



DATADREVET USIKKERHETSANALYSE I BYGGEPROSJEKTER

UTARBEIDET FOR CONCEPT-PROGRAMMET VED NTNU
13. DESEMBER 2022

Ver.	Status	Dato	Kommentar til versjonen	Ansvarlig
1.0	Endelig	13.12.2022	Til publisering	J.P. Bekkevold

FORORD

Holte Consulting har på oppdrag for Concept-programmet ved NTNU gjennomført studien Datadrevet usikkerhetsanalyse i byggeprosjekter. Formålet med studien har vært å undersøke hvordan data fra gjennomførte byggeprosjekter kan brukes i usikkerhetsanalyser. Dette har blitt gjort ved å analysere data om ferdigstilte byggeprosjekter fra en rekke offentlige byggherreorganisasjoner. Analysene gir innsikt om sammenhenger mellom forskjellige prosjektkarakteristikker og kostnadsavvik fra estimat til faktiske sluttkostnader. Sammenhengene har blitt drøftet for å omdannes til ny innsikt om usikkerhet i prosjekter. Videre har vi etablert et metodeverk for å gjøre usikkerhetsanalyser mer datadrevet. Resultatet av studien er dokumentert i denne rapporten.

I tillegg til å studere sammenhenger og etablere et metodeverk, så har studiens formål også vært en tidlig kartlegging av hvordan data fra gjennomførte prosjekter kan analyseres, tolkes og benyttes. Datakvalitet, samt forutsetninger og antagelser i behandlingen av data, gjør at resultater må leses med forbehold.

Vi vil takke Concept-programmet ved Nils Olsson og Morten Welde for god veiledning. Vi vil også takke Lars Magnus Johnsen, Ivar Borge Nore, Caspar M. Brodtkorb Eide, Fredrik Andersen Bjørni og Sigrid Bilstad Neraasen for analysearbeid og viktige bidrag.

13. desember 2022

Holte Consulting AS

Jan Petter Bekkevold

Leder Rådgivning og Analyse

Julian Mæhlen
Leder av studien

SAMMENDRAG

Datadrevet usikkerhetsanalyse innebærer systematisk bruk av data fra *ferdigstilte* prosjekter i usikkerhetsvurderinger for *fremtidige* eller pågående prosjekter.

Usikkerhetsanalyser benyttes for å fastsette et forventet tillegg og en nødvendig usikkerhetsavsetning til et prosjekts estimerte kostnader. Usikkerhet vurderes i stor grad basert på enkeltpersoners erfaringer og i mindre grad systematisert data. Det finnes et potensial for å gjøre metodene for usikkerhetsanalyse mer datadrevne.

Det finnes mye data om forberedelsene, beslutningene og erfaringene knyttet til byggeprosjekter i offentlig sektor. Estimaterne og prosjektreknskapene for byggeprosjekter er ofte strukturert i bestemte bygningsdeler, hvilket gjør dem sammenliknbare. I denne studien har vi samlet inn data om gjennomførte byggeprosjekter fra flere store byggherreorganisasjoner, deriblant Statsbygg, Forsvarsbygg og en rekke kommuner / fylkeskommuner. Vi har sammenstilt dette til en felles database for å sammenlikne det **relative avviket mellom estimat og sluttkostnad**.

$$\text{Relativt avvik (RA)} = \frac{\text{Sluttkostnad} - \text{Estimat}}{\text{Estimat}}$$

Vi har gjort statistiske analyser for å avdekke sammenhenger mellom relativt avvik og **prosjektkarakteristikker**, som grunnlag for et metodeverk for datadrevet usikkerhetsanalyse.

PROSJEKTKARAKTERISTIKKERS SAMMENHENG MED RELATIVT AVVIK

Ofte brukte faktorer som beskriver et prosjekts usikkerhet er anleggsgjennomføring, modenhet, prosjektledelse, eierstyring og rammebetingelser, grunnforhold, marked og interesser. Data fra gjennomførte byggeprosjekter inneholder i liten grad informasjon om effektene fra disse faktorene. I denne studien har vi derfor studert karakteristikker som lar seg analysere med datagrunnlaget vi har. Prosjektkarakteristikkene vi har undersøkt er **bygningstørrelse, estimert kvadratmeterpris, bygningstype, entreprisemodell, investeringstype samt relativ poststørrelse for poster på én-sifternivå etter bygningsdelstabellen**.

Analysene gir flere interessante funn som kan være anvendelige i en usikkerhetsanalyse. Ved bruk av korrelasjonsanalyse og multipl lineær regresjon har vi undersøkt sammenhenger mellom karakteristikker og størrelse på relativt avvik. Hovedfunnene kan oppsummeres slik:

-
- Entreprenørkostnad og usikkerhet undervurderes oftere for små prosjekter enn for store.
 - Prosjekter med lav estimert kvadratmeterpris innebærer økt risiko for kostnadsøkning. Høy estimert kvadratmeterpris gir større trygghet mot kostnadsøkning.
 - Det er indikasjon på at prosjekter med bygningstyper av høy særegenhet oftere opplever en kostnadsøkning enn de med lav særegenhet.
 - Det er indikasjon på at prosjekter med samspillsentreprise oftere opplever en kostnadsøkning, men de prosjektene som opplever *størst* kostnadsøkning er utførelsesentrepriser og totalentrepriser. Prosjekter med utførelsesentreprise har *størst spredning* i relativt avvik.
 - Det er indikasjon på at prosjekter som omfatter rehabilitering oftere er underestimert og innebærer større usikkerhet enn rene nybyggprosjekter.
-

DATAGRUNNLAGETS REPRESENTASJON AV OFFENTLIGE BYGGEPROSJEKTER

Vi argumenterer for at datagrunnlaget er tilstrekkelig representativt for offentlige byggeprosjekter på et generelt nivå, da det inneholder et stort antall prosjekter av ulik type. Det er dog to aspekter som må belyses.

For det første er det ikke alle offentlige byggeprosjekter som er like godt representert i datagrunnlaget. 90 prosent av prosjektene har et totalareal (BTA) på under 11 500 m². Enkelte offentlige byggeprosjekter, som sykehus, universiteter eller andre større prosjekter kan ha et areal på flere titusentalls kvadratmeter. Datagrunnlaget har svært få referanseprosjekter for slike typer bygg. Derfor er det definert et **gyldighetsområde for studiens resultater**, med grenser for areal og estimert kvadratmeterpris:

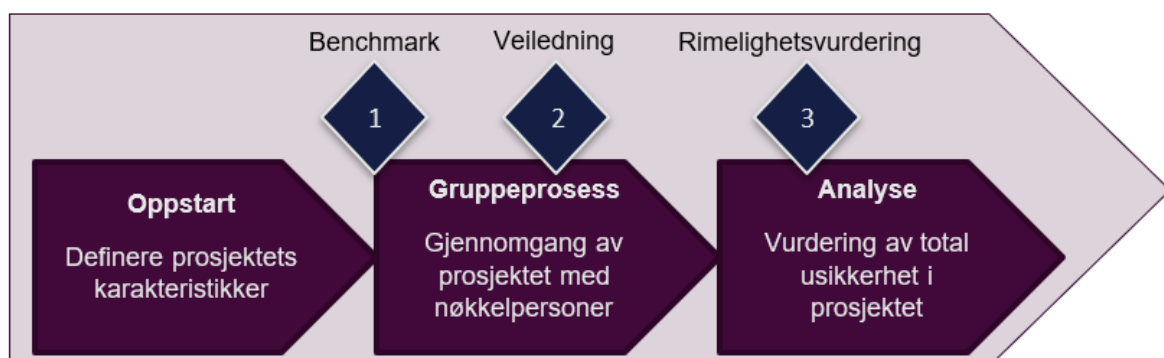
- Gyldighetsområde bygningsstørrelse: 800 m² – 11 500 m²
- Gyldighetsområde estimert entreprisekostnad: 11 000 kr/m² – 38 500 kr/m² (2021-kr).

For det andre er det **stor forskjell i avvik mellom estimat og sluttkostnad** i porteføljene av prosjektdata mottatt fra de forskjellige byggherreorganisasjonene. Porteføljene fra Statsbygg og Forsvarsbygg har et relativt medianavvik mellom basisestimat og sluttkostnad på henholdsvis 8 og 9 prosent, der kommunale / fylkeskommunale prosjekter har null prosent – det vil si at **halvparten av de kommunale / fylkeskommunale prosjektene har en sluttkostnad under basisestimatet**. Vi har ikke særbehandlet data fra kommunale / fylkeskommunale prosjekter, da vi ikke har grunnlag for å vurdere disse som mer eller mindre representative for offentlige byggeprosjekter.

METODEVERK FOR DATADREVET USIKKERHETSANALYSE

Funnene gir grunnlag for å ta i bruk datadrevne metoder i usikkerhetsanalyser. **Relativt avvik i datasettet kan benyttes som en benchmark for forventet tillegg**. Benchmarken avhenger av prosjektets karakteristikk. Funn om sammenhenger kan brukes veiledende for å vurdere usikkerhet i bestemte bygningsdeler. Spredning i relativt avvik gir anledning til å si hva som er et typisk usikkerhetsspenn for prosjekter, i form av *standardavviket i relativt avvik* for prosjektene i datasettet.

Basert på analyseresultatene er det laget et metodeverk for Datadrevet usikkerhetsanalyse. Denne baserer seg på trinnvisprosessen (Austeng, et al., 2005) og fremkommer av Figur 1.



Figur 1 Grafisk fremstilling av metodeverk for Datadrevet usikkerhetsanalyse. De blå rombene betegner datadrevne metoder som er utviklet i studien.

I første steg av vårt forslag til metodeverk benyttes analyseresultater for å generere en benchmark for forventet tillegg og en benchmark for standardavvik mellom estimat og sluttkostnad for prosjekter med tilsvarende karakteristikk. Av karakteristikkene vi har grunnlag for å vurdere, er det totalareal (BTA) og estimert kvadratmeterpris som har *mest signifikant sammenheng* med relativt avvik. Vi har utformet en lineær modell som er en funksjon av byggets størrelse og estimerte kvadratmeterpris. En benchmark for forventet tillegg blir generert ved bruk av følgende likning:

$$Benchmark_{\Delta} = \beta_0 + \frac{\beta_1 BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$$

der verdier for leddene i likningen fremkommer av Tabell 1.

Tabell 1 Verdi for leddene i likning som gir benchmark for forventet tillegg, basert på prosjektets karakteristikk. Kvadratmeterpris er basert på entreprisekostnad. Prisnivå desember 2021-kr.

Ledd	Verdi
$Benchmark_{\Delta}$	Benchmark for forventet tillegg til prosjektets basisestimat.
β_0	Inngangsverdi for beregning av benchmark, som avhenger av entreprisemodell, bygningstype og investeringstype.
β_1	= -0,5%
β_2	= -1,3%
BTA_{diff}	= Totalareal (for det aktuelle prosjektet) - 3 000 m ² (median BTA i datagrunnlaget)
$Kvadratmeterpris_{diff}$	= Estimert kvadratmeterpris (for det aktuelle prosjektet) - 27 000 $\frac{kr}{m^2}$ (median kvadratmeterpris i datagrunnlaget)

Inngangsverdi β_0 for beregning av benchmark fremkommer av Tabell 2.

Tabell 2 Tabell for inngangsverdi for beregning av benchmark for forventet tillegg og standardavvik.

Inngangsverdi for benchmark (β_0) og standardavvik (σ)		Lav særegenhet	Høy særegenhet
		Median for relativt avvik i datagrunnlaget (β_0) (Standardavvik σ i parentes)	
Nybygg	Totalentreprise	0,0 % (12,5 %)	10,1 % (13,7 %)
	Ikke totalentreprise	4,1 % (15,4 %)	2,9 % (21,4 %)
Nybygg og rehab	Alle entreprisemodeller	2,0 % (15,8 %)	13,3 % (11,7 %)
Rehab	Totalentreprise	10,3 % (14,4 %)	14,3 % (20,8 %)
	Ikke totalentreprise	6,1 % (26,5 %)	13,8 % (18,9 %)

Gjennom gruppeprosessen vurderes prosjektets usikkerhet med en rekke kjennetegn på risikoer og muligheter som indikeres av prosjektets karakteristikk. Det er gjort analyser som gir resultater for hvordan prosjektets karakteristikk har sammenheng med relativt avvik på postnivå.

Dette kan brukes for å understøtte vurderinger på estimatusikkerhet. Eksempler på dette fremkommer som:

-
- Prosjekter som omfatter både nybygg og rehabilitering har høyere relativt avvik i post 2 enn rene nybygg- eller rehabiliteringsprosjekter.
 - Prosjekter med høy andel post 1 i estimatet (mer enn 14 prosent av entreprisekostnaden) har høyere relativt avvik på post 2 enn andre.
 - Prosjekter med høy andel post 3 i estimatet (mer enn 15 prosent av entreprisekostnaden) har høyere relativt avvik i post 4 til 6 enn andre.
 - Prosjekter med høy andel post 8 i estimatet (mer enn 21 prosent av entreprisekostnaden) har et lavere relativt avvik i post 8 enn andre.
-

Etter gruppeprosessen vurderes prosjektets usikkerhetsprofil i en **rimelighetsvurdering**, der relativt forventet tillegg måles opp mot *benchmark for forventet tillegg*. Standardavviket fra analysen vurderes opp mot *benchmark for standardavvik* som fremkommer av Tabell 2. Den eventuelle differansen bør kunne argumenteres for basert på usikkerhetsanalysen.

DATAKVALITET HAR STOR INNFLYTELSE PÅ ANALYSERESULTATER

Studien har mange mulige feilkilder, blant annet i datakvaliteten og informasjon om detaljer i prosjektene. For det første er det mange karakteristikk og faktorer vi ikke har data om, men som vi vet er viktige bidragsyttere til usikkerhet i prosjekter. Ved multippel lineær regresjonsanalyse oppnår vi en forklaringsgrad på henholdsvis 20 og 49 prosent, for først et datasett med mange datapunkter, og deretter et mindre datasett, men med flere forklaringsvariabler. Forklaringsgraden tilsier hvor mye av det relative avviket som forklares av variablene som er medtatt i regresjonsmodellen. Det vil si at det er underliggende variabler som ikke er medtatt i modellen.

For det andre kan vi ikke vite om prosjektene har dokumentert sluttkostnader etter samme inndeling som i estimatet. Det kan være vanskelig for et prosjekt å dokumentere sluttkostnader etter samme kontoplan/postinndeling som i estimatet, både fordi det er en krevende øvelse, men også fordi prosjektet selv ikke nødvendigvis har tilstrekkelig grunnlag; det er ikke alltid byggherren sitter med informasjon om hvordan medgåtte kostnader i prosjektet faktisk fordeler seg.

RAPPORTSTRUKTUR

Rapporten inneholder analyser om mange aspekter. Resultatene gir grunnlag til et foreslått metodeverk for Datadrevet usikkerhetsanalyse.

- Kapittel 1 introduserer bakgrunnen for studien og forskningsspørsmålet.
- Kapittel 2 gir en innføring i viktige begreper vedrørende prosjektgjennomføring i offentlig sektor, estimering i byggeprosjekter og usikkerhetsanalyse.
- Kapittel 3 beskriver datagrunnlaget og metodiske valg som er gjort for å behandle dataen på en måte som tillater aktuelle analyser.
- Kapittel 4 beskriver analysemetodene som er valgt.
- Kapittel 5 presenterer alle statistiske analyseresultater.
- Kapittel 6 drøfter betydningen av resultatene og hvordan disse kan eller bør benyttes i vurderinger av usikkerhet i byggeprosjekter.
- Kapittel 7 presenterer et forslag til metodeverk for datadrevet usikkerhetsanalyse som er utviklet i denne studien, som bygger på eksisterende praksis.
- I kapittel 8 presenteres våre anbefalinger for videreutvikling av datadrevne metoder for usikkerhetsanalyse og kostandskontroll.

INNHOLDSFORTEGNELSE

Forord	2
Sammendrag	3
1 Innledning og bakgrunn	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Datadrevet usikkerhetsanalyse	9
1.3 Forskningsspørsmål	11
1.4 Tidligere studier	11
1.5 Referansegruppe	12
2 Kostnadsestimering og usikkerhetsanalyse	13
2.1 Prosjektgjennomføring i offentlig sektor	13
2.2 Bransjestandard for kostnadsestimering i byggeprosjekter	14
2.3 Bransjestandard for usikkerhetsanalyse	15
3 Beskrivelse av datagrunnlag	18
3.1 Datagrunnlag	18
3.2 Datakvalitet	21
3.3 Utforming av felles database	22
3.4 Kritikk av datagrunnlaget	32
4 Analysemetode	35
4.1 Deskriptiv analyse	35
4.2 Regresjonsanalyse	36
4.3 Forutsetninger for tolkning av analyseresultater	38
5 Analyseresultater	39
5.1 Sluttkostnad i forhold til basisestimat og P50	39
5.2 Sammenhenger mellom relativt avvik og prosjektkarakteristikker	41
5.3 Sammenhenger mellom relativt avvik og kostnader på én-siffernivå	54
5.4 Relativt avvik én-siffernivå Post 8 generelle kostnader	61
5.5 Markedsusikkerhet	64
5.6 Prediksjon ved bruk av maskinlæring	67
5.7 Sammendrag analyseresultater	67
6 Tolkning av resultater og diskusjon	70
6.1 Relativt avvik i entreprisekostnad som indikator for forventet tillegg	70
6.2 Om datasettet er representativt for offentlige byggeprosjekter	71
6.3 Drøfting av årsakssammenhenger fra analysen	73
6.4 Mulighet for datadrevet anslag av trippelestimater (P10 og P90 på postnivå)	76
6.5 Anvendelse av benchmark til usikkerhetsanalyse	79
7 Metodeverk for datadrevet usikkerhetsanalyse	84
8 Anbefalinger om videre arbeid	87
9 Referanser	90

Vedlegg 1	Referansegruppe deltakere	92
Vedlegg 2	Klassifisering av bygningstyper	93
Vedlegg 3	Klassifisering av entrepriseformer	94
Vedlegg 4	Klassifisering av investeringstype	95
Vedlegg 5	Regresjonstabell kapittel 5.2	96
Vedlegg 6	Regresjonstabell kapittel 5.3	97
Vedlegg 7	Regresjonstabell kapittel 5.4	99
Vedlegg 8	Benchmark forventet tillegg	101

1 INNLEDNING OG BAKGRUNN

I dette kapittelet presenteres bakgrunnen for, og organiseringen av, studien. Vi gir også en innføring i viktige begreper om prosjektgjennomføring i offentlig sektor.

1.1 BAKGRUNN

Concept-programmet ved NTNU er kjent for sine studier om store, statlige investeringsprosjekter. Rapportene har bidratt til økt kunnskap og nye metoder i prosjektgjennomføring. På Concept-programmet sine hjemmesider kan det leses at

Forskningsprogrammet Concept har som sitt primære mål å utvikle kunnskap og kompetanse om prosjekter i tidligfasen fra den første ideen oppstår til endelig finansiering av gjennomføringen er vedtatt.

En viktig del av det faglige bidraget er bransjestandarder for usikkerhetsanalyser. Usikkerhetsanalyser benyttes i mange tilfeller som et verktøy for å fastsette en styrings- og kostnadsramme for et prosjekt. Det er imidlertid mangelfull evaluering og sluttdokumentering av prosjekter. Dette mener forfatterne bak denne studien er uheldigsmessig for offentlig økonomisk forvaltning, da det hindrer læring og best mulig ressursutnyttelse over tid. Derfor er det stadig et behov for å utvikle metodikk, både for analyse av usikkerhet og sluttdokumentering av ferdigstilte prosjekter for senere bruk.

Denne studien ser på hvordan datadrevne metoder kan brukes i usikkerhetsanalyser. Data om gjennomførte prosjekter registreres ofte ikke på en normert måte internt i eller på tvers av virksomheter, som gjør det krevende å gjøre analyser på hvor godt usikkerhetsanalysene treffer. Fordelen ved å benytte en datadreven metode til å utføre usikkerhetsanalyser er at vurderinger kan gjøres med bakgrunn i historisk data, i motsetning til ren intuisjon og individuell erfaring.

Vi tror at usikkerhetsanalyser kan gjøres bedre med datadrevne metoder basert på erfaringstall, prognoser og dataanalyse. Et datadrevet metodeverk for usikkerhetsanalyser vil ikke kunne erstatte den etablerte prosessen som benyttes i store, offentlige prosjekter i dag. Vi tror imidlertid det kan fungere som et hjelpeverktøy og gi benchmark-verdier i en rimelighetsvurdering, som kan gjøres helt tidlig og mot slutten av en usikkerhetsanalyse for å se helhetlig på prosjektets usikkerhet. Vi tror også at kjennskap til hvordan ulike prosjektkarakteristikker påvirker usikkerhet i et prosjekt med et kvantitativt grunnlag vil gjøre det enklere å gjøre kvalitative vurderinger om et bestemt prosjekts usikkerhet.

Vi har avgrenset studien til å omfatte byggeprosjekter, da det finnes gode standarder for struktur på kalkyler i byggeprosjekter. På sikt kan det være interessant å gjennomføre studier der man også ser på prosjekter innenfor andre sektorer.

1.2 DATADREVET USIKKERHETSANALYSE

Formålet med å gjennomføre usikkerhetsanalyser er å tilrettelegge for bedre kostnadskontroll gjennom realistiske budsjetter. Med visshet om at noe uforutsett vil inntreffe er det viktig å holde av midler til å kunne håndtere usikkerhet, i form av forventet tillegg eller usikkerhetsavsetning.

I dag er det liten bruk av data om tidligere gjennomførte prosjekter som grunnlag for usikkerhetsvurderinger. Snarere vurderes usikkerhet oftest ved kvalifisert gjetning. Fordi hvert prosjekt er unikt, kan datadrevne metoder aldri fullstendig erstatte en kvantitativ analyse av usikkerheten i det enkelte prosjekt.

Vi tror likevel at data kan bidra til å underbygge eller påvirke vurderingene. Datadrevet argumentasjon kan gi grunnlag for kvantifisering av usikkerhet, som kan gi sammenligningsgrunnlag eller brukes direkte i en usikkerhetsanalyse.

Selv om enkelte virksomheter lagrer og systematiserer data om gjennomførte prosjekter, er det mye informasjon som ikke dokumenteres. Det kan skyldes manglende rutiner, eller at informasjonen er for vanskelig å konkretisere og kvantifisere. For å ta tre eksempler: Hvordan dokumenterer man kostnadskonsekvensen av manglende samarbeidsevne i prosjektorganisasjonen? Hva var effekten av en langvarig diskusjon mellom prosjektledelsen og styringsgruppen? Fikk det kostnadskonsekvens at kontraktstrategien kan ha ført til få tilbud? For at slike forhold skal kunne kvantifiseres og være sammenlignbare fra ett prosjekt til et annet må det være konsistente metoder for evaluering og loggføring. Dette er ikke data som vanligvis dokumenteres i dag. Derimot er det flere som loggfører entreprisform, bygningstype og sluttkostnader. Dette er informasjon som kan kvantifiseres og dermed analyseres for å undersøke hvilken sammenheng det har med usikkerhet i prosjekter.

Datadrevet usikkerhetsanalyse innebærer systematisk bruk av data fra ferdigstilte prosjekter i usikkerhetsvurderinger. Med dagens tilgjengelige data betyr det i beste fall at vi får noen retningslinjer og prinsipper for usikkerhet i prosjekter. I fremtiden kan datadrevne metoder bli bedre, gjennom en mer konsistent loggføring av prosjektinformasjon og gode analyser. Denne rapporten gir grunnlag for å starte en metodeutvikling for datadrevet usikkerhetsanalyse.

Rapportspesifikke begrep som vil bli brukt gjennomgående i rapporten fremkommer av Tabell 3.

Tabell 3 Rapportspesifikke begrep slik de blir brukt i denne rapporten

Begrep	Forklaring
Datadrevet usikkerhetsanalyse	Systematisk bruk av data fra ferdigstilte prosjekter i usikkerhetsvurderinger.
Relativt avvik	Avvik mellom estimat og sluttkostnad oppgitt i prosent. Benyttes i hovedsak for avvik mellom estimert entreprisestkostnad og sluttkostnad for summen av post 1-7.
Relativ poststørrelse	Andelen en post utgjør av entreprisestkostnaden, oppgitt i prosent.
Prosjektkarakteristikk	Informasjon tilknyttet et bestemt prosjekt. Det kan være entreprisemodell, investeringstype, estimert kvadratmeterpris, brutto totalareal, etc.
Datapunkt (prosjekt)	Betegner et enkelt prosjekt med tilhørende prosjektinformasjon / prosjektkarakteristikk.

1.3 FORSKNINGSSPØRSMÅL

Denne studien håper å avdekke mønstre i relative avvik mellom estimat og sluttkostnad ved gjennomførte prosjekter, som kan benyttes til å vurdere usikkerhet i fremtidige byggeprosjekter. Det overordnede spørsmålet for studien er definert som:

Hva kan data fra gjennomførte prosjekter si om usikkerheten i kostnader for et fremtidig prosjekt?

Blant fageksperter som jobber med usikkerhetsanalyse er det flere kjente problemstillinger og hypoteser om hvilke karakteristikk som påvirker usikkerhet, men som i liten grad er kvantifisert. Dette kan fremstilles som konkrete påstander, som at rehabiliteringsprosjekter har større usikkerhet enn nybygg.

Konsekvensene av manglende datagrunnlag bak slike påstander blir at fageksperter ikke har et felles referansepunkt å gjøre sine usikkerhetsvurderinger ut ifra. En sentral del av studien er derfor å kvantifisere forskjellige karakteristikk sitt bidrag til avvik mellom estimert kostnad og sluttkostnad.

I denne studien vil vi undersøke hvorvidt relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad har en sammenheng med følgende prosjektkarakteristikker:

- **Brutto totalareal (BTA).** Dette kan gi indikasjoner på hvorvidt fysisk størrelse på et prosjekt har en sammenheng med usikkerhet.
- **Estimert kvadratmeterpris (kr/m²).** Dette kan gi indikasjoner på hvorvidt høy kvalitet og teknisk kompleksitet har en sammenheng med usikkerhet.
- **Bygningstype.** Dette kan gi indikasjoner på hvorvidt særegenheten til et prosjekt har en sammenheng med usikkerhet.
- **Entreprisemodell.** Dette kan gi indikasjoner på hvorvidt valg av entreprisemodell har en sammenheng med usikkerhet.
- **Investeringsstype.** Dette kan gi indikasjoner på hvorvidt rehabiliteringsprosjekter har større eller mindre usikkerhet enn nybygg.
- **Relativ størrelse på forskjellige poster etter bygningsdelstabellen som en andel av den totale prosjektkostnaden.** Dette kan gi indikasjoner på om det bør tas spesielle hensyn til prosjektets usikkerhet som følge av størrelsen på en av postene etter bygningsdelstabellen.

Punktlisten over representerer strukturen på hoveddelen av analysekapittelet.

Prosjektkarakteristikkene er gjennomgående dokumentert i de datasettene vi har mottatt. Annen informasjon som inngår i kun ett av datasettene er dermed ikke studert. I diskusjonskapittelet vil implikasjonene av resultatene drøftes, med hensyn på hvordan innsikt fra analysene kan anvendes i usikkerhetsvurderinger.

1.4 TIDLIGERE STUDIER

Historisk data brukes i stor grad til å fastsette basisestimater ved hjelp av referanseprosjekter, men i liten grad til å sette et usikkerhetsspenn. Samtidig finnes det mange eksempler på bruk av datadrevne metoder i andre forretningsammenhenger, mye tilknyttet finans og markedsføring.

I Concept-rapport nr. 59 (Welde, et al., 2019) undersøkes det hvor treffsikre estimatene og usikkerhetsanalysene i KS2-rapportene er. Studien baseres på data fra 83, 85 og 70 prosjekter i analyse av henholdsvis styringsramme, kostnadsramme og kostnadsestimater.

Studien konkluderer med at det er en svak tendens til overskridelser i både styrings- og kostnadsrammer fra prosjekter underlagt KS2. Forfatterne trekker frem at det er liten læring i prosjektene over tid. De anbefaler at nye prosjekter bør gå i en retning med bredere utfallsrom for prediksjonsintervallene, samt forbedre evnen til å skille kostnadsusikkerheten i prosjekter.

Concept publiserte også en studie i 2022 med tittelen «Kostnadskontroll i statlige prosjekter med og uten ekstern kvalitetssikring» (Berg, Bukkestein og Nyhus, 2022). Den ser på om prosjekter henholdsvis i og utenfor KS-ordningen skiller seg fra hverandre med hensyn til sluttkostnadens samsvar med styringsrammene, med data fra bygg-, vei-, og forsvarssektoren. Studien benytter «relativt avvik» som begrep for differansen mellom sluttkostnad og styringsramme.

FFI har også gjennomført studier med tilsvarende metoder på egne byggeprosjekter der de har studert både relativt avvik fra estimat til sluttkostnad, men også fremdrift. Siste utgave ble utgitt i 2022 (Urnes & Jensen, 2022).

1.5 REFERANSEGRUPPE

Som en del av studien har det blitt opprettet en referansegruppe bestående av offentlige byggherreorganisasjoner og det akademiske fagmiljøet i Concept-programmet ved NTNU. Deltakere i referansegruppen fremkommer av Vedlegg 1.

Referansegruppen sin oppgave har vært å komme med innspill om viktige hypoteser og muligheter for å benytte datadrevne metoder i usikkerhetsanalyser. I tillegg har det vært av stor verdi å etablere et nettverk for erfaringsdeling på tvers, spesielt med tanke på hvordan erfaringstall fra gjennomførte prosjekter kan rapporteres og systematiseres for å kunne gjennomføre studier på større datasett i fremtiden.

Referansegruppen har hatt to samlinger. Første samling fant sted i Oslo 11. mai 2022, med formål om å hente innspill til hvordan datadrevne metoder kan benyttes i gjennomføring av usikkerhetsanalyser.

Andre samling finner sted i Oslo 16. november 2022.

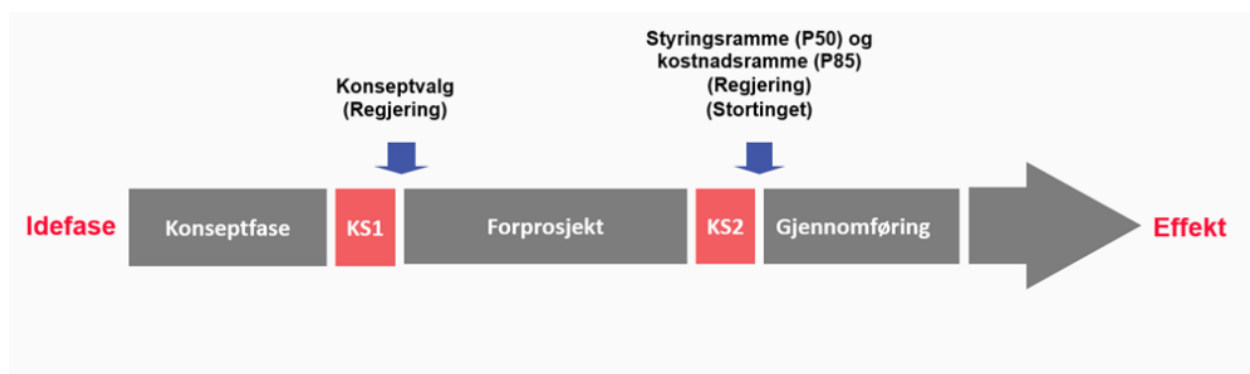
For fremtidige studier om datadrevet usikkerhetsanalyse vil det være hensiktsmessig å videreføre eller hente erfaringer fra referansegruppen. Referansegruppen kan stå sentralt i den videre evolusjonen av hvordan offentlige virksomheter skal dokumentere sluttkostnader for å kunne gjennomføre bedre analyser av gjennomførte byggeprosjekter.

2 KOSTNADSESTIMERING OG USIKKERHETSANALYSE

2.1 PROSJEKTGJENNOMFØRING I OFFENTLIG SEKTOR

Offentlige byggherrer omfatter både kommuner, statlige eide selskaper eller andre offentlige virksomheter som har beslutningsmyndighet i offentlige byggeprosjekter. Ved store investeringer er det ofte folkevalgte i enten stat eller kommune som tar investeringsbeslutning. Investeringsregimet hos den enkelte byggherreorganisasjon varierer, men mange har likhetstrekk med Statens prosjektmodell.

Investeringsprosjekter i statlig sektor skal følge statens prosjektmodell¹ hvis den anslåtte kostnadsrammen ligger over en fast terskelverdi (Regjeringen, 2019). Prosjekter som har en anslått samlet kostnadsramme over den fastsatte terskelverdien skal følge de ulike kravene til utredning, planlegging og kvalitetssikring gitt i statens prosjektmodell. Kostnadsrammen settes normalt tilsvarende P85 fra usikkerhetsanalysen (Finansdepartementet, 2019). Figur 2 viser statens prosjektmodell og de ulike fasene; (1) idefase, (2) konseptfase, (3) forprosjekt og (4) gjennomføring. Figuren viser også at ordningen har to kontrollpunkter, kvalitetssikring 1 (KS1) og kvalitetssikring 2 (KS2).



Figur 2 Statens prosjektmodell for prosjekter over terskelverdi for ekstern KS. Hentet fra Rundskriv R-108/19 (Finansdepartementet, 2019).

For byggeprosjekter under terskelverdi for ekstern KS blir det i statlige prosjekter ofte benyttet tilsvarende faser og faseoverganger med noe mindre omfattende krav, men som ellers likner i stor grad. De senere årene har dessuten flere kommuner etablert egne retningslinjer og rutiner for gjennomføring av KS1 og KS2 for prosjekter der de selv er byggherre. Det blir med andre ord en mer og mer standardisert prosess for byggeprosjekter i det offentlige der det stilles krav til et visst modenhetsnivå før investeringsbeslutning og gjennomføring. Dette skaper et godt utgangspunkt for konsistent data for å kunne sammenlikne offentlige byggeprosjekter.

¹ Investeringsprosjekter gjennom Statens direkte økonomiske engasjement i petroleumsvirksomheten (SDØE) er unntatt. Investeringsprosjekter i regi av de regionale helseforetakene følger egne krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring og er ikke omfattet av rundskrivet. Statnett SF er videre ikke omfattet av rundskrivet og er selv ansvarlig for å kvalitetssikre sine investeringsprosjekter. Nye veier AS og Bane NOR SF har ansvar for prosjekter i forprosjekt- og gjennomføringsfasen, dvs. etter gjennomført KVV/KS1 og konseptvalg. De er ikke omfattet av rundskrivets krav til KS2, men er selv ansvarlig for å gjennomføre kvalitetssikring av styringsunderlag og kostnadsoverslag (Regjeringen, 2019).

2.2 BRANSJESTANDARD FOR KOSTNADSESTIMERING I BYGGEPROSJEKTER

I forprosjektfasen etablerer prosjektet en grunnkalkyle bestående av alle kostnadselementene som vil tilfalle prosjektet. Utformingen av grunnkalkylen tar ofte utgangspunkt i den norske standarden for «Klassifikasjon av byggverk - NS 3457» (Standard Norge, u.d.). Denne inneholder den norske standarden for bygningsdeler, beskrevet i «Bygningsdelstabell - NS 3451» (Standard Norge, u.d.). Denne strukturen benyttes blant annet av «Norsk Prisbok», som ofte brukes som referanse for kostnadsestimering i tidligfase av prosjekter. Bygningsdelene, eller postene, er inndelt etter kapitler som fremkommer av Tabell 4.

Tabell 4 Bygningsdelstabellen på kapittelnivå / én-siffernivå

Post	Kapittelnavn	Beskrivelse
1	Felleskostnader	Entreprenørens rigg og drift av byggeplass, kontroll og dokumentasjon.
2	Bygning	Konstruktive tiltak i bygget, deriblant grunn og fundamenter, bæresystem, vegger, dekker, tak, fast inventar og trapper / balkonger.
3	VVS-installasjoner	Varme, ventilasjon og sanitærinstallasjoner.
4	Elkraft	Basisinstallasjon for elkraft, høyspent og lavspent forsyning, lys, elvarme og reservekraft.
5	Tele og automatisering	Integrert kommunikasjon, alarm og signal, lyd og bilde, instrumentering og automatisering.
6	Andre installasjoner	Person- og varetransport, avfall og støvsuging, sceneteknisk utstyr og andre tekniske installasjoner.
1-6	Huskostnad	Sum av post 1-6, altså byggekostnader for selve bygget.
7	Utomhus	Tiltak utendørs, utenfor selve bygget. Det omfatter terrengbearbeiding, parker og hager, veier og plasser og tekniske installasjoner utendørs.
1-7	Entreprisekostnad	Sum av post 1-7, som inngår i én eller flere entrepriser.
8	Generelle kostnader	Byggherrens prosjektering og administrasjon, byggherreombud og byggeleder i gjennomføringsfasen.
1-8	Byggekostnad	Sum av post 1-8. Dette er byggherrens kostnader for byggingen, ekskl. mva.
9	Spesielle kostnader	Løst inventar og utstyr, tomteakkvisisjon, finansiering, kapitalkostnader og kunstnerisk utsmykning.
10	Mva	Merverdiavgift.
1-10	Grunnkalkyle / Basiskostnad	Sum av post 1-10. I enkelte kalkyler er uspesifisert lagt inn i hver enkelt post, mens det i andre kalkyler blir lagt på som et prosentvis påslag i bunnen av kalkylen, eksempelvis 10 prosent.

Entreprisekostnader blir vanligvis estimert av rådgivende ingeniører i samråd med arkitekt, basert på forprosjektets spesifikasjoner. Estimatenes kan settes bottom-up eller top-down, der top-down-estimer setter et representativt estimat basert på antall kvadratmeter og kvadratmeterpris fra referanseprosjekter, mens en bottom-up-kalkyle regner kostnader etter mengde og enhetspris på bestemte komponenter. Byggherren estimerer post 8 selv, og dette blir enten satt som et prosentvis påslag av entreprisekostnaden (top-down) eller regnet som antall årsverk multiplisert med en enhetspris for lønn og honorar (bottom-up).

Grunnkalkylen / Basiskostnaden skal representere den mest sannsynlige kostnaden for hver enkelt komponent i byggeprosjektet. Den fanger ikke opp tillegg som kan forventes som følge av usikkerhet i prosjektets gjennomføring.

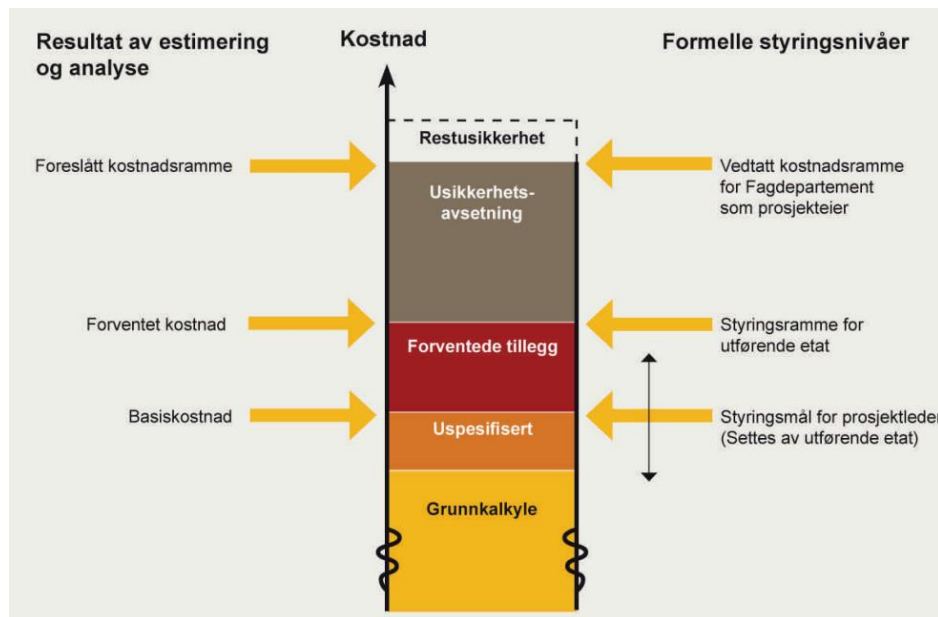
Bygningsdelstabellen er ikke bestandig uttømmende for alle kostnadselementer i et prosjekt. Akkurat hvilke kostnader som plasseres på hver post etter bygningsdelstabellen kan derfor variere noe fra prosjekt til prosjekt, men de store variasjonene kommer av hva som er praksisen hos den enkelte byggherreorganisasjon. Innholdet i post 1 til 7 er stort sett nokså standardisert, nettopp fordi det ofte er rådgivende ingeniører som utformer kalkylen. For post 8 og 9 kan det være større variasjoner, da byggherreorganisasjonene har forskjellige rutiner for hvorvidt de kostnadsfører på ordinær drift eller prosjektets regnskap.

