



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp
Handelshøyskolen

Kostnader og klimagevinster ved bygging av idrettshaller i forskjellige byggematerialer

Costs and climate benefits by building sports
facilities using different building materials

Herman Størby Ueland & Christina Mile
Økonomi og administrasjon

Forord

Denne oppgaven markerer avslutningen på vår toårige master i økonomi og administrasjon med spesialiseringen energi-, klima- og miljøøkonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Gjennom disse årene, og denne oppgaven, har vi fått gleden av å dykke ned i vårt fagfelt og utforske problemstillinger som engasjerer og utfordrer oss på en unik måte. Det har vært en prosess preget av utfordringer, kreativ problemløsning og både faglig og personlig vekst.

Vi vil rette en spesiell takk til vår veileder, Eirik Romstad, for hans uvurderlige veiledning, støtte og inspirasjon gjennom hele denne prosessen. Veileders ekspertise, engasjement og tålmodighet har vært avgjørende for å forme denne oppgaven og for vår faglige utvikling.

Vi ønsker også å rette en takk til nærmeste venner og familie for deres støtte, oppmuntrende ord og tålmodighet i løpet av denne krevende, men utrolig lærerike reisen.

Til slutt vil vi takke alle kommuner og entreprenører som har bidratt med data til oppgaven. Deres bidrag har vært uvurderlig og uten dette ville denne oppgaven ikke vært mulig.

Med denne masteroppgaven håper vi å bidra til det faglige fellesskapet og til å belyse viktige problemstillinger innen vårt felt. Vi håper også at denne oppgaven vil inspirere andre til å utforske og engasjere seg i lignende temaer.

Takk!

Ås, 15. mai 2024

Herman Størby Ueland & Christina Mile

Sentrale ord og begreper

Tabell 0.1: Sentrale ord og begreper

Begrep	Forklaring
Nødvendig klimagevinst	Hvor mye mindre klimagassutslipp i % for massivtre per m ² for at netto nåverdi (NV) = 0
Klimagassutslipp	Utslipp av klimaskadelige gasser målt i CO ₂ ekvivalenter
Kvotepris	Prisen for utslipp av ett tonn CO ₂
LCA	Livssyklusanalyse
LCC	Livssyklus kostnadsanalyse
BCA	Nytte-kostnadsanalyse
Massivtre/heltre	Lameller satt sammen til elementer ved bruk av spiker, skruer, tredybler, lim eller stålstag (Aarstad et al., 2011)
Tiltakshaver/Byggherre	Bestiller av bygget
Entreprenør/utbygger	Står for oppføring av bygget

Sammendrag

I denne studien har vi analysert hva den økonomiske klimagevinsten må være for å velge massivtre som byggemateriale over stål og betong.

Vi samlet inn data for 21 idrettshaller hvor vi i utgangspunktet prøvde å gjennomføre en regresjonsanalyse av dataene. Analysene ga dessverre ikke signifikante resultater grunnet få observasjoner og stor intern variasjon i datamaterialet. Derfor ble vi nødt til å tilnærme oss problemstillingen på en annen måte.

For å kunne estimere den nødvendige klimagevinsten for at det skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt å bygge i massivtre sammenlignet med stål og betong, tok vi utgangspunkt i to forskjellige metoder. Her tok vi i bruk data fra 14 av idrettshallene vi hadde fra datagrunnlaget. Den første metoden (delkapittel 5.4) estimerte nødvendig klimagevinst ved å ta prisen på utslipp ved bruk av neddiskonterte fremtidige kvotepriser, og fordele det utover byggets levetid på 60 år. I den andre metoden (delkapittel 5.5) kalkulerte vi totale utslipp ved oppføring av hallene ved å gå ut ifra at alle utslipp skjer i byggeåret, altså år 0.

Kostnaden per kvadratmeter for å bygge med massivtre og stål/betong er i gjennomsnitt 37 266 kroner og 31 893 kroner, henholdsvis, det vil si en differanse på 5 373 kroner. Dette tilsier at massivtre i gjennomsnitt er 16,85 % dyrere enn stål og betong i datamaterialet vårt.

