». Flyten i koden som kjøres kan beskrives kronologisk på følgende måte:

1. Laster inn og bearbeider informasjon om eksogene og endogene variabler
  - a. Laster inn input for eksogene variabler og sjekker om all nødvendig input er korrekt utfyllt
  - b. Laster inn input for endogene variabler og sjekker om all nødvendig input er korrekt utfyllt
  - c. Sletter resultater fra tidligere simuleringer
  - d. Finner navn på celler som skal trekkes, samt tilknyttede ark
  - e. Finner standardavvik og gjennomsnitt ved normalfordelt eller log-normal sannsynlighetsfordeling
  - f. Lagrer opprinnelige formler og verdier for eksogene variabler (inkluderer alle celler for variabler som består av flere verdier)
  - g. Oppretter midlertidig tabell i arket, parametere med plass til trukkede verdier for eksogene variabler
  - h. Justerer formler i celler for eksogene variabler slik at cellene knyttes til tabell hvor trukkede verdier skrives (tiltak for kortere beregningstid)

- i. Hvis «prosent endring fra basisverdi» er valgt for en eksogen variabel knyttes simulert verdi til opprinnelig verdi, ikke opprinnelig formel for å unngå multiplikative virkninger når celler er linket til hverandre (f.eks. for CO2-prisbanen)
2. Gjennomfører trekninger for endogene variabler (loop over antall trekninger)
  - a. Trekker verdi for hver eksogene variabel
  - b. Oppdaterer vindu med statusbar ved 10 prosentpoeng progresjon
  - c. Skriver trukkede verdier til midlertidig tabell
  - d. Skriver på automatisk beregning av verdier i Excel-arkene (slik at verdien på endogene variabler beregnes for hver trekning)
  - e. Lagrer bergende verdier for endogene variabler
  - f. Skriver av automatisk beregning av verdier i Excel-arkene før neste trekning, eller før resultater skrives ut
3. Skriver resultater for utvalgte eksogene variabler til arbeidsbok
4. Oppdaterer tabell og figurer for endogene variabel
  - a. Sjekker om det har blitt gjort simuleringer for endogen variabel det tidligere ble vist figurer for
  - b. Hvis tidligere valgt endogen variabel ikke lenger blir simulert, vises det figurer i stedet for første simulerte endogene variabel
  - c. Kaller på makro som formaterer kumulativ fordeling og histogram
5. Feilhåndtering
6. Tilbakejustering
  - a. Tilbakjusterer formler og verdier for eksogene variabler
  - b. Tilbakejusterer øvrige innstillinger

### 3.5.3 Øvrig kode

Under modulen, «MonteCarloSimulering» ligger flere andre makroer, hvor et par av makroene er knyttet til vinduet som dukker opp under simulering. Vinduet er kalt «Userform1» og finnes under «Forms».

- «Knapp\_Simuler\_Klikk». Simuleringen startes ved å trykke på knappen , «Simuler». Da aktiveres «UserForm1» og med det makroen «Simulering». Ved å trykke «Avbryt» vil simuleringen avbrytes neste gang verdien på denne knappen sjekkes.
- «Progress» oppdaterer informasjon til vinduet som viser progresjon under simulering.
- «Velg\_Alle\_Hovedresultater» fyller ut tabell for endogene variabler hvis alle mulige endogene variabler ønskes lagret.
- «Oppdater\_Tabell\_TetthetKumulativ» genererer tallgrunnlag for visualisering av sannsynlighetstetthet og kumulativ fordeling for en valgt eksogen variabel.
- «Oppdater\_Resultatfigurer\_XAakse» tilpasser x-akse i histogram og figur for sannsynlighetstetthet for valgt endogen variabel.