2.3 BRANSJESTANDARD FOR USIKKERHETSANALYSE

I Concept-rapport nr. 10 betegnes usikkerhet som mangel på nødvendig viten. I alle prosjekter vil det være usikkerheter som må håndteres. Usikkerhet kan gjerne skilles inn i muligheter og risiko, hvor disse representerer henholdsvis en oppside og en nedside. I prosjektsammenheng skilles det gjerne mellom to ulike typer usikkerhet; estimatusikkerhet og usikkerhetsfaktorer. Estimatusikkerhet er det enkelte estimatets usikkerhet i pris og mengde, mens usikkerhetsfaktorer kan påvirke flere kostnadselementer i et prosjekt. Videre kan disse usikkerhetene forekomme av ulike årsaker knyttet til konseptuell usikkerhet, operasjonell usikkerhet, kontekstuell usikkerhet og scenariell usikkerhet (Austeng, et al., 2005).

Usikkerhetsanalyse defineres som en «*systematisk fremgangsmåte for å identifisere, beskrive og beregne usikkerhet*» (Finansdepartementet, 2008). Ifølge Austeng mfl. i Concept-rapport nr.10 er hensikten med usikkerhetsanalysen å gi beslutningstakere grunnlag til å vurdere om prosjektet skal gå videre til neste fase eller ikke, å sette søkelys på forhold som kan påvirke prosjektet i fremtiden, gi støtte til beslutninger i styringsregimet og støtte til styring av prosjektet (Austeng, et al., 2005).

Figur 3 illustrerer oppbygningen av et kostnadsestimat i Statens prosjektmodell, som også er et felles begrepsapparat for aktører som gjennomfører KS2. Til venstre er det beskrivelser av estimer, til høyre er tilhørende formelle styringsnivåer. I bunn av kostnadsoppbygningen ligger grunnkalkylen som er en deterministisk summering av mest sannsynlig verdi for alle kostnadsposter i prosjektet. Deretter tilføyes kostnadsposten «uspesifisert», som kan være detaljer man ikke har spesifisert i kalkylen, men som man «vet» vil tilfalle, basert på erfaring. Deretter tar kalkylen høyde for usikkerhet. Forventet tillegg utgjør et forventet kostnadsbidrag fra estimatusikkerhet og usikkerhetsfaktorer, og summen av basiskostnaden og forventet tillegg er den forventede sluttkostnaden til prosjektet. Dette blir styringsrammen. Til slutt tilføres en usikkerhetsavsetning som legger grunnlaget for den foreslåtte kostnadsrammen fra forprosjektet. Usikkerhetsavsetningen fungerer som en buffer mot kostnadsoverskridelser i et prosjekt, men er ikke ment for å være tilgjengelig for prosjektleder. Midlene i usikkerhetsavsetningen kan kun benyttes dersom forutbestemte krav blir innfridd (Finansdepartementet, 2008).



Figur 3 Trinnvis oppbygning av kostnadsestimatet i Statens prosjektmodell (Finansdepartementet, 2008).

Styringsrammen blir ofte betegnet som P50, som vil si at det i teorien skal være 50 prosent sannsynlighet for at sluttkostnaden til prosjektet enten havner under eller over denne rammen. Kostnadsrammen blir tilsvarende betegnet som P85, som betyr at det skal være 85 prosent sannsynlighet for at sluttkostnaden til prosjektet havner innenfor kostnadsrammen.

Finansdepartementet (2008) gir en oversikt over definisjoner av viktige begreper knyttet til kostnads- og usikkerhetsestimering. Noen av disse vises av Tabell 5.

Tabell 5 Sentrale begreper som definert av Finansdepartementet

Begrep	Definisjon
Kostnadsestimat	Et anslag på sannsynlig eller forventet kostnad.
Usikkerhetsanalyse	En systematisk fremgangsmåte for å identifisere, beskrive og beregne usikkerhet.
Grunnkalkyle	Den deterministiske summen av sannsynlig kostnad for alle spesifiserte, konkrete kalkyleelementer (kostnadsposter) på analysetidspunktet.
Uspesifisert	Kostnader man av erfaring vet vil komme, men som ikke er kartlagt pga. manglende detaljeringsnivå.
Basiskostnad	Summen av grunnkalkyle og uspesifisert.
Forventede tillegg	Det forventede kostnadsbidraget fra estimatusikkerhet og usikkerhetsfaktorer. Dette er en prognose for avviket mellom basisestimat og sluttkostnad i prosjektet.
Styringsrammen (P50)	Den budsjettammen gjennomførende etat har til disposisjon for å gjennomføre prosjektet. Kalles P50, fordi det skal være 50 prosent sannsynlighet for at den endelige sluttkostnaden er innenfor styringsrammen.

Begrep	Definisjon
Kostnadsrammen (P85)	Summen av forventet prosjektkostnad og avsetning for usikkerhet. Kostnadsrammen definerer hvor stor finansiering som er satt av for å gjennomføre prosjektet. Usikkerhetsavsetningen disponeres ikke av prosjektet, men av ansvarlig fagdepartement. Det forventes ikke at denne posten skal brukes i prosjektet. Midler utløses etter behov i samsvar med forhåndsdefinerte kriterier.

Det finnes flere metoder for å utarbeide usikkerhetsanalyser. Et fellestrekk i de fleste er at estimatusikkerhet og usikkerhetsfaktorer defineres på bakgrunn av subjektive vurderinger.

For å kvantifisere usikkerhet benyttes ofte trepunktsestimat/trippelestimat. Det vil si at for hver kostnadspost og for hver indre- og ytre påvirkningskraft skal det defineres en sannsynlig verdi, en minimumsverdi og maksimumsverdi innenfor et gitt konfidensintervall. Disse verdiene blir ofte satt som 10/90 kvartiler, slik som det fremkommer av Tabell 6.

Tabell 6 Trepunktsestimater i en usikkerhetsanalyse

Best	Sannsynlig	Verst
10 %	Sannsynlig kostnad	10 %
Ett av ti tilfeller		Ett av ti tilfeller
Laveste kostnad		Høyeste kostnad

Estimatusikkerheten bestemmes i en gruppeprosess hvor ressurspersoner i prosjektet er samlet. Når betydningen av de identifiserte indre- og ytre påvirkningskreftene skal defineres, gjøres dette med utgangspunkt i deltakernes kunnskap og erfaring.

3 BESKRIVELSE AV DATAGRUNNLAG

I dette kapittelet blir studiens datagrunnlag presentert. Det har blitt gjort en rekke metodiske valg for å klargjøre datagrunnlaget til analyser. Det er benyttet data fra offentlige byggherreorganisasjoner som grunnlag for analysene. Dataen består av prosjekter det har vært mulig å oppdrive sluttkostnader for.

3.1 DATAGRUNNLAG

I denne studien er det samlet inn data om byggeprosjekter gjennom dialog med en rekke offentlige byggherreorganisasjoner: Statsbygg, Oslobygg KF, Forsvarsbygg, Sykehusbygg, Asker kommune og Trondheim kommune. Vi mottok data om gjennomførte prosjekter i regi av Statsbygg, Forsvarsbygg og en rekke kommunale / fylkeskommunale formålsbygg. Datasettene ble i etterkant av oversendelse gjennomgått sammen med dataeier for å forstå spesielle egenskaper ved de forskjellige datasettene.

I en tidlig fase av studien har en del av arbeidet vært å kartlegge hvilke data det er mulig å gjøre analyser på, ettersom det avhenger av hvilken data byggherreorganisasjonene har og hvilken data som kunne tilgjengeliggjøres for denne studien. Det har vært et mål å først og fremst samle et stort utvalg datapunkter, ukritisk til hvilke analyser dataen eger seg til. Totalt har det vært samlet inn data om 489 prosjekter på tvers av byggherreorganisasjonene. Hvert av disse blir betegnet som et *datapunkt* til analyseformål. Hvert datapunkt har egne data knyttet til seg vedrørende størrelse, kvadratmeterpris, entrepriseform, etc.

Ettersom det ikke eksisterer klare retningslinjer eller krav til hvordan data om gjennomførte byggeprosjekter skal rapporteres og lagres, er både volumet, detaljeringsnivået og kvaliteten svært varierende. Modenhetsnivået på basisestimatet avhenger også i stor grad av den enkelte byggherreorganisasjon sitt investeringsregime; Det er forskjellige forutsetninger som ligger til grunn ved investeringsbeslutning. I analysene har vi til så stor grad som mulig forsøkt å velge de estimatene som er mest representative for estimatet som ligger til grunn ved «ferdig forprosjekt», altså før detaljprosjektering. De forskjellige dataeierne og egenskapene ved dataen vi har samlet inn blir beskrevet kort under. Tidspunkt for registrering av estimer og sluttkostnad blir sammenstilt med Statens prosjektmodell for å gi et bilde av estimatets modenhet.

3.1.1 STATSBYGG

Statsbygg har jobbet siden 2008 med å dokumentere erfaringstall i «erfaringsdatabasen». Erfaringsdatabasen forvaltes og vedlikeholdes av seksjon for Økonomi og analyse i Faglig ressurscenter i Statsbygg. Databasen benyttes som referanse ved estimering, da den tillater mulighet for å hente ut data som kan spesifiseres ned og filtreres basert på tiltakstype, geografi eller andre prosjektkarakteristikker. Innfylling i databasen gjøres ved at det avtales et møte med avdeling for Økonomi og analyse sammen med prosjektkalkulator på ca. 30 minutter der sluttdokumentasjon fylles inn, klargjort av prosjektøkonom. På den måten blir det sikret en viss kontinuitet og kvalitet i utfylling av databasen. Kun 102 av totalt 249 prosjekter i databasen har rapportert sluttkostnad pr. 15.07.2022, som skyldes enten mangelfull slutføring eller at prosjektene ennå pågår.

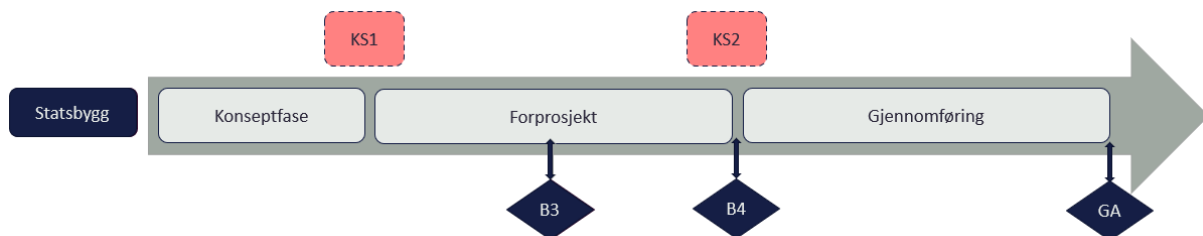
Erfaringen til Statsbygg er at totalentrepriser er spesielt vanskelig å dokumentere sluttkostnad på, ettersom totalentreprenør vanligvis opererer med lukket bok. Statsbygg har egne tall på byggherrekostnad og intern administrasjon, men må gjøre en vurdering ved føring av sluttkostnader på én-siffernivå for entreprisen. Dette spesifiseres gjerne skriftlig for å unngå feiltolkninger av dataene.

Statsbygg sin prosjektmodell med prosjektfaser og beslutningsporter (B) fremkommer av Figur 4.



Figur 4 Prosjektmodell for Statsbyggs byggeprosjekter

Prosjektmodellen er gyldig for alle Statsbyggprosjekter, selv om det er forskjell på krav til ekstern kvalitetssikring og Stortingsbeslutning, som henger sammen med bestemte terskelverdier. Erfaringsdatabasen inneholder estimater som foreligger ved de forskjellige B-ene, men det foreligger kun komplette kalkyler på én-siffernivå etter bygningsdelstabellen for B3 og B4. Sett i sammenheng med Statens prosjektmodell vises det til Figur 5, der B3 og B4 er vist i fasene i Statens Prosjektmodell.



Figur 5 Statsbyggs beslutningsporter B3 og B4 vist i sammenheng med Statens prosjektmodell. GA representerer sluttkostnader.

Ved B3 foreligger det en foreløpig kalkyle med lavere modenhet enn den som blir presentert før investeringsbeslutning, da beslutningsporten er midt i forprosjektfasen.

Tidspunktet for B4 avhenger av kontraktstrategi, og kan være før en anbudsinnbydelse eller etter. Det vil si at estimater ved B4 i noen tilfeller er utformet basert på beste tilbud fra entreprenører. Med andre ord er store deler av markedsusikkerheten nøytralisert i disse estimatene, slik at prosjektene kan forventes å ha relativt mindre markedsusikkerhet.

Vår vurdering er at kalkylen som foreligger ved B4 er den som egner seg best som datagrunnlag for kostnadsestimat i denne studien. Det medfører en mulig feilkilde i sammenlikningsgrunnlaget mellom data fra Statsbygg og andre byggherreorganisasjoner da estimatene vil reflektere forskjellig grad av markedsusikkerhet. Effekten dette har på analyseresultatene blir kommentert i kapittel 3.2.

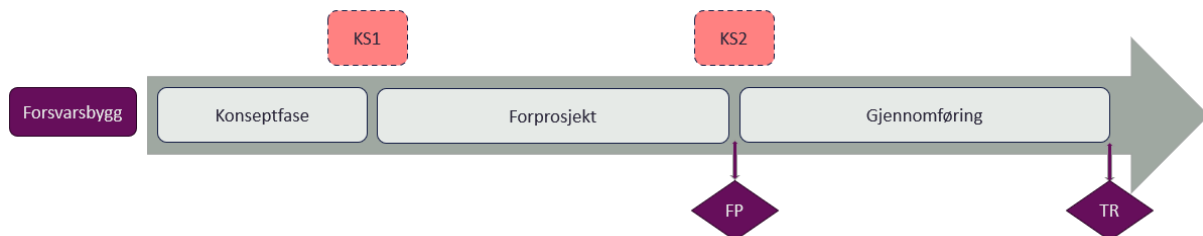
3.1.2 FORSVARSBYGG V/FFI

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har tidligere gjennomført studier på gjennomførte bygg- og anleggsprosjekter i regi av Forsvarsbygg. I deres studier har de bygd opp et datasett bestående av både graderte og ugraderte prosjekter. I dialog med FFI ble det oversendt et datasett med gjennomførte byggeprosjekter som ikke er gradert. En betydelig andel av prosjektene i datasettet utgjør «spesialobjekter». I denne studien har disse objektene blitt utelatt fra analysen.

Forsvaret benytter en egen prosjektmodell kalt PRINSIX (Forsvarsmateriell, 2022). Denne modellen utgjør et rammeverk for hvordan investeringer i materiell for forsvarssektoren skal planlegges og gjennomføres. Det er også verdt å nevne at Forsvarsbygg betjener en annen hensikt i samfunnet enn

øvrige nevnte byggherrer. Ettersom de representerer en del av det norske forsvar utgjør de en viktig faktor i norsk forsvarsevne (Forsvarsbygg, 2019). Ettersom Norge også utgjør en del av NATO stilles det egne krav til bygging og prosjekter. Dette påvirker i stor grad eierstyring og rammebetingelser i forsvarets prosjekter.

Datasettet fra FFI har estimater fra ferdig forprosjekt (FP) og sluttkostnader fra termineringsrapport (TR). Figur 6 viser de to tidspunktene for FP og TR sett i sammenheng med Statens prosjektmodell.



Figur 6 Oversikt over estimat og sluttkostnad i datasett fra FFI sett i sammenheng med Statens prosjektmodell.

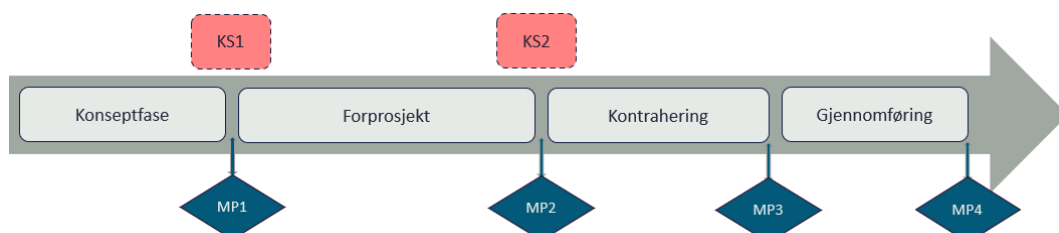
3.1.3 KOMMUNALE / FYLKESKOMMUNALE PROSJEKTER

Oslobygg KF har sendt et datasett bestående av data fra kommunale og fylkeskommunale prosjekter. Det har vært et samarbeid på tvers av flere kommuner og fylkeskommuner i Norge om innsamling av data for benchmarking av kostnader ved bygging av ulike typer skole- og undervisningsbygg, barnehager og idrettsbygg. Registrering av data ble gjort i regi av Prognosesenteret. Datasettet inneholder prosjektdata fra Asker, Bærum, Oslo, Drammen, Sandnes, Stavanger og Bergen kommuner, samt Akershus og Sør-Trøndelag fylkeskommuner.

I utfylling av Prognosesenterdatabasen har det vært opp til hvert enkelt prosjekt å føre inn kostnader. Det vil si at det har vært mange forskjellige prosjektledere som har fylt inn data etter egen forståelse. Selv om det eksisterer en brukermanual for Prognosesenterdatabasen kan dette medføre ulikheter i kostnadsføringen, spesielt på sluttkostnader. Enkelte av datapunktene er som følge av dette fjernet der vi oppfatter at det er åpenbare feilføringer.

I Prognosesenterdatabasen er det oppgitt kostnadsestimater på én-siffernivå etter bygningsdelstabellen for fire milepæler (MP), vist i Figur 7. De fire milepælene er som følger, med tilhørende kalkyle:

- MP1: Vedtatt bestilling forprosjekt. Tidligfasekalkyle basert på bestilling av forprosjekt.
- MP2: Godkjent forprosjekt. Styregodkjent kalkyle.
- MP3: Kontraktsinngåelse med entreprenør. Kalkylen representerer kontrahert kontraktssum.
- MP4: Overtagelse. Faktisk prosjektkostnad ved ferdigstilling.



Figur 7 Oversikt over milepæler i prognosesenterdatabasen sett i sammenheng med Statens prosjektmodell.

I analysene i denne studien er det tatt utgangspunkt i estimater fra MP2 for å representere basisestimat ved ferdig forprosjekt og MP4 for sluttkostnad. Data fra MP2 viser den estimerte kostnaden for prosjektet etter at forprosjekt og kvalitetssikring er ferdig. Data fra MP4 viser sluttkostnad for prosjektet.

3.2 DATAKVALITET

Den internasjonale standarden for datakvalitet er definert i ISO 25012 (2022). Denne standarden deler datakvalitet i to kategorier: iboende- og systemavhengig kvalitet. For denne studien er det mest relevant å se på kriterier for iboende datakvalitet. Iboende datakvalitet kan videre beskrives ved hjelp av fire begreper, også kalt dimensjoner: *fullstendighet*, *aktualitet*, *konsistens*, *nøyaktighet* (Digitaliseringsdirektoratet, 2020). Hver dimensjon kan videre deles i deldimensjoner som hver har egne kvalitetsmål. Egenskapene er komplementære, og det er ønskelig at alle representeres i datasettet. I tillegg kan det avhengig av målgruppe og bruker være hensiktsmessig å vektlegge kvalitetene forskjellig.

Fullstendighet omhandler antall enheter i datasettet. Det kan enten være snakk om manglende enheter som refereres til som «underdekning» og overflødige enheter, kalt «overdekning». I noen sammenhenger kan det også være aktuelt å fylle inn manglende verdier for et datapunkt for å øke dekningen, dette kalles da imputering.

Ettersom byggherreorganisasjonene har forskjellig grad av prosjektdokumentering og forskjellig prosjektinformasjon, forekommer det både over- og underdekning av fullstendighet i mottatt data. Det skaper begrensninger på hvilke analyser som kan gjennomføres på det komplette datasettet. Det er valgt å ikke imputere manglende data i denne analysen, da det ville krevd en rekke antakelser som vi mener ville svekket datakvaliteten. Det er på den annen side gjort en rekke valg for kategorisering av prosjektdata for å kunne tillate analyser på tvers av datasettene.

Aktualitet går på graden av ferskhets av datasettet, når data er samlet mot nåtid og tidspunkt for bruk. Målet på aktualitet er samlet tidsdifferanse.

Ettersom denne studien baserer seg på historisk data fra tidligere gjennomførte prosjekter, er ikke høy grad av aktualitet nødvendig. Det er dog et poeng i at prosjektene fremdeles representerer prosjekter som skal gjennomføres i dag og i fremtiden. Det er eksempelvis mindre interessant å studere bygg fra 2003 enn 2020. Høyere grad av aktualitet vil kunne bidra til at dagens marked i større grad er representert, som vil være ønskelig for andre studier. 99 prosent av prosjektene i vårt datasett er gjennomført i perioden 2009-2020, det eldste i 2003.

Konsistens måles kun innad i et gitt datasett og ikke mellom flere. Dersom man vet at noe er feil ved datasettet, men ikke klarer å bestemme hvilken egenskap feilen skyldes er dette et tegn på inkonsistens. Konsistens måles i andel av totalt datasett.

Ettersom det ikke eksisterer standardiserte måter for hvordan prosjekter skal loggføre data, er det trolig liten grad av intern konsistens i det sammenstilte datasettet. De forskjellige byggherreorganisasjonene har forskjellige rutiner, og samtidig har data som er loggført blitt påvirket av nøkkelpersoner i prosjektet, som igjen kan påvirke konsistensen.

Nøyaktighet omfatter til hvilken grad dataen representerer virkeligheten. Dette er ofte et spørsmål som besvares ved en kvalitativ vurdering av dataen.

I dette tilfellet ønsker man også å se på samlet data fra flere individuelle sett, noe som gjør nøyaktigheten til dataen viktigere enn konsistensen i det samlede settet. Generelt sett vil et større og

fullstendig datasett resultere i sterkere konklusjoner og mer velbegrunnede slutninger fra analysen. Det er dessuten essensielt med representative tall for estimerer ved investeringsbeslutning og faktiske sluttkostnader. Dess mer korrekte disse tallene er, dess høyere er datakvaliteten.

3.3 UTFORMING AV FELLES DATABASE

De forskjellige byggherreorganisasjonene har forskjellige rutiner for loggføring av data og oppsett i egen database. For å kunne sammenligne data fra de ulike dataeierne må de sammenstilles i et felles format med så lik datakvalitet som mulig. Dette har blitt gjort i en Excel-database. Grunnlaget for denne databasen har vært å studere hvert enkelt sett hver for seg, for så å finne de mest gjengående og interessante parameterne til bruk i videre analyse.

Rent overordnet er data strukturert i fire hoveddeler: prosjektinfo, nøkkeltall, estimatkostnader og sluttkostnader. Prosjektinformasjonen skal inneholde de karakteristiske kvalitative egenskapene ved hvert enkelt prosjekt. Nøkkeltallene består av hvert prosjekt sine kvantitative egenskaper i form av basisestimat, total sluttkostnad, forventet tillegg og usikkerhetsavsetning. I tillegg har vi valgt å inkludere verdiene for P50 og P85 for de prosjektene hvor dette er oppgitt. Kostnadene tilknyttet estimatene baserer seg på basisestimatet ved investeringsbeslutning eller ferdig forprosjekt. Det samme gjelder for sluttkostnader, men i dette tilfellet er tallene representert av påløpte kostnader underveis i prosjektet.

Underkategoriene for estimatkostnadene og sluttkostnadene er som nevnt tidligere identiske og basert på bygningsdelstabellen. For datasett hvor kostnader er inndelt på et mer detaljert nivå enn «én-siffer», i.e. «tosiffer» eller mer, så har vi valgt å slå sammen postene til kun ett nivå. Dette gjelder i hovedsak post 2, 3 og 8 for de ulike byggherreorganisasjonene. For hver kategori har vi også lagt til en kolonne for kvadratmeterpris (estimert kostnad / BTA) som vil vise seg nyttig i senere analyser.

3.3.1 FILTRERING AV DATASETT

Filtrering av datasett gjøres for å finne et kompromiss mellom antall datapunkter og datakvalitet. Det samlede datasettet inneholder 489 datapunkter (prosjekter) fra fem ulike byggherreorganisasjoner. I studien er det 215 av disse punktene som inneholder det meste av nødvendig data og som ikke er filtrert ut. I første omgang har datapunkter blitt filtrert ut basert på følgende kriterier:

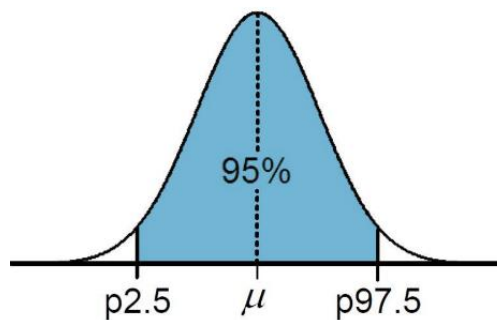
- Mangler dato for prisnivå på estimatkostnad eller sluttkostnad.
- Mangler kostnadsestimer- og/eller sluttkostnad.
- Mangler informasjon om prosjektets entreprisemodell, tiltakstype eller bygningstype.

Årsakene til mangler i data kan være at data ikke er fylt inn eller at prosjektet ikke ennå er ferdigstilt og derfor har ukjente sluttkostnader.

Videre gikk vi manuelt gjennom databasen og oppdaget fire punkt hvor avvikene mellom estimat og sluttkostnad var såpass ekstreme at føringen var tydelig feil. Datapunktene ble markert og fjernet fra datasettet.

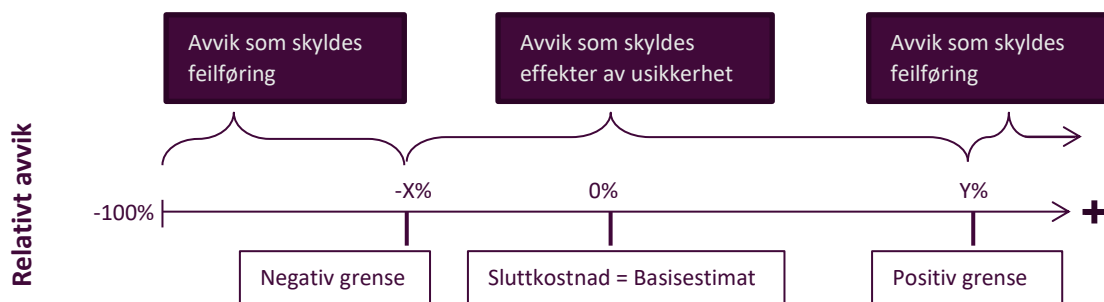
Datadrevne metoder vil videre ikke være en god metode for å gi benchmark-/referanseverdier for prosjekter med ekstreme verdier, såkalte *outliers*, eller utliggere. Store avvik mellom basisestimat og sluttkostnad kan skyldes generell usikkerhet, men det er også en stor sannsynlighet for at prosjektet har hatt store omfangsendringer eller at det har forekommet spesielt vanskelige og fordyrende forhold.

For å oppnå datasett der utliggere ikke inngår i analysene, er det valgt å neglisjere de fem prosent datapunktene med størst relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad for entreprisestkostnad. Dette gjelder da de 2,5 prosent prosjektene med høyest negativt relativt avvik, og de 2,5 prosent prosjektene med høyest positivt relativt avvik, som vist i Figur 8. Vi argumenterer for et slikt konfidensintervall med at prosjekter utenfor grensene representerer et ekstremtilfelle av avvik eller feilføring. Konfidensintervallet på 95 prosent er kun satt som en tommelfingerregel, og gjør at 12 prosjekter ikke er medtatt i analysene.



Figur 8 Normalfordeling som illustrerer et 95 prosent konfidensintervall

I tillegg er det begrenset hvilke datapunkter som kan brukes til analyser på én-siffernivå, som følge av feilføring av sluttkostnader. Eksempelvis vil det si at kostnadselementer som i grunnkalkylen var ført på post 1 Felleskostnader, har blitt ført på en annen post i rapportert sluttkostnad. Vi kaller dette *feilføring*. Dette blir forklart nærmere i kapittel 3.3.3. Feilføring kan skyldes at det er vanskelig å bryte opp en faktura / avdragsnota fra entreprenør i samme struktur som kontoplanen ved estimatet. Derfor har det blitt etablert henholdsvis en negativ og en positiv grense på relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad på én-siffernivå. Det gjøres dermed en antakelse om at avvik som overstiger grensen skyldes feilføring, og ikke usikkerhet, og at datapunktet dermed ikke egner seg til analyse på én-siffernivå. Figur 9 illustrerer positiv og negativ grense for relativt avvik.



Figur 9 Illustrasjon av positiv og negativ grense for relativt avvik mellom estimat og rapportert sluttkostnad. Grensene påvirker antall datapunkter som benyttes i analyse på én-siffernivå. X og Y indikerer henholdsvis den negative og positive grenseverdien.

På grunn av varierende fullstendighet i mottatte datasett er det forskjellige antall datapunkter som er anvendbare til forskjellige analyser. Til bruk i analysen har vi derfor valgt å filtrere inn i fire ulike datasett som brukes til forskjellige analyser. Dette er for å maksimere antall datapunkter som kan benyttes til hver enkelt analyse. Det resulterer i et stort antall regresjonsmodeller og noe forskjellige resultater. De fire datasettene er presentert i Tabell 7. Her er navnet som datasettene vil bli referert til videre i rapporten, sammen med antall datapunkter og en beskrivelse av hvilken filtrering som er gjort.

Tabell 7 Oversikt over datasett som blir benyttet i analyser.

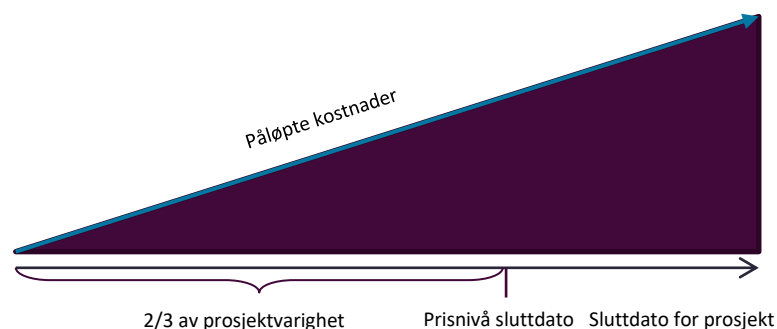
Navn på datasett	Antall (N)	Beskrivelse	Filtrering
All data	489	Alle datapunkter i databasen.	Ingen
Datasett 1	215	Datapunkter med tilstrekkelig informasjon til studiens analyser.	Iht. kriterier om tilstrekkelig informasjon.
Datasett 2	190	Datapunkter der areal er oppgitt.	Areal større enn 1 m ²
Datasett 3	84	Datapunkter som ikke har enkeltposter med et relativt avvik under et gitt minimum eller over et gitt maksimum	Negativ grense på post 1-6 på -30 % Negativ grense på post 7 på -50 % Positiv grense på post 1-6 på 100 % Positiv grense på post 7 på 300 %
Datasett 4	78	Datapunkter som ikke har enkeltposter med et relativt avvik under et gitt minimum eller over et gitt maksimum, og som har oppgitt areal	Negativ grense på post 1-6 på -30 % Negativ grense på post 7 på -50 % Positiv grense på post 1-6 på 100 % Positiv grense på post 7 på 300 % Areal større enn 1 m ²

Datasett 1 og Datasett 2 vil bli brukt til analyser som gjøres på prosjektets relative avvik mellom totalkostnad for estimat og sluttkostnad. Her er ikke datapunkter filtrert ut basert på grenser for relative avvik på postene, fordi når vi ser på helheten av prosjektet er ikke feilføring på én-siffernivå viktig å ta hensyn til. For Datasett 3 og Datasett 4 er det viktig å filtrere ut prosjekter der det åpenbart er feilføring mellom postene, da disse datasettene vil bli brukt til analyser på 1-siffernivå. Grensene er satt basert på en kvalitativ diskusjon. Det er i filtreringen satt ulike grenser for post 7 enn for post 1-6. Dette er gjort på bakgrunn av antakelsen om at post 7 Utomhus ofte enten kan få et redusert omfang og bli nedprioritert, eller at det er satt av et relativt lite beløp som prosentvis kan øke mye ved små endringer. Det er dessuten vurdert som lite sannsynlig at kostnader blir flyttet fra post 1-6 over til 7 fra estimat til rapportert sluttkostnad.

3.3.2 INDEKSREGULERING AV KOSTNADER / PRISJUSTERING

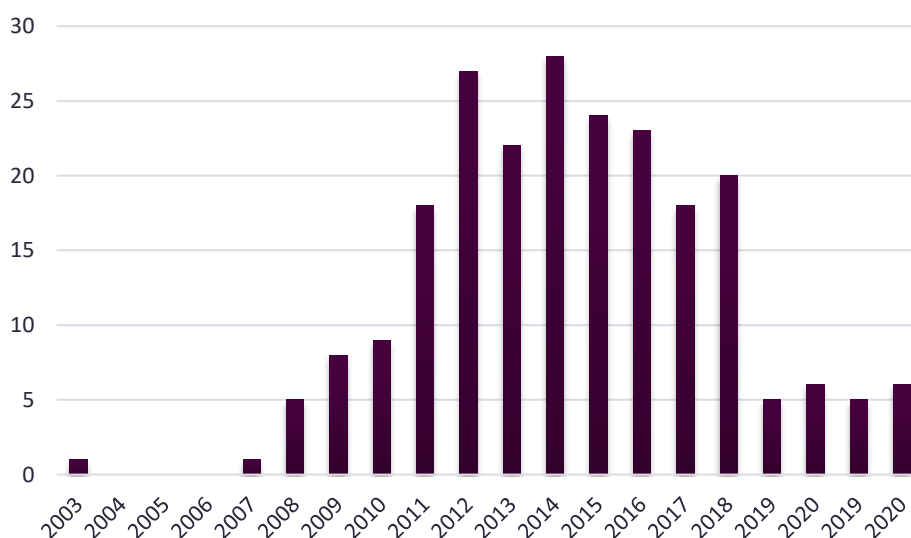
Datasettet består av prosjekter gjennomført i perioden 2003 til 2020. For å fornuftig kunne sammenligne størrelsen på prosjekter fordelt utover nevnte tidsperiode er det hensiktsmessig å prisjustere prosjektene til et felles kroneår/prisnivå.

Det er også viktig å prisjustere den faktiske sluttkostnaden tilhørende prosjektet til samme prisnivå som estimatkostnadene. Dette gjøres for å beregne korrekt avvik, og videre relative avvik, mellom estimatene i fasen etter forprosjekt og rapporterte sluttkostnader. I studien har vi antatt at tyngdepunktet til kostnadsfordelingen til et prosjekt ligger 2/3 ut i prosjektets levetid. Etter samtaler med Statsbygg og Oslobygg ble det enighet om at dette er en generell antagelse som til vårt formål er nøyaktig nok. Dette kan illustreres ved å se for seg at prosjektkostnadene påløper lineært over prosjektets løpetid, som vist av Figur 10. Dette er ikke realiteten, men en tilnærming som fungerer som en grei forenkling.



Figur 10 Illustrasjon kostnadsfordeling gjennom et prosjekts levetid som grunnlag for prisnivå sluttkostnad.

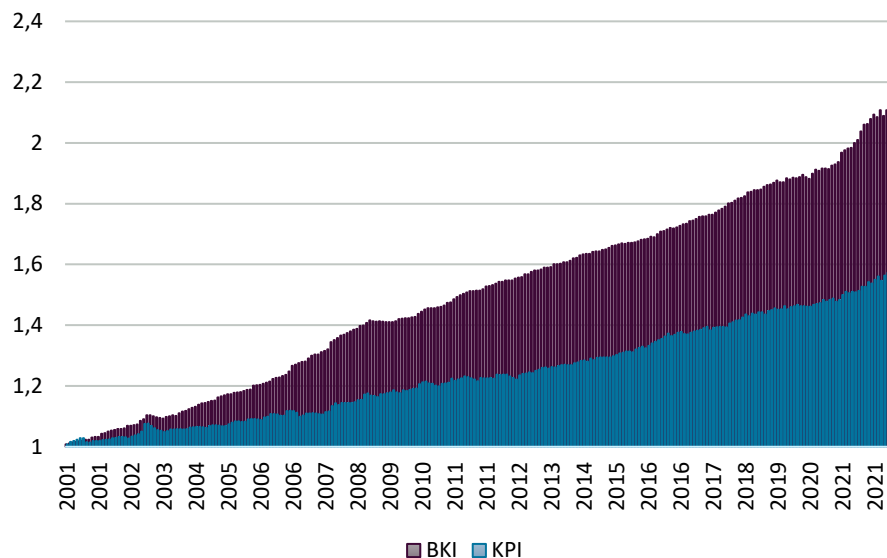
I Figur 11 er de 215 relevante prosjektene plottet langs en tidslinje som går fra 2003 frem til 2021. Årstallet representerer tidspunktet for to tredjedeler ut i gjennomføringsperioden.



Figur 11 Antall datapunkter i utvalg (N=215) per år. X-aksen viser årstall. Y-aksen viser antall datapunkter.

For å prisjustere både kostnadsestimatene etter gjennomført forprosjekt og sluttkostnad til de ulike prosjektene i databasen på en fornuftig måte er valg av prisindeks sentral. I byggebransjen er det vanligste å benytte Statistisk sentralbyrås «Byggekostnadsindeks for boligblokk» som prisjusteringsindeks. Etter samtaler med Statsbygg kom det frem at de bruker den såkalte SBED-indeksen for prisjustering internt. Denne er basert på Byggekostnadsindeksen for boligblokk fra SSB, og avviker i forholdsvis liten grad fra den. Det er i vår studie hensiktsmessig å benytte samme indeks på tvers av byggherrer, og vi anvender dermed SSB sin byggekostnadsindeks på samtlige prosjekter i databasen.

Byggekostnadsindeksen (BKI), i motsetning til konsumprisindeksen (KPI), er en «input-indeks». Den måler utvikling i innsatsfaktorer, herunder timepriser og materialpriser og ikke markedsprisene direkte. I perioder med høykonjunktur kan man oppleve at vekst i markedspriser er vesentlig høyere enn det BKI fanger opp, og motsatt i lavkonjunktur (Welde, 2017). Utvikling i BKI siden 2001 fremkommer av Figur 12.



Figur 12 Byggekostnadsindeks (BKI) og konsumprisindeks (KPI) utvikling i perioden 2001 – 2022.

Formelen for å prisjustere et gitt beløp er gitt av:

$$Beløp_i \prod_{i=1}^k \left(1 + \frac{BKI_i}{100} \right) \quad (2)$$

hvor

$Beløp_i$ er beløp oppgitt i prisnivå måned i .

BKI_i er månedsendring i prosent for SSB byggekostnadsindeks der siste måned, k , er satt til desember 2021.

Det vil si at vi prisjusterer alle beløp til prisnivået tilhørende årsskiftet 2021/2022. Prisnivået er satt til årsskiftet for å unngå den ekstreme prisutviklingen man har sett i 2022. På denne måten vil dataen være mer representativ for «normalår».

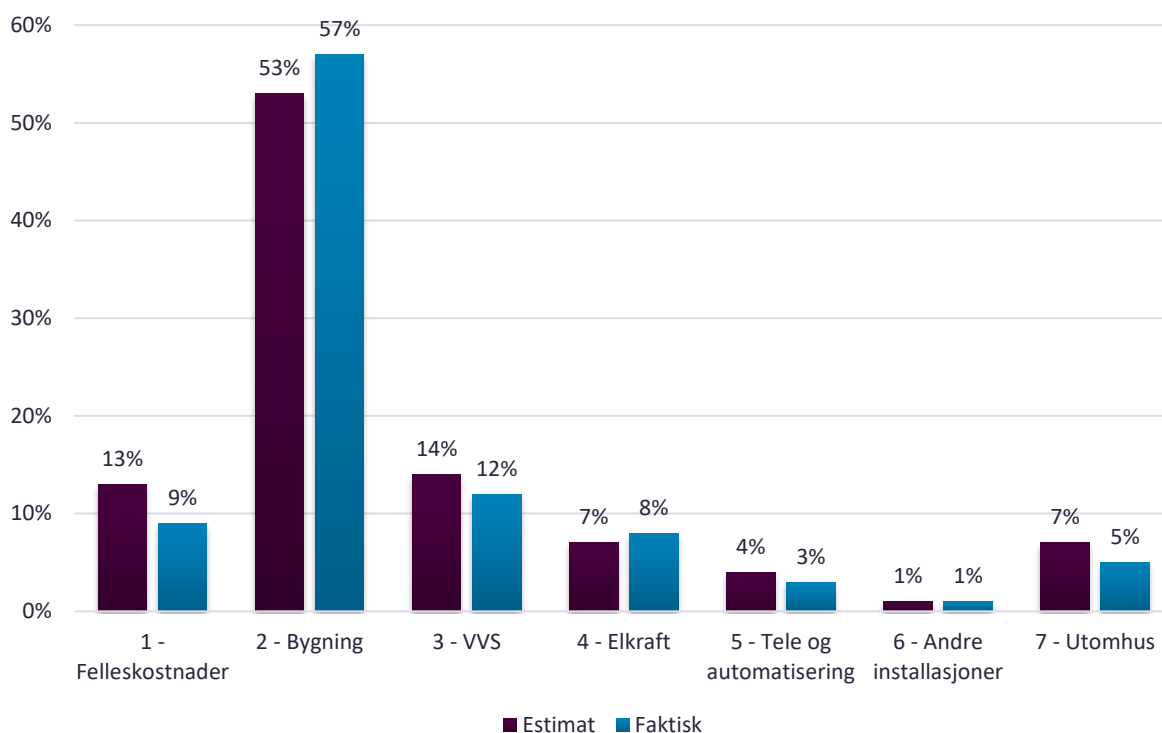
For data fra noen av byggherreorganisasjonene mangler tidspunktet prisjustering for sluttkostnaden skal regnes fra, nemlig «2/3-tidspunktet». Vi har i disse tilfellene satt tidspunktet 2/3 fra dato for estimatkostnad til dato for sluttkostnad.