Fra første estimeringsmetode (delkapittel 5.4) ser vi at den nødvendige estimerte klimagevinsten endte på 84,5 % for at det skal være mer lønnsomt å bygge i massivtre. Estimeringsmetode to (delkapittel 5.5) ga et resultat på 5,9 % for samme lønnsomhetskriterium. Metodene gir to drastisk forskjellige svar, noe som gjør det vanskelig å konkludere, med mindre man ser på en av metodene som er mer hensiktsmessig å benytte enn den andre.

Vi konkluderer med at metoden fra delkapittel 5.5 er den beste av de to metodene. Resultatene fra 5.5 gjenspeiler i større grad det som faktisk blir bygd, samt er planlagt av massivtre idrettshaller i dag. Selv om den metoden brukt i 5.5 virker mest realistisk, må det påpekes at det fortsatt er knyttet stor usikkerhet til estimatene ettersom de er basert på få observasjoner.

Abstract

In this study, we analyzed the economic climate benefits required to choose massive wood as a main building material over steel and concrete. We collected for 21 sports halls, where we initially had planned regression analysis of the data. Unfortunately, the analyses did not yield significant results due to few observations and high internal variation in the data, necessitating the use of alternative methods.

To estimate the necessary climate benefits for building in massive wood over concrete and steel, we employed two different estimation methods. Here, we used 14 of the sports halls from the dataset. The first method (sub-chapter 5.4) estimated the necessary climate benefits by considering the cost of emissions using discounted future quota prices, spread over the building's lifespan of 60 years. In the second method (sub-chapter 5.5), we calculated necessary total emissions from the construction phase assuming all emissions occur in the construction year, i.e., year 0.

The cost per square meter to build with massive wood and steel/concrete averages 37 266 NOK and 31 893 NOK, respectively, resulting in a difference of 5 373 NOK. This implies that using massive wood is 16,85 % more expensive than steel and concrete.

From the first estimation method (sub-chapter 5.4), we see that the estimated necessary climate benefit for massive wood to be the preferred building material ended up at 84,5 %. Estimation method two (sub-chapter 5.5) yielded a result of 5,9 % for preferring massive wood. The methods provide two drastically different answers, making it difficult to conclude unless one considers one method more appropriate to use than the other.

We conclude that the method from sub-chapter 5.5 is the better method to use given our main problem statement. The results from 5.5 more closely reflect what is actually being built and planned for massive wood sports halls today. Although the method used in 5.5 appears most realistic, it should be noted that there is still significant uncertainty associated with the estimates due to the limited number of observations behind our analyses.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sentrale ord og begreper	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Figurliste	ix
Tabelliste	x
1 Introduksjon	1
1.1 Hovedproblem.....	2
1.2 Tidligere oppgave innen valgt tema.....	3
1.3 Avgrensninger.....	3
1.4 Problemstilling og forskningsspørsmål.....	4
1.5 Motivasjon	4
1.6 Oppgavens oppbygging	5
2 Bakgrunn	6
2.1 Klimaendringer og -tilpasninger	6
2.2 Dagens forretningsmodeller i byggebransjen	7
2.3 Idrettshaller	9
2.4 Byggematerialer	9
2.4.1 Heltre/massivtre	9
2.4.2 Betong	10
2.4.3 Stål	10
2.5 Teknologisk modenhet.....	11
2.6 Miljøkrav fra EU.....	11
2.6.1 EU-taksonomi	12
2.6.2 Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD).....	14
2.7 Norske krav i byggebransjen	15
2.7.1 TEK10 & TEK17.....	15
2.8 Verktøy for standardisering av eiendomsbransjen.....	16