## 3.6 Endring i og utvidelse av verktøyet for Monte Carlo-simulering

Endring i og utvidelse av verktøyet for Monte Carlo-simulering følger i stor grad samme oppskrift som for endringer i tidligere deler av følsomhetsmodulen, beskrevet i «Dokumentasjon av følsomhetsmodul i SAGA V2» (Oslo Economics, 2021). Nedenfor følger flere av de samme punktene, noe omskrevet for å gjelde Monte Carlo-simulering og ikke ordinær følsomhetsanalyse.

### 3.6.1 Legge til eksogene eller endogene variabler

Dersom man ønsker å legge til eksogene variabler som kan velges i Monte Carlo-simuleringen, er det nødvendig å gjøre modifiseringer i det skjulte arket som heter «Parametere». Dette arket inneholder lister over navn på mulige eksogene variabler ved Monte Carlo-simulering/ mulige parametere ved følsomhetsanalyse, ytterligere forklaring av variablene/parameterne, celleområdene til de ulike eksogene variablene i Monte Carlo-simuleringen/parameterne i følsomhetsmodulen, hvilket format som er mulig på inputverdiene, og hvilken benevning de har. Nedtrekksmenyene for valg av stokastisk eksogen variabel/parameter og tilknyttet format henter elementene sine fra disse listene, gjennom data-valideringsfunksjonen.

Trukkede verdier som de stokastiske eksogene variablene midlertidig linkes til under Monte Carlo-simuleringen er også knyttet til listene.

Lenger til høyre i arket, «Parametere» finnes flere lister som kun blir brukt til Monte Carlo-simulering og ikke ordinær følsomhetsanalyse. Disse listene danner blant annet grunnlag for nedtrekksmenyer for valg av sannsynlighetsfordeling, type spredningsmål, type sentralitetsmål og stokastiske endogene variabler som kan lagres ved Monte Carlo-simulering (inkludert benevning og celleområdene til de mulige eksogene variablene). Videre ligger tallgrunnlaget bak figuren for kumulativ fordeling og sannsynlighetstetthet. Tallgrunnlaget blir skrevet ut av makroen, «Oppdater\_Tabell\_TetthetKumulativ».

For å legge til nye valgmuligheter i nedtrekksmenyene må de relevante navngitte områdene utvides, hvis ikke de nye valgmulighetene kun skal erstatte tidligere valgmuligheter. For eksempel må man utvide de navngitte områdene, «MonteCarlo\_Resultater\_Forklaring\_Mulige», «MonteCarlo\_Resultater\_Omraader» og «MonteCarlo\_Resultater\_Mulige\_Benevning» hvis flere mulige stokastiske endogene variabler skal inkluderes. For de nye variablene må man da legge inn forklaring, navn på celleområde i SAGA og benevning. Hvis nye variablene kun skal erstatte tidligere variabler, er det tilstrekkelig å overskrive forklaring, navn på celleområde og benevning.

### 3.6.2 Endring av celle-/områdenavn

Dersom man endrer navn på celler eller områder i SAGA som inngår i Monte Carlo-simuleringen, må man i de fleste tilfeller gjøre tilsvarende endringer i «Parametere»-arket. Endring av navn for celler og områder innenfor arket for Monte Carlo-simulering må som regel følges av tilsvarende endringer i VBA-koden. Det oppfordres til å bruke søk-og erstatt funksjonen i VBA-editoren for å sjekke at man har gjort endringer overalt.

### 3.6.3 Endring i formatering i arket for Monte Carlo-simulering

Det er ingenting i veien for å endre på celleformateringer i følsomhetsarket. Det er likevel noen faktorer som det kan være greit å være klar over:

1. Noen av tall- og tekstformateringen i cellene er gjort i VBA-koden, og eventuelle endringer vil dermed overskrives når simuleringen kjøres. Noen tallformateringer kan også være styrt av betinget formatering.
2. Endring av fyllfarge, tekstfarge eller kantlinjer kan i noen tilfeller overstyres av betinget formatering, hvis dette er aktivert for den aktuelle cellen.

# Referanser

Oslo Economics. (2021). *Dokumentasjon av følsomhetsmodul i SAGA V2*. Oslo Economics.