Byggekostnadsindeksen har blitt brukt til å prisjustere postene 1-7 etter bygningsdelstabellen for både estimat- og sluttkostnadene. For post 8 har konsumprisindeksen (KPI) blitt benyttet. Valget med å skille på justeringen av postene begrunnes i at post 8 føres for interne kostnader, som for eksempel honorar til innleide konsulenter, og at KPI historisk sett er jevnere og i større grad representerer kostnaden av arbeidskraft enn BKI.

3.3.3 BEARBEIDING AV KOSTNADER PÅ ÉN-SIFFERNIVÅ

For å få en generell oversikt over datasettet, har vi sett på sammenhengen mellom estimert og faktisk kostnad på de ulike kapitlene i bygningstabellen. Det er ifølge byggherreorganisasjonene ikke nødvendigvis samsvar mellom hvilken post kostnader blir ført på i grunnkalkylen og i sluttkostnad. Dette har blitt undersøkt og blir tatt høyde for i analysen.

Figur 13 viser hvor stor andel hver enkelt post i entreprisen utgjør av henholdsvis estimert og faktisk entreprisekostnad når vi summerer opp postene for alle prosjektene i Datasett.



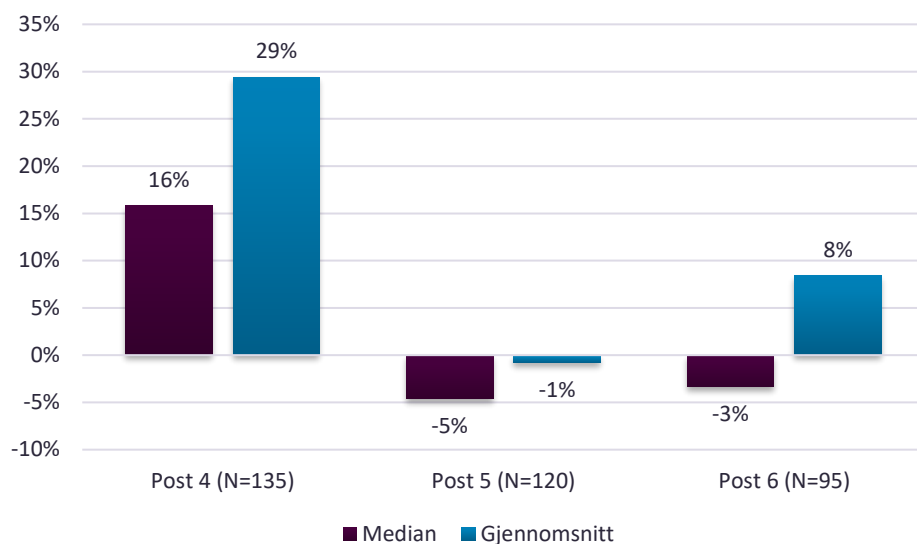
Figur 13 Estimert og faktisk kostnad for hver post i entreprisekostnaden på én-siffernivå etter bygningsdelstabellen, summert over alle prosjekter i Datasett 1 (N=215).

Fra figuren ser vi at summen av post 1 i datasettet utgjør en høyere andel av entreprisen i estimatet enn i sluttkostnaden, mens det for post 2 er motsatt. Det samme kan leses for flere av kapitlene i bygningsdelstabellen. Ved nærmere observasjoner av datasettet er det tydelig at flere prosjekter har sluttført alle kostnader fra én post over på en annen, og vi registrerer at dette i aller høyeste grad gjelder for post 4 til 6.

Dette kan enten bety at estimatet er helt feil, eller at loggføring og rapportering av sluttkostnader ikke samsvarer med estimatet. Basert på observasjon oppfatter vi sistnevnte som mest sannsynlig. Kostnadselementer som flyttes mellom poster fra estimat til rapportering av sluttkostnader kan være med på å skape et kunstig høyt avvik på én-siffernivå. Dette begrenser muligheten for datadreven analyse på én-siffernivå, da det vil medføre en betydelig feilkilde.

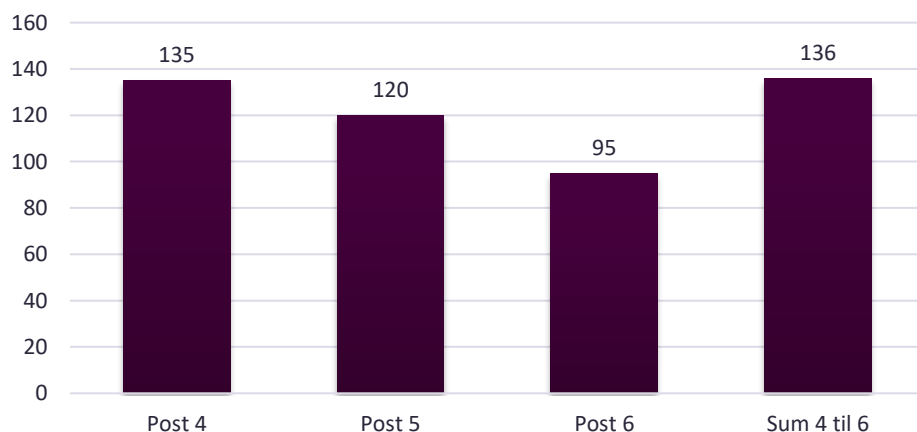
For å kunne gjøre analyser på én-siffernivå er det derfor etablert en filtrering som tar ut datapunkter med et relativt avvik over eller under bestemte grenseverdier, som forklart i delkapittel 3.3.1. Dette medfører at analyser på én-siffernivå baseres på et mindre datasett, noe som svekker reliabiliteten til resultatene. For å kunne øke dette antallet, er det gjort en sammenslåing av post 4 til 6, som blir forklart nærmere i dette kapittelet.

Fellesnevneren for post 4 til 6 er at alle i stor grad omhandler installasjon av elektrisk/elektronisk utstyr. Det innebærer at det kan være vanskelig å føre sluttkostnader på samme post som det var plassert på i estimatet, og dermed årsaken til feilføring av kostnader. Figur 14 viser et negativt relativt avvik for medianen til post 5 og 6. For post 4 er tilfellet motsatt, her er medianen positiv. Dette kan være en indikasjon på at kostnadene tilhørende post 5 og 6 i flere tilfeller skrives over på post 4 i gjennomføringsfasen av prosjektet.



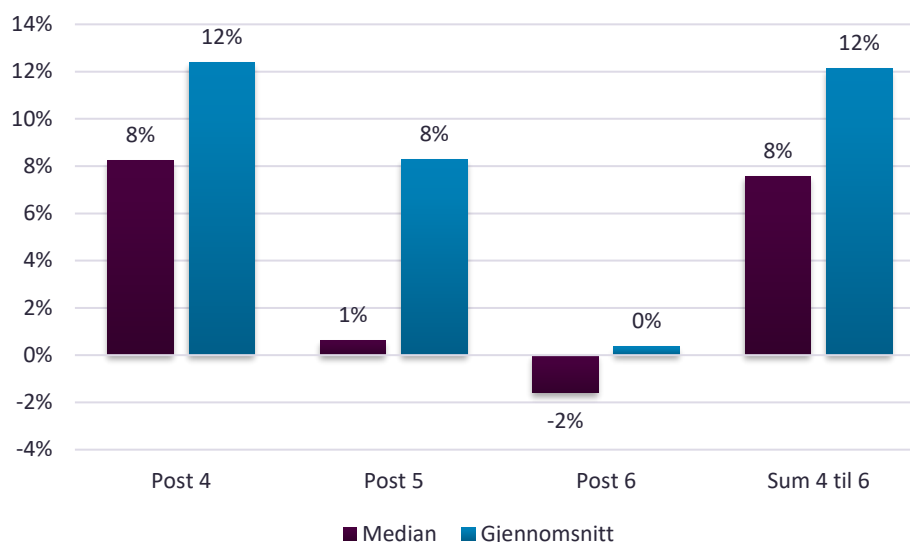
Figur 14 Relativt avvik i post 4 til 6 for datapunktene i Datasett 2. Alle datapunkter der post 1 til 3 har ført null i sluttkostnader er filtrert ut.

Ved å observere datasettet ser vi flere tilfeller der alle kostnader for eksempelvis post 5 og 6 har blitt ført på post 4 i rapportert sluttkostnad. Det vil si at det er ført null som sluttkostnad på post 5 og 6. En mulig løsning er derfor å summere disse postene til et felles kostnadselement. Figur 15 viser antall datapunkter som ikke har en sluttkostnad lik null.



Figur 15 Antall datapunkter i Datasett 2 som ikke har en sluttkostnad lik null.

Grepet med å slå sammen post 4 til 6 til et felles kostnadselement resulterer i flere datapunkter som lar seg analysere på én-siffernivå. Figur 16 viser relativt avvik for post 4-6 sett for seg selv og som et summert kostnadselement.



Figur 16 Relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad for forskjellige poster.

Det oppfattes at det relativt avviket for summen av post 4-6 høyere grad gjenspeiler det som har blitt vist i tidligere forsøk. Sammenslåingen av post 4-6 gir avvik som til større grad samsvarer med det som er normalt for det gitte datasettet, og mindre ekstreme verdier.

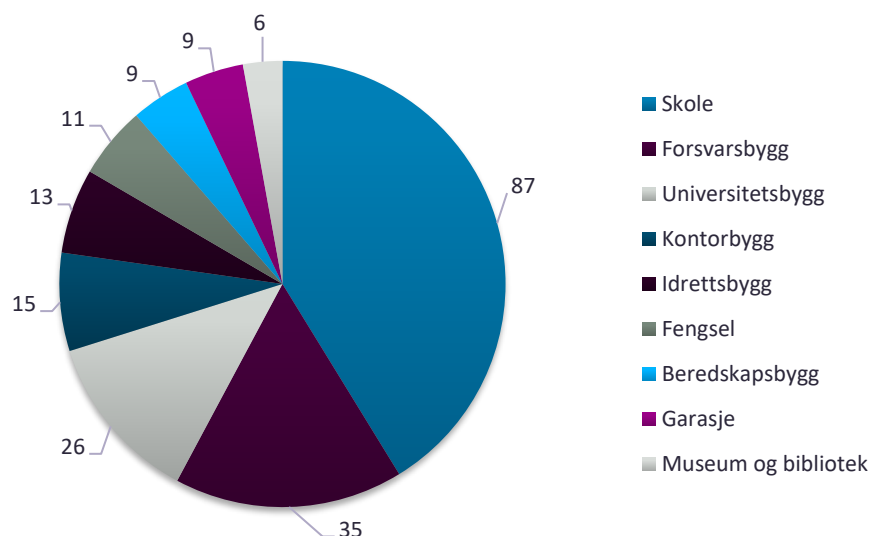
3.3.4 KATEGORISERING AV PROSJEKTINFORMASJON

Datasettene fra byggherrene er oppdelt i mange kategorier innenfor de tre karakteristikene bygningstype, entreprisemodell og tiltak/investeringstype. Flere av disse subkategoriene er spesifikke, og inneholder få datapunkter. Det er også brukt ulike navn på underkategorier som i stor grad representerer det samme. Blant annet er «samspill-entreprise» og «samspill» samlet i en felleskategori i det sammenstilte datasettet.

For å kategorisere karakteristikene bygningstype, investeringstype og entreprisemodell på en hensiktsmessig måte, er det gjennomført en kvalitativ vurdering. Hovedmålet med dette er å oppnå så sammenfallende kategorier som mulig, men samtidig ikke for spesifikke slik at en underkategori inneholder for få datapunkter.

BYGNINGSTYPE

Datapunktene fra de tre byggherreorganisasjonene var opprinnelig delt inn i 35 forskjellige bygningstyper, som vi har samlet i ti kategorier. Figur 17 viser andelen av hver enkelt bygningstype som inngår i datasettet som er brukt i analysene.



Figur 17 Bygningstyper i sammenstilt data.

I Vedlegg 2 er de opprinnelige bygningstypene listet opp sammen med klassifiseringen de har blitt tildelt i analysen. Videre vil det for flere analyseformål være lite hensiktsmessig selv med ti kategorier. Derfor har det blitt gjort en ytterligere inndeling i kun to kategorier: bygningstyper med henholdsvis høy og lav grad av særegenhet. Bygningstyper med lav særegenhet er de en kan forvente at har mange liknende referanseprosjekter å kunne basere estimatet på. Motsatt er det for bygningstyper av høy særegenhet, der det forventes at det er vanskeligere å finne gode referanseprosjekter. Fordelingen i kategoriene er gjort på bakgrunn av kvalitative vurderinger og fremkommer av Tabell 8.

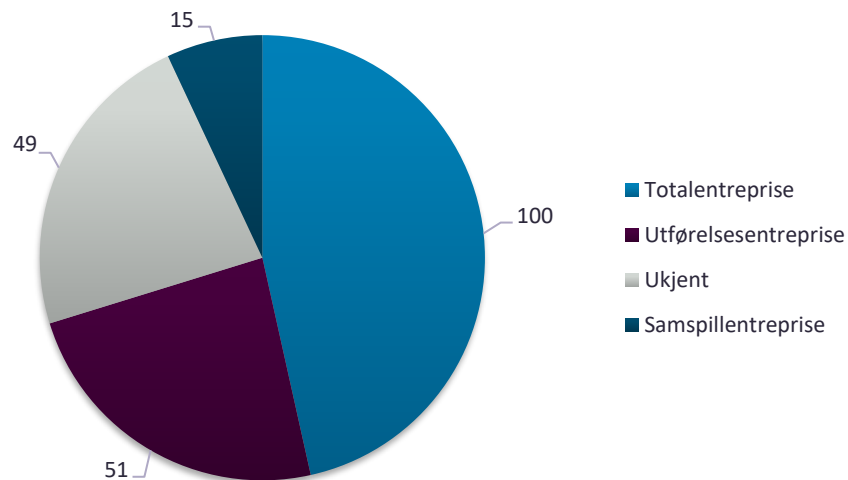
Tabell 8 Oversikt over klassifisering av bygningstyper med høy og lav særegenhet i analysen.

Særegenhet	
Lav	Høy
Skole	Universitetsbygg
Idrettsbygg	Fengsel
Kontorbygg	Beredskapsbygg
Garasje	Forsvarsbygg
Helsebygg	Museum og bibliotek

ENTREPRISEMODELL

Dataen fra byggherrene var oppgitt med åtte ulike entrepriseformer. I det sammenstilte datasettet er disse samlet i fire forskjellige kategorier. Figur 18 viser de nye, samlede kategoriene etter sortering. Av de 215 prosjektene ser vi at det er 167 som har oppgitt entreprisemodell. Datasettet fra FFI inneholder ikke info om entreprisemodell, og er følgelig ikke delt opp i kategorier og blir satt som «ukjent».

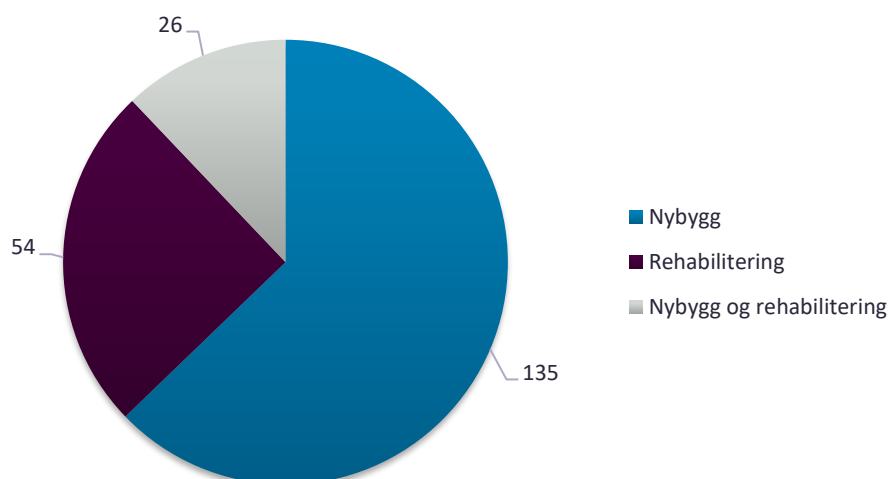
I Vedlegg 3 er de opprinnelige entrepriseformene listet opp sammen med klassifiseringen de har blitt tildelt i analysen.



Figur 18 Entrepriseformer i sammenstilt datasett.

INVESTERINGSTYPE

Når det kommer til investeringstype, var det i databasen opprinnelig 14 kategorier. Som Figur 19 viser, er disse samlet til de tre kategoriene «Nybygg», «Nybygg og rehabilitering» og «Rehabilitering» som vil bli brukt videre i analysen.

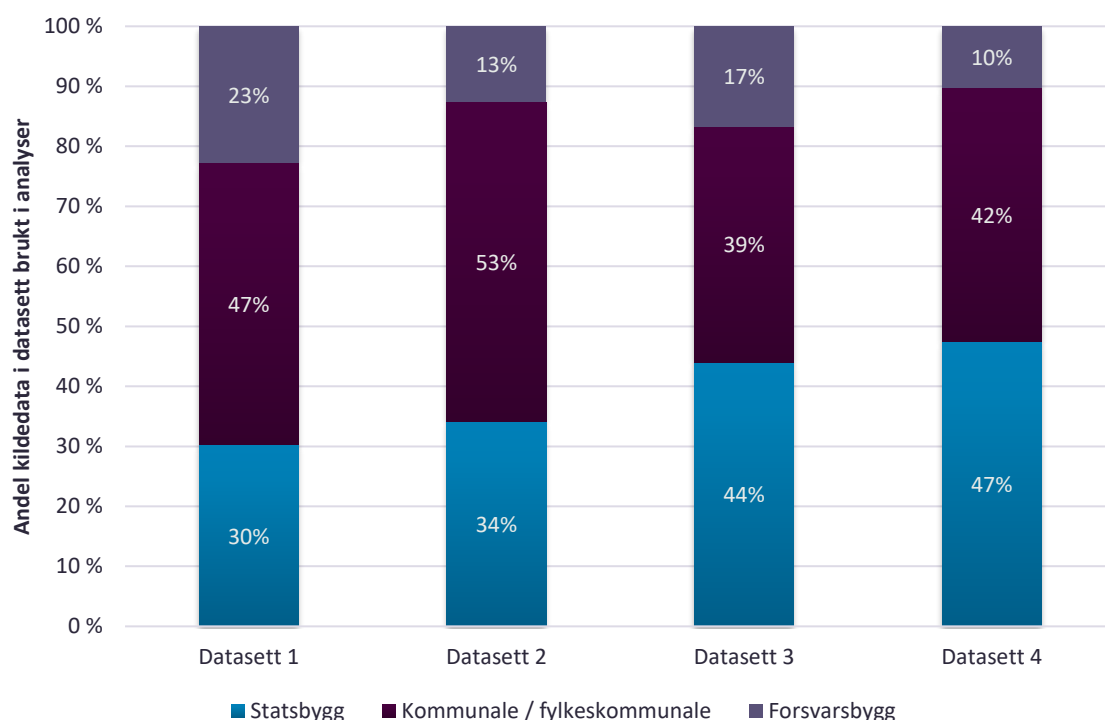


Figur 19 Investeringstype i sammenstilt datasett.

De opprinnelige investeringstypene er listet opp i Vedlegg 4, sammen med tilhørende klassifisering i analysen.

BYGGHERREORGANISASJON

Datasettene består av data fra Statsbygg, kommunale / fylkeskommunale prosjekter og Forsvarsbygg. Figur 20 viser fordelingen av kilde-data i de ulike datasettene beskrevet i Tabell 7.



Figur 20 Oversikt over datasettene sin datamengde fra de ulike byggherrene

3.4 KRITIKK AV DATAGRUNNLAGET

Det er flere utfordringer knyttet til datakvaliteten i denne studien. Gode data om gjennomførte prosjekter er vanskelig å oppdrive, og det eksisterer ikke gode standarder for hvordan data skal loggføres. Dessuten er hvert enkelt prosjekt unikt i den forstand at det samme prosjektet aldri vil gjennomføres igjen med de samme forutsetningene. Derfor er det i realiteten uendelig antall forklaringsvariabler for hvorfor et prosjekt gikk som det gikk. I dette delkapittelet løfter vi frem de viktigste utfordringene med datagrunnlaget.

OMFANGSENDRINGER

En kjent utfordring er omfangsendringer som skjer mellom ferdig estimat til prosjektferdigstillelse. Det vil si at prosjektet ender opp med å bli et annet enn det som var forutsatt i estimatet ved investeringsbeslutning. Ifølge Oslobygg skjer de største omfangsendringene i tidligfase, men det kan likevel forekomme store omfangsendringer i forprosjektet, detaljprosjektering og gjennomføring. Omfangsendringer kan skyldes ny innsikt hos prosjekteier, endrede rammebetingelser, interesserter, eller andre drivere. Mye av dette er ordinære usikkerheter i et prosjekt, men dersom omfangsendringene er betydelige, vil ikke prosjektet lenger representere det samme som det var.

I en usikkerhetsanalyse kan det skilles på omfangsendringer som er *nytteendrende*, og de som er forårsaket av *muligheter og risiko*, men som ikke påvirker nytten i stor grad. Omfangsreduksjon kan

komme som følge av et bevisst kutt i omfang som reduserer prosjektets nytteeffekt, eller at prosjektet griper en mulighet, der nytten blir bevart selv om prosjektets kostnadsomfang reduseres. Eksempelvis kan en styringsgruppe for ny omsorgsbolig i en kommune beslutte kutt i beboerkapasitet, som går ut over nytten. En kuttliste representerer ikke usikkerhet, men opsjoner for byggherreorganisasjonen. Det samme kan sies om omfangsøkning og plussliste, altså at styringsgruppen beslutter økt omfang for å øke nytten, snarere enn at det blir tvunget til å sette inn tiltak for å bevare nytten (risiko). Ved investeringsbeslutning burde forventet sluttkostnad representere prosjektet *med forutsetning om at det oppnår den tiltenkte nytten*. Datasettet inneholder ikke informasjon om prosjekter er underlagt omfangsendringer eller eventuelle årsaker. Ved gjennomgang av endringsloggen til hvert enkelt prosjekt kunne vi fremskaffet informasjon om dette, men det ville krevd en svært stor innsats. Det gjør at det kan stilles spørsmål ved om relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad i datagrunnlaget er representativt og anvendelig i en usikkerhetsanalyse. Dersom vi ønsker å kun ta muligheter og risiko i betraktning, kan resultater for medianen av relativt avvik enten være for stor eller for liten. Vi kan ikke vite om datasettet er dominert av omfangsøkning eller reduksjon som er nytteendrende.

I tidligere studier kan vi ikke se at dette er noe som blir hensyntatt i analysene. I Concept arbeidsrapport 2022-1 (Berg, et al., 2022) som studerer relativt avvik fra P50 blir ikke grad av omfangsendringer drøftet i tilknytning til resultatene. Vi anser dette som en grei praksis for å gjøre rene kvantitative analyser på kostnadsavvik, men understreker at dette er noe man må være bevisst på dersom resultater skal benyttes i datadrevne metoder for usikkerhetsanalyse

MARKEDSUSIKKERHET

Som kommentert i 3.1.1 har enkelte datapunkter mottatt fra Statsbygg andre forutsetninger for markedsusikkerhet, da de er basert på tilbud fra entreprenør. Markedsusikkerhet er på generell basis ansett som en av de største usikkerhetene i en forprosjektkalkyle. Det kan dermed forventes at variansen i det relative avviket mellom estimat ved investeringsbeslutning og sluttkostnad blir kunstig lavt for Statsbygg sine datapunkter. Spørsmålet er hvilken effekt dette vil ha på resultatene i studien. Historisk har det vært praksis å behandle markedsusikkerhet som en usikkerhetsfaktor med et symmetrisk spenn, i tråd med Concept-formelen for markedsusikkerhet (Berntsen & Sunde, 2004). Det vil si at oppsiden og nedsiden har lik relativ størrelse. Dette bidrar til å trekke opp standardavviket for prosjektets forventede tillegg, men ikke P50 (medianen). For en bygningsportefølje vil en stor, men symmetrisk markedsusikkerhet ikke påvirke porteføljekostnadens P50. Datasettet er å anse som en portefølje av gjennomførte byggeprosjekter. Vi kan derfor forvente at det relative medianavviket i datasettet ikke blir påvirket i stor grad av prosjekter uten markedsusikkerhet. Derimot kan vi forvente at 10- og 90-persentiler av relativt avvik blir smalere.

MODENHET

Fordi byggherreorganisasjonene har forskjellige prosjektmodeller og investeringsregimer, er det ikke nødvendigvis et likt modenhetsnivå på basisestimatet ved investeringsbeslutning. Enkelte byggherreorganisasjoner kan kreve et høyere eller lavere modenhetsnivå før de er villige til å gå videre til detaljprosjektering / gjennomføring. Vanligvis øker kostnaden i et prosjekt gjennom planleggingen, så årsaken til høyt relativt avvik for et prosjekt kan være lav modenhet ved investeringsbeslutning. Studien har ikke gjort et forsøk på å normalisere prosjektene til et likt modenhetsnivå, da dette ville vært preget av mange antagelser og konstruering av data. Usikkerhet i dette gjør at det er diskutabelt om data fra forskjellige byggherreorganisasjoner egentlig er sammenliknbare.

ENDELIG PROSJEKTKOSTNAD

For prosjekter som er ferdigstilt kan det i tillegg være oppdukkende kostnader flere år etter ferdigstillelse (Welde, et al., 2019). Ettersom flere av prosjektene i datasettet er ferdigstilt de siste årene, er det mulighet for at rapportert sluttkostnad ikke er endelig og at det vil tilfalle flere kostnader.

RAPPORTERINGSRUTINER

Ulike rutiner for rapportering av faktiske kostnader skaper utfordringer knyttet til nøyaktighet og konsistens. Byggherrer har varierende grad av systemer for kostnadsføring. Dette kan gi avvik i datasettene som kommer av rutine for loggføring, og ikke faktisk prosjektgjennomføring. Som vi har sett er det stor inkonsistens i kostnadsføring på de ulike postene i bygningsdelstabellen. Vi kan heller ikke vite hva som legges i de forskjellige postene. Det er vanlig at en prosjektkalkyle inneholder en uspesifisert-post, på eksempelvis 5 til 15 prosent. Om denne er fordelt flatt ut over de forskjellige postene, eller om den ligger som en samlet post i post 9, vet vi ikke. Det gjør at analyser av relativt avvik kan bli sterkt preget av dette.

Rapportering av sluttkostnader for totalentrepriser kan være umulig for byggherre å allokere til riktig post på énsiffernivå. Det kan være store feilkilder i dette, og byggherreorganisasjonene har sine egne metodiske tilnærminger til et resultat for sluttkostnad på postnivå.

Vi mener, på tross av disse svakhetene i datasettet, at volumet av data og utvalget av byggeprosjekter i databasen burde være representativt for å kunne gjennomføre analyser som kan gi troverdig innsikt om sammenhenger mellom prosjektkarakteristikker og relativt avvik i estimerte og faktiske prosjektkostnader.

4 ANALYSEMETODE

For å besvare forskningsspørsmålet nyttiggjør vi databasen av prosjekter beskrevet i kapittel 3.3. Vi gjennomfører en deskriptiv analyse for å undersøke sammenhenger og korrelasjon med visuelle fremstillinger. Videre benytter vi regresjonsanalyse for å kunne vurdere om sammenhengene skyldes tilfeldigheter eller andre forklaringsvariabler.

4.1 DESKRIPTIV ANALYSE

Vi har utformet et Excel-basert verktøy for å gjøre deskriptive, endimensjonale analyser fra databasen. Verktøyet legger til rette for raske analyser som belyser interessante sammenhenger mellom prosjektkarakteristikker og relativt avvik mellom estimat og faktisk sluttkostnad. I denne studien blir relativt avvik benyttet for differansen mellom sluttkostnad og estimerte kostnader, som vises av likning 1.

$$\text{Relativt avvik (RA)} = \frac{\text{Sluttkostnad} - \text{Estimat}}{\text{Estimat}} \quad (1)$$

I verktøyet er det lagt opp til en filtrering som gjør at utvalg kan hentes ut av hele datapopulasjonen. På denne måten kan vi sortere relevant data for en bestemt prosjektkarakteristikk og resultatene for filtrert data vil oppdateres automatisk. Resultatene knyttet til et utvalg kan dermed hentes direkte ut og sammenlignes med andre utvalg. Filtrene er knyttet opp til kategoriene av prosjektinformasjon som består av "tiltak", "entreprisemodell", "byggherre" og "bygningstype". Det er også mulig å filtrere etter størrelse i totalkostnad, BTA og kvadratmeterpris. Verktøyet er programmert slik at alle filtrene kan kombineres, eller det kan kun brukes ett. På denne måten kan bruker justere hvor stort utvalget skal være.

Resultatene som kan hentes ut fra Excel-verktøyet er gjengitt i Tabell 9 med tilhørende formel som brukes. Vi har valgt disse variablene fordi vi anser det som hensiktsmessig informasjon å bruke i analysene. I figurene fra den deskriptive analysen er det i de fleste tilfeller inkludert median, 10-persentil og 90-persentil for relativt avvik i datautvalget. Dette er gjort for å illustrere spredningen i verdiene i datautvalget.

Tabell 9 Resultater som beregnes i Excel-verktøyet med tilhørende formler og enheter.

Resultat	Formel	Enhet
P10	PERCENTILE.EXC	%
Median	MEDIAN	%
Gjennomsnitt	AVERAGE	%
Standardavvik	STDEV.S	%
P90	PERCENTILE.EXC	%
Antall prosjekter	COUNTA	

Som nevnt kan bruker av verktøyet justere størrelse på utvalget som skal benyttes. Her er det viktig å gjøre en vurdering av om antall datapunkter som blir igjen etter filtreringen gir tilstrekkelig reliabilitet. Det vil si: et stort antall gyldige datapunkter gir større troverdighet enn et lite antall. Enkelte analyser blir ikke gjennomført på grunn av at vi sitter igjen med for få datapunkter etter filtreringen. I tillegg til å vurdere antallet datapunkter har vi valgt å benytte standardavvik til å

indikere om resultatene er solide eller ikke. Et stort antall datapunkter med lav spredning oppfattes som en tydeligere indikasjon på sammenheng mellom karakteristikken og relativt avvik enn motsatt tilfelle.

Fremgangsmåten i den deskriptive analysen kan oppsummeres i følgende punkter:

1. Ta utgangspunkt i en prosjektkarakteristikk som skal studeres.
2. Velg ett av de fire datasettene, basert på informasjonen som kreves for å studere sammenhenger.
3. Filtrer datasettet med forskjellige karakteristikker og se hvordan median, gjennomsnitt og standardavvik på relativt avvik i datasettet endrer seg.
4. Vurder om funnene er interessante og om antall datapunkter er tilstrekkelig.
5. Illustrer dataene med figurer og tabeller.

Fremgangsmåten gir grunnlag for de deskriptive analysene som er presentert i kapittel 5.

4.2 REGRESJONSANALYSE

En svakhet ved den deskriptive analysen er at det er vanskelig å vurdere om de studerte sammenhengene skyldes tilfeldigheter eller andre karakteristikker og variabler. Samvariasjon mellom flere variabler blir ikke fanget opp i den deskriptive analysen. Regresjonsanalyse kan derimot vurdere effekten av flere variabler samlet.

Regresjonsanalyse benyttes for å undersøke hvordan en avhengig variabel avhenger av én eller flere forklaringsvariabler, også kalt uavhengige variabler. I denne studien vil den avhengige variabel være relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad, men forklaringsvariabler vil være prosjektkarakteristikker.

Hensikten ved å anvende regresjon er å oppnå større kunnskap om sammenhenger avdekket fra den deskriptive analysen. Regresjonsanalyse baserer seg på antagelsen om at oppførselen til en variabel kan bli delvis forklart av en matematisk modell som inkluderer andre variabler.

En enkel modell er definert som:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (3)$$

Hvor Y_i er avhengig variabel, β_0 er konstantleddet som definerer krysningepunktet på Y-aksen, β_1 er koeffisienten til forklaringsvariabelen X_i . Feilleddet ϵ_i representerer vertikal avstand fra et datapunkt til regresjonslinjen.

For å bestemme den beste regresjonslinjen benyttes den vanligste og mest anerkjente metoden, nemlig minste kvadraters metode (OLS). Denne metoden minimerer summen av kvadrerte residualer dannet av datapunktene og estimerte regresjonslinje.

Fordelen med regresjonsanalyse er at man kan undersøke den statistiske signifikansen til eksempelvis relativt kostnadsavvik på tvers av ulike entreprisereformer. Det er også en fordel å kunne inkludere flere ulike variabler for å forklare variasjon i den avhengige variabelen som studeres. En av utfordringene ved regresjon er utelatt variabelskjevhet. Det oppstår hvis det mangler en variabel i modellen og den utelatte variabelens effekt på avhengig variabel blir fanget opp av en av de inkluderte variablene. Vi etterstreber å unngå dette ved å tilpasse modellen til å inkludere så mange forklaringsvariabler som virker hensiktsmessig, men skjevheten er likevel viktig å ha i bakhodet ved tolkning av regresjonsresultatene.

Multivariat regresjon blir i empiriske analyser ofte brukt som et verktøy for å kunne påvise kausalitet, men i statistisk analyse av ikke-eksperimentell data er det diskuterbart om det er mulig å påvise kausalitet (Finseraas & Kotsadam, 2013). Datasettet som er brukt i denne studien er basert på historiske observasjoner, og blir derfor offer for det *fundamentale inferensproblemet*: Vi får kun observert ett av utfallene for hvert enkelt prosjekt med de samme forholdene og karakteristikkene. Derfor blir det gjennomgående i analysen ikke konkludert med noen form for kausalitet i statistiske funn. Vi vil i kapittel 6 drøfte mulige forklaringer på sammenhenger da dette er avgjørende for å kunne benyttes i fremtidige vurderinger av usikkerhet i prosjekter.

FORKLARINGSGRADEN R^2

I en regresjonsmodell illustrerer forklaringsgraden R^2 hvor mye av variasjonen i den avhengige variabelen som forklares av inkluderte uavhengige variabler. For å hensynta at R^2 vil stige uansett hvilken variabel som inkluderes i modellen, fordi noe av variasjonen i avhengig variabel vil kunne forklares av tilfeldigheter, nyttiggjør man «justert R^2 ». Denne justerer seg i forhold til antall uavhengige variable: hvis du inkluderer en unyttig variabel i en regresjonsmodell vil «justert R^2 » synke. Motsatt vil den øke hvis variabelen hadde nytteverdi. For å inkludere et fornuftig antall forklaringsvariabler i modellene våre vil vi derfor fokusere på justert R^2 , selv om vi i regresjonstabellene rapporterer R^2 .

En lav verdi for R^2 betyr at det er flere ukjente forklaringsvariabler som ikke er medtatt i modellen. I alle regresjonsmodellene i denne analysen er R^2 mellom 0,19 og 0,52. Det vil si at resultater fra regresjonsanalysene ikke kan forkaste sammenhenger studert i den deskriptive analyse, men det vil likevel bidra til å kunne vurdere hvilke prosjektkarakteristikker som faktisk er korrelert med relativt avvik mellom estimerte kostnader og sluttkostnader.

TESTER FOR Å VALIDERE REGRESJONSMODELLENE

For å verifisere resultatene fra regresjonsmodellene vil vi teste at relevante forutsetninger for å benytte minste kvadraters metode er oppfylt. Dette vil gi oss en forventningsrett minste kvadraters metode estimator med så lav varians som mulig. I forbindelse med regresjonsanalysen er det derfor testet for multikollinearitet ved VIF-test og heteroskedasitet ved å anvende en Breusch-Pagan test.

4.2.1 TOLKNING AV REGRESJONSTABELLER

Ved tolkning av de estimerte sammenhengene fra regresjonsmodellene fokuserer vi på signifikansnivået til de estimerte koeffisientene tilhørende forklaringsvariablene inkludert i modellen. Signifikansnivå bestemmes av P-verdien, som representerer sannsynligheten for at den uavhengige variabelen *ikke* er korrelert med målvariabelen, det vil kaller *nullhypotesen*. Dersom P-verdien er lav, indikerer det stor sannsynlighet for at den uavhengige variabelen faktisk er korrelert med målvariabelen, som gir argumenter for å forkaste nullhypotesen. Vi definerer tyngden for dette argumentet med *forkastningsnivåer* av P-verdien.

Signifikans illustreres med stjerner i regresjonstabellene. Én stjerne representerer en signifikant sammenheng på 10 prosent forkastningsnivå, to stjerner 5 prosent og tre stjerner 1 prosent. En P-verdi på eksempelvis 0,04 vil dermed tilsi en signifikant sammenheng på 5 prosent forkastningsnivå og følgelig to stjerner. I analysene våre tolker vi P-verdier større enn 10 prosent som en indikasjon på en sammenheng. Indikasjoner kan være verdt å legge merke til, men det er like viktig å ikke vektlegge disse i for stor grad.

Selv om en uavhengig variabel blir merket med lav signifikans (stor P-verdi), er det ikke nødvendigvis grunnlag for å si at variablene ikke korrelerer, dersom regresjonsmodellens R^2 er liten.

Med en høyere forklaringsgrad, det vil si innføring av bredere data om prosjektene, kunne det vist seg at den uavhengige variabelen blir mer signifikant enn vi ser i våre analyser. Derfor blir funn fra både den deskriptive analysen og regresjonsanalysen presentert i oppsummeringer av hver enkelt analyse.

4.3 FORUTSETNINGER FOR TOLKNING AV ANALYSERESULTATER

Som forklart i kapittel 3.4 er det mulighet for store feilkilder i datagrunnlaget. Fremtidige studier kan forhåpentligvis ha tilgang til mer standardisert data for analyser, og større volum. I denne studien er det viktig å forstå at resultater må tolkes gitt de forutsetninger og feilkilder som gjelder, og at det snarere enn å tillate kvantitative konklusjoner, heller gir grunnlag for indikasjoner for tendenser og hypoteser til videre forskning.

Følgende forbehold og forutsetninger gjelder for tolkning av resultater i analysene:

- Det forutsettes at alle medgåtte kostnadselementer i hvert prosjekt er med i sluttkostnaden, og at den totale sluttkostnaden dermed er rapportert fullstendig.
- Det forutsettes at estimer i databasen har et relativt likt modenhetsnivå på tvers av de forskjellige byggherreorganisasjonene.
- Det antas at kalkylen ved ferdig forprosjekt representerer markedet på tidspunktet for investeringsbeslutning. Det antas også at markedsfaktoren er symmetrisk i en ordinær markedssituasjon. Det tas forbehold om at dette tillater sammenstilling av data med og uten markedsusikkerhet i prosjektene.
- Det forutsettes at kostnadselementer i estimatet for post 8-10 ikke er ført på post 1-7 i sluttkostnaden, og motsatt. I analysen gjøres det i hovedsak analyser på entreprisekost-nivå.
- Det forutsettes at omfangsendringer i prosjektene i databasen representerer et typisk nivå av omfangsendringer, som også kan forventes i andre prosjekter.
- Det forutsettes at kostnader er slutført på samme post etter bygningsdelstabellen som i estimatet dersom det er innenfor negativ og positiv grense, som definert i kapittel 3.3.
- «Uspesifisert» i basisestimatet er likt kostnadsført i alle prosjekter i datasettet, om det så er felles plassert i post 9 eller flatt distribuert over alle poster i prosjektet.
- Alle kostnadstall er ekskl. mva.

Gitt datagrunnlaget, våre forbehold og forutsetninger så gjelder følgende for bruk av resultatene:

- Resultatene kan ikke brukes til å prognostisere forventet tillegg for et vilkårlig prosjekt. Vår oppfatning er at det alltid må gjøres en kvalitativ vurdering av usikkerhet i hvert enkelt prosjekt og at kvantitativ usikkerhetsanalyse må gjøres av kvalifiserte og erfarne personer. Statistisk analyse og datadrevne metoder kan fungere som en støttefunksjon, men ikke som en erstatning for en individuell usikkerhetsanalyse med nøkkelpersoner og fagekspert.
- Resultatene skal ikke brukes til å prognosere tripplestimer på én-siffernivå for et vilkårlig prosjekt. Dette hadde vært svært spennende å gi benchmark-verdier for, men datakvaliteten og volumet er ikke tilstrekkelig til å kunne konkludere på et usikkerhetsspenn for bestemte usikkerheter.
- Resultatene skiller ikke på forskjellige typer usikkerhet som årsak for relativt avvik. Det krever svært mye ressurser og detaljert data å spore opp rotårsaker til avvik i et prosjekt. Noen usikkerhetsfaktorer trekker kostnadene opp, mens andre trekker ned. I denne studien har det ikke vært mulig å gjøre vurderinger for å ta høyde for dette.
- Vi har ikke utført analyser på post 9 – spesielle kostnader. Dette fordi vi oppfatter at dette sjeldent lar seg sammenlikne eller benyttes som referanse på tvers av prosjekt.