2.8.1 Fra NS 3454 til NS-EN 16627	16
2.9 Miljøsertifiseringer i byggebransjen	16
2.9.1 Grønn Byggallianse og BREEAM-NOR	16
2.9.2 FutureBuilt	17
2.9.3 Passivhus, nullhus og plusshus	18
3 Teori og modeller	21
3.1 Moderne økonomisk teori og begrensninger	21
3.2 Diskontering.....	22
3.2.1 Rentesatser ved samfunnsøkonomiske analyser	25
3.3 Life Cycle Costing (LCC).....	26
3.4 Livssyklusanalyse (LCA).....	27
3.5 Nytte kostnadsanalyse (BCA).....	28
3.6 Prising av CO ₂	29
3.7 Vippepunkter (tipping points).....	33
3.8 Regresjonsanalyse	34
4 Data og metode	37
4.1 Metode	37
4.1.2 Statistiske verktøy	37
4.1.2.1 Excel	38
4.1.2.2 Stata.....	38
4.2 Data for regresjonsanalyse	38
4.2.1 Nødvendige beregninger og justeringer.....	39
4.2.1.1 Justering 1: Tidsjusterte byggekostnader	39
4.2.1.2 utfordring: Idrettshaller tilknyttet skoler.....	40
4.2.1.3 Justering 2: Klimakostnad.....	40
4.2.2 Oversikt og sammendrag av variabler	41
4.3 Begrensninger	44
4.4 Kunstig intelligens (KI)	45
5 Analyse og resultater	47

5.1	Resultat fra multipel lineær regresjonsanalyse	47
5.2	Ny tilnærming - Estimering av kostnader og klimagevinst	48
5.2.1	To forskjellige tilnærminger til estimeringen	48
5.3	Formler, data og beregninger for de to nye metodene	49
5.3.1	Formler.....	49
5.3.2	Variabler og beregninger	51
5.4	Resultater fra datautvalget - Kostnader og nødvendig klimagevinst ved en LCC-tilnærming	54
5.4.1	Forskjeller i kvadratmeterpris	54
5.4.2	Klimagevinst fra datagrunnlaget.....	55
5.4.3	OLS-estimering av γ	55
5.4.4	Sensitivitetsanalyse	57
5.4.4.1	Sensitivitetsanalyse 1: Knapstadhallen	57
5.4.4.2	Sensitivitetsanalyse 2: Effekt på klimagevinst ved bruk av forventet vekst (γ)	58
5.4.4.3	Sensitivitetsanalyse 3: Gamma($\gamma_0 - 40$) = 10 %.....	60
5.4.4.4	Sensitivitetsanalyse 4: Gamma ($\gamma_0 - 40$) = 6 %	61
5.4.4.5	Sensitivitetsanalyse 5: Gamma ($\gamma_0 - 40$) = 1 %	62
5.4.5	Sammenligning av sensitivitetsanalysene og resultatene	64
5.5	Alle utslipp i år 0.....	65
5.5.1	Resultat for datagrunnlaget	66
5.5.2	Resultat for Knapstadhallen.....	66
5.6	Klimagevinst sammenlignet med utslipp for massivtre og stål/betong	66
5.6.1	Utslippstall fra Funderud (2022).....	67
5.6.2	En sammenligning av utslipp fra Emma Hjorth og Oksenøya flerbrukshall	68
5.7	Sammenligning av metodene	69
6	Konklusjon.....	71
6.1	Problemstilling og forskningsspørsmål.....	71
6.2	Begrensninger i oppgaven.....	72
6.3	Videre forskning	72

6.4 Avsluttende refleksjoner	73
Referanseliste.....	75
Vedlegg:	84
Vedlegg A: Data for idrettshaller.....	86
Vedlegg B: Byggekostnadsindeks for bosteder	97
Vedlegg C: Sentrale kalkulasjoner i Excel	100
Vedlegg D: Kvotepriiser til bruk i samfunnsøkonomiske analyser	101
Vedlegg E: Resultat av regresjonsanalysene	111
Vedlegg F: Mail sendt til kommuner og entreprenører	118

Figurliste

Figur 1.1. Dagens dominerende forretningsmodeller i byggebransjen.....	2
Figur 2.1. Sirkulær forretningsmodell.....	8
Figur 2.2. EUs taksonomimål.....	13
Figur 2.3. Utslipp fra konvensjonelle bygg og FutureBuilt bygg.....	18
Figur 2.4. Fordeling av utslipp fra konvensjonelle bygg og FutureBuilt bygg.....	18
Figur 2.5. Energiproduksjon gjennom levetiden til et Zero Emission Building bygg.....	20
Figur 3.1. Pengers verdi over tid.	23
Figur 3.2. EU ETS kvotetak i antall mill. tonn frem mot 2040.....	30
Figur 3.3. Anbefalte karbonprisbaner (EUR2016/tCO ₂ e) for perioden 2020-2050.....	31
Figur 3.4. Forklaring av hvordan MSR fungerer i forskjellige scenarioer.....	32
Figur 5.1. Karbonprisbane for bruk i samfunnsøkonomiske analyser 2024.....	52
Figur 5.2. Diskontert kvoteprisbane.....	53
Figur 5.3. Kvoteprisutvikling ved bruk av OLS estimater i ligningen $P_t = P_0 e^{\gamma t}$	56
Figur 5.4. Kvoteprisbanen ved γ_{0-40} 3,84 %.....	59
Figur 5.5. Kvoteprisbanen ved γ_{0-40} 10 %.....	61
Figur 5.6. Kvoteprisbane ved γ_{0-40} 6 %.....	62
Figur 5.7. Kvoteprisbanen ved γ_{0-40} 1 %.....	63
Figur 5.8. Forventede kvoteprisbaner ved ulik forventet vekst, γ_{0-40} : 1 %, 3,84 %, 6 % & 10 %.....	64

Tabelliste

Tabell 0.1. Sentrale ord og begreper.....	ii
Tabell 3.1. Omtrentlig anbefalt diskonteringsrente.....	24
Tabell 3.2. Valg av kalkulasjonsrente for statlige tiltak.....	25
Tabell 3.3. Inputdata i en LCC analyse av en bygning.....	27
Tabell 4.1. Oversikt over variabler.....	42
Tabell 4.2. Sammendrag av data inkludert haller tilknyttet skoler, pluss estimerte variabler...43	
Tabell 5.1. Ligninger brukt i analysene.....	50
Tabell 5.2. Oversikt over variabler med verdier.....	51
Tabell 5.3. Utslipp ved Emma Hjorth og Oksenøya.....	53
Tabell 5.4. Kvadratmeterpriser for Knapstadhallen.....	58
Tabell 5.5. Utslippstall fra Funderud.....	67
Tabell 5.6. Oversiktstall for Emma hjort og Oksenøya.....	68

1 Introduksjon

Global oppvarming er vår tids største utfordring. Høye klimagassutslipp fra fossile og lite resirkulerte produkter gjør at sannsynligheten har blitt mindre for å nå målet som ble satt i Parisavtalen¹. For å kunne klare målet om at den globale gjennomsnittstemperaturen skal holdes under 1,5 grader, må det iverksettes globale tiltak i alle sektorer. Byggebransjen står globalt for 40 % av utslippene, i Norge 16 % (IEA, 2019). Tradisjonelt har kostnadene og kvaliteten stått i fokus, nå har også klimaaspektet blitt introdusert for fullt.

Selv om Norge er et lite land, er det viktig at også vi tar vår del av ansvaret og med våre ressurser kan gå foran å være et eksempel for andre. Derfor har Norge forpliktet seg til å kutte 55 % av sine klimagasser innen 2030 (Regjeringen, 2021a). En måte byggebransjen kan redusere utslipp er å velge klimavennlig byggemateriale. De fleste offentlige bygninger bygges i dag i stål og betong. Et mulig grep er å erstatte disse materialene med massivtre. Det er flere grunner til at trevirke kan være et mer klimavennlig materiale enn stål og betong. For det første er det mindre energikrevende å bygge i tre. Norge har dessuten god tilgang på egenprodusert tømmer, og har derfor mindre behov for å importere trevirke i samme grad som stål og betong. Dette reduserer energi brukt i transport, noe som man forventer at også reduserer klimautslippene med å bygge i tre (Nyrud & Glasø, 2018). I 2021 ble kun 3 % av tømmer som ble brukt til industri importert (Skara, 2022). Levetiden for et heltre bygg anslås å være 60 år. Heltre fanger opp og holder på CO₂ i et lengre perspektiv enn betong på grunn av lengre levetid, noe som styrker argumentene for å satse på mer heltre som byggemateriale. (Gulden, 2023)

Det jobbes med å utvikle mer miljøvennlig betong hvor deler av sementen kan erstattes med vulkansk leire. Dette vil kunne redusere utslipp i selve prosessfasen (Nordal, 2023). Det sees også på hvordan man ved hjelp av knust stein og geopolymere, kan omdanne CO₂ i betong om til fast stoff. Da vil ikke CO₂ sive ut, og betongen vil kunne lagre CO₂, og over tid redusere utslipp med opptil 80-90 %. (Waage, u.å.)