5 ANALYSERESULTATER

Dette kapittelet tar for seg analyser av prosjektkarakteristikker beskrevet i kapittel 4. Analysene er inndelt i delkapitler. Kapittel 5.1 inneholder en analyse av hvor godt total sluttkostnad samsvarer med P50 for prosjektene i datasettet, og dermed kostnader aggregert opp på totalkostnad for prosjektet. Kapittel 5.2 og 5.3 inneholder analyser av sammenheng mellom relative avvik i entreprisekostnad og forskjellige prosjektkarakteristikker. Dette utgjør hoveddelen av analysen, og gir grunnlag for metodeutvikling av datadrevet usikkerhetsanalyse. Hver enkelt analyse er strukturert ved å først gjennomføre en deskriptiv analyse, og deretter undersøke karakteristikkenes signifikans ved regresjonsanalyse. Kapittel 5.4 ser på det samme, men kun for post 8 Generelle kostnader.

5.1 SLUTTKOSTNAD I FORHOLD TIL BASISESTIMAT OG P50

Concept-rapport 59 (Welde, et al., 2019) har studert hvor godt prosjekter som har gjennomgått KS2 treffer på P50 og P85. Undervurdering av usikkerhet i et prosjekt kan ha de konsekvensene at prosjektet overskrider styrings- eller kostnadsrammen. Overvurdering av usikkerhet har motsatt effekt, med de konsekvensene at det settes av for mye midler for å håndtere usikkerhet, noe som kan fortrenge andre investeringer.

For å etablere grunnlaget for hvordan datadrevet usikkerhetsanalyse kan bidra til å gi bedre styringsrammer, men også bli bedre kjent med datasettet, har vi valgt å gjøre en tilsvarende, forenklet analyse av samsvar mellom sluttkostnad og P50 på studiens dataunderlag. Datautvalget er prisjustert på lik måte som blir presentert i kapittel 3.3.2, og alle datapunkter der det er oppgitt null forventet tillegg (basisestimat = P50) er også tatt ut.

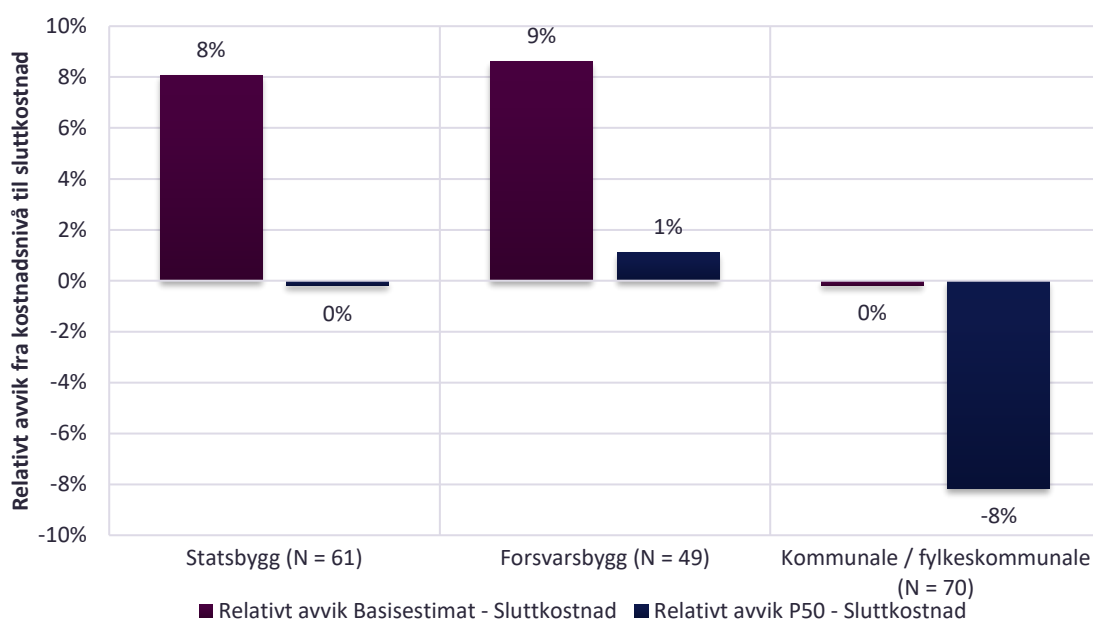
Tabell 10 viser hva som har vært forventet tillegg, relativt avvik mellom basisestimat og sluttkostnad og relativt avvik mellom P50 og sluttkostnad over datasettet der det har vært mulig å oppdrive. Tallene som blir presentert viser medianverdien, gjennomsnitt og standardavvik.

Tabell 10 Forventet tillegg, avvik mellom basisestimat (BE) og sluttkost, samt avvik mellom P50 og sluttkostnad. Nederste rad viser andelen av prosjektene med en verdi større enn null.

N = 180	Forventet tillegg $\frac{P50 - BE}{BE}$	Avvik fra estimat $\frac{Sluttkost - BE}{BE}$	Avvik fra P50 $\frac{Sluttkost - P50}{P50}$
Median	9,6 %	3,8 %	-5,8 %
Gjennomsnitt	10,0 %	5,3 %	-4,2 %
Standardavvik	4,3 %	18,3 %	16,3 %
Andel av utvalg større enn null	100%	56,5 %	39,4 %

Tabellen viser at det over hele datasettet i gjennomsnitt har vært en lavere sluttkostnad enn P50. Kun 39 prosent av prosjektene har en kostnad som overstiger P50. Årsaker til dette kan være mange, både knyttet til god kostnadsstyring, systematisk overestimering av P50, overrepresentasjon i datasettet av usikkerhet som gir oppsider (besparelser) eller større omfangsreduksjon knyttet til bevisste kutt.

For å presentere hvordan de forskjellige byggherreorganisasjonene sine datapunkter påvirker resultatene, blir median for relativt avvik fra henholdsvis basisestimat og P50 hos hver enkelt byggherreorganisasjon presentert i Figur 21 (kommunale / fylkeskommunale prosjekter er slått sammen).



Figur 21 Relativt mediaavvik fra henholdsvis basisestimat og P50 til sluttkostnad i datasettet, fordelt etter hver av de tre dataeierne.

Figuren viser at det er store forskjeller mellom aktørene som har bidratt med data. Avvikene og størrelsen på P50 i forhold til basisestimatet (forventet tillegg) fremkommer av Tabell 11. Forventet tillegg er gitt som medianen i datasettet sortert etter byggherreorganisasjon.

Tabell 11 Forventet mediantillegg og relativt mediaavvik fra henholdsvis basisestimat og P50 til sluttkostnad i datasettet, fordelt etter hver av de tre dataeierne.

	Forventet tillegg $\frac{P50 - BE}{BE}$	Avvik fra estimat $\frac{Sluttkost - BE}{BE}$	Avvik fra P50 $\frac{Sluttkost - P50}{P50}$
Statsbygg (N = 61), median	11 %	8 %	0 %
Forsvarsbygg (N = 49), median	7 %	9 %	1 %
Kommunale / fylkeskommunale (N = 70), median	10 %	0 %	-8 %

Tabellen viser at data fra kommunale / fylkeskommunale prosjekter trolig er preget av svært god kostnadsstyring eller overestimering. Prosjektene har en median for forventet tillegg på 10 prosent, men har likevel en sluttkostnad lik basisestimatet (0 prosent avvik fra estimat). Når vi studerer

datasettet nærmere, ser vi at 39 prosent av prosjektene har en sluttkostnad som overstiger basisestimatet, og 27 prosent overstiger P50. For datasettene fra Forsvarsbygg og Statsbygg er medianen for relativt avvik svært nærme null. Det vil si at halvparten av prosjektene har oversteget P50 sett over hele porteføljen. Slik P50 vanligvis brukes, burde halvparten av prosjektene ha en kostnad over P50, og den andre halvparten under.

Vi ser altså at datasettet bestående av kommunale / fylkeskommunale prosjekter skiller seg ut i nokså stor grad fra de to andre datasettene. Vi har ikke grunnlag for å si hva dette kan skyldes, og vil behandle datagrunnlaget likt gjennomgående i analysen.

Oppsummering: Datasettene fra Statsbygg og Forsvarsbygg har en P50 som representerer faktisk projektkostnad på en god måte. Prosjektene i datasettet bestående av kommunale / fylkeskommunale prosjekter har en overestimert P50.

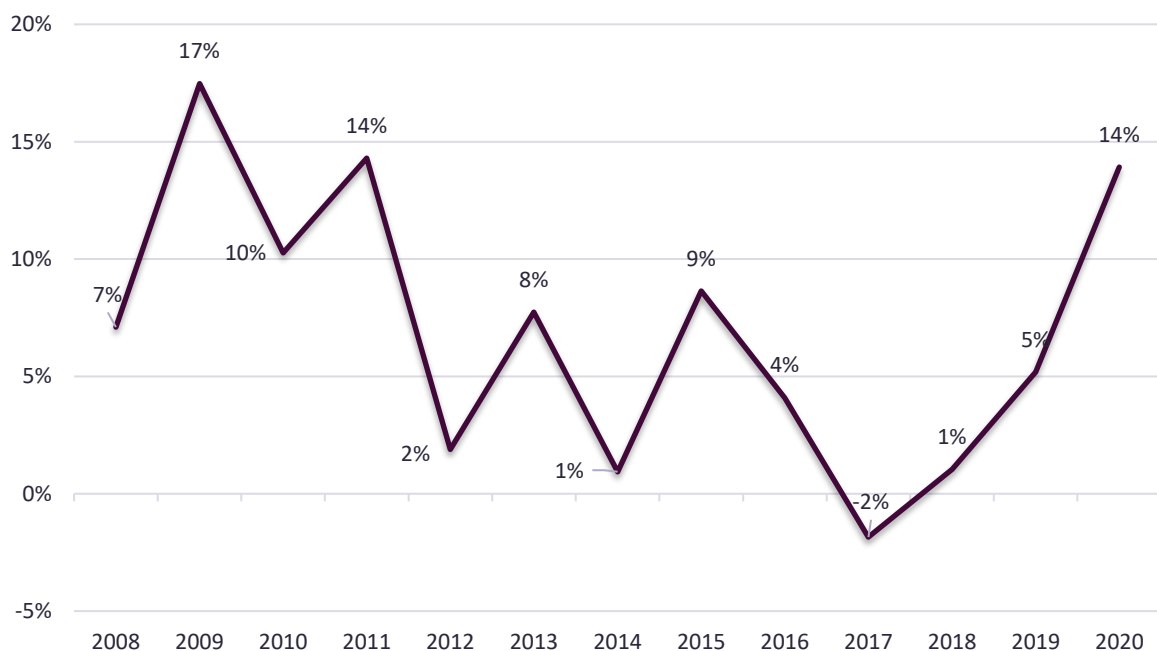
5.2 SAMMENHENGER MELLOM RELATIVT AVVIK OG PROSJEKTKARAKTERISTIKKER

Et av de viktigste resultatene fra en usikkerhetsanalyse er forventet tillegg. Forventet tillegg tilsvarer prognosen for avviket mellom basisestimat og sluttkostnad, gitt at prosjektet ikke gjennomgår store omfangsendringer.

Fordi det er stor forskjell på hva forskjellige byggherreorganisasjoner fører av kostnadselementer på post 8-10 etter bygningsdelstabellen, slik som forklart i kapittel 2.2, har vi valgt å ikke se på relativt avvik mellom estimert og faktisk totalkostnad for prosjektet. Vi oppfatter at det derimot er mer standardisert hva som legges i post 1-7, som utgjør entreprisekostnaden. Entreprisekostnaden utgjør den absolutt største andelen av totalkostnadene, og det kan forventes at størrelsen på generelle kostnader til en viss grad følger entreprisens størrelse, varighet og eventuelle endringer. Relativt avvik mellom estimert og faktisk entreprisekostnad kan derfor i stor grad representere det relative avviket mellom basisestimat og sluttkostnad for prosjektet. Derfor vil vi studere hvordan ulike prosjektkarakteristikker påvirker det relative avviket mellom estimert og faktisk entreprisekostnad.

I analysene blir «**relativt avvik**» brukt som begrep for det relative avviket mellom estimert og faktisk entreprisekostnad.

I våre analyser har vi valgt å ikke skille på prosjekter etter hvilket år de er gjennomført i, da alle er gjennomført i perioden 2008 - 2020. Vi observerer at år for gjennomføring ikke har nevneverdig innflytelse på det relative avviket i entreprisekostnad over perioden. Figur 22 viser utviklingen av medianen av det relative avviket mellom estimert og faktisk entreprisekostnad for datapunktene fra og med 2008. I snitt ser man at medianen av relativt avvik ligger rundt ti prosent årlig, og vi oppfatter at datasettet kan ansees å være jevnt fordelt for perioden vi ser på.



Figur 22 Median i relativt avvik for estimert entreprisestkostnad til prosjekter fordelt på årstall. X-akse viser årstall for dato prosjektets sluttstoknad er prisjustert fra. Y-aksen beskriver median relativt avvik for aktuelt år.

Vi har også undersøkt om varighet på prosjektet har sammenheng med relativt avvik, hvor vi ikke finner noen synlig sammenheng

Flere av de uavhengige variablene som benyttes i analysen er kategoriske, og stykker opp blant annet prosjekter i kvartiler etter kvadratmeterpris. For å forstå hvordan disse sammenliknes, blir det i Tabell 12 oppgitt grensene for de forskjellige kvartilene.

Tabell 12 Forskjellige kvartiler / persentiler i Datasett 2. Kvadratmeterpris er for estimert entreprisestkostnad.

	BTA [m ²]	Kvadratmeterpris [kr/m ²]
Øvre grense for nedre kvartil (25-persentil)	1 500	20 903
Median (50-persentil)	2 987	27 131
Gjennomsnitt	5 090	27 645
Nedre grense for øvre kvartil (75-persentil)	7 208	31 512

REGRESJONSMODELLER

Regresjonsmodellene som er benyttet er utformet med hensyn på studiens analyseformål. Grunnmodellen inkluderer det vi ser på som relevante uavhengige variabler som øker modellen sin justerte forklaringsgrad. For å videre kunne analysere enkelte sammenhenger er grunnmodellen videreutviklet ved at vi har trukket inn andre relevante uavhengige variabler.

Regresjonsmodell 1 Grunnmodell med relativt avvik (RA) fra estimert entreprisekostnad som målvariabel

$$\begin{aligned} RA_{\text{entreprisekost}} &= \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 \text{PrisPerM2Kvantil25} \\ &+ \beta_3 \text{PrisPerM2Kvantil75} + \beta_4 \text{NybyggOgRehab} + \beta_5 \text{Rehab} \\ &+ \beta_6 \text{Samspills_E} + \beta_7 \text{Utførelses_E} + \beta_8 \text{Dataeier2} + \beta_9 \text{Dataeier3} \\ &+ \varepsilon \end{aligned}$$

I Regresjonsmodell 1 er relativt avvik fra estimert til faktisk entreprisekostnad satt som avhengig variabel. Brutto totalareal (BTA) er en kontinuerlig variabel gitt i antall tusen kvadratmeter. Kvadratmeterpris er delt opp i kategoriske (dummy-) variabler, som sammenlikner med interkvartilsområdet, altså prosjekter med en kvadratmeterpris mellom 25- og 75-persentilen av kvadratmeterprisene i datasettet. Kvadratmeterpris kunne ha vært satt som en kontinuerlig variabel. Årsaken til at det er valgt å dele den opp i kvartiler er at det på den måten oppnår langt høyere P-verdi enn som en kontinuerlig variabel. Investeringsstype, entrepriseform og byggherreorganisasjon er også delt opp i kategoriske variabler som undersøker hvordan de forskjellige kategoriene spiller inn på den avhengige variabelen. Regresjonsmodell 1 defineres som *grunnmodellen*.

Regresjonsmodell 2 Modell med relativt avvik (RA) i entreprisekostnad som målvariabel, inkludert kvantiler for BTA som uavhengige variabler

$$\begin{aligned} RA_{\text{entreprisekost}} &= \beta_0 + \beta_1 \text{Areal25Kvantil} + \beta_2 \text{Areal75Kvantil} + \beta_3 \text{PrisPerM2Kvantil25} \\ &+ \beta_4 \text{PrisPerM2Kvantil75} + \beta_5 \text{NybyggOgRehab} + \beta_6 \text{Rehab} + \beta_7 \text{Samspills_E} \\ &+ \beta_8 \text{Utførelses_E} + \beta_9 \text{Dataeier2} + \beta_{10} \text{Dataeier3} + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 2 er lik grunnmodellen, bortsett fra at BTA er omgjort til en kategorisk variabel som sammenlikner 25- og 75-persentilen av BTA i datasettet med interkvartilsområdet.

Regresjonsmodell 3 Modell med relativt avvik (RA) i entreprisekostnad som målvariabel, inkludert BTA kvadrert som uavhengig variabel

$$\begin{aligned} RA_{\text{entreprisekost}} &= \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_sq + \beta_3 \text{PrisPerM2Kvantil25} \\ &+ \beta_4 \text{PrisPerM2Kvantil75} + \beta_5 \text{NybyggOgRehab} + \beta_6 \text{Rehab} + \beta_7 \text{Samspills_E} \\ &+ \beta_8 \text{Utførelses_E} + \beta_9 \text{Dataeier2} + \beta_{10} \text{Dataeier3} + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 3 er lik grunnmodellen, men har også med BTA kvadrert som en uavhengig variabel.

Regresjonsmodell 4 Modell med relativt avvik (RA) i entreprisekostnad som målvariabel, inkludert dummyvariabel for «høy særegenhet»

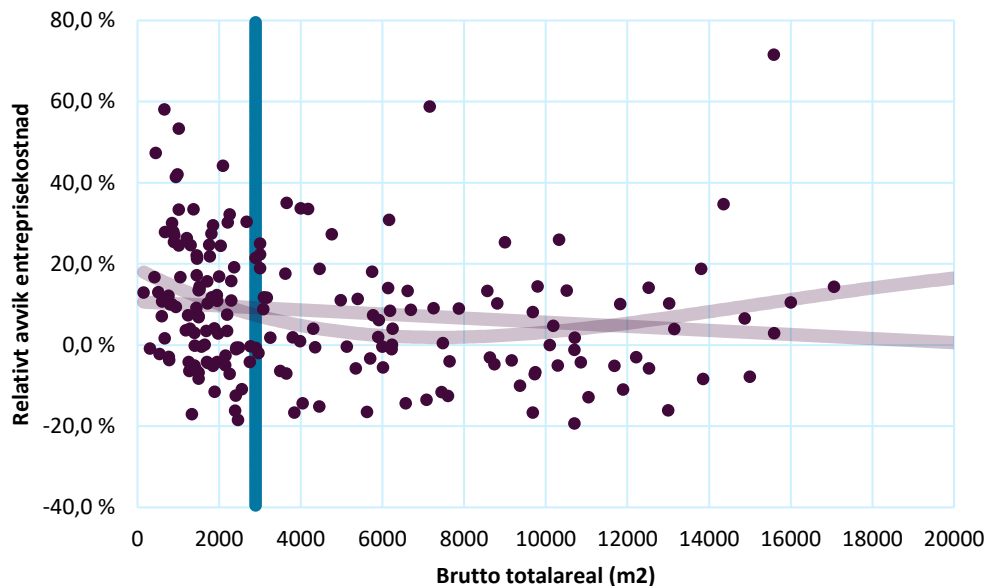
$$\begin{aligned} RA_{\text{entreprisekost}} &= \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 \text{PrisPerM2Kvantil25} + \beta_3 \text{PrisPerM2Kvantil75} \\ &+ \beta_4 \text{NybyggOgRehab} + \beta_5 \text{Rehab} + \beta_6 \text{Samspills_E} + \beta_7 \text{Utførelses_E} \\ &+ \beta_8 \text{Dataeier2} + \beta_9 \text{Dataeier3} + \beta_{10} \text{Særegenhet_høy} + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 4 er lik grunnmodellen, men med «høy særegenhet» som kategorisk variabel.

Resultatene fra regresjonsmodellen fremkommer av Vedlegg 5.

5.2.1 BRUTTO TOTALAREAL (BTA)

I denne analysen undersøkes det om bygningsstørrelsen gitt i BTA har en sammenheng med det relative avviket for prosjektene i Datasett 2. Vi vil først gjøre en endimensjonal, deskriptiv analyse for å kunne illustrere datasettets sammenheng med BTA, før vi kommenterer resultat fra regresjonsanalysen, som studerer variabelens signifikans. Figur 23 viser et spredningsplot av de 190 datapunktene i Datasett 2 med BTA og relativt avvik som akser.



Figur 23 Spredningsplot av relativt avvik i entreprisestkostnad mot brutto totalareal for N=190. Vertikal linje gitt ved medianen (X=2897m2) til datapunktene. Gjennomsiktige, lilla linjer viser henholdsvis en lineær trendlinje og et fjerdeordens polynom som tilpasses punktene.

Første observasjon er at punktene i diagrammet er venstreskjev fordelt, da medianen ligger godt til venstre for midten av x-aksen. Dette tydeliggjør at datasettet består av en betydelig andel relativt små prosjekter i størrelsesorden 0-3000 kvadratmeter. En kan også se av punktene til venstre at flesteparten av disse ligger over 0 prosent i relativt avvik. Den rette, avtakende linjen i diagrammet viser en enkel lineær regresjonslinje. Linjen for regresjonsligningen er gitt som:

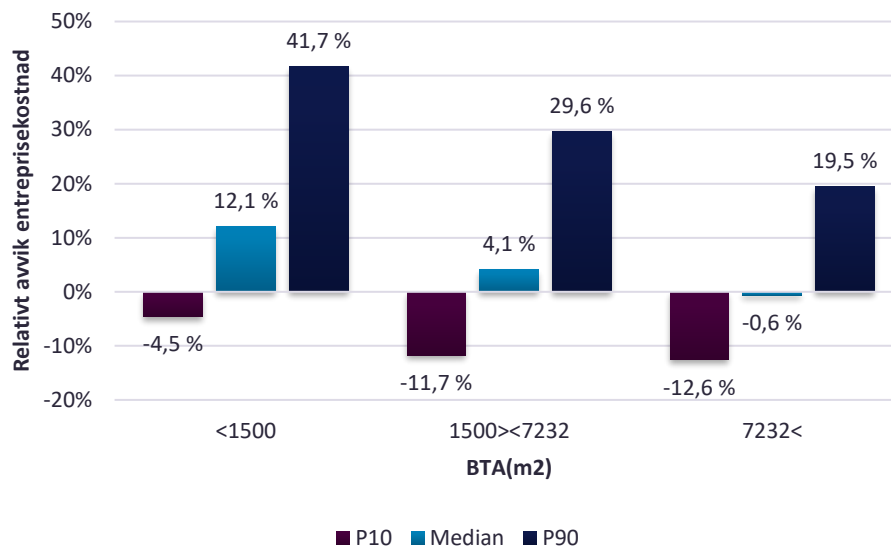
$$\text{Relativt avvik entreprisestkost}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{BTA}_i + \epsilon_i \quad (5)$$

Ved regresjon i statistikkprogrammet STATA oppnår man tilsvarende resultat hvor β_1 er estimert til å være signifikant negativ på 1 prosent forkastningsnivå, derav synkende trendlinje.

Basert på observasjonene over kan det virke som om prosjekter med større brutto totalareal har et lavere relativt avvik og dermed også forventet tillegg enn prosjekter med mindre areal. I regresjonsmodellene er det inkludert flere forklaringsvariabler for å undersøke en eventuell sammenheng nøyere.

I Regresjonsmodell 1 har vi inkludert kontrollvariabler for å forsøke å omgå problemet med utelatt variabelskjevhet, slik at vi i større grad kan fastslå korrelasjon. Fra modellen ser vi at koeffisienten for totalareal fortsatt er signifikant negativ på strengeste forkastningsnivå (1 prosent). Dette forsterker sammenhengen fra den deskriptive analysen, og indikerer en sammenheng mellom totalareal og relativt avvik på entreprisestkostnaden. Tolkningen av regresjonskoeffisienten er at for hver 1000de kvadratmeter et prosjekt øker med, så synker det relative avviket med 0,5 prosentpoeng.

For å undersøke dette funnet ytterligere studeres datasettet i forskjellige kvartiler av BTA. Figur 24 viser det relative avviket for prosjekter inndelt i kvartiler etter bygningsstørrelse i bruttototalareal (BTA). Figuren stykker opp observasjonene i 25-persentilen, 75-persentilen og interkvartilområdet. Tilhørende nøkkelverdier fremkommer av Tabell 13.



Figur 24 Relativt avvik i entreprisekostnad for prosjekter inndelt i kvartiler basert på bygningsstørrelse (N=190).

Tabell 13 Relativt avvik i entreprisekostnad mot BTA fordelt i kvartiler.

m ²	<1500	1500><7232	7232<
Median	12 %	4 %	-1 %
Gjennomsnitt	15 %	7 %	3 %
Standardavvik	17 %	15 %	16 %
Antall	45	97	48

Etter figuren kan man se at prosjektene som tilhører nederste kvartil (25 prosent) har det største standardavviket i tillegg til å ha størst relativt avvik gitt av medianen. For de 25 prosent største prosjektene, tilhørende 75 prosent kvartilet, er medianverdien av relativt avvik betydelig mindre. Verdien er til og med negativ (-0,60 prosent) som er en indikasjon på at man tidvis overestimerer kostnaden for store byggeprosjekter.

Regresjonsmodell 2 undersøker dette nærmere, og funnene forsterker tidligere funn. Ved å lage to indikatorvariabler (dummys) som hver representerer de ytterste kvartilene av totalareal finner vi en signifikant sammenheng. Formålet med disse variablene er å måle hvert kvartil mot prosjektene som ligger rundt medianen. Det viser seg at effekten av å være blant de 25 prosent minste prosjektene, altså mindre enn 1500 kvadratmeter, er korrelert med en økning i det relative kostnadsavviket for entreprisekostnaden sammenlignet med de 50 prosent midterste (interkvartilsområdet). Når vi videre ser på variabelen som representerer de største 25 prosent prosjektene, nemlig de som er større enn 7232 kvadratmeter, har vi indikasjoner på at effekten på relativt avvik er avtagende, og

ikke lenger en statistisk signifikant koeffisient. Dette betyr at vi ikke kan forkaste nullhypotesen om at de 25 prosent største prosjektene har et lavere relativt kostnadsavvik på entreprisekostnad enn de prosjektene som ligger mellom 1500 og 7232 kvadratmeter i brutto totalareal. Vi ser også en marginal økning i forklaringsgraden R^2 når vi ser på modellen med indikatorvariabler for kvartilene sammenlignet med modellen med en kvadratisk variabel.

Mindre signifikans i øverste kvartil kan tyde på at noe skjer med utviklingen av relativt avvik når prosjektene vokser over en viss verdi. Rent visuelt kan polynomet som vises av Figur 23 (den konvekse, lilla linjen) sammenlignes med en «badekarskurve» hvor det relative avviket vil øke for prosjekter av stor relativ størrelsesorden, større enn ca. 7000 kvadratmeter.

For å undersøke observasjonen gjort med den konvekse trendlinjen, har vi i Regresjonsmodell 3 inkludert totalareal kvadrert som uavhengig variabel. Denne er inkludert for å fange opp eventuelt ikke-lineære effekter av totalarealets påvirkning på relativt avvik i entreprisekostnad. Variabelen oppnår ikke statistisk signifikans, men gir en indikasjon på at stigningstallet for den lineære modellen er avtagende. Dette vises av at det er forskjellig fortegn på koeffisienten for totalarealet og kvadratet av totalarealet.

Oppsummering: Entreprisekostnad og usikkerhet undervurderes oftere for små prosjekter enn for store.

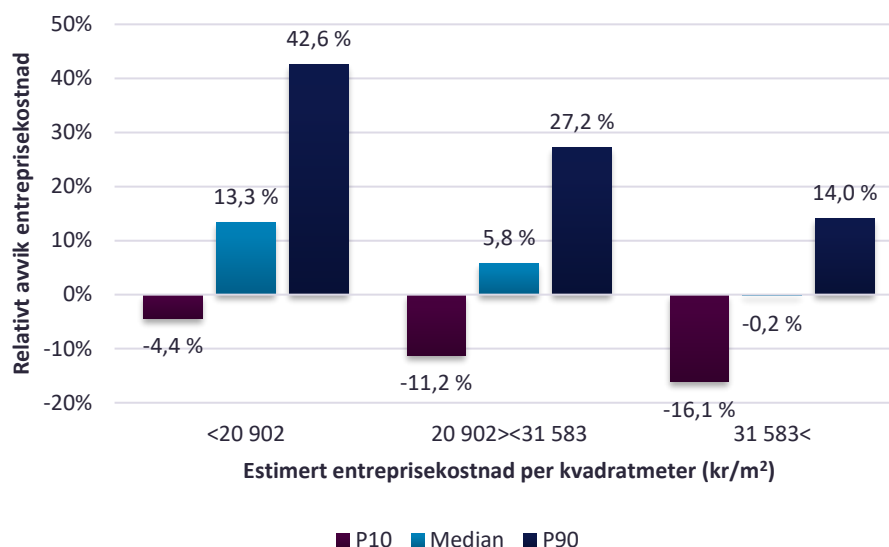
Det er negativ korrelasjon mellom prosjektenes BTA og relativt avvik i entreprisekostnad, men som avtar når prosjektene blir spesielt store (over ca. 10 000 kvm). Regresjonsanalyse viser en signifikant sammenheng, der relativt avvik minker med -0,5 prosentpoeng per økte 1000 kvadratmeter. Det er indikasjoner på at prosjekter mindre enn 1500 kvm har omtrent 6 prosentpoeng høyere relativt avvik enn prosjekter i interkvartilsområdet.

5.2.2 KVADRATMETERPRIS

I denne analysen undersøker vi om estimert kvadratmeterpris for entreprisen gitt i kr/ m² har sammenheng med det relative avviket i entreprisekostnad for prosjektene i Datasett 2.

Kvadratmeterpris er regnet ut som entreprisekostnad per kvadratmeter (BTA). Kvadratmeterprisen avhenger av hvilket summeringsnivå vi ser på. I byggeprosjekter kan det være vanlig å vurdere prosjektets kostnader ved å se på Huskostnad per kvadratmeter eller prosjektkostnad per kvadratmeter. Vi vurderer her **entreprisekostnad per kvadratmeter**, under forutsetning om at alle prosjekter har tilhørende felleskostnader (post 1) og utomhuskostnader (post 7) som datagrunnlaget er representativt for. Dette brukes for å kunne sammenlikne entrepriser mot hverandre. Vi gjør oppmerksom på at valget av summeringsnivå for å finne kvadratmeterpris har noe innflytelse på resultatene.

Figur 25 viser relativt avvik i entreprisekostnad for prosjektene inndelt i kvartiler etter entreprisekostnad per kvadratmeter.



Figur 25 Relativt avvik i entreprisekostnad mot estimert kvadratmeterpris (entrepisekostnad) til prosjekter inndelt i kvartiler av Datasett 2 (N=190). Prisnivå i desember 2021-kr.

Tilhørende nøkkelverdier presenteres i Tabell 14.

Tabell 14 Relativt avvik i entreprisekostnad mot estimert kvadratmeterpris (entrepisekostnad) fordelt i kvartiler av Datasett 2 (N=190). Prisnivå i desember 2021-kr.

kr/m ²	<20 902	20 902 - 31 583	31 583<
Median	13 %	6 %	0 %
Gjennomsnitt	16 %	7 %	1 %
Standardavvik	18 %	15 %	11 %
Antall	48	94	48

Av figuren ser vi at prosjektene med lav estimert kvadratmeterpris har et høyere relativt avvik enn prosjekter med høyere kvadratmeterpris. Standardavviket er også størst for prosjektene med lavest kvadratmeterpris. Prosjekter med høyest kvadratmeterpris tenderer til å treffe på estimatkostnaden og har minst standardavvik.

Det er verdt å nevne at utvalget i Figur 25 og Figur 24 er relativt lite, N=190. Dette gjør at hver av de ytre kvartilene kun vil representere i underkant av 50 datapunkter. P10- og P90-verdiene til disse kvartilene vil igjen kun utgjøre ti prosent av mengden, i dette tilfellet så vidt fem datapunkter. Ekstreme verdier må derfor tolkes med forbehold, som i Figur 25 hvor spennet mellom P10- og P90-verdien er på 47 prosent.

Fra Regresjonsmodell 1 ser vi at de inkluderte indikatorvariablene (dummy) som representerer hvert sitt kvartil på kvadratmeterpris er i tråd med den deskriptive analysen. For prosjektene med lavest estimert kvadratmeterpris er det på fem prosent forkastningsnivå en signifikant sammenheng om at lav kvadratmeterpris medfører et større relativt avvik i entreprisekostnad sammenlignet med prosjektene rundt medianen. Motsatt har den fjerdedelen av prosjektene med høyest estimert kvadratmeterpris et lavere forventet relativt avvik i entreprisekostnad. Dette funnet er signifikant på

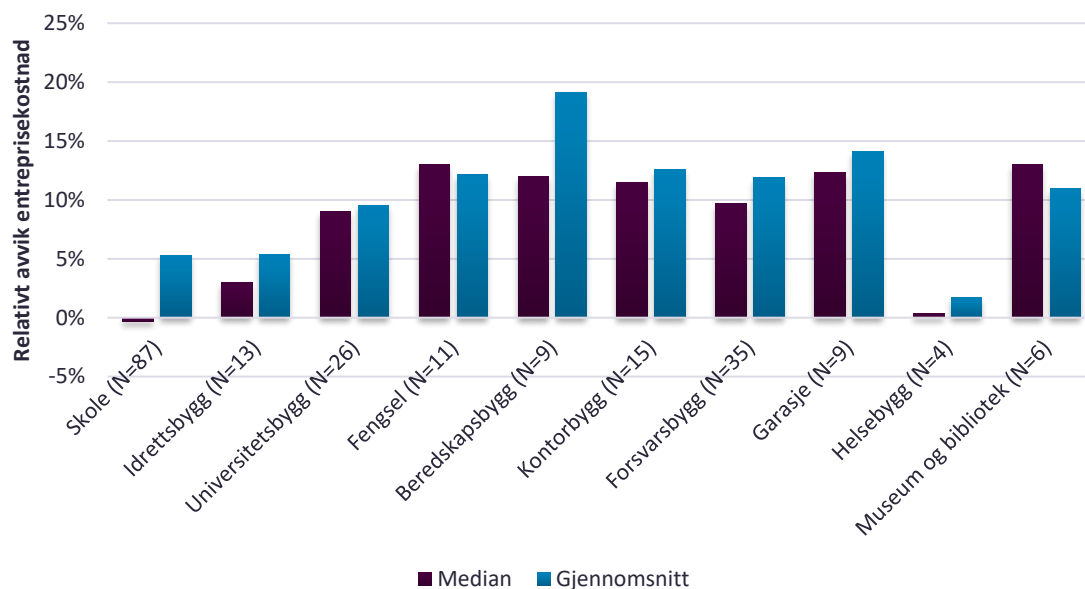
forkastningsnivå 1 prosent, og modellen indikerer dermed en tydelig negativ korrelasjon mellom estimert kvadratmeterpris og relativt avvik på entreprisekostnad.

Oppsummering: Prosjekter med en lavt estimert kvadratmeterpris innebærer økt risiko for kostnadsøkning. Høy estimert kvadratmeterpris gir større trygghet mot kostnadsøkning.

Kvadratmeterpris og relativt avvik i entreprisekostnad er negativt korrelert. Lav estimert kvadratmeterpris har en signifikant sammenheng med høyt relativt avvik, og motsatt. For prosjekter utenfor interkvartilsområdet varierer relativt avvik med omtrent 7 prosentpoeng i hver retning.

5.2.3 BYGNINGSTYPE

I denne analysen undersøkes det hvorvidt bygningstype har en sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnad i Datasett 1. Datasettet er fordelt i ti ulike bygningstyper, som det fremkommer av Figur 26. Figuren viser det relative avviket for alle bygningstypene uttrykt med median og gjennomsnitt. Det er valgt å ikke presentere 10- og 90-persentilene for denne figuren, da det er få datapunkter i hver enkelt kategori.



Figur 26 Relativt avvik i entreprisekostnad for bygningstypene i Datasett 1 (N=215).

Tabell 15 viser nøkkeltallene for bygningstyper i Datasett 1.

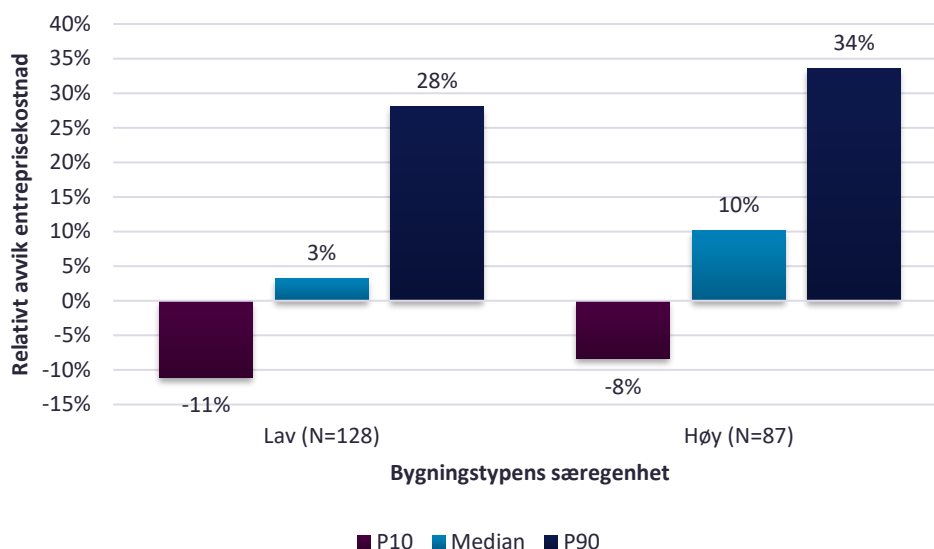
Tabell 15 Relativt avvik for forskjellige bygningstyper i Datasett 1 (N=215).

	Skole	Idrettsbygg	Universitetsbygg	Fengsel	Beredskapsbygg	Kontorbygg	Forsvarsbygg	Garasje	Helsebygg	Museum og bibliotek
Median	0 %	3 %	9 %	13 %	12 %	11 %	10 %	12 %	0 %	13 %
Gjennomsnitt	5 %	5 %	10 %	12 %	19 %	13 %	12 %	14 %	2 %	11 %
Standardavvik	17 %	14 %	13 %	19 %	19 %	14 %	22 %	17 %	10 %	12 %
Antall	87	13	26	11	9	15	35	9	4	6

Fra figuren og tilhørende tabell ser vi at medianavviket er nokså likt for de ulike bygningstypene og ligger med liten spredning mellom 9 -13 prosent hos alle, bortsett fra helsebygg, idrettsbygg og skole som alle ligger rundt 0 prosent.

Som det også fremkommer av Tabell 15 er datautvalget/antallet (N) for flere av kategoriene svært liten. Det gjør det vanskelig å argumentere for troverdige funn. Derfor benyttes heller prosjektenes *særegenhet* til videre analyser, slik inndelingen fremkommer av Tabell 8 i delkapittel 3.3.4.

Figur 27 viser 10- og 90-persentilene samt medianverdien for relativt avvik i prosjekter av høy og lav særegenhet.



Figur 27 Relative avvik i entreprisekostnad for bygningstyper med lav og høy særegenhet i Datasett 1 (N=215).

Den deskriptive analysen tyder på at prosjekter med høy særegenhet generelt har et høyere relativt avvik enn prosjekter med lav særegenhet. Den største forskjellen ligger i medianavviket der prosjekter med lav særegenhet kun har et medianavvik på 3 prosent, mens det for prosjekter med

høy særegenhet er på 10 prosent. For 10- og 90-persentilene er det relative avviket fortsatt lavere for prosjekter med lav særegenhet, men det er mindre relativ forskjell.

I Regresjonsmodell 4 inkluderer vi en variabel for å fange opp om bygningstypen ved et prosjekt er definert ved lav eller høy grad av særegenhet. Da finner vi, på tross av indikasjonene fra den deskriptive analysen, ingen signifikant sammenheng mellom bygningstypen sin «særegenhet» og relativt avvik i entreprisekostnad. Tolkningen blir da at resultatet fra den deskriptive analysen skyldes andre attributter ved prosjektet og/eller kun tilfeldigheter. Det må også bemerkes at forklaringsgraden i modellen kun er 0,2, hvilket gjør at regresjonsmodellen ikke gir et endelig svar på hvorvidt særegenhet kan være en drivende faktor.