Stål i seg selv er nesten 100% resirkulerbart og de fleste avfallsstoffer kan gjenbrukes, men i likhet med betong, er det selve produksjonen som medfører et høyt klimautslipp. For å produsere stål kreves det store mengder energi. Per i dag er det hovedsakelig kull som brukes

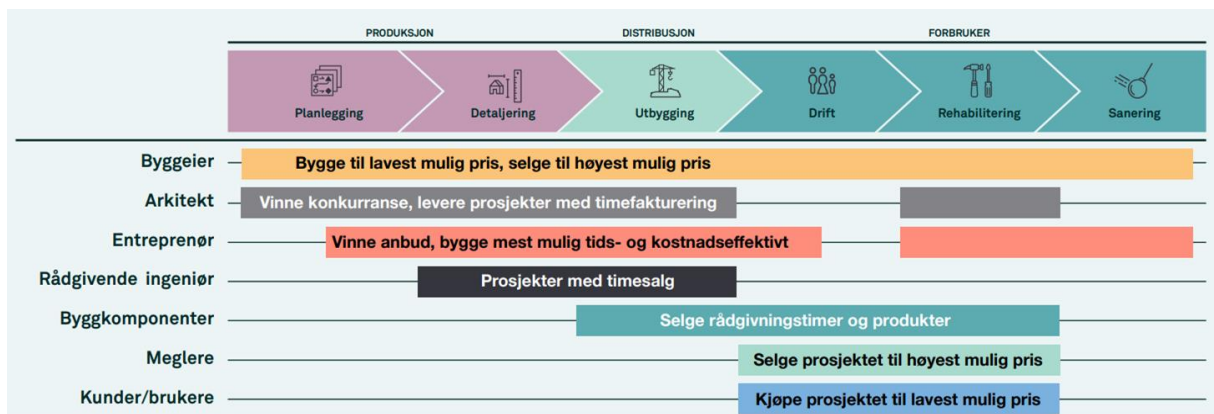
¹ (Regjeringen, 2021b) <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/de-internasjonale-klimaforhandlingene/id2741333/>

i denne prosessen. Nå forskes det på muligheten for å erstatte kull med hydrogen. Det vil likevel kreves like stor mengde energi, uavhengig av energikilde. Derfor kan man spørre seg hvor klimavennlig stålproduksjon er (Kjørstad, 2021).

1.1 Hovedproblem

En av de største utfordringene for dagens byggebransje er knyttet til stadig strengere klima- og miljøkrav fra myndigheter og byggherrer² (se delkapittel 2.6). For en bransje som henger noe etter ved å fortsatt tenke i tradisjonelle baner, vil strengere krav til blant annet utslippsreduksjoner og effektivisering av energibruk kunne skape utfordringer. Det viser seg også å være krevende for entreprenører å ta gode beslutninger fordi de ikke har nok informasjon og kunnskap om klimafordelene³.

Dagens forretningsmodeller er ikke tilstrekkelig tilpasset for klimavennlig utbygging. Vi kan se i figur 1.1 fra Æra Strategic (2020, s.14) at aktørenes hovedfokus har vært lønnsomhet og profitt, ikke hensyn til klima og miljø. Hver enkelt aktør ønsker å verne om sine enkelt interesser og mål fremfor å jobbe med et bærekraftig sluttprodukt. Det kreves derfor en endring i forretningsmodellen.



Figur 1.1: Dagens dominerende forretningsmodeller i byggebransjen (Æra Strategic Innovation, 2020, lysbilde 14)

² (Regjeringen, 2024b) <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/finansmarkedene/taksonomien-for-barekraftig-okonomisk-aktivitet/id2924859/>

³ (Miljødirektoratet, 2023) <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/veiledning-til-statlige-planretningslinjer-for-klimatilpasning/nodvendig-kunnskap/>

Etter nye reguleringer fra EU⁴ må entreprenører nå ta høyde for forhold som beskrevet i den triple bunnlinjen (profit, planet, people)⁵.

Gjennom et prosjekt utført av Æra Strategic, på oppdrag fra DOGA, ENOVA, Innovasjon Norge, pekes det på hvordan fremtidens forretningsmodeller vil se ut for byggenæringen. Vi står overfor en situasjon hvor vi må bevege oss bort fra “business as usual” til en “grønnere omstilling” og helst mot en “regenerativ økonomi”. Det vil si å ikke kun ha fokus på profitt og vekst, men en omstilling til mer ombruk, bevaring av natur og at velstand måles i tid (Æra Strategic Innovation, 2020).

1.2 Tidligere oppgave innen valgt tema

Tidlig i arbeidet med denne oppgaven, kom vi over masteroppgaven til Kristian Fridtjof Funderud fra 2022 (Funderud, 2022). Oppgaven til Funderud handler om “Effekten av massivtre på klimagassutslipp og økonomiske kostnader forbundet med skoler gjennom et livsløp”. Studien vi skal gjennomføre skiller seg fra Funderud ved at vi skal sammenligne idrettshaller/flerbrukshaller som vil gi et bedre sammenligningsgrunnlag, ettersom idrettshaller er mer homogene bygg enn skoler. Dette vil kunne gi mer sammenlignbare resultater på forskjeller i kostnad og utslipp. Oppgaven til Funderud er også mer byggteknisk rettet, og han benytter seg av EPDer og livssyklusanalyse for å komme frem til datagrunnlaget, noe vi ikke vil gjøre.

1.3 Avgrensninger

Vi vil i denne oppgaven fokusere på offentlige idrettshaller bygd etter 2010. I denne perioden er det bygd flere idrettshaller i både massivtre og stål og betong. Idrettshaller er dessuten svært like i dimensjoner og bruksområder, noe som gjør det lettere å sammenligne enn mer komplekse bygg, som for eksempel næringsbygg.

Det eksisterer, som tidligere nevnt, ytterligere problemer i byggebransjen med tanke på at det finnes mange aktører med individuelle mål og marginer som ikke jobber sammen om et best mulig sluttprodukt. Dette vil imidlertid ikke være aktuelt for vår problemstilling, da vi har valgt å rette søkelyset på klimagassutslipp og kostnader ved materialbruk.

⁴ (European Commission, u.å.-b) https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en

⁵ (Nilsen, 2020) https://snl.no/Den_tredelte_bunnlinje

1.4 Problemstilling og forskningsspørsmål

Formålet med denne studien er å undersøke hvordan kostnader og klimagassutslipp for idrettshaller blir påvirket av byggematerialer. Vi skal spesifikt se på idrettshaller bygget i massivtre opp mot haller bygd med de konvensjonelle materialene stål og betong. Vi vil i hovedsak fokusere på oppføringskostnadene.

På bakgrunn av dette har vi kommet frem til følgende problemstilling:

Hva kreves for at det skal være mer samfunnsøkonomisk lønnsomt fra et klimaperspektiv å bygge i massivtre kontra stål og betong?

Vi har formulert tre forskningsspørsmål (FS) for å besvare problemstillingen i sin helhet:

FS1: Hva er de totale byggekostnadene per m² for en idrettshall i massivtre sammenlignet med stål og betong?

FS2: Hvilke klimagevinster kan oppnås ved å bygge idrettshaller i massivtre sammenlignet med stål og betong?

FS3: Hvordan endrer estimert lønnsomhet seg ved bruk av ulike metodiske tilnærminger?

1.5 Motivasjon

Det som motiverte oss til å velge å studere økonomi og administrasjon med spesialiseringen energi-, klima-, og miljøøkonomi, var at vi begge så behovet for økonomer som har en bredere og dypere forståelse for klimautfordringene vi står overfor i dag. Ifølge Regjeringen er “markedssvikt den underliggende årsaken til klimaendringer og klimarisiko” grunnet blant annet mangel på riktig informasjon (Skancke et al., 2021). Som kommende økonomer ser vi derfor det som vårt ansvar å aktivt bidra til å skape en mer bærekraftig økonomi. Det innebærer også at vi har en personlig interesse og drivkraft for å forstå og finne gode løsninger på dagens alvorlige klimautfordringer.