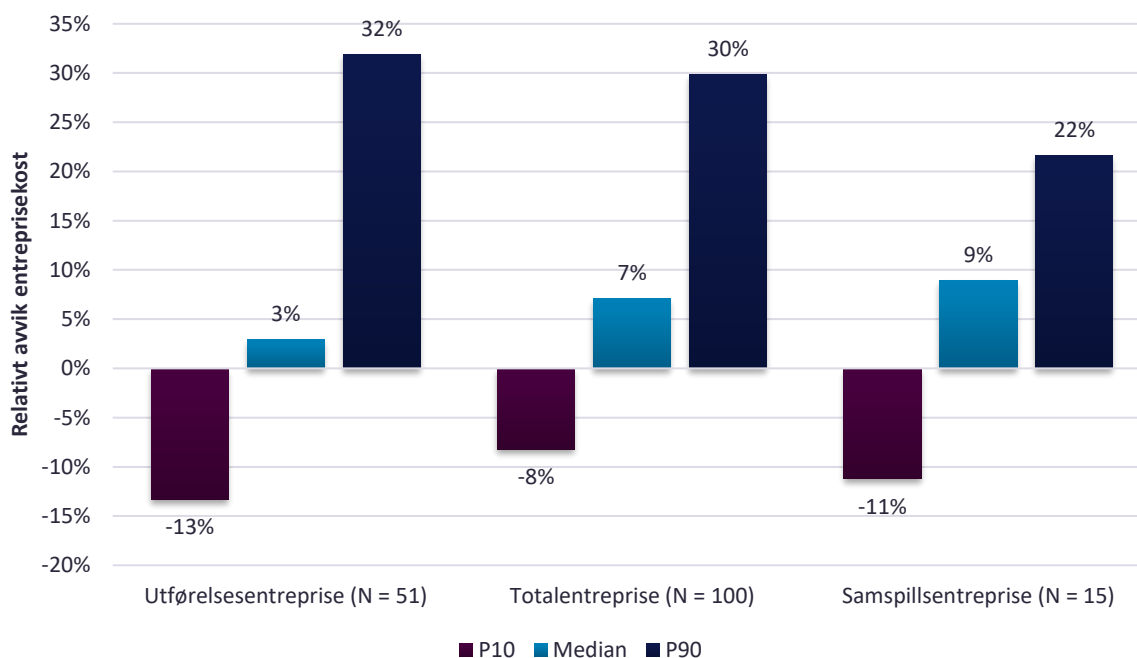
Oppsummering: Det kan tyde på at prosjekter med høy særegenhet innebærer større usikkerhet, men det er ikke éntydig.

Den deskriptive analysen indikerer en korrelasjon mellom grad av særegenhet i bygningstype og relativt avvik. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng mellom bygningstype og relativt avvik, så det kan ikke konkluderes med at særegenheten er den kostnadsdrivende variabelen for høyere relativt avvik.

5.2.4 ENTREPRISEMODELL

I denne analysen undersøkes det hvorvidt entreprisemodell har en sammenheng med relative avvik i entreprisekostnad i Datasett 1 med de datapunktene som har oppgitt entreprisemodell (N = 166).

Figur 28 illustrerer relativt avvik i entreprisekostnad etter entreprisemodell. Stolpene i figuren viser medianavvik og 10- og 90-persentilene av prosjektenes relative avvik.



Figur 28 Relative avvik i entreprisekostnad mot entreprisemodell i Datasett 1, kun prosjekter som har oppgitt entreprisemodell (N=166).

Tabell 16 viser relevante verdier for datapunktene i de tre entreprisemodellene. Selv om det kun er 15 datapunkter som er registrert som samspillsentreprise, er det samtidig lavest standardavvik for denne entreprisemodellen, som tilsier at det er liten spredning i relativt avvik i datapunktene.

Tabell 16 Relativt avvik mot entreprisemodell i Datasett 1, kun prosjekter som har oppgitt entreprisemodell (N=166).

	Utførelsesentreprise	Totalentreprise	Samspillsentreprise
Median	3 %	7 %	9 %
Gjennomsnitt	8 %	8 %	7 %
Standardavvik	19 %	15 %	12 %
Antall	51	100	15

Fra figuren kan det synes at det er en korrelasjon mellom entreprisemodell og relativt avvik, der prosjektene med høyest relativt medianavvik har valgt samspillsentreprise. Merk at dette kan skyldes andre attributter ved prosjektet, selv om det fremstår som en korrelasjon. Dersom vi ser på gjennomsnittlig relativt avvik, ser vi at verdien er tilnærmet lik, og samspillsentreprise faktisk har den laveste gjennomsnittsverdien.

Fra Regresjonsmodell 1 observerer vi ingen signifikant sammenheng mellom entrepriseform og relativt avvik i entreprisekostnad. For konvensjonelle signifikansnivåer er ikke P-verdien til variablene som representerer de ulike entrepriseformene i nærheten av et nivå som tillater oss å forkaste nullhypotesen om at det ikke eksisterer korrelasjon. Det er dermed ikke mulig å konkludere med at det finnes en sammenheng mellom entreprisemodell og relativt avvik.

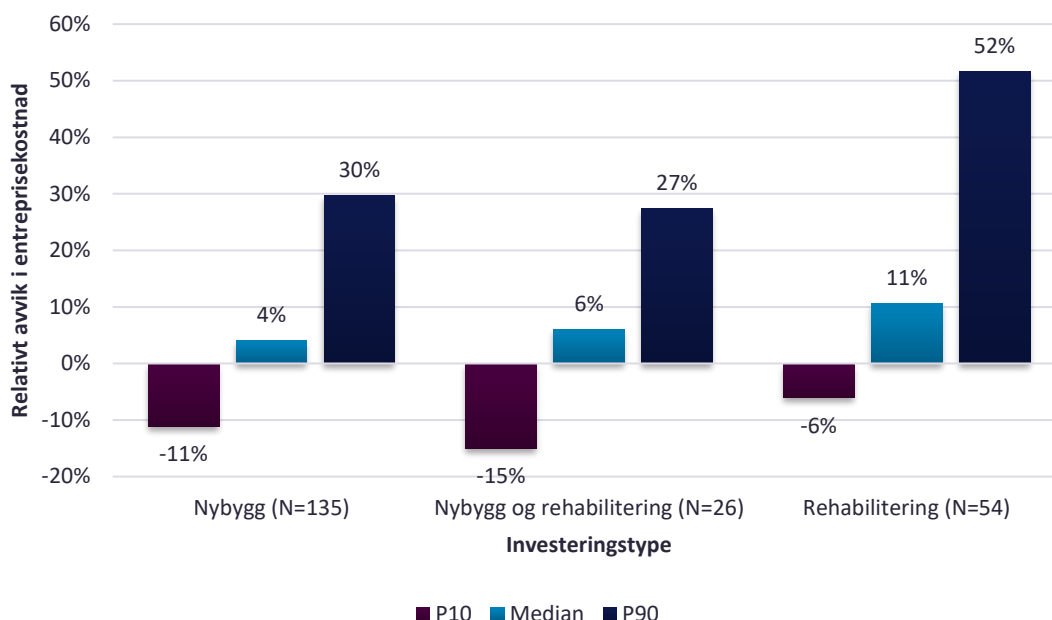
Videre ble det i denne studien undersøkt hva som skjer med datasettet dersom det gjøres utvalg i datasettet basert på både entrepriseform og grad av særegenhet. Eksempelvis studerte vi relativt avvik for totalentrepriser av høy og lav særegenhet, som $RA_{entreprisekost} \sim (Bygningstype = Totalentreprise) \cap (Særegenhet = lav)$. Dette medfører interaksjonsvariable i regresjonsmodellen, noe som ofte gjøres når uavhengige variabler samvarierer. Formålet med disse analysene var å studere om bestemte entreprisemodeller egner seg bedre til prosjekter av en viss type. Etter å ha inkludert interaksjonsvariabler mellom entrepriseform og grad av særegenhet observerte vi en P-verdi på 0,18 for hvordan grad av særegenhet på totalentrepriseprojekter påvirker relativt avvik i entreprisekostnad. P-verdien er godt utenfor det konvensjonelle forkastningsnivået for nullhypotesen, men kan tolkes som en svak indikasjon på at totalentrepriser med høy særegenhet har et høyere relativt avvik enn totalentrepriser med lav særegenhet.

Oppsummert: Det er initiale indikasjoner på at entrepriseform og relativt avvik henger sammen, men regresjonsanalyse viser ingen signifikant sammenheng.

Den deskriptive analysen indikerer en viss korrelasjon mellom entreprisemodell og relativt medianavvik, men gjennomsnittsverdien av relative avvik er tilnærmet lik. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng og antyder at korrelasjonen skyldes andre prosjektattributter.

5.2.5 NYBYGG ELLER REHABILITERING

I denne analysen undersøkes det hvorvidt investeringstype nybygg eller rehabilitering har en sammenheng med relative avvik i entreprisekostnad i Datasett 1. Figur 29 viser det relative avviket for de tre investeringstypene som median og 10- og 90-persentilene. Det er en betydelig større mengde datapunkter for nybygg sammenliknet med rehabilitering og hybridene «nybygg og rehabilitering».



Figur 29 Relativt avvik i entreprisekostnad mot investeringstype i Datasett 1 (N=215).

Tabell 17 viser relevante verdier i de tre investeringstypene.

Tabell 17 Median, gjennomsnitt, standardavvik og antall datapunkter for tiltakstypene

	Nybygg	Nybygg og rehabilitering	Rehabilitering
Median	4 %	6 %	11 %
Gjennomsnitt	7 %	6 %	15 %
Standardavvik	15 %	15 %	21 %
Antall	135	26	54

Figuren viser tegn til at rehabiliteringsprosjektene i datasettet har et høyere relativt avvik enn nybygg. Det ble undersøkt om avviket kunne forklares ved noen enkle karakteristikk. Eksempelvis visste vi fra kapittel 5.2.3 at bygningstyper med lav særegenhet har et lavere relativt avvik enn de med høy særegenhet. Bygningstypene med lav særegenhet utgjør 63 prosent av nybygg i datasettet, mens det utgjør kun 39 prosent av rehabiliteringsprosjekter. Disse vil dermed kunne bidra til et lavere relativt avvik hos nybygg. Kategorien «Nybygg og rehabilitering» har et noe høyere medianavvik enn rene nybygg, men gjennomsnittlig relativt avvik er lavere, så disse kan i praksis tolkes som like resultater.

Regresjonsanalysen forteller oss videre at sammenhengene fra den deskriptive analysen i lav grad kan forkaste nullhypotesen om at korrelasjonen ikke skyldes tilfeldigheter. Fra Regresjonsmodell 1 ser vi at det kun er svake indikasjoner på at et prosjekt hvor investeringstypen er kategorisert som rehabilitering har tre prosentpoeng større relativt avvik i entreprisekostnad. Dette resultatet er dog ikke signifikant på noe konvensjonelt signifikansnivå med en P-verdi på 0,43.

Oppsummert: Det er initielle indikasjoner på at nybygg/rehabilitering og relativt avvik henger sammen, men regresjonsanalyse viser ingen signifikant sammenheng.

Den deskriptive analysen indikerer at investeringstype er korrelert med relativt avvik i entreprisekostnad, der omfanget av rehabilitering i et prosjekt har sammenheng med et høyere relativt avvik. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng og antyder at korrelasjonen skyldes andre prosjektattributter.

5.3 SAMMENHENGER MELLOM RELATIVT AVVIK OG KOSTNADER PÅ ÉN-SIFFERNIVÅ

Som vist i kapittel 3.3.3 er det store feilkilder i hvilke kostnader som er ført på en bestemt post i estimatet og i rapportert sluttkostnad. For å luke ut de største feilkildene, er det som forklart i kapittel 3.3.1 gjort et utvalg for å kunne gjøre analyser der vi medtar variable på én-sifternivå. Det er valgt å slå sammen post 4 til 6 da det tilsynelatende er spesielt mye feilføring på tvers av disse postene. Utvalget utgjør Datasett 3 og 4, og medfører langt færre datapunkter i analysene for delkapittel 5.3 sammenliknet med 5.2, der Datasett 1 og 2 benyttes.

De reduserte datasettene (Datasett 3 og 4) tillater oss å inkludere *forholdsvariabler* som et nytt sett prosjektkarakteristikker for analyse. Disse representerer forholdet mellom estimerte kostnader på postnivå og entreprisekostnad. Dette blir oppgitt som *relativ poststørrelse*, og kan fremstilles med likning 6:

$$\text{Relativ poststørrelse post X} = \frac{\text{Estimert kostnad post X}}{\text{Total estimert entreprisekostnad}} \quad (6)$$

Det er valgt å ikke medta relativ poststørrelse på post 7 Utomhus som en prosjektkarakteristikk. Årsaken til det er at det antas at det skjer langt større omfangsendringer i utomhus enn for de andre postene, og at estimatet derfor ikke er like representativt for å beskrive prosjektet.

REGRESJONMODELLER

For å kunne studere årsakssammenheng mellom prosjektkarakteristikker på postnivå og relativt avvik har vi også etablert regresjonsmodeller på Datasett 4. Datasett 4 er valgt for å kunne ha med BTA og kvadratmeterpris som uavhengige variabler i analysene. Som vi vil se, oppnår vi en høyere forklaringsgrad for regresjonsmodellene i dette kapittelet sammenliknet med kapittel 5.2, der Datasett 2 benyttes. Dette kan argumentere for at resultatene fra kapittel 5.2 bør forkastes, men Datasett 4 har langt færre datapunkter enn Datasett 2. Antallet datapunkter er av stor betydning for troverdigheten til analysene, og derfor er resultater fra regresjonsmodellene med færre forklaringsvariabler beholdt.

Regresjonsmodell 5 har relativt avvik i entreprisekostnad som målvariabel, men inkluderer nevnte forholdsvariabler som forklaringsvariabler. Regresjonsmodell 6 til Regresjonsmodell 9 har relativt avvik på postnivå som målvariabel. Alle modellene inkluderer det vi ser på som relevante forklaringsvariabler som øker modellen sin justerte forklaringsgrad. Det eneste som endres i regresjonsmodellene er den avhengige variabelen. Forholdet mellom post 2 og entreprisekostnad er ekskludert i alle modellene etter at det ble avdekket problemer med multikorrelasjon etter gjennomført VIF-test.

Regresjonsmodellene og tilhørende resultater fremkommer i Vedlegg 6.

Regresjonsmodell 5 Entreprisekostnad som avhengig variabel

$$\begin{aligned} RA_{\text{entreprisekostnad}} &= \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 \text{PrisPerM2Kvantil25} \\ &+ \beta_4 \text{PrisPerM2Kvantil75} + \beta_5 \text{NybyggOgRehab} + \beta_6 \text{Rehab} + \beta_7 \text{Samspills_E} \\ &+ \beta_8 \text{Utførelses_E} + \beta_9 \text{Særegenhet_høy} + \beta_{10} \text{Dataeier2} + \beta_{11} \text{Dataeier3} \\ &+ \beta_{11} \text{Forholdpost1_EntrKost} + \beta_{12} \text{Forholdpost3_EntrKost} \\ &+ \beta_{13} \text{Forholdpost4til6_EntrKost} + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 5 er lik som grunnmodellen, men med relativ poststørrelse for post 1, 3 og 4-6 som uavhengige kontinuerlige variabler. Den har også med BTA kvadrert som kontinuerlig variabel og høy

særegenhet som kategorisk variabel som i Regresjonsmodell 3 og Regresjonsmodell 4. Modellene benyttes på et annet datasett enn analysene i kapittel 5.2.

Regresjonsmodell 6 Post 1 som avhengig variabel

$$\begin{aligned} RA_{konto1} = & \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 PrisPerM2Kvantil25 + \beta_4 PrisPerM2Kvantil75 \\ & + \beta_5 NybyggOgRehab + \beta_6 Rehab + \beta_7 Samspills_E + \beta_8 Utførelses_E \\ & + \beta_9 Særegenhet_høy + \beta_{10} Dataeier2 + \beta_{11} Dataeier3 \\ & + \beta_{11} Forholdpost1_EntrKost + \beta_{12} Forholdpost3_EntrKost \\ & + \beta_{13} Forholdpost4til6_EntrKost + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 6 er lik som Regresjonsmodell 5, men med relativt avvik i post 1 som avhengig variabel.

Regresjonsmodell 7 Post 2 som avhengig variabel

$$\begin{aligned} RA_{konto2} = & \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 PrisPerM2Kvantil25 + \beta_4 PrisPerM2Kvantil75 \\ & + \beta_5 NybyggOgRehab + \beta_6 Rehab + \beta_7 Samspills_E + \beta_8 Utførelses_E \\ & + \beta_9 Særegenhet_høy + \beta_{10} Dataeier2 + \beta_{11} Dataeier3 \\ & + \beta_{11} Forholdpost1_EntrKost + \beta_{12} Forholdpost3_EntrKost \\ & + \beta_{13} Forholdpost4til6_EntrKost + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 7 er lik som Regresjonsmodell 5, men med relativt avvik i post 2 som avhengig variabel.

Regresjonsmodell 8 Post 3 som avhengig variabel

$$\begin{aligned} RA_{konto3} = & \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 PrisPerM2Kvantil25 + \beta_4 PrisPerM2Kvantil75 \\ & + \beta_5 NybyggOgRehab + \beta_6 Rehab + \beta_7 Samspills_E + \beta_8 Utførelses_E \\ & + \beta_9 Særegenhet_høy + \beta_{10} Dataeier2 + \beta_{11} Dataeier3 \\ & + \beta_{11} Forholdpost1_EntrKost + \beta_{12} Forholdpost3_EntrKost \\ & + \beta_{13} Forholdpost4til6_EntrKost + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 8 er lik som Regresjonsmodell 5, men med relativt avvik i post 3 som avhengig variabel.

Regresjonsmodell 9 Post 4-6 som avhengig variabel

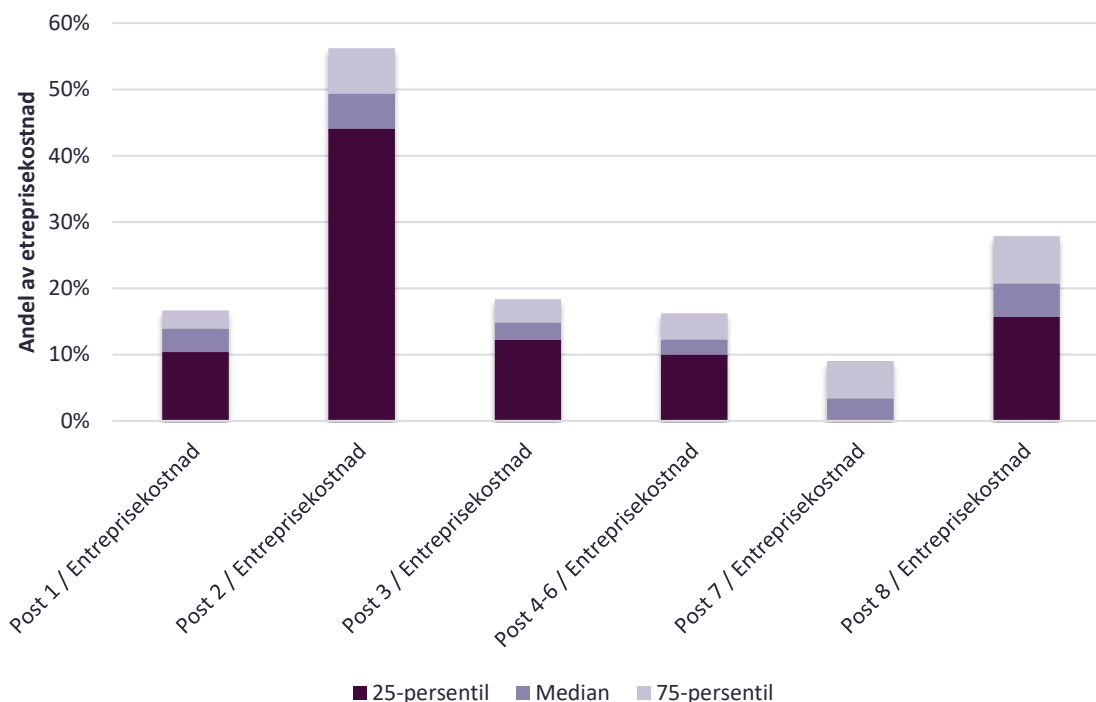
$$\begin{aligned} RA_{konto4til6} = & \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 PrisPerM2Kvantil25 \\ & + \beta_4 PrisPerM2Kvantil75 + \beta_5 NybyggOgRehab + \beta_6 Rehab + \beta_7 Samspills_E \\ & + \beta_8 Utførelses_E + \beta_9 Særegenhet_høy + \beta_{10} Dataeier2 + \beta_{11} Dataeier3 \\ & + \beta_{11} Forholdpost1_EntrKost + \beta_{12} Forholdpost3_EntrKost \\ & + \beta_{13} Forholdpost4til6_EntrKost + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 9 er lik som Regresjonsmodell 5, men med relativt avvik i post 4-6 som avhengig variabel.

5.3.1 RELATIVT AVVIK I ENTREPRISEKOSTNAD

Med relativt poststørrelse som variabler er det mulig å gjøre analyser på hvorvidt disse variablene har sammenhenger med relativt avvik i entreprisestkostnad. Eksempelvis kan det studeres om prosjekter med stor andel elektriske installasjoner fører til et større relativt avvik. Gitt enkelte antakelser og forbehold, kan dette gi grunnlag for å diskutere om prosjekter med stor teknisk kompleksitet treffer dårligere på estimatet.

For å ha med et perspektiv på hva som er en typisk relativ poststørrelse oppgir Figur 30 hva som er typiske relative poststørrelser i Datasett 4, som benyttes i regresjonsanalyser på énsiffernivå.



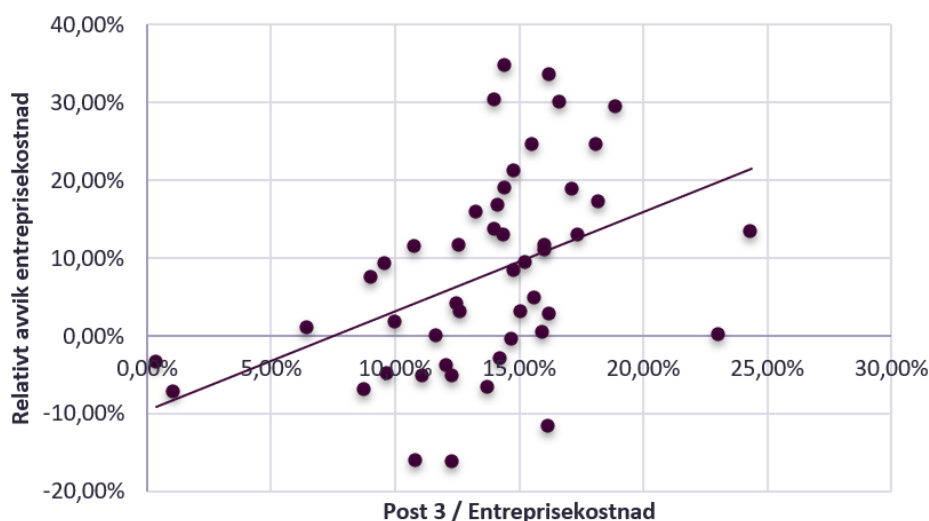
Figur 30 Relativ poststørrelse i Datasett 4 som en andel av entrepriseekostnaden. Figuren viser hvor stor andel de forskjellige postene vanligvis utgjør av entrepriseekostnaden.

DESKRIPTIV ANALYSE

Det er i den deskriptive analysen studert flere forskjellige sammenhenger mellom relativ poststørrelse og avvik i entrepriseekostnad. Et av de mest fremtredende resultatene ble oppdaget ved andelen post 3 VVS utgjør av entrepriseekosten. Denne analysen blir presentert her.

Ved å dele inn datasettet i kvartiler basert på hvor stor andel post 3 utgjør av entreprisen er det tydelig at den relative størrelsen på post 3 henger sammen med om prosjektet er nybygg eller rehabilitering. I nederste kvartil er 70 prosent av datapunktene av tiltakstypen «Nybygg». I øverste er derimot kun 20 prosent av datapunktene av tiltakstypen «Nybygg». Det kan ha en sammenheng med at rehabiliteringsprosjekter i mange tilfeller beholder en del av de tekniske VVS-installasjonene, mens alt er nytt i nybygg. Vi har derfor videre i den deskriptive analysen studert et subsett av Datasett 3, der kun «Nybygg» er med. Merk at dette datasettet kun har 48 datapunkter, og derfor må tolkes med forsiktighet.

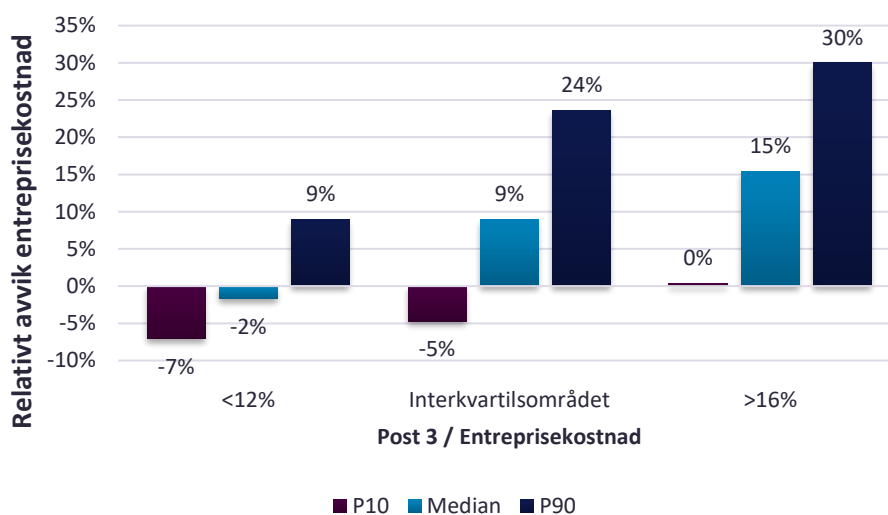
Et spredningsplot med trendlinje viser at det kan synes å være en sammenheng mellom relativ størrelse på post 3 og avviket i entrepriseekostnaden for nybygg, som vist i Figur 31.



Figur 31 Spredningsplot med trendlinje. X-aksen viser forholdet mellom estimert post 3 og entreprisekostnad. Y-aksen viser relativt avvik i entreprisekostnad. Trendlinjen har korrelasjonskvotient på 0,43.

Trendlinjen tyder på at relativ poststørrelse for post 3 har en sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnad. En høyere andel VVS-installasjoner i prosjekter ser ut til å ha en sammenheng med hvor godt estimatet for entreprisen treffer.

I Figur 32 er forholdet mellom estimatet for post 3 og entreprisekosten delt inn i øvre og nedre kvartil, samt interkvartilsområdet i midten. Tilhørende nøkkeltall fremkommer av Tabell 18. Det må merkes at fordi utvalget er nybygg i Datasett 3, er det kun 48 datapunkter.



Figur 32 Relativt avvik for entreprisekostnaden mot relativ poststørrelse for post 3. Gjelder kun nybygg i Datasett 3 (N=48).

Post 3 / Entreprensekostnad	< 12%	Interkvartilsområdet	> 16%
Median	-2 %	9 %	15 %
Gjennomsnitt	-1 %	9 %	15 %
Standardavvik	8 %	12 %	13 %
Antall	12	24	12

Tabell 18 Relativt avvik for entreprensekostnaden mot relativ poststørrelse for post 3. Gjelder kun nybygg i Datasett 3 (N=48).

Figuren viser en positiv korrelasjon mellom relativ poststørrelse for post 3 og avvik i entreprensekostnad. Hvis vi ser på de relative avvikene på postnivå, er det avviket i post 2 som øker når post 3 utgjør en større del av entreprensekostnaden. Her er korrelasjonskoeffisienten 0.38, nesten det samme som for entreprensekostnaden. For relativt avvik på de andre postene er korrelasjonen 0.19, 0.18 og 0.27 for hhv. post 1, 3 og 4-6. En mulig hypotese som kan underbygge funnet er at når et bygg har høy andel VVS, kreves mange konstruktive tilpasninger som tilfaller post 2, såkalte hjelpearbeider for VVS. For eksempel kan et ventilasjonsanlegg måtte flyttes et par meter, men bæringen må forsterkes slik at byggekostnadene øker.

REGRESJONSANALYSE

Regresjonsmodell 5 har relativt avvik i entreprensekostnad som avhengig variabel på samme måte som analysen i delkapittel 5.2, men på et annet datasett. Når vi her inkluderer forholdsvariablene registrerer vi en solid økning i forklaringsvariabelen R^2 .

Som tidligere er både totalareal og kvadratmeterpris signifikant på sterkeste signifikansnivå (1 prosent). Det er også interessant at kategorien «Nybygg og rehabilitering» har en like signifikant sammenheng. Prosjekter i kategorien «Nybygg og rehabilitering» estimeres til å ha hele 11 prosentpoeng høyere relativt avvik i entreprensekostnad sammenlignet med kategorien «Nybygg». Det vi ser er at det kun er 9 prosjekter innen denne kategorien i Datasett 4. Selv om det er et interessant funn, er det så få datapunkter at det er vanskelig å argumentere for et robust funn. Analysen på det større datasettet (Datasett 2) viser dessuten ingen signifikant sammenheng.

Det er dog også signifikant på 1 prosent forkastningsnivå at relativ poststørrelse for post 1 har en sammenheng med høyt relativt avvik i entreprensekostnad.

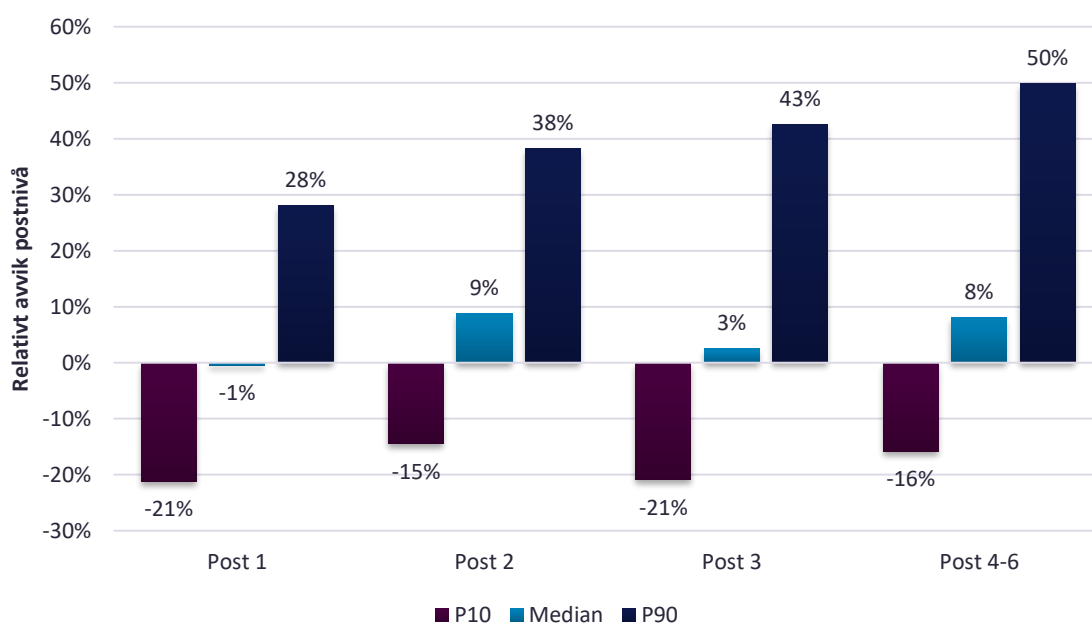
Det er kun indikasjoner på at relativ poststørrelsen for post 3 har sammenheng med relativt avvik i entreprensekostnad, med en P-verdi på 0,17. For post 4 ser vi indikasjoner på det motsatte, det ser ut til at relativ poststørrelse for post 4-6 er negativt korrelert med relativt avvik i entreprensekostnad. P-verdien for denne variabelen er også 0,17.

Oppsummert: Den deskriptive analysen indikerer at det er en positiv korrelasjon mellom relativ poststørrelse for post 3 og relativt avvik i entreprensekostnaden, i hovedsak drevet av økt relativt avvik i post 2. Dette fremkommer ikke som signifikant i regresjonsanalysen. Regresjonsanalysen viser i midlertidig at prosjekter som omfatter både nybygg og rehabilitering har 11 prosentpoeng høyere relativt avvik i entreprensekostnad enn rene nybyggprosjekter. Den viser også at relativ poststørrelse for post 1 Felleskostnader er positivt korrelert med relativt avvik på entreprensekostnaden. Det relative avviket øker med 0,6 prosentpoeng for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 1. I tillegg ser vi at relative poststørrelser som forklaringsvariabler øker forklaringsgraden på relativt avvik i entreprensekostnaden betraktelig.

5.3.2 RELATIVE AVVIK PÅ ÉN-SIFFERNIVÅ

I en usikkerhetsanalyse vil prosjektet ofte etablere en prosjektnedbrytningsstruktur (PNS) for å sette usikkerhetsspenn med tripplestimat på forskjellige kostnadselementer i prosjektet. I tripplestimatet settes en sannsynlig, en beste og verste mulig verdi for kostnadselementet, der sistnevnte skal representere P10 og P90 for estimatusikkerheten i det enkelte kostnadselementet. Denne PNSen blir i mange tilfeller etablert med samme oppdeling som bygningsdelstabellen på én-siffernivå. Det vil si at det ofte settes tripplestimat på kapitlene i bygningsdelstabellen. Derfor kan det tenkes at man gjennom analyser av datasettet kan gi en benchmark for hva som er typiske verdier for beste og verste tilfelle for de forskjellige postene. I dette delkapittelet ser vi derfor på relative avvik på postnivå.

For relativt avvik på postnivå er det i praksis mulig å gjøre samme mengde deskriptive analyser som vi har gjort på entreprisenivå, altså hver analyse i kapittel 5.2 for hver enkelt post, og enda mer. Her er det valgt å heller forenkle ved å kun presentere mest signifikante funn fra regresjonsmodellene for å studere årsakssammenhenger. For å bli kjent med datapunktene i denne analysen ser vi først på Datasett 3 som helhet. Figur 33 viser relativt avvik på én-siffernivå for hele Datasett 3.



Figur 33 Relative avvik på én-siffernivå ved bruk av Datasett 3 (N=84). Postene langs x-aksen og relative avvik langs y-aksen.

Tilhørende verdier er gitt i Tabell 19.

Tabell 19 Relative avvik på én-siffernivå ved bruk av Datasett 3 (N=84).

	Post 1	Post 2	Post 3	Post 4-6
Median	-1 %	9 %	2 %	8 %
Gjennomsnitt	2 %	11 %	7 %	13 %
Standardavvik	19 %	20 %	21 %	25 %
Antall	84	84	84	84

Fra Figur 33 får vi blant annet oppgitt 10- og 90-persentilene for avviket på post-nivå. Det vil eksempelvis si at man for 10 prosent av prosjektene har et negativt avvik på -21 prosent eller mer i post 1 Felleskostnader, og positivt avvik på 28 prosent eller mer for 10 prosent av prosjektene. Med høy kvalitet på datasettet kan det drøftes om dette kunne blitt benyttet som benchmark for å anslå estimatusikkerheten i beste og verste tilfelle for post 1. Da må vi huske på at spennet vi ser her ikke kun representerer estimatusikkerheten, men også effekter av usikkerhetsfaktorene. I tillegg er Datasett 3 underlagt kriterier som tar ut prosjekter med et større relativt avvik enn en negativ og positiv grense. Dermed er ikke alle prosjekter representert i Datasett 3, og tallene må leses med store forbehold.

Tabell 19 viser også store standardavvik for prosjektene i datasettet, hvilket tyder på stor spredning, og ikke noe som bør benyttes som benchmark for beste og verste tilfelle i fastsettelse av estimatusikkerhet.

I analysene i dette delkapittelet vil vi derfor ikke forsøke å kunne gi benchmarkverdier for P10 og P90 som estimatusikkerheter. Vi vil heller benytte analysene til å lete etter resultater som kan gi noen retningslinjer i en usikkerhetsanalyse.

RELATIVT AVVIK POST 1

Fra Regresjonsmodell 6 med relativt avvik i post 1 som avhengig variabel er det flere spennende observasjoner sammenlignet med modellene i delkapittel 5.2, hvor relativt avvik i entreprisekostnad er satt som avhengig variabel.

Vi registrerer at verken brutto areal eller kvadratmeterpris er signifikante ved konvensjonelle signifikansnivåer med post 1 som avhengig variabel. Derimot er «rehabilitering» en signifikant karakteristikk med forkastningsnivå 5 prosent. Modellen indikerer at et rehabiliteringsprosjekt har 13 prosentpoeng lavere relativt avvik på post 1 sammenlignet med et nybygg. Det er også signifikante forskjeller mellom dataeierene på relativt avvik for post 1.

Oppsummert: Post 1 har 13 prosentpoeng lavere relativt avvik i rehabiliteringsprosjekter sammenliknet med nybyggprosjekter.

RELATIVT AVVIK POST 2

Fra Regresjonsmodell 7 ser vi en høy forklaringsgrad, med R^2 på 0,41. Dette er den høyeste forklaringsgraden av alle regresjonsmodeller som ser på relativt avvik på én-siffernivå.

Modellen forteller at de 25 prosent prosjektene med høyest estimert kvadratmeterpris har et signifikant lavere avvik på post 2. Motsatt ser vi at bruttoareal ikke har signifikant effekt på relativt avvik for post 2.

Modellen forteller også at som for post 1 er det for post 2 en tydelig sammenheng mellom tiltakstype og relativt avvik. På signifikansnivå 1 prosent estimerer Regresjonsmodell 7 at et prosjekt i kategorien «Nybygg og rehabilitering» har et positivt relativt avvik sammenlignet med nybygg. En annen interessant observasjon er at relativ poststørrelse for post 1 har en signifikant effekt på strengeste signifikansnivå (1 prosent), og indikerer at prosjekter med et høyt forhold mellom estimert post 1 og entreprisekostnad har et høyere relativt avvik på post 2. Det er også en indikasjon på at relativ poststørrelse for post 3 har stor effekt på relativt avvik på post 2, med en koeffisient på 0,6 for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 3.

Oppsummert: Prosjekter i kategorien «Nybygg og rehab» har 21 prosentpoeng høyere avvik på post 2 enn prosjekter i kategorien «Nybygg». Prosjekter med kvadratmeterpris i øvre kvartil har 10 prosentpoeng lavere relativt avvik enn prosjekter med kvadratmeterpris i interkvartilsområdet.

Relativ poststørrelse for post 1 er positivt korrelert med relativt avvik på post 2 på strengeste signifikansnivå. Kvantifisert ser vi 1,2 prosentpoeng økning i relativt avvik på post 2 for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 1. Her bør det tas i betraktning at konstantleddet i regresjonsmodellen er på -16 prosent, og medianen for relativ poststørrelse for post 1 er på 14 prosent.

RELATIVT AVVIK POST 3

Regresjonsmodell 8 viser for relativt avvik i post 3, på samme måte som for analysene i delkapittel 5.2, at et prosjekt sitt bruttoareal og estimert kvadratmeterpris er signifikant med samme fortegn som tidligere. Det er ingen andre signifikante variabler, og R^2 verdien på kun 0,15 forteller at variasjonen i det relative kostnadsavviket mellom estimert post 3 og sluttkostnad for post 3 er utfordrende å forklare for de inkluderte variablene i analysen.

Oppsummert: Relativt avvik i post 3 forklares ikke av de uavhengige variablene i regresjonsmodellen, annet enn det som allerede er kjent av karakteristikker som korrelerer med entreprisekostnaden som helhet.

RELATIVT AVVIK POST 4-6

Regresjonsmodell 9 estimerer ingen signifikant sammenheng mellom avvik i post 4-6 og bruttoareal eller kvadratmeterpris. Den estimerer derimot en signifikant sammenheng på 1 prosent signifikansnivå mellom relativ poststørrelse for post 3 og relativt avvik på post 4-6. Det tilsier altså at et prosjekt som har stor relativ post 3 vil ha et høyere relativt avvik på post 4-6. Det er også en indikasjon på negativ korrelasjon mellom relativt avvik i post 4-6 og relativ poststørrelse for post 4-6. Det vil si en indikasjon på at prosjekter med relativ stor post 4-6 har et lavere relativt avvik i samme poster. P-verdien for denne koeffisienten er på 0,12 og dermed utenfor laveste konvensjonelle signifikansnivå på 0,10, men tolkes likevel som en indikasjon. Det er altså 12 prosent sannsynlig at denne sammenhengen kun er tilfeldig basert på regresjonsmodellen. Det er også indikasjoner på at tiltakstype påvirker relativt avvik for post 4-6, men ingen er signifikant på 10 prosent forkastningsnivå med P-verdier på 0,11 og 0,22.

En annen spennende sammenheng er effekten av bygningstypen sin særegenhet. Det er sterke indikasjoner, P verdi 0,105, på at prosjekter definert med høy særegenhet har et 16,3 prosentpoeng høyere relativt avvik på post 4-6 sammenlignet prosjekter klassifisert som lite særegent.

Oppsummert: Relativ poststørrelse for post 3 er positivt korrelert med relativt avvik på post 4-6. Det relative avviket i post 4-6 øker med 1,4 prosentpoeng for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 3. Det er indikasjoner på at høy særegenhet øker relativt avvik i post 4-6 med 16 prosentpoeng sammenliknet med bygningstyper med lav særegenhet.

5.4 RELATIVT AVVIK ÉN-SIFFERNIVÅ POST 8 GENERELLE KOSTNADER

Så langt i analysekapittelet er det kun relative avvik i entreprisekostnad og underliggende poster som er studert. Datasettene gir i midlertidig anledning til å studere relativt avvik i Post 8 «Generelle kostnader», samt entreprisekostnad med relativ poststørrelse for post 8 som uavhengig variabel. Svakheten ved å trekke inn post 8 er at det er svært stor forskjell på hva de forskjellige byggherreorganisasjonene legger i post 8, slik som forklart i kapittel 3. Fordelen er at innholdet består av kostnadselementer som byggherren lett kan dokumentere. Det kan dermed tenkes at det relative avviket kan være godt representert, og tillater mulighet for å studere sammenhenger.

Regresjonsmodellene og tilhørende resultater fremkommer i Vedlegg 7.

REGRESJONSMODELLER

Regresjonsmodellene som ligger til grunn for analysene fremkommer under.

Regresjonsmodell 10 Relativt avvik i entreprisekostnad som avhengig variabel. Relativ andel post 8 er lagt inn som uavhengig variabel.

$$\begin{aligned} RA_{\text{entreprisekostnad}} &= \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 PrisPerM2Kvantil25 \\ &+ \beta_4 PrisPerM2Kvantil75 + \beta_5 NybyggOgRehab + \beta_6 Rehab + \beta_7 Samspills_E \\ &+ \beta_8 Utførelses_E + \beta_9 Særegenhet_høy + \beta_{10} Dataeier2 + \beta_{11} Dataeier3 \\ &+ \beta_{12} Forholdpost1_EntrKost + \beta_{13} Forholdpost3_EntrKost \\ &+ \beta_{14} Forholdpost4til6_EntrKost + \beta_{15} Forholdpost8_EntrKost + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 10 er lik som Regresjonsmodell 5, men med relativ poststørrelse for post 8 som uavhengig variabel.

Regresjonsmodell 11 Relativt avvik i post 8 som avhengig variabel.

$$\begin{aligned} RA_{\text{konto8}} &= \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 BTA_{sq} + \beta_3 PrisPerM2Kvantil25 + \beta_4 PrisPerM2Kvantil75 \\ &+ \beta_5 NybyggOgRehab + \beta_6 Rehab + \beta_7 Samspills_E + \beta_8 Utførelses_E \\ &+ \beta_9 Særegenhet_høy + \beta_{10} Dataeier2 + \beta_{11} Dataeier3 \\ &+ \beta_{12} Forholdpost1_EntrKost + \beta_{13} Forholdpost3_EntrKost \\ &+ \beta_{14} Forholdpost4til6_EntrKost + \beta_{15} Forholdpost8_EntrKost + \varepsilon \end{aligned}$$

Regresjonsmodell 11 er lik som Regresjonsmodell 10, men med relativt avvik i post 8 som avhengig variabel.

5.4.1 RELATIVT AVVIK ENTREPRISEKOSTNAD MED RELATIV POSTSTØRRELSE FOR POST 8 SOM UAVHENGIG VARIABEL

I denne analysen undersøkes det hvorvidt den estimerte størrelsen på post 8 har en sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnad. Dette er interessant å undersøke med tanke på hvorvidt generelle kostnader korrelerer med faktiske sluttkostnader i entreprisen.

Regresjonsmodell 10 er lik som Regresjonsmodell 5, men relativ poststørrelse for post 8 er medtatt som uavhengig variabel. Forklaringsgraden er noe økt, med en R^2 lik 0,49.

Resultatene fra modellen blir i liten grad påvirket av at forholdet mellom post 8 og entreprisekosten er medtatt som uavhengig variabel, sammenliknet med resultatene fra Regresjonsmodell 5. Kun mindre endringer i P-verdi på andre uavhengige variabler skiller resultatene fra hverandre. Det er ikke indikasjoner på at den relative størrelsen på post 8 har sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnad.

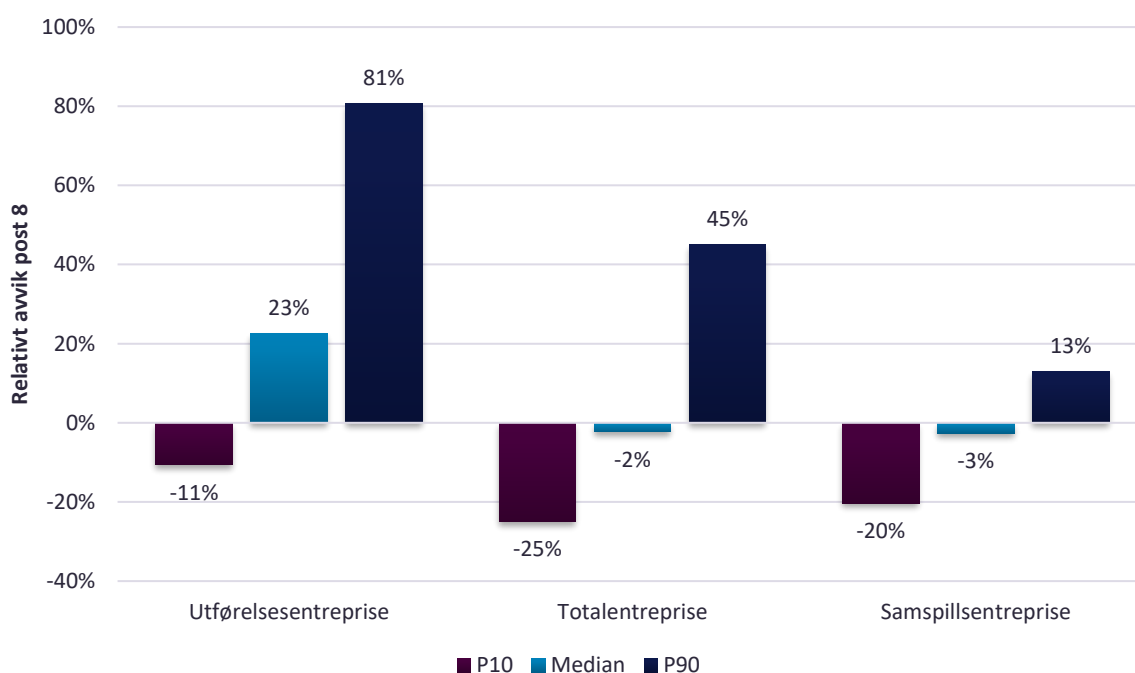
Oppsummert: Størrelsen på post 8 Generelle kostnader påvirker ikke i seg selv relativt avvik i entreprisekostnad.

Den relative poststørrelsen for post 8 har positivt fortegn for en koeffisient på 0,17 som uavhengig variabel for relativt avvik i entreprisekostnad. Sammenhengen er ikke signifikant på noe konvensjonelt nivå, med en P-verdi på 0,32. Det er derfor ikke grunnlag for å forkaste nullhypotesen om at størrelsen på post 8 ikke har noen effekt på entreprisekostnaden.

5.4.2 RELATIVT AVVIK POST 8

Det er gjennomført flere deskriptive analyser på relativt avvik i post 8, men rapporten vil kun presentere de vi har oppfattet som mest interessante og relevante.

I denne analysen benyttes Datasett 1, kun med datapunkter oppgitt enten som totalentreprise, utførelsesentreprise eller samspillsentreprise. Datasettet som benyttes i analysen avviker fra de andre postene, da det ikke er satt en øvre grense for relativt avvik på post 8. Årsaken til dette er at vi forutsetter at post 8 ofte er enklere å kostnadsføre enn andre poster, og derfor har sluttført kostnader på samme post som i estimatet. Det impliserer at vi har valgt å beholde flere prosjekter som har et relativt avvik over 100 prosent i datasettet. Vi oppfatter likevel dette som representativt, da det kan være vanskelig å estimere interne kostnader i et byggeprosjekt. Ett prosjekt med en overskridelse på rundt 1300 prosent ble derimot filtrert ut fordi det skilte seg ut spesielt. Figur 34 illustrerer de relative avvikene for hver entreprisemodell.



Figur 34 Relativt avvik i post 8 mot på entreprisemodell i Datasett 1 der entreprisemodell er oppgitt (N=142).

Tilhørende nøkkeltall fremgår av Tabell 20.

Tabell 20 Relativt avvik i post 8 mot på entreprisemodell i Datasett 1 der entreprisemodell er oppgitt (N=142).

	Utførelsesentreprise	Totalentreprise	Samspillsentreprise
Median	23 %	-2 %	-3 %
Gjennomsnitt	30 %	4 %	-5 %
Standardavvik	48 %	33 %	10 %
Antall	48	84	10

Vi observerer at det er relativt store standardavvik, henholdsvis 48, 33 og 10 prosent. Dette kan forårsakes av at det ikke er satt noen øvre eller nedre grense for relativt avvik i post 8 som begrenser hvilke datapunkter som blir med i analysen. Samtidig er differansen mellom standardavvik for de forskjellige entrepriseformene interessant. Utførelsesentreprisene har et langt høyere standardavvik enn samspillsentreprise. Utførelsesentreprisen har også et medianavvik på 23 prosent, altså en relativt stor underestimering av kostnader. Total- og samspillsentreprisene har derimot overestimert kostnader i post 8 med henholdsvis 2 prosent og 3 prosent. Ettersom post 8 ofte utgjør en stor andel av byggekostnaden kan innebære at relativt avviket mellom estimert og faktisk entreprisekostnad (sum post 1 til 7) er systematisk lavere en tilsvarende for byggekostnaden (sum post 1 til 8).

Regresjonsmodell 11 benytter ikke det samme datasettet som i den deskriptive analysen, da den filtrerer ut prosjektene med øvre og nedre grense for relativt avvik på post 1 til post 7. Det gir imidlertid anledning til å undersøke om funnene i den deskriptive analysen gir signifikante sammenhenger.

Modellen viser ingen signifikant sammenheng mellom entreprisemodell og relativt avvik på post 8. Det taler for at det er andre forhold enn entreprisemodell som har sammenheng med det relative avviket i post 8.

Et signifikant funn fra modellen er at den relative poststørrelsen for post 8 sett har en signifikant sammenheng med det relative avviket i post 8, med en koeffisient på -0,93. Det vil si at dersom post 8 er estimert til en høy verdi, i relative termer, er det mindre relativt avvik. I tillegg finner vi at øverste kvartil av kvadratmeterpris har en sammenheng med lavere relativt avvik i post 8, med en koeffisient på -0,15.

Oppsummert: Relativt avvik i generelle kostnader forklares i liten grad av prosjektets karakteristikk. Utførelsesentrepriser har systematisk langt høyere relativt avvik i post 8 sammenliknet med andre entreprisemodeller.

Den deskriptive analysen viser en korrelasjon mellom utførelsesentreprise som entreprisemodell og høyt relativt avvik i post 8. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng mellom entrepriseform og relativt avvik i post 8. Derimot viser den andre variabler som signifikante. Det relative avviket i post 8 minker med 0,93 prosentpoeng for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 8. Det relative avviket i post 8 er 14,6 prosentpoeng lavere for prosjektene med en kvadratmeterpris i øverste kvartil, sammenliknet med interkvartilsområdet.

5.5 MARKEDSUSIKKERHET

Å studere markedsusikkerhet er på kanten av studiens omfang sett i sammenheng med forskningsspørsmålet, da vi først og fremst studerer total usikkerhet i et prosjekt og dets sammenheng med prosjektkarakteristikk. Likevel har vi valgt å ta med en analyse om dette, da markedsusikkerhet er en svært viktig faktor i de fleste prosjekter, og datagrunnlaget gir anledning til å studere det.

Denne analysen benytter kun et utvalg datapunkter fra databasen for å kunne studere markedsusikkerhet. Concept-rapport nr. 1 (Berntsen & Sunde, 2004) har vært mye brukt som grunnlag for å fastsette markedsfaktoren i usikkerhetsanalyser. Der har de studert markedsutviklingen i bygg- og anleggsmarkedet og sammenliknet faktiske markedspriser med prisutvikling på innsatsfaktorer.

Rapporten gir en formel for markedsusikkerhet, gitt av likning 2, ofte omtalt som *Concept-formelen for markedsusikkerhet*:

$$\text{Markedsusikkerhet} = \pm 6\% * N^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

der N er antall år til kontrahering.

Formelen antyder at markedsusikkerheten er symmetrisk og at den har en sammenheng med antall år fra analysen gjøres til kontrahering.

Vi har valgt å studere markedsusikkerheten med en annen metode enn den som er benyttet i Concept-rapport nr. 1 med tall fra studiens datagrunnlag. Ettersom datasettet fra Prognosesenterdatabasen (gamle Undervisningsbygg) inneholder estimer fra ferdig forprosjekt (MP2) og kontrahert med entreprenør (MP3), er det mulig å studere hvordan markedsusikkerheten har påvirket estimatene mellom de to milepælene. For totalentrepriser er dette spesielt interessant, fordi prisene i stor grad er låst, slik at hovedvekten av markedsusikkerhet dermed er tatt høyde for i akkurat denne perioden. Dermed er det utformet et datasett bestående kun av totalentrepriser fra Prognosesenterdatabasen.

Fordi det er benyttet et nytt datasett i denne analysen, forklares det kort hvordan dette datasettet er utformet.

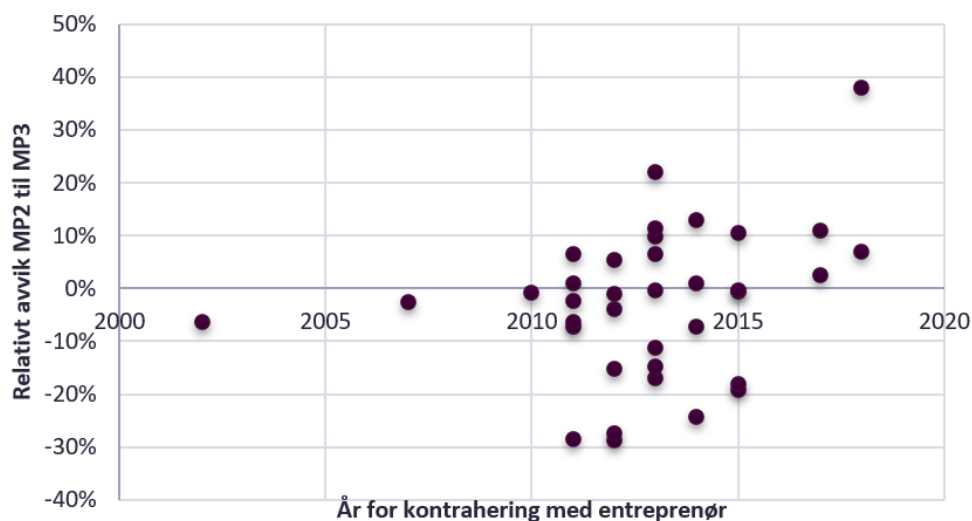
Datasettet inneholder estimer for kvadratmeterpriser fra Prognosesenterdatabasen for entreprisekostnad ved MP2 og MP3. Årsaken til bruk av kvadratmeterpriser er at det for enkelte prosjekter har blitt gjort en justering av BTA fra MP2 til MP3 som representerer modenhet, ikke markedsusikkerhet. Alle tall er prisjustert på lik måte som for Datasett 1. «Datoer» som er oppgitt for MP2 og MP3 er i årskvartaler, mens vi i databasen har registrert dato i måneder i forbindelse med prisjustering. Det er gjort en antakelse om at måneden for registrering av MP2 og MP3 er første måned i kvartalet.

Selv om Prognosesenteret inneholder 101 datapunkter som egner seg til analysene i kapittel 5.2, er det kun 36 datapunkter som er medtatt i denne analysen. Øvrige datapunkter er filtrert ut etter følgende kriterier:

- Datapunktet mangler tidspunkt for MP2 og MP3.
- Datapunktet har ikke oppgitt estimerte kvadratmeterpriser for post 1-7 i MP3.
- Tidspunkt for estimatet ved MP3 er før MP2.
- Estimaten i MP2 er nøyaktig de samme som estimatene ved MP3.
- Prosjektet kontraheres ikke som totalentreprise.

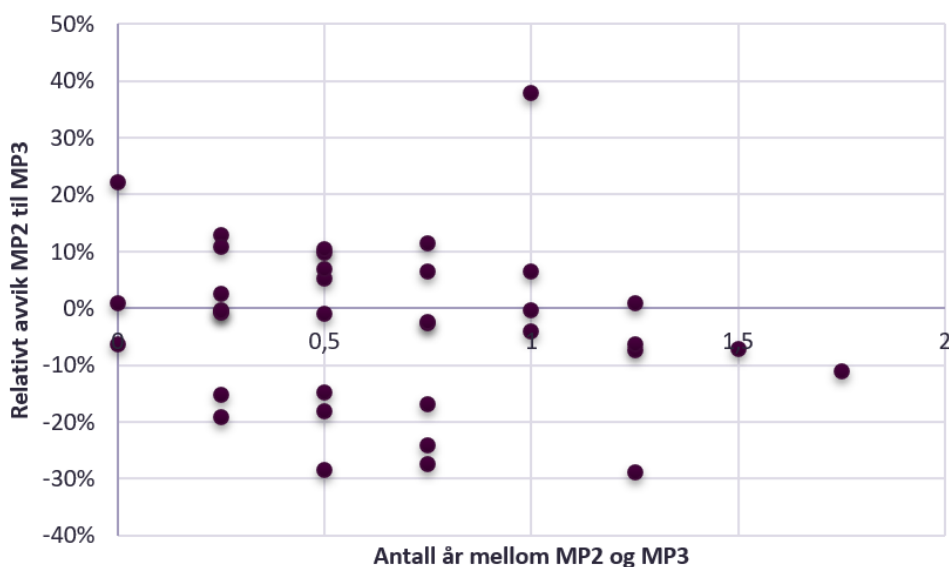
For analysene antas det at prosjektets modenhetsnivå fra MP2 til MP3 har neglisjerbar innvirkning på estimer og at markedsusikkerheten er den dominerende usikkerheten fra MP2 til MP3. For estimatene fra MP3 antas det at kontraktene låser priser slik at markedsusikkerheten er låst for byggherren.

Figur 35 viser prosjektenes år for kontrahering og relativt avvik fra estimer ved MP2. Vi ser at de fleste er kontrahert i perioden 2010 – 2015. Fra SSB byggekostnadsindeks ser vi at perioden 2010 til 2015 hadde en nokså lineær markedsutvikling. Vi antar derfor at datasettet representerer en lite volatil markedssituasjon.



Figur 35 Plot over datapunktene i utvalget (N = 36). X-aksen viser år for kontrahering med entreprenør (MP3). Y-aksen viser relativt avvik fra MP2 til MP3.

Det som virkelig er interessant er sammenhengen mellom relativt avvik og tid fra MP2 til MP3 i antall år, da Concept-formelen fastslår at det er en sammenheng. Figur 36 viser antall år mellom registrering av estimater fra MP2 til MP3.



Figur 36 Plot over datapunktene i utvalget (N = 58). X-aksen viser antall år fra MP2 til MP3. Y-aksen viser relativt avvik mellom MP2 og MP3.

Datapunktene viser ingen tydelig tendens til størrelsen på markedsfaktoren som en funksjon av tid mellom MP2 og MP3. For datapunktene der MP2 og MP3 er i samme kvartal, ser vi at det også at det er et avvik mellom estimatet ved ferdig forprosjekt og kontrahert pris. Det vil si at det eksisterer en betydelig markedsusikkerhet også for prosjekter som umiddelbart skal ut i markedet etter investeringsbeslutning. Dette er noe Concept-formelen ikke legger opp til, da Likning 7 ikke har noe konstantledd.

Oppsummering: Datasettet viser ingen tydelig tendens til at markedsusikkerheten har stor sammenheng med tid til kontrahering.

Det er samtidig altfor få datapunkter i denne analysen til å kunne konkludere på hvorvidt Concept-formelen er egnet for å sette et spenn på markedsusikkerhet.

5.6 PREDIKSJON VED BRUK AV MASKINLÆRING

Som en del av studien har vi kort undersøkt mulighetene for bruk av maskinlæring til prediksjon av relativt avvik i datasettet.

Maskinlæringsrammeverkene som er benyttet er XGBoost, CatBoost og LightGBM. Alle disse rammeverkene benytter en versjon av gradient boosting. Dette er en form for maskinlæring som lager en skog av beslutningstrær, der hvert tre tar residualverdiene fra forrige beslutningstre inn som en parameter. Boosting og andre former for skog-algoritmer er ikke-lineære, og det gir modellene andre egenskaper enn lineær regresjon. Dette fører ofte til svært gode prediktive egenskaper, og boosting er hyppig brukt i maskinlæringsmiljøet. En annen tilnærming kunne vært nevrale nettverk. Disse er også av design ikke-lineære. Til forskjell fra boosting krever nevrale nettverk mye treningsdata for å kunne gi gode prediksjonsegenskaper, gjerne mange titalls tusen datapunkter. Kravet om data gjør at selv om nevrale nettverk nok kunne fungert svært godt i sammenheng med usikkerhetsanalyse, er det ikke sannsynlig at man i nær fremtid vil klare å samle nok data.

De tre modellene generer hver sin liste med prediksjoner. Det endelige resultatet er gjennomsnittet av de to modellene som har minst differanse i sine prediksjoner for hvert prosjekt. Modellens parametere er ikke i stor grad tilpasset. Typisk er parametertilpasning (*tuning*) en av de mest tidkrevende prosessene når en arbeider med maskinlæring.

Datasett 4 er valgt som datagrunnlag fordi det gir muligheten til å bruke estimerer på én-siffernivå som input til modellen, som vi vet fra kapittel 5.3 øker forklaringsgraden betraktelig i regresjonsanalyse. Et subset av dataene velges tilfeldig ut for å kunne brukes som testdata. Størrelsen på testsettet er 19 prosjekter, og det gjenstår bare 59 prosjekter til å trene modellene.

Konklusjonen fra testene er at resultatene fra prediksjonene ikke er treffsikre nok til å kunne anvendes til konstruktivt formål. Prediksjonen gir like stor differanse til faktisk relativt avvik som gjennomsnittlig relativt avvik i hele Datasett 4. Det vil si at det er like bra å bruke et gjennomsnittstall som maskinlæringsmodellen.

Til videre arbeid med en maskinlæringsmodell er det selvfølgelig ønskelig med data fra flere prosjekter og mange flere variabler, da det kan bidra til økt forklaringsgrad. En fordel med boosting er at algoritmen oppdager hvilke variabler som har størst forklaringsgrad, noe som kan brukes til å studere hvilke parametere som er viktige for å predikere relativt avvik.

5.7 SAMMENDRAG ANALYSERESULTATER

Med kvaliteten på datamaterialet som ligger til grunn for analysene må resultater tolkes forsiktig. Det er gjort flere metodiske valg for å sikre at analysene gjøres for datasett med høyest mulig datakvalitet, men det er likevel gjort mange forutsetninger. I dette delkapittelet presenteres kun resultater som kan anvendes videre i datadrevet usikkerhetsanalyse.

- **Sluttkostnad i forhold til basisestimat og P50**

Nesten halvparten (43,5 prosent) av prosjektene i datasettet har en sluttkostnad som er lavere enn basisestimatet. Medianen for relativt avvik mellom sluttkostnad og P50 i datasettet er under null. Det vil si at flere prosjekter har en sluttkostnad under P50 enn over. Datasettene fra Statsbygg og Forsvarsbygg har en P50 som representerer faktisk prosjektkostnad på en god

måte. Prosjektene i datasettet bestående av kommunale / fylkeskommunale prosjekter har en overestimert P50.

- **Prosjektkarakteristikkens sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnad**

- **Brutto totalareal (BTA): Entreprisekostnad og usikkerhet undervurderes oftere for små prosjekter enn for store.**

Det er negativ korrelasjon mellom prosjektenes BTA og relativt avvik i entreprisekostnad, men som avtar når prosjektene blir spesielt store (over ca. 10 000 kvm). Regresjonsanalyse viser en signifikant sammenheng, der relativt avvik minker med -0,5 prosentpoeng per økte 1000 kvadratmeter. Ved å studere kvartiler ser vi at prosjekter mindre enn 1500 kvm har omtrent 6 prosentpoeng høyere relativt avvik enn prosjekter i interkvartilsområdet. Øvre kvartil gir ingen signifikant sammenheng.

- **Kvadratmeterpris: Prosjekter med lav estimert kvadratmeterpris innebærer økt risiko for kostnadsøkning. Høy estimert kvadratmeterpris gir større trygghet mot kostnadsøkning.** Kvadratmeterpris og relativt avvik i entreprisekostnad er negativt korrelert. Lav estimert kvadratmeterpris har en signifikant sammenheng med høyt relativt avvik, og motsatt. For prosjekter utenfor interkvartilsområdet varierer relativt avvik med omtrent 7 prosentpoeng i hver retning.

- **Bygningstype: Det er indikasjon på at prosjekter med bygningstyper av høy særegenhet oftere opplever en kostnadsøkning enn de med lav særegenhet.**

Den deskriptive analysen indikerer en korrelasjon mellom grad av særegenhet i bygningstype og relativt avvik. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng mellom bygningstype og relativt avvik, så det kan ikke konkluderes med at bygningstype faktisk samvarierer med relativt avvik.

- **Entreprisemodell: Det er indikasjon på at prosjekter med samspillsentreprise oftere opplever en kostnadsøkning, men de prosjektene som opplever størst kostnadsøkning er utførelsesentrepriser og totalentrepriser. Prosjekter med utførelsesentreprise har størst spredning i relativt avvik.**

Den deskriptive analysen indikerer en viss korrelasjon mellom entreprisemodell og relativt avvik. I datasettet har utførelsesentreprise som entreprisemodell det laveste relative avviket (i median), og samspillsentreprise størst. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng og antyder at korrelasjonen skyldes andre prosjektattributter.

- **Investeringsstype: Det er indikasjon på at prosjekter som omfatter rehabilitering oftere er underestimert og innebærer større usikkerhet enn rene nybyggprosjekter.**

Den deskriptive analysen indikerer at investeringsstype er korrelert med relativt avvik i entreprisekostnad, der omfanget av rehabilitering i et prosjekt har sammenheng med et høyere relativt avvik.

Regresjonsmodell 5 viser en signifikant sammenheng i at prosjekter som omfatter både rehabilitering og nybygg har et høyere relativt avvik i entreprisekostnad sammenliknet med rene nybygg. Kategorien «Nybygg og rehabilitering» har et 11 prosentpoeng høyere relativt avvik enn kategorien «Nybygg». Dette fremkom ikke av Regresjonsmodell 1. For rehabiliteringsprosjekter fremkommer ingen signifikant sammenheng.

- **Relativ poststørrelse: Andelen en post utgjør i estimatet kan ha sammenheng med relativt avvik i sluttkostnad.**

Den deskriptive analysen indikerer at det er en positiv korrelasjon mellom relativ poststørrelse for post 3 og relativt avvik i post 2, og dermed entreprisekostnaden, da post 2 er dominerende. Dette fremkommer kun som en indikasjon i regresjonsanalysen. Den viser i midlertidig at andelen post 1 Felleskostnader utgjør av entreprisekostnaden har en signifikant sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnaden. Det relative avviket øker

med 0,6 prosentpoeng for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 1. Relativ poststørrelse for post 08 Generelle kostnader har ingen signifikant sammenheng med relativt avvik i entreprisekostnad.

I tillegg ser vi at relative poststørrelser som forklaringsvariabler øker forklaringsgraden på relativt avvik i entreprisekostnaden betraktelig.

- **Relativt avvik på én-siffernivå**

- **Post 1:** Post 1 har 13 prosentpoeng lavere relativt avvik i rehabiliteringsprosjekter sammenliknet med nybyggprosjekter.
- **Post 2:** Prosjekter i kategorien «Nybygg og rehab» har 21 prosentpoeng høyere relativt avvik på post 2 enn prosjekter i kategorien «Nybygg». Prosjekter med kvadratmeterpris i øvre kvartil har 10 prosentpoeng lavere relativt avvik enn prosjekter med kvadratmeterpris i interkvartilsområdet. Relativ poststørrelse for post 1 er positivt korrelert med relativt avvik i post 2. Kvantifisert ser vi 1,2 prosentpoeng økning i relativt avvik på post 2 for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 1. Her bør det tas i betraktning at konstantleddet i regresjonsmodellen er på -16 prosent, og medianen for relativ poststørrelse for post 1 er på 14 prosent.
- **Post 3:** Relativt avvik i post 3 korrelerer ikke med de uavhengige variablene i regresjonsmodellen, annet enn det som allerede er kjent av karakteristikker som korrelerer med entreprisekostnaden som helhet.
- **Post 4-6:** Relativ poststørrelse for post 3 er positivt korrelert med relativt avvik i post 4-6. Det relative avviket i post 4-6 øker med 1,4 prosentpoeng for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 3 over 15 prosent, og motsatt. Det er indikasjoner på at bygningstypers særegenhet korrelerer med relativt avvik i post 4-6. Relativt avvik i post 4-6 er 16 prosentpoeng høyere i bygningstyper med høy særegenhet sammenliknet med bygningstyper med lav særegenhet.
- **Post 8:** Den deskriptive analysen viser en korrelasjon mellom utførelsesentreprise som entreprisemodell og høyt relativt avvik i post 8. Regresjonsanalysen viser ingen signifikant sammenheng mellom entrepriseform og relativt avvik i post 8. Derimot viser den andre variabler som signifikante. Det relative avviket i post 8 minker med 0,93 prosentpoeng for hvert prosentpoeng økning i relativ poststørrelse for post 8. Her bør det tas i betraktning av konstantleddet i regresjonsmodellen er på 38 prosent, og medianen for relativ poststørrelse for post 8 er på 21 prosent. Det relative avviket i post 8 er 14,6 prosentpoeng lavere for prosjektene med en kvadratmeterpris i øverste kvartil, sammenliknet med interkvartilsområdet.

6 TOLKNING AV RESULTATER OG DISKUSJON

For å kunne anvende resultatene fra analysekapittelet i usikkerhetsanalyser, må betydningen av resultatene tolkes. Korrelasjon mellom prosjektkarakteristikker og relativt avvik i historiske prosjekter må omdannes til kunnskap om usikkerhet i prosjekter, slik at dette igjen kan påvirke vurderingen av forventet tillegg i fremtidige prosjekter. Omdannelse av resultater til kunnskap krever fagekspertise om prosjektgjennomføring og usikkerhet. Derfor er det gjennom dialog med fagekspertene innen byggebransjen og usikkerhetsstyring hentet inn argumenter for implikasjoner av resultatene. I dette kapittelet vil vi drøfte betydningen av resultatene og vår oppfatning om hvordan oppnådd innsikt kan brukes i vurdering av usikkerhet.

For det første må vi drøfte hvorvidt empirisk data om relativt avvik i entreprisekostnad er en god indikator for forventet tillegg i fremtidige prosjekter. For det andre må vi drøfte om datasettene som er brukt er representative for offentlige byggeprosjekter. For det tredje må vi drøfte hvorvidt resultatene om korrelasjon i analysen kan ansees som årsakssammenhenger, og dermed kan anvendes i en usikkerhetsanalyse. Til slutt er det mulig å omdanne argumentasjonen til et metodeverk for datadrevet usikkerhetsanalyse.

6.1 RELATIVT AVVIK I ENTREPRISEKOSTNAD SOM INDIKATOR FOR FORVENTET TILLEGG

Forventet tillegg er det forventede relative avviket mellom basisestimat og faktisk sluttkostnad. Som vi har definert relativt avvik i Likning 1:

$$\text{Relativt avvik (RA)} = \frac{\text{Sluttkostnad} - \text{Estimat}}{\text{Estimat}}$$

er det samme forhold som blir benyttet i alle analyser. Dersom historisk data skal benyttes som en benchmark for forventet tillegg i et fremtidig prosjekt, vil derfor medianen av relativt avvik over et helt datasett være det beste tilgjengelige utgangspunktet, forutsatt at prosjektene i porteføljen er representative. Med mulighet for å filtrere datasettet etter prosjektkarakteristikker er det i tillegg mulig å skape en mer representativ benchmark-verdi.

Analysene i denne studien ser imidlertid på relativt avvik i entreprisekostnad, ikke for hele basisestimatet. «Forventet tillegg» over entreprisekostnaden trenger ikke nødvendigvis å ha lik relativ størrelse som forventet tillegg over basisestimatet. Eksempelvis kan det være prosjekter med liten usikkerhet i entreprisekostnad, men som har så stor usikkerhet i post 8 eller 9 at forventet tillegg på basisestimatet blir sterkt preget av disse elementene. Usikkerhetsdrivere i et prosjekt kan dessuten virke forskjellig på entreprisen og øvrige kostnadselementer, slik at faktorenes påvirkning på det relative avviket blir ulikt representert på entreprisekosten og den totale prosjektkostnaden.

Vår oppfatning er at det i de aller fleste prosjekter er kostnadselementer i *entreprisekostnaden* som er omfattet av størst usikkerhet, og samtidig utgjør den absolutt største andelen av kostnadene i et byggeprosjekt. Det medfører at bidraget til den totale usikkerheten blir dominert av usikkerheten i entreprisen. Dette taler for at det i relative termer er en god tilnærming å vurdere total usikkerhet i entreprisen som tilsvarende den totale usikkerheten i prosjektet. Et utvalg prosjekter som dog i stor grad skiller seg ut, er utførelsesentreprisene. Som vi ser i kapittel 5.4.2 er relativt avvik i post 8 adskillig høyere i utførelsesentrepriser enn andre entrepriseformer. Dette kan tolkes som at relativt avvik i estimert og faktisk entreprisekostnad (sum post 1 til 7) må være lavere enn tilsvarende for byggekostnad (sum post 1 til 8). Når vi studerer datasettet er dette ikke noe vi finner for utførelsesentrepriser. Derimot ser vi det motsatte for totalentrepriser og samspillsentrepriser;

relativt avvik i byggekostnad er lavere enn relativt avvik i entreprisekostnad. Dette kan igjen skyldes overestimering av post 8, feilføring eller andre forhold. Fordi vi vet såpass lite om hvordan byggherreorganisasjonene fører kostnader på post 8 som skrevet om i kapittel 2.2, står vi ved argumentasjonen om at relativt avvik i entreprisekostnad er det beste sammenlikningsgrunnlaget vi har for avvik i prosjektkostnadene.

Et annet faktum ved datagrunnlaget er at sluttkostnaden for det enkelte prosjekt kan representere et prosjekt med en annen nytte enn den som var tiltenkt ved investeringsbeslutning. Som vi forklarer i 3.4 kan det skilles på omfangsendringer som er nytteendrende og de som er forårsaket av risiko og muligheter. I datasettet fremkommer det ikke hvorvidt prosjektet er utsatt for betydelige nytteendrende omfangsendringer, eller hvor mye som er kuttet eller lagt til underveis i gjennomføringsfasen.

Kriteriene for datapunkter som medtas i analysen, slik de er beskrevet i 3.3, har som hensikt å fjerne ekstremalverdier av relativt avvik eller manglende datakvalitet. Likevel kan det for mange av prosjektene ha blitt gjort store, bevisste omfangsendringer som påvirker nytten og som ikke representerer usikkerhet i sin rene forstand (risiko og muligheter). Eksempelvis kan et prosjekt tidlig i gjennomføringsfasen ha hatt en prognose for relativt avvik på 20 prosent over estimatet, og gjennomført kutt i nytte (eksempelvis lavere elevkapasitet) som resulterer i et relativt avvik på 10 prosent. Det forventede tillegget burde i så fall ha vært på 20 prosent dersom det skulle levere den samme nytten det var lagt opp til i estimatet, mens den historiske dataen antyder at et forventet tillegg på 10 prosent er tilstrekkelig. Dermed legges det opp til at prosjektstyret bevisst *skal* redusere nytten underveis.

Vi har ikke grunnlag for å si hvor stor andel av eventuelle omfangsendringer det er i datasettet som forårsakes av risiko og muligheter. Vi vet heller ikke om prosjektene er preget av mest økning eller reduksjon i omfang. Det vi vet er hva summen av alle endringer og usikkerhet har betydd for entreprisekostnaden. I styring av rene kostnader er det dette som betyr noe. Til det formålet er resultatene gyldige, uavhengig av hva som er årsaken til den eventuelle endringen.

Vi argumenterer for at det relative bidraget fra forventet tillegg på entreprisekostnaden derfor er representativt for forventet tillegg i hele prosjektet.

6.2 OM DATASETTET ER REPRESENTATIVT FOR OFFENTLIGE BYGGEPROSJEKTER

Det har vært et krevende arbeid å samle inn, sammenstille og normalisere data som er benyttet i analysene. Som det blir forklart i kapittel 3 har det blitt gjort en rekke metodiske valg for å oppnå et datasett med høyest mulig datakvalitet.

For å diskutere om utvalget er representativt for offentlige byggeprosjekter, ser vi på kildene til datamaterialet. Det består i hovedsak av data fra to av de største statlige byggherreorganisasjonene i landet samt flere av de store kommunene og fylkeskommunene. Med store investeringsporteføljer, har de etablerte prosjektmodeller og rutiner som skal sikre god prosjektstyring. Imidlertid har hver av byggherreorganisasjonene svært forskjellige samfunnsoppdrag og rammebetingelser. Vi ønsker å drøfte hvorvidt datasettet er representativt for prosjektgjennomføring i offentlig sektor på generelt grunnlag.

I regresjonsmodellene har de kategoriske variablene som representerer de forskjellige dataeierne oppnådd liten signifikant sammenheng med relativt avvik. Det kan tolkes dithen at det ikke er en stor årsakssammenheng i hvilken offentlig virksomhet som står bak prosjektet og hvor godt sluttkostnaden treffer på estimatet. Satt i en større sammenheng virker det som at

rammebetingelser og samfunnsoppdrag ikke har en signifikant sammenheng med relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad; det er andre attributter ved prosjektene som forklarer årsaker til relativt avvik. Samtidig er det stor usikkerhet knyttet til regresjonsmodellen, da forklaringsgraden ikke er spesielt stor. Vi ser av kapittel 5.1 at det er betydelig lavere median av relativt avvik mellom basisestimat og sluttkostnad for kommunale / fylkeskommunale prosjekter sammenliknet med statlige prosjekter i databasen. Det er ingen tvil om at dette er med på å påvirke resultater fra analyser gjort på databasen som helhet.

For mange av prosjektene i databasen er sluttkostnaden lavere enn estimert entreprisekostnad, altså negativt relativt avvik. Dette ser vi for hele 37 prosent av prosjektene i Datasett 1. Fra analysekapittelet ser vi at dette spesielt gjelder prosjekter i øvre kvartil for BTA og kvadratmeterpris, som er de mest signifikante sammenhengene i Regresjonsmodell 1. I tråd med diskusjonen i kapittel 6.1 taler dette for et negativt forventet tillegg, eller *forventet fradrag* for prosjekter av denne typen, altså med stort areal og høy estimert kvadratmeterpris. Det er ukonvensjonelt å sette P50 lavere enn basisestimatet, så vi må adressere mulige årsaker til disse observasjonene:

- **Overestimering av mengder og enhetspriser.** Prosjektene med negativt relativt avvik har høyere enhetspriser enn markedet tilsier eller overestimerte mengder.
- **Overestimering av prosentvise påslag.** Post 1 og 8 blir i mange tilfeller satt som et prosentvis påslag. Denne prosenten, eller andre prosentvise påslag, kan være satt for høyt.
- **Uspesifisert med forventet tillegg innbakt i estimatet.** Uspesifisert skal ikke inneholde midler for å dekke usikkerhet, men kan ha det i kalkylen likevel.
- **Omfangsreduksjon.** Prosjekter kan ha gjennomført større kutt, som i datasettet kun fremstår som reduserte kostnader.

Vi har ikke grunnlag for å tro at datasettet benyttet i analysene er preget av større overestimering i enhetspriser, mengder eller prosentvise påslag enn andre offentlige prosjekter. Det er heller ikke argumenter som underbygger at datasettet har uvanlig høy andel uspesifisert eller omfangsreduksjon. Ergo må vi tro datagrunnlaget og at forventet fradrag kan være sannsynlig i gjennomføring av en del prosjekter.

Datasettet representerer heller ikke alle typer offentlige byggeprosjekter. 90 prosent av prosjektene i databasen er mindre enn 11 000 kvadratmeter, og enkelte offentlige byggeprosjekter kan ha størrelser på flere titusen kvadratmeter. Det kan gjelde sykehus, universitetsbygg eller større, offentlige kontorbygninger. For slike megaprosjekter vil ikke datasettet være representativt. Det samme kan sies om bygninger med ikke-ordinær høy eller lav kvadratmeterpris. Eksempelvis kan et laboratorium ha svært høy kvadratmeterpris, og usikkerheten i et slikt prosjekt mangler et godt referansegrunnlag i studiens datagrunnlag. Dermed er det nødvendig å definere et **gyldighetsområde** for studiens resultater. Et fornuftig nivå kan være å si at resultatene er gyldige for prosjekter innenfor øvre og nedre desil (10-del) av bygningsstørrelser og kvadratmeterpris. Dermed sier vi at resultatene **ikke** er gyldige for de 10 prosent prosjektene med lavest BTA, høyest BTA, lavest estimert kvadratmeterpris og høyest estimert kvadratmeterpris.

- Gyldighetsområde bygningsstørrelse: 800 m² – 11 500 m²
- Gyldighetsområde estimert entreprisekostnad: 11 000 kr/m² – 38 500 kr/m²

Vi argumenterer for at datagrunnlaget som er benyttet i studien representerer offentlige byggeprosjekter som er innenfor dataens gyldighetsområde. Gyldighetsområdet defineres som datagrunnlagets åtte midtre desiler for BTA og kvadratmeterpris.

Det bør også merkes at studiens resultater hadde blitt påvirket i nokså stor grad dersom vi ekskluderer kommunale / fylkeskommunale prosjekter, da medianen for relativt avvik er langt lavere i denne gruppen med prosjekter sammenliknet med data fra Forsvarsbygg og Statsbygg.

6.3 DRØFTING AV ÅRSAKSSAMMENHENGER FRA ANALYSEN

I dette kapittelet vil vi drøfte betydningen av analyseresultatene og hvorvidt vi kan si om funnene indikerer en årsakssammenheng eller kun samvariasjon. I dette er det stor usikkerhet, men vi ser på det som riktig å drøfte betydningen av resultatene kvalitativt.

STØRRELSE PÅ PROSJEKTET

Analysene viser i 5.2.1 at BTA har en signifikant sammenheng med relativt avvik i datasettet, og det påvises en negativ korrelasjon. Det impliserer at mindre byggeprosjekter får et høyere kostnadstillegg enn større prosjekter. Dette kan virke overraskende, da det intuitivt kunne forventes at gjennomføring av mindre byggeprosjekter har lavere kompleksitet; prosjektomfanget er mer oversiktlig, gjennomføringen foregår på et mer avgrenset område og det er ofte færre aktører og interessenter. For å forsøke å forklare sammenhengen, utvikler vi hypoteser som mulige forklaringer.

Den første hypotesen dreier seg om forskjellig modenhetsnivå ved investeringsbeslutning for store og små prosjekter. For byggherreorganisasjonen er det ikke kostnader og risiko ved hvert enkelt prosjekt som er avgjørende, men kostnader og risiko for hele investeringsporteføljen. Det er gjerne de store prosjektene som innebærer størst risikoeksponering i absolutte tall. Derfor er det viktigere for byggherren å ha god kontroll på store prosjekter. Kravene som stilles til prosjektet ved investeringsbeslutning kan derfor være strengere i et stort prosjekt enn et lite. Det kan innebære mer detaljert prosjektering, sterkere eierstyring og profesjonelle ressurser gjennomgående i planleggingsfasen. En byggherre kan være villig til å ta en investeringsbeslutning på et mer umodent grunnlag for et mindre prosjekt, fordi det på porteføljenivå er lavere risiko i absolutte verdier dersom estimatet skulle være undervurdert. Dermed kan det tenkes at mindre byggeprosjekter har et lavere modenhetsnivå ved investeringsbeslutning enn større prosjekter. Det kan også tenkes at det er høyere grad av modenhet i prosjektorganisasjonen i store prosjekter enn mindre, fordi de beste prosjektlederne blir satt til å gjennomføre de største prosjektene.

I tillegg er det vanlig at større prosjekter gjennomgår mer omfattende registrering av erfaringer enn mindre prosjekter. Det foregår dermed større læring om store prosjekter. Byggherreorganisasjonen tilegner seg kunnskap om hvilke kostnader som må hensyntas ved endrede rammebetingelser, men kanskje i større grad for store enn for små prosjekter.

Det fremkommer også en indikasjon i analysen om at trenden snur for spesielt store byggeprosjekter, som vi ser av badekarkurven i delkapittel 5.2.1. Megaprojekter er så komplekse, og varer ofte over så lang tid at det kan inntreffe svært mange usikkerhetsfaktorer prosjektet ikke har klart å ta høyde for i estimatet. Denne hypotesen er det dog lite grunnlag for i denne studien, da vi kun ser svake tegn til en slik sammenheng. Av datapunktene er det dog kun to prosjekter med en estimert entreprisekostnad på over en milliard, så dette kunne med fordel blitt studert videre med data om flere megaprojekter.

Concept har i sin studie fra 2022 (Berg, et al., 2022) funnet liten empirisk støtte for at prosjektstørrelsen kan forklare variasjoner i kostnadsavvik, der avvik blir betegnet som differansen mellom P50 og sluttkostnad. Vi sammenlikner ikke P50 med sluttkostnad, men basisestimat med sluttkostnad. Derfor er ikke disse to funnene nødvendigvis motsigende. Det kan eksempelvis hende at prosjektene i Berg, Bukkestein, & Nyhus sin studie faktisk hadde et høyere forventet tillegg for

mindre prosjekter, og derfor er det ikke en merkbar forskjell i avviket fra P50 basert på byggets størrelse. Det bør også merkes at Concept-studien fra 2022 omfatter veiprosjekter i tillegg til byggeprosjekter, som er opp mot ni ganger flere. Det er derfor ikke direkte sammenliknbare studier.

KVADRATMETERPRIS

Kvadratmeterpris er i likhet med BTA negativt korrelert med relativt avvik i entreprisekostnad. Her finner vi også en større signifikans i sammenhengen. Dette impliserer at prosjekter med høy estimert kvadratmeterpris har et lavere forventet tillegg enn prosjekter med lav estimert kvadratmeterpris.

En lav kvadratmeterpris impliserer et lavkostbygg. Det kan også indikere at elementer er utelatt, at prosjektert underlag er umodent eller at grunnlaget for estimatet for øvrig er ufullstendig. Lav kvadratmeterpris kan medfører et større relativt avvik fordi usikkerhet, kanskje spesielt knyttet til prosjektets modenhet, er undervurdert. For prosjekter der estimert kvadratmeterpris er høy, så kan man anta at det er større handlingsrom for å redusere i kvaliteter. Det innebærer at i prosjekter der estimatet fremstår som stramt, så må man regne med større tillegg enn i prosjekter der estimatet fremstår som romslig.

BYGNINGSTYPER

Den deskriptive analysen av bygningstyper indikerer en positiv korrelasjon mellom bygningstypens særegenhet og relativt avvik, men vi finner ingen signifikant sammenheng i regresjonsmodellen. Intuitivt virker det logisk at prosjekter med høy særegenhet har høy kvadratmeterpris, som vi har sett medfører lavt relativt avvik. Resultatene kan derfor virke som motsetninger. Dersom den positive korrelasjonen stemmer, kan det tolkes som at byggeprosjekter med høy særegenhet og lav estimert kvadratmeterpris har et høyere relativt avvik enn byggeprosjekter med lav særegenhet og lav estimert kvadratmeterpris. Det er også mulig at man i prosjekter med høy særegenhet ikke er gode nok på å etablere kalkyler som tar høyde for den kvadratmeterprisen som i realiteten kreves for prosjektet, og dermed lander på et høyt relativt avvik.

Vår oppfatning er at prosjekter med lav særegenhet i større grad unngår de store endringene da det er lettere å angi tydelige kravspesifikasjoner og realisere prosjektet innenfor disse. Dette fører til lavere usikkerhet. Prosjekter med høy særegenhet har ikke definerte krav utover byggteknisk forskrift på samme måte, og det er et større handlingsrom for byggherre, arkitekt, rådgivende ingeniører og interessenter til å påvirke prosjektet i kostnadsdrivende retning.

INVESTERINGSTYPE

Fra analysen ser vi en positiv korrelasjon mellom omfanget av rehabilitering og relativt avvik. Regresjonsmodellen finner ingen signifikant sammenheng ved anvendelse av Datasett 1, men en svært signifikant sammenheng for kategorien «Nybygg og rehabilitering» ved anvendelse av Datasett 4, der relativ poststørrelse på én-siffernivå er medtatt som uavhengige variabler.

En gjengs oppfatning fra prosjektgjennomføring kan sies å være at det er større usikkerhet knyttet til rehabiliteringsprosjekter enn nybygg. Det kommer av at det er vanskeligere å forutse alle nødvendige tiltak i et rehabiliteringsprosjekt, samt at tilstanden på eksisterende bygg ikke alltid er godt kartlagt. Omfangsusikkerhet er ofte viktig i et rehabiliteringsprosjekt. Avviket i 90-persentilen for kategorien «Rehabilitering» på hele 52 prosent kan mulig knyttes opp mot at det i verste fall kan oppstå langt flere endringsmeldinger for denne tiltakstypen enn nybygg og blanding nybygg/rehabilitering, som har 90-persentiler på 30 og 27 prosent.

Funnet fra regresjonsanalysen ved bruk av Datasett 4 er interessant, spesielt fordi det er en forklaringsgrad på 48 prosent. Kategorien «Nybygg og rehabilitering» har et relativt avvik som er 11

prosentpoeng høyere enn kategorien «Nybygg», med en P-verdi under 0,0005. Det betyr at det er svært stor sannsynlighet for at denne sammenhengen direkte samvarierer med relativt avvik. Prosjekter som omfatter både nybygg og rehabilitering kan erfaringsmessig være krevende å prosjektere, fordi det ofte omfatter tilbygg med grensesnitt mot eldre bygningsmasse, der det eksisterende bygget krever rehabilitering. Grensesnittene medfører vanligvis stor usikkerhet, da det er etasjenivåer og materialer som må tilpasses med høy grad av nøyaktighet. En annen mulig forklaring på større avvik kan være at prosjekteringen har et for ensidig fokus på nybygget, og ikke den delen av prosjektet som omfatter rehabilitering. Uansett er metodene for prosjektering for nybygg og prosjektering for rehabilitering svært forskjellige. Med samme prosjekteringsgruppe kan det virke plausibelt at noe får mindre fokus, og bidrar til et høyere relativt avvik fra estimatet. Trenden er likevel at prosjekter i kategorien «Rehabilitering» har et høyere relativt avvik enn «Nybygg og rehabilitering», men det er kun sistnevnte som har en sterk signifikant sammenheng i regresjonsanalysen. Vi tolker dette derfor som en kausalitet. Dersom prosjektet omfatter både nybygg og rehabilitering, må det altså forventes et større tillegg som følge av usikkerhet enn hvis det kun hadde vært et nybyggprosjekt.

Det faktum at uavhengige variable kan endre signifikansnivå så betraktelig basert på endring i forklaringsgrad, betyr at resultatene fra regresjonsanalysene (og studien for øvrig) bør tolkes med forsiktighet. Tilfellet kan være at ved å innføre nye uavhengige variable, vil det bli endringer i hvilke karakteristikk som blir fremtredende for signifikante sammenhenger.

ENTREPRISEMODELL

Analysen i delkapittel 5.2.4 indikerer ikke en signifikant korrelasjon mellom entreprisemodell og relativt avvik. Regresjonsmodellene gir ingen tegn til signifikans for hvorvidt entreprisemodell påvirker relativt avvik i estimert og faktisk entreprisekostnad.

Vår oppfatningen er at det er prosjektets egenart og usikkerhetsprofil som påvirker valg av entreprisemodell, og ikke motsatt. Totalentreprise egner seg i mange typer prosjekter der det er enkelt å definere tydelige kravspesifikasjoner, og der det forventes få endringer. Utførelsesentreprise egner seg der byggherren har stor kompetanse om prosjektet som skal gjennomføres og vil ha kontroll på alle endringer. Samspill som entreprisemodell blir ofte benyttet i komplekse prosjekter der omfanget ikke er helt klart for byggherren. Valg av entreprisemodell henger tett sammen med et prosjekts særegenhet. Det faktum at analysen viser liten korrelasjon mellom entreprisemodell og relativt avvik fremstår derfor som logisk.

RELATIV POSTSTØRRELSE

Fra analysen ser vi at relativt avvik i entreprisekostnad er positivt korrelert med relativ poststørrelse for post 1. Det vil si at dersom prosjektet har estimert en stor andel rigg og drift, er de totale entreprisekostnadene underestimert. Vi ser indikasjoner på at det samme gjelder post 3. En mulig forklaring på dette kan være at prosjekter har vanskelig for å medregne alle konsekvensene av logistisk og teknisk kompleksitet. Estimatet har ikke tatt høyde for grensesnitt mellom fagområdene.

En høy andel felleskostnader innebærer trolig at det er estimert store kostnader tilknyttet rigg og drift. Det kan tolkes som en indikator på at prosjektet har kompliserte riggforhold, lang varighet eller kompleks logistikk for flytting og håndtering av materialer, maskiner og mannskap. Slike prosjekter kan eksempelvis foregå på trangt område, bratt terreng eller inne i et bygg som er i bruk. Estimatet i post 1 tar ikke høyde for konsekvensene dette får i andre poster, da det kan kreve flere tilpasninger, forsinkelser eller kostnader som følger av et forsert løp for å holde fremdriftsplanen i prosjektet.

En høy andel VVS er på samme måte en indikator på høy teknisk kompleksitet. VVS-installasjoner og krav vil i mange prosjekter sette rammene for hvordan andre bygningsdeler må prosjekteres. Det er plasskrevende og kan skape behov for løpende tilpasninger i andre fag dersom det ikke er grundig gjennomtenkt. Kravene til VSS er dessuten i mange tilfeller ufravikelige, og mulighetene for å endre på dimensjoner og kvaliteter er krevende. Vi ser også fra analysene at relativ poststørrelse for post 3 er positivt korrelert med relativt avvik i post 4-6. Der det er en høy andel post 3, blir EI-installasjoner underestimert.

Bygningsdeler blir i de fleste tilfeller prosjektert av forskjellige rådgivende ingeniører. Grensesnittene mellom fag for prosjekter med høy teknisk og logistisk kompleksitet kan derfor være vanskelig å fange opp i estimatet. Konsekvenser av at RIB, RIV og RIE prosjekterer hvert sitt fag/bygningsdel medfører usikkerhet som fører til større avvik på postnivå. Vi tolker dette som en kausal sammenheng. Det impliserer at prosjekter med stor andel rigg og drift eller VVS har stor usikkerhet, og forventet tillegg burde gjenspeile dette.

6.4 MULIGHET FOR DATADREVEVET ANSLAG AV TRIPPELESTIMATER (P10 OG P90 PÅ POSTNIVÅ)

En måte å gjøre usikkerhetsanalyser mer datadrevet på er å ha gode benchmarkverdier for estimatusikkerhet. Fordi datapunktene har estimat og sluttkostnad fordelt etter bygningsdelstabellen, kan vi enkelt lese av 10- og 90-persentilene for relativt avvik på postnivå, slik det fremkommer av Figur 33 i delkapittel 5.3.2. Som det også blir kommentert, klarer vi ikke å isolere effektene av estimatusikkerheten. Det relative avviket vi ser er påvirket av både estimatusikkerhet, usikkerhetsfaktorer og feilføring mellom poster. Det fører til store feilkilder, som må hensyntas hvis det skulle kunne anvendes i en usikkerhetsanalyse. Vi vil likevel drøfte mulighetene for og begrensningene ved å bruke historiske data som benchmark for estimatusikkerheter.

Den største utfordringen er føring av kostnader i estimatet og i sluttkostnaden. Slutføring av kostnader på en annen post enn i estimatet hindrer mulighet for å gjøre gode analyser om avvik på én-siffernivå. Strukturen i bygningsdelstabellen legger til rette for at faktiske kostnader kan plasseres på en bestemt post, og dermed sees i sammenheng med estimatet, men det kan være vanskelig for byggherren å dekomponere en faktura i de rette bygningsdelene. Eksempelvis kan en heisinstallasjon som omfatter både sjakt, styringssystem, brannvarsling og heis ha kostnader på mange forskjellige poster. Det stilles ikke krav til at entreprenørene skal dele opp sine fakturaer i henhold til samme struktur som bygningsdelstabellen og byggherrene gjør ofte ikke denne jobben selv. Dermed greier ikke byggherren å ha løpende oversikt over påløpt på én-siffernivå uten å nedlegge stor innsats.

Dette henger også sammen med entreprisemodellen. I en totalentreprise er det entreprenørens ansvar å levere en bygning som imøtekommer kravspesifikasjonene, men hvordan entreprenøren oppnår dette er i prinsippet helt opp til den selv. Det er også i totalentreprenørens interesse å ikke dele hvilke kostnader de selv har hatt, da det kan være konkurransesensitiv informasjon. Dersom entreprenøren eksempelvis har svært gode avtaler på leveranser av spesifikke komponenter som gir dem et fortrinn, vil de ikke nødvendigvis at dette skal komme byggherren eller andre entreprenører til øre. I en utførelsesentreprise er det varierende grad av åpenhet om hvilke kostnader forskjellige entreprenører faktisk har hatt. I en samspillsentreprise som opererer med «åpen bok» kan det tenkes at forholdene ligger best til rette for å føre sluttkostnader på rett post, men det er fremdeles et insentiv for begge parter å bruke minst mulig ressurser på dokumentasjon som ikke kommer prosjektet isolert sett til gode. Dokumentasjon om sluttkostnader på én-siffernivå vil ikke være av stor interesse for det enkelte prosjektet, da det allerede er påløpt. Det er også kostnader som er vanskelig å skille fra hverandre. Hva som er rigg og drift eller el-installasjoner tilknyttet Huskostnader

(post 2-6) eller utomhus (post 7) er ikke rett frem. Vi har også vist at kostnader på post 4-6 er vanskelig å skille fra hverandre. Derfor spørres det om det i det hele tatt er hensiktsmessig å slutføre kostnader på post 4, 5 og 6 hver for seg. En måte å forenkle dokumentering av sluttkostnader på, ville vært å slå sammen disse, slik vi har gjort i våre analyser.

En ordning der det stilles krav til fakturering med en struktur etter bygningsdelstabellen kan være mulig, men spørsmålet er om det har noen reell verdi. Verdien kan være at det er lettere for byggherreorganisasjonen å ha løpende oversikt og kunne lage bedre prognoser for sluttkostnaden underveis. Det kan også by på et ryddigere sluttoppgjør med entreprenør, der påløpte kostnader er sporbare.

Den andre store utfordringen med å bruke data om relativt avvik på én-siffernivå som benchmark for estimatusikkerhet er å skille ut effekten av usikkerhetsfaktorer. Dette kan være komplekse sammenhenger som påvirker hele prosjektet, samtidig som det er krevende å spore opp rotårsaken og knytte den til en usikkerhetsfaktor. Det er heller ingen standarder for hvordan dette skal dokumenteres. Det kan dog tenkes at det kunne eksistert en praksis for dette. For å holde løpende oversikt over kostnader i prosjektet, burde det være mulig for prosjektkontroller eller -økonom å kategorisere endringer etter noen forhåndsdefinerte drivere. Enkelte drivere kan være enkle å knytte til endringen, mens andre vil være vanskeligere. Eksempelvis kan endringer forårsaket av endrede forskrifter kunne knyttes til en driver med navnet «Rammebetingelser», men det kan også knyttes til prosjektorganisasjonens evne til å navigere i endrede omgivelser og tilpasse prosjektet på best mulig måte. Å definere gode drivere som er lett å analysere er altså en forutsetning for å kunne lykkes med kvantifisering av effekten av usikkerhetsfaktorer.

Estimatusikkerhet er vanligvis usikkerhet i mengde og enhetspris. For entreprenøren er det enkelt å holde oversikt over faktiske mengder og enhetspriser, og ordinære mengdejusteringer kan fremkomme av vanlige avdragsnota (A-nota faktura). Ekstraordinære mengdejusteringer bør fremkomme av tilleggsnota (T-nota faktura). Estimatusikkerhet kunne derfor vært mulig å studere ved å studere differansen mellom estimerte og faktiske mengder og enhetspriser fra A-nota. En feilkilde er at det ikke nødvendigvis er konsistent hvorvidt entreprenører fører mengdejusteringer i A-nota eller T-nota. Dersom det er oversiktlig ført, kan det tenkes at det er mulig å skille ut hva som er ordinær usikkerhet i mengde og enhetspris og hva som skyldes endringer og usikkerhetsfaktorer.

For å konkludere, ser vi ikke i dag noen mulighet for å bruke studiens datagrunnlag til å gi benchmarkverdier for estimatusikkerhet på én-siffernivå. Koeffisientene som fremkommer fra regresjonstabellen i Vedlegg 6 er vanskelig å benytte direkte for å si noe om usikkerhetsspennet i en enkelt bygningsdel, da de i liten grad bidrar til å kunne predikere et forventet tillegg for det enkelte kostnadselementet. Analysene byr derimot på flere innsiktsfulle resultater som kan brukes veiledende i fastsettelse av estimatusikkerhet. For prosjekter som har en høy andel VVS er det stor usikkerhet i post 2 og 4-6, og resultatene tyder på at det bør settes et høyreskjevt spenn. Prosjekter med høy andel post 1 bør også forvente et høyere avvik i post 2. For post 8 ser vi flere resultater som kan brukes i vurdering av estimatusikkerheten, både med hensyn til entreprisemodell og estimert kvadratmeterpris. Disse, og øvrige analyseresultater, er praktisk anvendbare i en usikkerhetsanalyse og burde tas høyde for i en gruppeprosess.

SIMULERING AV FORVENTET TILLEGG OG USIKKERHETSAVSETNING BASERT PÅ RESULTATER FOR P10 OG P90 PÅ ÉN-SIFFER-NIVÅ

Selv om det finnes flere utfordringer ved å benytte resultater på post-nivå i databasen, er det likevel av interesse å undersøke hvordan disse kan anvendes direkte i en usikkerhetsanalyse. 10- og 90-persentilen av avviket på én-siffer-nivå kan representere utfallsrommet for hvor stort det relative

avviket kan være mellom estimat og sluttkostnad, tatt all usikkerhet i betraktning, altså både estimatusikkerhet og usikkerhetsfaktorer. Ved å «bake inn» effekten av usikkerhetsfaktorer i modellering av estimatusikkerheten, vil vi undersøke om datasettet kan bidra til å gi en god simulering av forventet tillegg og usikkerhetsavsetning på prosjektnivå. Med utgangspunkt i Datasett 3 fremkommer 10- og 90-persentilen for det relative avviket av Tabell 21.

Tabell 21 Persentiler av relativt avvik på postnivå fra Datasett 3, med alle størrelser, bygningstyper, entreprisemodeller og investeringstyper. Prosenten viser det relative avviket på postnivå for 10- og 90-persentilen fra datasettet.

Post	10-persentil (Datasett 3)	90-persentil (Datasett 3)
1 – Felleskostnader	-21 %	+28 %
2 – Bygning	-15 %	+38 %
3 – VVS	-21 %	+43 %
4 – Elektro	-13 %	+45 %
5 – Tele og automatisering	-17 %	+39 %
6 – Andre installasjoner	-16 %	+20 %
7 – Utomhus	-17 %	+68 %
8 – Generelle kostnader	-20 %	+62 %

Dette tallsettet bør kunne brukes som input til en benchmark-vurdering av usikkerhet i ethvert prosjekt. For å undersøke hvorvidt disse spennene kan benyttes som beste og verste tilfelle i et tripplestimat, studerte vi hvilket forventet tillegg og usikkerhetsavsetning som kommer ut dersom disse spennene benyttes i simulering av forventet tillegg og usikkerhetsavsetning. Det er benyttet Monte Carlo-simulering med en gamma 10-fordeling. Dette ble testet med utgangspunkt i kalkylen for et utvalg på fire prosjekter fra databasen. 10- og 90-persentilene av det relative avviket ble benyttet som beste og verste tilfelle i et tripplestimat. **Resultatet fra simuleringene ga et forventet tillegg på 10 – 12 prosent over basisestimatet, og en usikkerhetsavsetning på 11 – 13 prosent over P50. Spennene resulterer i et relativt standardavvik på 12 – 13 prosent.** Resultatenes relative størrelse er typisk for usikkerhetsanalyser. Simulert forventet tillegg er dog noe stort sammenliknet med medianen for relativt avvik i Datasett 4, som er på 9,8 prosent.

Bruk av 10- og 90-persentiler for relativt avvik på postnivå fra datasettet kan altså være en metode for innledende benchmark-vurdering til tripplestimater i en usikkerhetsanalyse. Dette innebærer imidlertid stor usikkerhet. Metoden gir heller ingen mulighet til å vurdere bakenforliggende årsakssammenhenger.

6.5 ANVENDELSE AV BENCHMARK TIL USIKKERHETSANALYSE

Empiri i form av data om gjennomførte prosjekter er noe av det beste grunnlaget vi kan ha for å si noe om usikkerhet i fremtidige prosjekter. Likevel, som vi har sett i studien, må vi tolke tilgjengelig data med stor forsiktighet. Fageksperter bruker også «empirisk data» gjennom erfaring og intuisjon, men er gode til å sammenfatte sin kunnskap og luke ut feilkilder, enn usystematisk. Svakheten til analytiske, datadrevne metoder er at det er vanskelig å ta høyde for alle feilkilder i datagrunnlaget. Styrken er at datadrevne metoder er i stand til å kvantifisere størrelser med et høyt presisjonsnivå. Målet er derfor ikke å erstatte funksjonen fageksperter har i usikkerhetsvurderinger. For å utvikle et best mulig datadrevet metodeverk for usikkerhetsanalyser, må vi forsøke å hente ut det beste av begge fremgangsmåter: vi må skape synergier mellom bruk av dataanalyse og fagekspertise.

BENCHMARK FOR FORVENTET TILLEGG

Datasettet tillater oss å filtrere prosjekter etter bestemte prosjektkarakteristikker. På denne måten kan vi studere forskjellige utvalg og deres relative avvik fra estimat til sluttkostnad, slik vi har gjort i analysen. Det er eksempelvis mulig å se medianavviket for nybygg med lav særeghet, utført som totalentreprise, og hvordan dette endrer seg avhengig av byggets størrelse og kvadratmeterpris. Filtringen gir historiske tall på relativt avvik i prosjekter med tilsvarende prosjektkarakteristikker. Medianavviket vi får oppgitt fra et slikt utvalg, er den historiske benchmarkverdien for forventet tillegg i et prosjekt med de samme prosjektkarakteristikkene. La oss nå si at det skal bygges en ny skole, og det tas utgangspunkt i et forventet tillegg likt medianavviket som kan hentes ut av datasettet. Prosjektet er unikt, så man kan ikke kun bruke historiske tall for å predikere at det forventede tillegget blir det faktiske relative avviket mellom estimat og sluttkostnad når prosjektet er ferdigstilt. Derimot er det et godt *utgangspunkt* for usikkerhetsvurderingen. Dermed blir det opp til fageksperter å argumentere for hvorfor *dette spesifikke prosjektet* skiller seg fra den historiske medianen.

Utfordringen med bruk av datasettet til å genere en benchmark for forventet tillegg er at filtrene skreller bort referanseprosjekter slik at grunnlaget blir svakere. Det ville vært en styrke med flere datapunkter innen hver av kategoriene. Gitt at vi hadde et datasett med svært mange prosjekter. Med en slik database kunne man filtrert ned datasettet til et stort utvalg ganske like prosjekter, i omtrent samme størrelse og kvadratmeterpris. Medianavviket hadde vært troverdig som benchmark for det aktuelle prosjektet fordi det var tilstrekkelig med historiske referanseprosjekter. I vårt datasett blir vi derimot sittende igjen med få prosjekter når flere filtre settes inn, og dermed faller troverdigheten til benchmarken. En annen utfordring er at alle som arbeider med usikkerhet måtte hatt tilgang til en database med gjennomførte prosjekter.

Regresjonsanalysen gir en annen tilnærming til hvordan en benchmark for forventet tillegg kan genereres i forbindelse med en usikkerhetsanalyse. Dette kan gjøres uten behov for et datasett med mulighet for å filtrere på prosjektkarakteristikker. Koeffisientene fra regresjonstabellene tilsier hvor mye en bestemt karakteristikk påvirker en basis for forventet tillegg. Eksempelvis fremkommer det av Regresjonsmodell 1 at relativt avvik minker med 0,5 prosentpoeng fra en gitt konstant per økte 1000 kvadratmeter. Vi ser også at prosjekter med en kvadratmeterpris i 75-persentilen har omtrent 7 prosentpoeng lavere relativt avvik enn prosjekter med en kvadratmeterpris i interkvartilsområdet. Karakteristikkene (de uavhengige variablene i regresjonsmodellen) med høyest signifikans er det som er mest gyldig i den lineære modellen. Deres koeffisienter er med andre ord gjeldende uavhengig av de andre karakteristikkene. Utfordringen med anvendelse av koeffisientene enkeltvis er at de ikke tilbyr en god *basis* for en benchmark, men forteller heller i hvor stor grad en basis *bør påvirkes* som følge av karakteristikken. Regresjonsmodell 5, som også tar inn poststørrelse som avhengig variabel, viser at andelen felleskostnader (post 1) har signifikant sammenheng med relativt avvik, et funn som

absolutt også kunne også vært benyttet i utformingen av en benchmark. Denne modellen er dog basert på et langt mindre datasett. Vi velger derfor å kun anvende resultater der Datasett 1 er benyttet.

En datadrevet metode for usikkerhetsanalyse bør forsøke å gi en best mulig prognose for avvik mellom estimert og faktisk sluttkostnad i et fremtidig prosjekt. Resultatene og datagrunnlaget gir i utgangspunktet to forskjellige slike metoder, som blir beskrevet i Tabell 22.

Tabell 22 Metoder for å utarbeide benchmark for forventet tillegg utforsket i studien.

	Filtrert data som benchmark	Koeffisienter fra lineær modell
Beskrivelse	Historisk data om gjennomførte prosjekter, samlet i en database.	Kvantitative størrelser som tilsier i hvor stor grad en karakteristikk påvirker forventet tillegg.
Styrke	Mulighet for benchmark basert på referanseprosjekter med samme karakteristikk.	Tilnærming til signifikante karakteristikk sin innflytelse på forventet tillegg, uavhengig av øvrige karakteristikk.
Svakhet	Lite antall datapunkter ved anvendelse av flere filtre senker troverdigheten.	Tilbyr ingen basis for forventet tillegg med grunnlag i relativt avvik i referanseprosjekter. Ikke-signifikante karakteristikk kan ikke anvendes med trygghet.

Med grunnlaget vi har tilgjengelig foreslår vi en metode som anvender styrkene til begge de to fremgangsmåtene for å utarbeide en benchmark. Filtrert, historisk data kan tilby en konstant for relativt avvik, som koeffisienter for signifikante forklaringsvariabler kan justere til en benchmarkverdi. Regresjonsmodell 1 forteller oss at entreprisemodell, bygningstype og investeringstype i realiteten ikke er signifikante sammenhenger. Dermed kan vi se bort fra ikke-signifikante karakteristikk i en lineær modell, som fremkommer av Likning 8, basert på Regresjonsmodell 1.

$$RA_{Entreprisekostnad} = \beta_0 + \beta_1 BTA + \beta_2 PrisPerM2Kvantil25 + \beta_3 PrisPerM2Kvantil75 \quad (8)$$

Dersom vi anser koeffisientene for kvadratmeterpris og BTA fra Regresjonsmodell 1 gyldige for et fremtidig prosjekt, vil de være gode til å justere benchmarken $RA_{Entreprisekostnad}$ ut ifra konstanten β_0 . Videre kan β_0 settes til et representativt nivå fra datasettet. Ved å filtrere Datasett 2 etter det aktuelle prosjekts entreprisemodell, bygningstype og investeringstype (eksempelvis «Totalentreprise», «Lav særegenhet», «Nybygg») genereres en liste av referanseprosjekter uten å redusere utvalget i for stor grad. Medianen av relativt avvik i det filtrerte datasettet kan dermed anvendes som β_0 .

En utfordring med modellen i Likning 8 er at kvartilene for kvadratmeterpris er anvendt som binære ledd i stedet for å utformes som en kontinuerlig variabel. Dette viste seg hensiktsmessig i regresjonsanalysen, men egner seg ikke i et metodeverk for datadrevet usikkerhetsanalyse. Konsekvensene av en binær variabel at et prosjekt med kvadratmeterpris like under øvre kvartil i datasettet får en benchmark som er β_3 prosentpoeng lavere enn et helt tilsvarende prosjekt, men som ligger like over øvre kvartil. Derfor er det hensiktsmessig å transformere dette leddet til en kontinuerlig variabel. En mulig tilnærming er å anta at det er en lineær og kontinuerlig sammenheng

mellom koeffisientenes utslaget på relativt avvik for nedre og øvre kvartil, som er på henholdsvis 20 902 og 31 583 kr/m². Dermed kan vi utforme en ny koeffisient som beskriver en lineær virkning av økt kvadratmeterpris på relativt avvik, som

$$\beta_4 = \frac{\beta_3 - \beta_2}{(PrisPerM2Kvartil75 - PrisPerM2Kvartil25) * 10^{-3}} = -1,3\%, \quad (9)$$

for en økning i relativt avvik per tusen økning i kvadratmeterpris, der

$$PrisPerM2Kvartil25 = 21\,000 \frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \text{ og } PrisPerM2Kvartil75 = 32\,000 \frac{\text{kr}}{\text{m}^2}.$$

Konstanten β_0 er valgt fra en liste av prosjekter i alle forskjellige størrelser og kvadratmeterpriser. Den lineære modellen med tilhørende koeffisienter vi får fra Regresjonsmodell 1 tilsier at prosjektets relative avvik skal nedjusteres med 0,5 prosentpoeng for hver tusende kvadratmeter fra null. Referanseprosjektene som ligger til grunn for β_0 har naturligvis et større areal enn null. For å kunne gjøre en justering av benchmarken for byggeprosjektets BTA, må dette tas høyde for ved anvendelse av Likning 8. Gitt at konstanten β_0 representerer en liste over alle størrelser i Datasett 2, kan vi anta at medianstørrelsen på 2 897 m² er representert i relativt avvik i konstanten. Det samme gjelder for kvadratmeterpris og anvendelse av β_4 , der medianen av kvadratmeterpris på 27 116 kr/m² antas representert i konstanten. Medianen må komme til fradrag fra prosjektets faktiske størrelse og kvadratmeterpris for ikke å telle effekten av koeffisienten dobbelt. Dermed snakker vi ikke lenger om total BTA eller kvadratmeterpris for prosjektet, men *differansen fra medianen i Datasett 2*. For dette formålet definerer vi to nye variabler, nemlig

BTA_{diff} , som er differansen mellom prosjektets brutto totalareal og medianen, og

$Kvadratmeterpris_{diff}$, som er differansen mellom prosjektets estimerte kvadratmeterpris for entreprisekostnad og medianen.

Dette resulterer i en ny likning som kan benyttes for å etablere en benchmark for forventet tillegg, som fremkommer av Likning 10.

$$Benchmark_{\Delta} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000} \quad (10)$$

Som vi har vist, er det flere prosjekter i databasen som har et negativt relativt avvik. Det resulterer i at formelen kan gi negative verdier for benchmark for forventet tillegg. Slik vi definerer forventet tillegg er det et påslag over basisestimatet, som ikke kan være lavere enn null. Ved benchmarkverdier lavere enn null mener vi at formelen indikerer at basisestimatet sannsynligvis er for høyt, basert på historisk prosjektdata.

Leddenes verdi er utledet gjennom analyseresultatene, og fremkommer av Tabell 23. Konstantleddet er basert på et filtrert utvalg fra Datasett 2 og kan leses av Tabell 24. Tabellen oppgir utvalgets median av relativt avvik som benyttes som β_0 , et standardavvik for referanse til total usikkerhet i prosjekter med tilsvarende karakteristikk, og antallet datapunkter (N) i hver kategori.

Tabell 23 Verdi for leddene i likning (10) som gir benchmark for forventet tillegg, basert på prosjektets karakteristikk.

Ledd	Verdi	Kilde
Benchmark_Δ	Benchmark for forventet tillegg til prosjektets basisestimat.	Likning 10
β₀	Inngangsverdi for beregning av benchmark, som avhenger av entreprisemodell, bygningstype og investeringstype. Leses fra Tabell 24.	Datasett 2
β₁	= -0,5%	Regresjonstabell Vedlegg 5.
β₂	= -1,3%	Likning 9, basert på Vedlegg 5.
BTA_{diff}	= <i>Totalareal</i> - 3 000 m ² , der <i>Totalareal</i> er BTA for det aktuelle prosjektet.	Datasett 2, median for BTA
Kvadratmeterpris_{diff}	= <i>Estimert kvadratmeterpris</i> - 27 000 $\frac{\text{kr}}{\text{m}^2}$, der estimert kvadratmeterpris er basert på entreprisekostnad, i prisenivå desember 2021-kr.	Datasett 2, median for kvadratmeterpris

Tabell 24 Tabell for konstantledd til benchmark for forventet tillegg og standardavvik.

Konstantledd for benchmark (β ₀) og standardavvik		Lav særegenhet	Høy særegenhet
		Median (β ₀) (Standardavvik σ) Antall referanser (N)	
Nybygg	Totalentreprise	0,0 % (12,5 %) N=46	10,1 % (13,7 %) N=25
	Ikke totalentreprise	4,1 % (15,4 %) N=39	2,9 % (21,4 %) N=25
Nybygg og rehab	Alle entreprisemodeller	2,0 % (15,8 %) N=21	13,3 % (11,7 %) N=5
Rehab	Totalentreprise	10,3 % (14,4 %) N=7	14,3 % (20,8 %) N=11
	Ikke totalentreprise	6,1 % (26,5 %) N=15	13,8 % (18,9 %) N=21

Metoden vi presenterer for å generere en benchmark for forventet tillegg har flere tilnærminger og forenklinger. Den er forankret i historiske tall og analytiske metoder som gir et robust underlag. Vi mener at det vil være viktig å videreutvikle dette metodeverket for å kunne ha et enda bedre grunnlag å gjøre usikkerhetsvurderinger ut ifra.

Datagrunnlaget i studien beskriver heller ikke alle prosjekter like godt. Den er aller best til å beskrive prosjektene det er flest av med liknende karakteristikk. Derfor vil vi anbefale å være forsiktig med anvendelse av metoden i prosjekter utenfor gyldighetsområdet til datasettet, slik vi definerer det i kapittel 6.2. For prosjektene innenfor studiens gyldighetsområde har vi utarbeidet et oppslagsverk for benchmark til forventet tillegg i tabellform, som fremkommer av Vedlegg 8.

BENCHMARK FOR STANDARDAVVIK

I gjennomføring av en usikkerhetsanalyse opplever vi at det kan være vanskelig for prosjektorganisasjonen å innse graden av usikkerhet i prosjektet. Som vi dog ser i datagrunnlaget, er det stor variasjon i relativt avvik. Her kan også resultater fra datagrunnlaget komme til nytte. Listen over relativt avvik i datasettet gir et standardavvik som er representativt for relativt avvik i offentlige byggeprosjekter, som det blir drøftet i kapittel 6.2. For et utvalg av prosjekter med tilsvarende karakteristikk som det gjeldende prosjekt, kan standardavviket brukes til å vise hvilken variasjon liknende prosjekter opplever i avvik fra basisestimatet.

Etter at alle usikkerhetsspenn er satt for estimatusikkerhet og usikkerhetsfaktorer, gjennomføres som regel en rimelighetsvurdering. I denne rimelighetsvurderingen ser man på den totale usikkerheten samlet, men har ikke noen veiledere som sier om total usikkerhet er på rett nivå eller ikke. I bruk av simuleringsverktøy i forbindelse med en usikkerhetsanalyse, vil alle iterasjonene i simuleringen av prosjektet gi et standardavvik i prosjektkostnaden basert på usikkerheten som er satt. Standardavviket i datasettet kan benyttes som en benchmark for hva som er et representativt nivå for standardavvik i tilsvarende prosjekter. Standardavviket for prosjekter med forskjellige karakteristikk fremkommer av Tabell 24 tidligere i dette kapitlet, men vi gjør oppmerksom på at enkelte av kategoriene har svært få referanseprosjekter, og at standardavviket derfor kan være svært preget av noen få prosjekter med stor variasjon i relativt avvik.

Det er flere måter analyseresultatene kan benyttes på. Det er samtidig mye rom for feiltolkning og feilaktig bruk: rene tall må ikke stoles blindt på. Vi tror likevel et metodeverk som klarer å hente ut det beste av dataanalyse og fageksperter vil bidra til bedre usikkerhetsanalyser.

BENCHMARK FOR FASTSETTELSE AV ESTIMATUSIKKERHET

Tidligere i inneværende kapittel viser vi hvordan regresjonskoeffisientene i Vedlegg 5 fra Regresjonsmodell 1 kan anvendes i å finne en benchmark for forventet tillegg. Resultater fra regresjonsanalysen kan også benyttes veiledende i en gruppeprosess ved fastsettelse av estimatusikkerhet-

Delkapittel 5.3.2 presenterer analyseresultater på én-siffernivå etter bygningsdelstabellen. Det fremkommer blant annet at relativt avvik i post 2 er positivt korrelert med relativt poststørrelse for post 1. Slik vi allerede har nevnt, kan størrelsen på post 1 gi indikasjoner på prosjektets kompleksitet med hensyn til rigg og drift, altså logistiske utfordringer. Det samme gjelder relativt avvik i post 4-6, som er positivt korrelert med andelen VVS. Dersom det ikke finnes andre argumenter, bør post 4-6 har et høyreskjevt spenn dersom VVS utgjør uvanlig mye av entreprisekostnaden. Argumentene som kan benyttes i fastsettelse av analyseresultater i gruppeprosessen er medtatt i metode for Datadrevet usikkerhetsanalyse, som fremkommer av kapittel 7.

7 METODEVERK FOR DATADREVET USIKKERHETSANALYSE

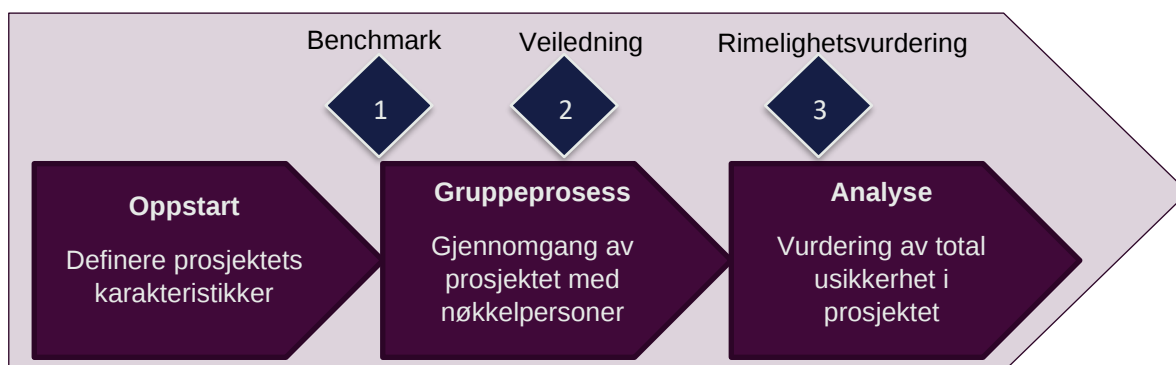
Med utgangspunkt i resultatene fra analysen og den påfølgende diskusjonen har vi utarbeidet et forslag til metodeverk for Datadrevet usikkerhetsanalyse. Innsikt fra studien kan i seg selv brukes i vurdering av usikkerhet, men dette metodeverket strukturerer funnene på en måte som kan tilby en hensiktsmessig bruk. Det er gjort flere forenklinger for å kunne tilnærme seg et metodeverk som gir best mulig prediksjonsevne, basert på de resultatene studien gir.

Metodeverket som er utviklet for Datadrevet usikkerhetsanalyse anvender innsikten som er oppnådd i studien sammen med beste praksis for usikkerhetsanalyser. Elementer av en datadrevet metode blir benyttet ved forskjellige stadier i usikkerhetsanalysen for å hjelpe prosjektet med vurdering av total usikkerhet.

Datasettet som analyseresultatene baseres på representerer ikke alle typer offentlige byggeprosjekter. Vi velger å si at resultatene har et gyldighetsområde som gjør at resultatene ikke bør anvendes i usikkerhetsanalyser for prosjekter i øvre eller nedre desil (10-del) av BTA og estimert kvadratmeterpris fra datagrunnlaget. Gyldighetsområdet er som følger:

- Gyldighetsområde bygningsstørrelse: 800 m² – 11 500 m²
- Gyldighetsområde estimert entreprisestnad: 11 000 kr/m² – 38 500 kr/m²

Det tas utgangspunkt i trinnvisprosessen (Austeng, et al., 2005), med en forenklet versjon som gjør det lettere å visualisere de forskjellige trinnene. En prosess for metoden fremkommer av Figur 37. De mørke pilene beskriver hovedaktiviteter i en usikkerhetsanalyse. De blåfargede rombene viser punktene der datadrevne metoder benyttes.



Figur 37 Prosess for datadrevet usikkerhetsanalyse

Aktivitetene som fremkommer av prosessen blir beskrevet i Tabell 25.

Tabell 25 Veiledere for bruk av datadrevne metoder i usikkerhetsanalyse

Steg av datadrevet metode	Beskrivelse av metode
	I oppstart av usikkerhetsanalysen blir mål og omfang for usikkerhetsanalysen definert. I denne delen må prosjektets karakteristikk fremkomme, slik at det kan velges en benchmarkverdi for et forventet tillegg.

Steg av datadrevet metode	Beskrivelse av metode
Benchmark 	Det etableres en benchmark for forventet tillegg og standardavvik basert på prosjektets karakteristikk. - Standardavviket belyser variasjonen i avvik mellom basisestimat og sluttkostnad for referanseprosjekter med tilsvarende bygningstype, entreprisemodell og investeringstype. - Benchmark for forventet tillegg gir grunnlag for å drøfte prosjektets usikkerhetsnivå og gir en inngangsverdi til diskusjon rundt usikkerhet. Den baseres på overnevnte karakteristikk, samt BTA og estimert kvadratmeterpris. Disse kan leses av egen tabell i Vedlegg 8.
	I gruppeprosessen blir prosjektets usikkerhet drøftet kvalitativt, med utgangspunkt i variasjon i relativt avvik mellom basisestimat og sluttkostnad som fremkommer av erfaringstall. Fageksperter og nøkkelpersoner i prosjektet argumenterer for hva som gir det spesifikke prosjektet en annerledes usikkerhetsprofil enn referanseprosjekter. Dette kan gjelde grunnforhold, eierstyring og rammebetingelser, marked, prosjektorganisasjonens kapasitet og kompetanse, interesser eller andre faktorer. I forkant av gruppeprosessen er det etablert en prosjektnedbrytningsstruktur, som tilsvarer trinn tre i trinnvisprosessen. Hvert enkelt kostnadselement blir drøftet kvalitativt og resulterer i et usikkerhetsspenn som representerer estimatusikkerheten i det enkelte elementet. I tillegg blir det satt usikkerhetsspenn på faktorer som kan påvirke én eller flere kostnadsposter i prosjektet.
Veiledning: Indikasjoner på skjevhet ved fastsettelse av estimatusikkerhet 	Analyseresultater fra studien brukes veiledende ved fastsettelse av tripplestimater for estimatusikkerhet. Koeffisienter fra regresjonstabellen i Vedlegg 6 indikerer enten høyere eller lavere forventet tillegg på postnivå basert på forskjellige prosjektkarakteristikk. Disse må drøftes kvalitativt; det er ikke grunnlag for å kunne kvantifisere tripplestimater med grunnlag i studiens resultater, da effekten kan være forårsaket av både estimatusikkerhet eller usikkerhetsfaktorer. Nøkkelpersoner må ta indikasjonene til etterretning og vurdere om det kan ha innflytelse på usikkerhetsprofilen til prosjektet. Tabellen under gir indikasjoner på hvorvidt usikkerhetsspennet bør være høyreskjev eller venstreskjev, med indikator for mulighet og risiko i den enkelte post.

Steg av datadrevet metode	Beskrivelse av metode		
	Post	Indikator for oppside	Indikator for nedside
	1	Rehabiliteringsprosjekt	-
	2	Høy kvadratmeterpris. Lav andel felleskostnader (< 14% av entreprisekostnad).	Nybygg og rehabilitering. Stor andel felleskostnader (> 14% av entreprisekostnad).
	3	-	-
	4-6	Lav andel VVS (< 15% av entreprisekostnad). Lav særegenhet.	Stor andel VVS (> 15% av entreprisekostnad). Høy særegenhet.
	7	-	-
	8	Høy kvadratmeterpris. Stor andel post 8 (> 21% av entreprisekostnad).	Lav kvadratmeterpris. Lav andel post 8 (< 21% av entreprisekostnad).
Analyse	Innsamlet informasjon om usikkerhet analyseres og kvantifiseres. Her blir den totale usikkerheten i prosjektet vurdert. Ved Monte Carlo-simulering blir det generert en S-kurve og et standardavvik for hele prosjektkostnaden. Det forventede tillegget er som kjent differansen mellom basisestimat og P50. Basert på erfaring og informasjon som har fremkommet underveis i tidligere aktiviteter gjøres en rimelighetsvurdering av den totale usikkerheten i prosjektet.		
Rimelighetsvurdering 3	1) Forventet tillegg vurderes mot benchmark. Det bør vurderes om det er gode nok argumenter for å si at prosjektet har en annerledes usikkerhetsprofil enn referanseprosjektene og at P50 er på rett nivå. 2) Total usikkerhet i prosjektet vurderes mot benchmark fra erfaringstall. Standardavviket i simuleringsresultater av prosjektets sluttkostnad vurderes kvalitativt mot benchmark for typisk standardavvik i gjennomførte prosjekter. For å kunne sammenlikne standardavviket i absolutte kroner med en prosent, må relativt standardavvik regnes ut. Relativt standardavvik kan regnes ut som $\sigma_{rel} = \frac{\sigma}{Basisestimat},$ der σ er standardavviket i kroner som fremkommer av simuleringen. Disse kan leses av egen tabell i Vedlegg 8.		

8 ANBEFALINGER OM VIDERE ARBEID

I denne studien har vi sett på hvordan data om gjennomførte byggeprosjekter kan gi økt innsikt om usikkerhet i prosjektgjennomføring. Vi har studert sammenhenger mellom prosjektkarakteristikker og differansen i estimat og sluttkostnad. Til slutt har vi utviklet et metodeverk for å gjøre usikkerhetsanalyser mer datadrevet, med utgangspunkt i studiens resultater.

Det er flere viktige læringsmomenter vi tar med oss ut av denne studien. I videre arbeid mot å gjøre usikkerhetsanalyser mer datadrevet vil disse momentene være viktige. Vi har derfor laget en liste med konkrete anbefalinger om videre arbeid for å kunne bli bedre på bruk av data i usikkerhetsanalyser:

- **Videreutvikle database med offentlige byggeprosjekter og revidere analyseresultater.**
Resultatene i studien baserer seg på kun et utvalg av data om offentlige byggeprosjekter, etter hva som har vært enklest tilgjengelig for denne studiens formål. Mange av datapunktene har ikke blitt benyttet til analyseformål da det mangler informasjon som gjør dem anvendelige til studiens analyser. Det er ikke gjort et stort arbeid med å systematisk innhente data fra alle offentlige byggherreorganisasjoner i landet. Det er heller ikke gjort et arbeid med å fremskaffe informasjon om prosjektene der det er hull i datagrunnlaget, da dette krever kjennskap til prosjektene og innsyn i prosjektmapper. Derfor antar vi at det finnes et potensiale for å etablere en enda mer fullstendig database, med høyere nøyaktighet. Analysene i studien kan gjenskapes med sterkere datagrunnlag i flere omganger i fremtiden.
- **Standardisert dokumentering av gjennomførte offentlige byggeprosjekter.**
Vi ser potensiale for at dataanalyse av gjennomførte prosjekter kan gi stor verdi i usikkerhetsanalyse og kostnadsstyring i offentlige byggeprosjekter ved anvendelse av god og høyoppløselig data. Vi kan studere og kvantifisere kostnadseffekten av for eksempel manglende grunnundersøkelser, en grundig anbudsprosess, manglende kontinuitet blant nøkkelpersoner og mye mer med detaljert data om prosjektene. Robuste funn forutsetter høy datakvalitet. Det tillater samtidig mer avanserte analysemetoder, som maskinlæringsmodeller.

For å bedre datakvaliteten vil det være av stor verdi å sikre en konsistent og felles dokumentering av prosjektdata. Dette er mulig ved å etablere en standard for dokumentering av offentlige byggeprosjekter som er anvendelig til analyseformål. I dag er det stor forskjell på hvordan offentlige aktører tar vare på data om sine gjennomførte prosjekter. En standard vil kunne legge til rette for erfaringsutveksling på tvers. Utarbeidelsen og innføringen av en slik standard kan i beste fall ha stor samfunnsøkonomisk verdi. Det bør i så fall sees i sammenheng med hvilke prosjektdata som maksimerer forklaringsgraden i en regresjonsmodell slik vi har brukt det, fordi disse dataene er best egnet til å predikere relativt avvik.

Basert på våre analyser, vil vi anbefale at det samles inn data om kostnader på én-siffernivå etter bygningsdelstabellen, men der post 4 til 6 er slått sammen. Dette følger samme logikk som er forklart i kapittel 3.3.3. Datainnsamling bør gjøres i forbindelse med en evaluering etter hvert gjennomførte prosjekt slik at vital informasjon om prosjektgjennomføringen ennå er ferskt i minnet til nøkkelpersoner. Dette bidrar både til umiddelbar læring blant evalueringsteamet, men også nytte for senere studier om avvik mellom estimat og sluttkostnad.

- **Standardisert krav til dokumentasjon om medgåtte kostnader fra entreprenør.**
Som vi er inne på i kapittel 3, kan det være praktisk talt umulig for byggherren å dokumentere sluttkostnader på postnivå etter bygningsdelstabellen når det opereres med

lukket bok, som i en typisk totalentreprise. For å kunne ha bedre forutsigbarhet og sporbarhet i kostnader kunne det derfor vært en fordel å kreve at entreprenøren leverer faktiske sluttkostnader på én-siffernivå etter bygningsdelstabellen. Eksempelvis kunne det blitt stilt krav til at entreprenøren skal fakturere etter hovedkapitlene i bygningsdelstabellen eller rapportere om medgåtte kostnader på én-siffernivå i månedsrapport til byggherre. Det vil gi offentlige byggherrer langt bedre forståelse for hva medgåtte kostnader har gått til.

- **Studere uavhengige variabler sin påvirkning på forklaringsgrad for relativt avvik.**
I denne studien har vi analysert sammenhengen mellom en rekke prosjektkarakteristikker og relativt avvik mellom estimat og sluttkostnad. For regresjonsmodeller som benyttet Datasett 2 oppnådde vi en forklaringsgrad for relativt avvik i entreprisekostnad på omtrent 0,2, mens ved innføringen av forholdsvariable i Datasett 4 økte forklaringsgraden betraktelig, til 0,5. Regresjonsmodellen mener altså at de inkluderte forklaringsvariablene begrunner halvparten av det relative avviket. Men hva forklarer resten? Vi kan i dag ikke vite hvilke andre prosjektkarakteristikker vi gjerne skulle hatt med i datasettet for å øke forklaringsgraden. Derfor ville det vært svært nyttig med en studie om ser på hvilke prosjektkarakteristikker som øker forklaringsgraden mest. Det er disse karakteristikkene det vil være mest hensiktsmessig å gjøre analyser på, og derfor også dokumentere.
- **Standardisering av dokumentering av rotårsaker til kostnadsavvik.**
Usikkerhetsfaktorer skal kunne romme all kostnadsusikkerhet i et prosjekt foruten om mengde og enhetspris i basisestimatet, forutsatt at prosjektet gjennomføres som kalkylen legger opp til. Alle avvik ut over dette skyldes enten lav modenhet, endrede rammebetingelser eller andre faktorer som typisk tas høyde for i en usikkerhetsanalyse. Nøyaktig hva som forårsaker kostnadsavvik, og hvor stort utslag dette gir, er ikke bestandig enkelt å si. Det kan være en sammensetning av flere forhold, eller et forhold som ingen er i stand til å forklare. Ofte vil disse være knyttet til endringsmeldinger i prosjektet, som blir priset av entreprenøren. Hver endring i et byggeprosjekt kan på en eller annen måte knyttes til én eller flere rotårsaker. Endringene må uansett behandles av byggherren, så dersom det gjøres en enkel øvelse for hver endringsmelding der den knyttes til en rotårsak, vil det kunne bidra til å kvantifisere utslaget av forskjellige usikkerhetsfaktorer. Markedsfaktoren må behandles ulikt, men bør også kunne være mulig å kvantifisere i en etterevaluering av et prosjekt. Den vanskeligste rotårsaken å knytte endringsmeldinger til er trolig den som gjelder prosjektorganisasjonens kompetanse og dynamikk. Nøkkelpersoner i prosjektet vil trolig ikke påta seg skylden for kostnadsoverskridelser, eller klarer ikke å se at de kunne gjort mer for å avverge risiko eller utnytte muligheter. Dersom denne skal kvantifiseres, må det gjøres en øvelse av byggherreorganisasjonen i ettertid, men dette er vanskelig å gi noen konkrete anbefalinger rundt.

HYPOTESER SOM IKKE ER UTFORSKET I STUDIEN

Videre har vi definert en rekke hypoteser som ikke er studert gjennom denne rapporten. Årsakene til dette kan være at datasettet ikke inneholder informasjon som gir anledning til å teste hypotesen eller at det er for få datapunkter til å kunne gjøre en kvantitativ analyse. Disse mener vi kan være av interesse å studere videre, der analysemetoder fra denne studien kan gjenbrukes.

- Hvorvidt antall tilbud har en sammenheng med relativt avvik i sluttkostnaden.
- Hvorvidt større forsinkelser bidrar til større overskridelser. Dette kan studeres dersom datapunktene oppgir planlagt start- og ferdigstillelsesdato for gjennomføringsfasene.
- Hvorvidt typen anskaffelsesform (åpent/begrenset tilbud) påvirker avviket mellom estimert og faktisk kostnad.

- Hvorvidt innføring av nye tekniske forskrifter fører til større relative avvik mellom estimat og sluttkostnad. Det kan undersøkes hvilket år disse inntraff og sammenlikne med relativt avvik i samme periode.
- Hvorvidt prosjektvarighet har en sammenheng med relativt avvik. Eksempelvis om det er 2 år mellom estimat og sluttkostnad, eller 10 år. Dette ble gjort en enkel øvelse på med prosjektene i databasen, som ikke viste noen korrelasjon. Det er plausibelt at det har effekt, men må i så fall studeres nærmere.
- Hvorvidt det finnes en sammenheng mellom geografisk lokasjon på byggeprosjektet og usikkerhet, eksempelvis hvorvidt prosjekter i tettbygde strøk har et høyere eller lavere relativt avvik enn prosjekter i mindre tettbygde strøk.

9 REFERANSER

Austeng, K. et al., 2005. *Usikkerhetsanalyse - Kontekst og grunnlag. Concept rapport Nr 10*, Trondheim: Concept Programmet.

Austeng, K. et al., 2005. *Usikkerhetsanalyse - metoder. Concept-rapport Nr 12*, Trondheim: Concept-programmet.

Berg, H., Bukkestein, I. & Nyhus, O. H., 2022. Kostnadskontroll i statlige prosjekter med og uten ekstern kvalitetssikring. *Concept arbeidsrapporter*, pp. 1-51.

Berntsen, S. & Sunde, T., 2004. Styring av prosjektporteføljer i staten; Usikkerhetsavsetning på porteføljenivå. *Concept Rapport nr. 1*, pp. 77-83.

Digitaliseringsdirektoratet, 2020. *Felles datakatalog*. [Internett]
Available at: <https://data.norge.no/guide/veileder-kvantifiserbar-kvalitet/>

Finansdepartementet, 2008. *Felles begrepsapparat KS2*, s.l.: s.n.

Finansdepartementet, 2019. *Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetsstyring av store investeringsprosjekter.*, s.l.: Rundskriv R-108/19.

Finseraas, H. & Kotsadam, A., 2013. Hvordan identifisere årsakssammenhenger i ikke-eksperimentelle data? En ikke-teknisk introduksjon. *Tidsskrift for samfunnsforskning*, 54 (3), pp. 371-387.

Forskningsprogrammet Concept, 2022. *Nærmere beskrivelse av dagens ordning - KS1 og KS2*. [Internett]
Available at: <https://www.ntnu.no/concept/dagens-ordning>

Forsvarsbygg, 2019. *Forsvarsbygg sine oppgaver*. [Internett]
Available at: <https://www.forsvarsbygg.no/no/om-oss/forsvarsbyggs-oppgaver/>

Forsvarsmateriell, 2022. *PRINSIX prosjektmodell*. [Internett]
Available at: <https://www.fma.no/prinsix>

Frost, J., 2022. *Statistics By Jim*. [Internett]
Available at: <https://statisticsbyjim.com/regression/variance-inflation-factors/>

ISO 25000, 2022. *ISO 25000 Software and data quality*. [Internett]
Available at: <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25012/136-iso-iec-2012>

Krogh, E., 2019. *Statens prosjektmodell - veileder for digitaliseringsprosjekter*, Oslo: Finansdepartementet.

Regjeringen, 2019. *Hva er statens prosjektmodell?*. [Online]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/ekstern-kvalitetssikring2/hva-er-ks-ordningen/id2523897/>

Standard Norge, u.d. *Bygningsdelstabellen - NS 3451*. [Internett]
Available at: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/ns-3420-/ns-3450----ns-3451---ns-3459-2/>

Standard Norge, u.d. *Klassifikasjon av byggverk - NS3457*. [Internett]
Available at: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/ns-3420-/klassifikasjon-av-byggverk---ns-3457/>

Urnes, A. J. & Jensen, A. E., 2022. Forsvarssektorens investeringer i EBA – kostnadsendringer og forsinkelser i gjennomføringsfasen. *FFI-RAPPORT*, Volum 22/01681.

Welde, M., 2017. Kostnadskontroll i store statlige investeringer underlagt ordningen med ekstern kvalitetssikring. *Concept-rapport nr 51*, pp. 21-23.

Welde, M., Jørgensen, M., Larssen, P. F. & Halkjelsvik, T., 2019. Estimering av kostnader i store statlige prosjekter: Hvor gode er estimatene og usikkerhetsanalysene i KS2-rapportene?. *Concept-rapport nr. 59*, pp. 1-83.

VEDLEGG 1 REFERANSEGRUPPE DELTAKERE

Som en del av studien har det blitt opprettet en referansegruppe bestående av offentlige byggherreorganisasjoner og det akademiske fagmiljøet i Concept-programmet ved NTNU. Deltakere i referansegruppen fremkommer av Tabell 26.

Tabell 26 Liste over deltakere i referansegruppen til studien

Navn	Virksomhet
Morten Welde	Concept NTNU
Nils Olsson	Concept NTNU
Randi Merethe Rogstad	Statsbygg, Faglig ressurscenter, avdeling for Økonomi og analyse
Vebjørn Fjeld Engh	Statsbygg, Faglig ressurscenter, avdeling for Økonomi og analyse
Anders Kjøniksen	Forsvarsbygg, avdeling for Analyse og utvikling
Bjørnar Stifossmoen	Forsvarsbygg, avdeling for Analyse og utvikling
Tarje Otre	Sykehusbygg, Byggøkonomisk rådgiver
Alexander Urnes Johnson	FFI, Forsker
Helene Berg	FFI, Forsker
Torbjørn Aass	Helse Sør-Øst, Prosjektsjef Bygg og eiendom
Anne Kathrine Larsen	Oslobygg KF, Avdelingsleder Eiendomsanalyse
Christian Kvello	Oslobygg KF, avdeling for Eiendomsanalyse
Klaus Øiseth	Asker kommune, Avdelingsleder Bygg – Prosjekt og utvikling
Sebastian Stahr	Trondheim kommune, Trondheim eiendom
Øystein Halgunset	Trondheim kommune, Trondheim eiendom
Jan Petter Bekkevold	Holte Consulting, Avdelingsleder Rådgivning og analyse

VEDLEGG 2 KLASSIFISERING AV BYGNINGSTYPER

I Tabell 27 er de opprinnelige bygningstypene listet opp sammen med klassifiseringen de har blitt tildelt i analysen.

Tabell 27 Opprinnelig bygningstype med tilhørende klassifisering i analysen.

Opprinnelige bygningstype	Klassifisering i analysen
Bygg	Forsvarsbygg
Befalsforlegning	
Mannskapsforlegning	
Boligblokk/andre	
Rekkehus/vertikaldelt bolig/Boliggarasje/Værskjul/skur	
Depotbygg, bemannet	
Messer	
Vakt og arrest	
Varmlager	
Videregående skole	Skole
Barne/ungdomsskole	
Barneskole	
Barnehage/barneskole	
Barnehage/barneskole	
Ungdomsskole	
Kaldgarasje/Øvrige bygg/anlegg	Garasje
Varmgarasje	
Kaldgarasje/Boligblokk/andre	
Kaldgarasje	
Våpen-/kjøretøysverksteder	
Kun svømmehall	Idrettsbygg
Kun idrettshall	
Idrettsbygning	
Bygning for primærnæring	Universitetsbygg
Laboratoriebygning	
Universitet og høyskole	
Bo og behandlingsbygg	Helsebygg
Bygning for bofellesskap	
Annet/sykehjem	
0	Beredskapsbygg
Beredskapsbygninger	
Kontrollovervåkning	
Fengsel	Fengsel
Museum og biblioteksbygning	Museum og bibliotek
Kontorbygning	Kontorbygning

VEDLEGG 3 KLASSIFISERING AV ENTREPRISEFORMER

I Tabell 28 er de opprinnelige entrepriseformene listet opp sammen med klassifiseringen de har blitt tildelt i analysen.

Tabell 28 Opprinnelig entrepriseform og klassifisering i analysen.

Opprinnelig entrepriseform	Klassifisering i analysen
Totalentreprise Totalentreprise med løsningsforslag	Totalentreprise
Delt entreprise Hoved/delt Hovedentreprise Generalentreprise	Utførelsesentreprise
Samspillentreprise Samspill	Samspillentreprise

VEDLEGG 4 KLASSIFISERING AV INVESTERINGSTYPE

De opprinnelige investeringstypene er listet opp i Tabell 29, sammen med tilhørende klassifisering i analysen.

Tabell 29 Opprinnelig investeringstype og klassifiseringen i analysen.

Opprinnelig investeringstype	Klassifisering i analysen
Ny EBA	Nybygg
Nybygg	
Tilbygg	
Påbygg	
Både nybygg og ombygging	Både nybygg og rehabilitering
Både nybygg, rehabilitering og ombygging	
Både nybygg og rehabilitering	
Blandet	
Rehabilitering	Rehabilitering
Restaurere	
Fornyelse	
Ombygg	
0	
Både rehab og ombygg	

VEDLEGG 5 REGRESJONSTABELL KAPITTEL 5.2

Regresjonsmodellene som ligger til grunn for analysene i kapittel 5.2 fremkommer av Tabell 30.

Tabell 30 Regresjonsmodeller med resultater som er benyttet for analyse på relativt avvik (RA) mellom estimert og faktisk entreprisekostnad. Koeffisienter fremkommer av hver enkelt rute med standardavvik i parentes.

* p<0.1, ** p< 0.05, ***p<0.01

	Modell 1 (RA_1-7)	Modell 2 (RA_1-7)	Modell 3 (RA_1-7)	Modell 4 (RA_1-7)
BTA (1000 M2)	-0.005*** (0.0016)		-0.008* (0.004)	-0.005*** (0.002)
Kvadratmeterpris, Nedre Kvartil	0.066** (0.321)	0.065** (0.314)	0.067** (0.032)	0.068** (0.034)
Kvadratmeterpris, øvre kvartil	-0.076*** (0.209)	-0.066*** (0.021)	-0.075*** (0.021)	-0.077*** (0.021)
Nybygg og Rehabilitering	0.004 (0.293)	0.004 (0.035)	0.007 (0.034)	0.004 (0.033)
Rehabilitering	0.029 (0.0377)	0.033 (0.036)	0.032 (0.037)	0.027 (0.039)
Samspillsentreprise	-0.008 (0.0313)	0.004 (0.030)	-0.002 (0.032)	-0.008 (0.031)
Utførelsesentreprise	0.122 (0.277)	0.016 (0.029)	0.012 (0.028)	0.012 (0.028)
Dataeier_2	-0.4855 (0.0375)	-0.057 (0.038)	-0.045 (0.038)	-0.041 (0.044)
Dataeier_3	0.025 (0.0384)	0.009 (0.037)	0.025 (0.038)	0.021 (0.039)
BTA, nedre kvartil		0.064** (0.026)		
BTA, øvre kvartil		-0.033 (0.028)		
BTA_sq			9.2e ⁻¹¹ (8.3e ⁻¹¹)	
Særegenhet, høy				0.015 (0.038)
Konstant	0.117*** (0.036)	0.088** (0.036)	0.124*** (0.036)	0.111*** (0.040)
R²	0.194	0.207	0.198	0.194
Robuste standardavvik	Ja	Ja	Ja	Ja

VEDLEGG 6 REGRESJONSTABELL KAPITTEL 5.3

Regresjonsmodellene som ligger til grunn for analysene i kapittel 5.3 fremkommer av Tabell 31.

Tabell 31 Regresjonsmodeller med resultater som er benyttet for analyse på relativt avvik (RA) mellom estimert og faktisk entreprisestkostnad, samt én-siffernivå etter bygningsdelstabellen, med forholdsvariable på én-siffernivå. Koeffisienter fremkommer av hver enkelt rute med standardavvik i parentes.

* p<0.1, ** p< 0.05, ***p<0.01

(Regresjonsmodell) Avhengig variabel	(5) RA_1-7	(6) RA_post1	(7) RA_post2	(8) RA_post3	(9) RApost4til6
BTA (1000 M2)	-0.011*** (0.0041)	0.006 (0.007)	-0.008 (0.006)	-0.016* (0.009)	-0.008 (0.008)
BTA_sq	7.3e ⁻¹¹ (7.7e ⁻¹¹)	-0.001 (1.5e ⁻¹⁰)	-8.2e ⁻¹¹ (1.4e ⁻¹⁰)	2.4e ⁻¹⁰ (1.6e ⁻¹⁰)	6.1e ⁻¹¹ (1.5e ⁻¹¹)
Kvadratmeterpris, Nedre Kvartil	0.112*** (0.038)	0.072 (0.053)	0.080 (0.050)	0.137* (0.073)	0.013 (0.055)
Kvadratmeterpris, øvre kvartil	-0.049* (0.025)	-0.038 (0.059)	-0.101** (0.474)	0.006 (0.064)	-0.032 (0.070)
Nybygg og Rehabilitering	0.114*** (0.030)	-0.026 (0.070)	0.208*** (0.654)	0.074 (0.118)	0.106 (0.066)
Rehabilitering	-0.030 (0.037)	-0.0137** (0.059)	-0.056 (0.055)	-0.000 (0.081)	-0.095 (0.077)
Samspillsentreprise	-0.011 (0.484)	-0.706 (0.759)	-0.014 (0.071)	-0.016 (0.092)	-0.011 (0.082)
Utførelsesentreprise	0.030 (0.027)	0.028 (0.061)	0.065 (0.057)	-0.047 (0.081)	-0.024 (0.066)
Særegenhet, høy	-0.023 (0.060)	0.033 (0.077)	-0.071 (0.072)	-0.027 (0.091)	0.163 (0.099)
Dataeier_2	-0.042 (0.059)	-0.168** (0.077)	0.030 (0.072)	0.000 (0.100)	-0.209** (0.084)
Dataeier_3	0.053 (0.082)	-0,122 (0.087)	0.143* (0.082)	0.043 (0.106)	-0.257** (0.123)
Forhold_Post1vsEntrKost	0.610*** (0.217)	-0,402 (0.413)	1.186*** (0.387)	0.038 (0.583)	0.096 (0.497)
Forhold_Post3vsEntrKost	0.358 (0.257)	0.681* (0.402)	0.559 (0.376)	-0.305 (0.502)	1.429*** (0.448)
Forhold_Post4til6vsEntrKost	-0.266 (0.189)	0.021 (0.439)	0.167 (0.411)	0.339 (0.567)	-0.924 (0.583)
Konstant	0.027	0.083	-0.161	0.095	0.213

(Regresjonsmodell) Avhengig variabel	(5) RA_1-7	(6) RA_post1	(7) RA_post2	(8) RA_post3	(9) RApost4til6
R ²	0.478 (0.070)	0.301 (0.101)	0.412 (0.095)	0.159 (0.136)	0.33 (0.104)
Robuste standardavvik	Ja	Nei	Nei	Ja	Ja

VEDLEGG 7 REGRESJONSTABELL KAPITTEL 5.4

Regresjonsmodellene som ligger til grunn for analysene i kapittel 5.4 fremkommer av Tabell 32.

Tabell 32 Regresjonsmodeller med resultater som er benyttet for analyse på relativt avvik mellom estimert og faktisk entreprisestkostnad, samt post 8, med forholdsvariable på én-siffernivå. Koeffisienter fremkommer av hver enkelt rute med standardavvik i parentes.

* p<0.1, ** p< 0.05, ***p<0.01

Avhengig variabel	(10) RA_1-7	(11) RA_post8
BTA (1000 M2)	-0.010** (0.004)	-0.014 (0.015)
BTA_sq	3.8e ⁻¹¹ (7.58e ⁻¹¹)	3.6e ⁻¹⁰ (2.9e ⁻¹⁰)
Kvadratmeterpris, Nedre Kvartil	0.112*** (0.037)	0.009 (0.107)
Kvadratmeterpris, øvre kvartil	-0.052** (0.025)	-0.146* (0.086)
Nybygg og Rehabilitering	0.110*** (0.031)	0.030 (0.114)
Rehabilitering	-0.041 (0.037)	-0.001 (0.137)
Samspillsentreprise	-0.019 (0.048)	-0.052 (0.070)
Utførelsesentreprise	0.013 (0.031)	0.141 (0.170)
Særegenhet, høy	-0.011 (0.067)	-0.060 (0.171)
Dataeier_2	-0.028 (0.060)	-0.188 (0.185)
Dataeier_3	0.052 (0.086)	-0.252 (0.209)
Forhold_Post1vsEntrKost	0.473* (0.269)	0.245 (1.140)
Forhold_Post3vsEntrKost	0.404 (0.261)	0.678 (1.102)
Forhold_Post4til6vsEntrKost	-0.253 (0.187)	-0.080 (0.973)

Avhengig variabel	(10) RA_1-7	(11) RA_post8
Forhold_Post8vsEntrKost	0.172 (0.171)	-0.926* (0.537)
Konstant	-0.011 (0.073)	0.378 (0.251)
R ²	0.488	0.187
Robuste standardavvik	Ja	Ja

VEDLEGG 8 BENCHMARK FORVENTET TILLEGG

Vedlegg 8 består av ti tabeller der vi presenterer benchmark for forventet tillegg på tabularisk form, for prosjekter innenfor hovedvekten av resultatenes gyldighetsområde. Verdiene er basert på likning 10 i rapporten, som er en funksjon av brutto totalareal og estimert kvadratmeterpris for entreprisekostnad. Inngangsverdi for hver av tabellene er basert på entrepriseform, investeringstype og bygningstype. Disse fremkommer øverst i venstre hjørne for hver av tabellene.

Nybygg, lav særegenhet, totalentreprise				$\beta_0 = 0,0 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 12,5 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag		Median	$\Delta\beta$ per 1000 økning	
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$						Kvadratmeterpris		27 116	-1,33 %	
						Totalareal		2 897	-0,50 %	
Kvadratmeterpris entreprisestnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %
	19 000	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %
	20 000	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %
	21 000	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %
	22 000	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %
	23 000	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %
	24 000	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %
	25 000	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %		
	26 000	2 %	2 %	1 %	1 %					
	27 000	1 %	1 %							
	28 000									
	29 000									
	30 000						Tomme felt indikerer null i forventet tillegg, som kan innebære at basisestimatet er for høyt eller inneholder usikkerhetsavsetning. Det bør vurderes om det kan være tilfelle for gjeldende prosjekt.			
31 000										

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Nybygg, lav særegenhet, ikke totalentreprise			$\beta_0 = 4,1 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 15,4 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag		Median	$\Delta\beta$ per 1000 økning		
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$										
					Kvadratmeterpris		27 116	-1,33 %		
					Totalareal		2 897	-0,50 %		
Kvadratmeterpris entreprisestkostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %
	19 000	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %
	20 000	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %
	21 000	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %
	22 000	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %
	23 000	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %
	24 000	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %
	25 000	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %
	26 000	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %
	27 000	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %
	28 000	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %		
	29 000	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %				
	30 000	1 %	1 %				Tomme felt indikerer null i forventet tillegg, som kan innebære at basisestimatet er for høyt eller inneholder usikkerhetsavsetning. Det bør vurderes om det kan være tilfelle for gjeldende prosjekt.			
31 000										

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Nybygg, høy særegenhet, totalentreprise				$\beta_0 = 10,1\%$ $\sigma_{standardavvik} = 13,7\%$		Nøkkeltall datagrunnlag		Median		$\Delta\beta$ per 1000 økning	
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$											
						Kvadratmeterpris		27 116		-1,33 %	
						Totalareal		2 897		-0,50 %	
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m ²], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m ²]										
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000	
	18 000	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	
	19 000	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	
	20 000	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	
	21 000	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	
	22 000	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	
	23 000	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	
	24 000	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	
	25 000	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	
	26 000	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	
	27 000	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	
	28 000	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	
	29 000	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	
	30 000	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	
31 000	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %		

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Nybygg, høy særegenhet, ikke totalentreprise			$\beta_0 = 2,9 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 21,4 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag		Median	$\Delta\beta$ per 1000 økning		
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$							Kvadratmeterpris			
					Totalareal		27 116	-1,33 %		
							2 897	-0,50 %		
Kvadratmeterpris entreprisestkostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %
	19 000	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %
	20 000	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %
	21 000	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %
	22 000	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %
	23 000	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %
	24 000	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %
	25 000	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %
	26 000	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %
	27 000	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %	
	28 000	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %				
	29 000	1 %	1 %							
	30 000						Tomme felt indikerer null i forventet tillegg, som kan innebære at basisestimatet er for høyt eller inneholder usikkerhetsavsetning. Det bør vurderes om det kan være tilfelle for gjeldende prosjekt.			
31 000										

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Nybygg og rehab, lav særegenhet			$\beta_0 = 2,0 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 15,8 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag		Median	$\Delta\beta$ per 1000 økning		
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$										
					Kvadratmeterpris		27 116	-1,33 %		
					Totalareal		2 897	-0,50 %		
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %
	19 000	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %
	20 000	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %
	21 000	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %
	22 000	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %
	23 000	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %
	24 000	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %
	25 000	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %
	26 000	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %	
	27 000	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %			
	28 000	2 %	1 %	1 %						
	29 000									
	30 000						Tomme felt indikerer null i forventet tillegg, som kan innebære at basisestimatet er for høyt eller inneholder usikkerhetsavsetning. Det bør vurderes om det kan være tilfelle for gjeldende prosjekt.			
31 000										

Tomme felt indikerer null i forventet tillegg, som kan innebære at basisestimatet er for høyt eller inneholder usikkerhetsavsetning. Det bør vurderes om det kan være tilfelle for gjeldende prosjekt.

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Nybygg og rehab, høy særegenhet			$\beta_0 = 13,3 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 11,7 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag Kvadratmeterpris Totalareal		Median 27 116 2 897		$\Delta\beta$ per 1000 økning -1,33 % -0,50 %	
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$										
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	26 %	26 %	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %	22 %
	19 000	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %
	20 000	24 %	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %
	21 000	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %
	22 000	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %
	23 000	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %
	24 000	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %
	25 000	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %
	26 000	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %
	27 000	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %
	28 000	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %
	29 000	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %
	30 000	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %
31 000	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Rehab, lav særegenhet, totalentreprise			$\beta_0 = 10,3 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 14,4 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag Kvadratmeterpris Totalareal		Median 27 116 2 897		$\Delta\beta$ per 1000 økning -1,33 % -0,50 %	
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$										
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %
	19 000	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %
	20 000	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %
	21 000	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %
	22 000	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %
	23 000	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %
	24 000	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %
	25 000	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %
	26 000	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %
	27 000	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %
	28 000	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %
	29 000	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %
	30 000	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %
31 000	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Rehab, lav særegenhet, ikke totalentreprise				$\beta_0 = 6,1 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 26,5 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag		Median	$\Delta\beta$ per 1000 økning	
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$						Kvadratmeterpris		27 116	-1,33 %	
						Totalareal		2 897	-0,50 %	
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %
	19 000	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %
	20 000	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %
	21 000	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %
	22 000	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %
	23 000	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %
	24 000	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %
	25 000	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %
	26 000	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %
	27 000	7 %	7 %	6 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %
	28 000	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %
	29 000	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %
	30 000	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	Tomme felt indikerer null i forventet tillegg, som kan innebære at basisestimatet er for høyt eller inneholder usikkerhetsavsetning. Det bør vurderes om det kan være tilfelle for gjeldende prosjekt.			
31 000	2 %	1 %	1 %							

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Rehab, høy særegenhet, totalentreprise			$\beta_0 = 14,3 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 20,8 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag Kvadratmeterpris Totalareal		Median	$\Delta\beta$ per 1000 økning		
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$							27 116	-1,33 %		
							2 897	-0,50 %		
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	27 %	27 %	26 %	26 %	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %
	19 000	26 %	26 %	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %	22 %
	20 000	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %
	21 000	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %
	22 000	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %
	23 000	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %
	24 000	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %
	25 000	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %
	26 000	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %
	27 000	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %
	28 000	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %
	29 000	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %
	30 000	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %
31 000	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.

Rehab, høy særegenhet, ikke totalentreprise			$\beta_0 = 13,8 \%$ $\sigma_{standardavvik} = 18,9 \%$		Nøkkeltall datagrunnlag Kvadratmeterpris Totalareal		Median 27 116 2 897		$\Delta\beta$ per 1000 økning -1,33 % -0,50 %	
$Benchmark_{RA} = \beta_0 + \beta_1 \frac{BTA_{diff}}{1000} + \beta_2 \frac{Kvadratmeterpris_{diff}}{1000}$										
Kvadratmeterpris entreprisekostnad [kr/m2], ultimo 2021-kr	Brutto totalareal [m2]									
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	18 000	27 %	26 %	26 %	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %
	19 000	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %
	20 000	24 %	24 %	23 %	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %
	21 000	23 %	22 %	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %
	22 000	22 %	21 %	21 %	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %
	23 000	20 %	20 %	19 %	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %
	24 000	19 %	18 %	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %
	25 000	18 %	17 %	17 %	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %
	26 000	16 %	16 %	15 %	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %
	27 000	15 %	14 %	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %
	28 000	14 %	13 %	13 %	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %
	29 000	12 %	12 %	11 %	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %
	30 000	11 %	10 %	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %
31 000	10 %	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	6 %	

Standardavviket representerer variasjonen i relativt avvik fra datagrunnlaget.

Benchmark for forventet tillegg representerer medianen av relativt avvik fra datagrunnlaget.