Ønsket vårt etter snart to år på NMBU er å skrive en masteroppgave som kan rettes mot næringslivet, og positivt bidra til at næringslivet tar riktige valg for å redusere klimagassutslipp. Vi er begge interesserte i byggebransjen og har særlig ønsket å undersøke hvilke tiltak bransjen kan iverksette for å redusere sine utslipp. Å velge en bransje med tradisjonelt lavt fokus på

utslipp, og som dermed har et betydelig forbedringspotensial, samt muligheten til å jobbe tett med reelle prosjekter, ser vi også som gode grunner til å skrive en oppgave innenfor dette feltet.

1.6 Oppgavens oppbygging

Oppgaven består av seks kapitler. 1: Introduksjon, 2: Bakgrunn, 3: Teori og modeller, 4: Data og metode, 5: Analyse og resultater og 6: Konklusjon. Referanser og vedlegg finnes bakerst i oppgaven.

Kapittel 2 tar for seg en grundig gjennomgang av bakgrunnen for valgt tema. Her tar vi for oss klimautfordringene vi står overfor, og hvordan dagens forretningsmodell har bidratt til denne situasjonen.

Kapittel 3 gir en innføring i viktige teoretiske begreper, både innen økonomi og miljø for å få en god forståelse av oppgaven. Det vil i dette kapitlet også bli presentert hvilke modeller vi skal bruke.

I kapittel 4 legger vi frem datagrunnlaget, og begrunner metoden vi har valgt for denne studien.

Kapittel 5 beskriver resultatene fra datagrunnlaget og drøfter de viktigste funnene.

Kapittel 6 oppsummerer og konkluderer oppgaven. Vi kommer også med forslag til videre forskning og avsluttende refleksjoner.

2 Bakgrunn

I dette kapitlet redegjør vi for relevant bakgrunn som beskriver hvorfor det er sentralt å sammenligne bruken av massivtre med stål/betong i idrettshaller, i første rekke på klimagassutslipp og kostnader. Økt miljøfokus i byggebransjen vil være et gjennomgående tema her, og er en grunn til at kapitlet er bygget opp slik det er.

Først tar vi opp hvordan klimasituasjonen spiller inn på dagens byggebransje. Deretter ser vi nærmere på dagens forretningsmodeller rundt konstruksjon av bygg, og hvorfor modellen kanskje bør endres. Delkapittel 2.4 tar for seg byggematerialene vi skal sammenligne, slik at vi får en bedre forståelse av kvaliteten på de forskjellige materialene. Videre redegjør vi for ulike teknologiske fremskritt gjort innen byggebransjen de seneste årene som kan være med å påvirke valg av byggemateriale. Til slutt ser vi kort på pålagte tekniske krav samt ulike former for miljøsertifisering.

2.1 Klimaendringer og -tilpasninger

Klimaendringer og ekstremvær skaper store utfordringer og mange mener vi står overfor en klimakrise. Det er viktig å skille mellom klima og vær. Vi ser daglig hvilket vær vi møter, mens klima er været i et langt tidsperspektiv, gjerne over flere tiår. Det er den økende gjennomsnittstemperaturen som er årsaken til hyppigere ekstremvær. Klimaendringer er i hovedsak et resultat av menneskeskapt utslipp. Dette er det store flertall av seriøse klimaforskere enige om. Grunnet bruk av fossilt brensel slipper vi ut mer CO₂ enn naturen klarer å fange opp naturlig. Derfor er det viktig å redusere klimagassutslippene. (FN-Sambandet, 2023).

Som tidligere nevnt står byggebransjen for ca 40 % av de globale utslippene fordelt på produksjon/konstruksjon, energiforbruk og avfall (IEA, 2019). De store utslippene er særlig knyttet til energibruk. Store bygg krever mye energi både under selve konstruksjonen, men også for å driftes. Vi kan dermed skille mellom operasjonell energi og inkorporert energi. Operasjonell energi brukes til okkupasjon/drift i form av oppvarming, nedkjøling, ventilasjon og varmt vann. Inkorporert energi, er den totale energimengden som er investert i materialer og konstruksjonsprosesser gjennom hele livssyklusen til et bygg. Det er det som brukes til konstruksjon, vedlikehold, renovering og riving. Det viser seg at 80 % av det totale energiforbruket gjennom livsløpet til et bygg går til å drifte bygget (Huang et al., 2018, s. 1906).

I fremtiden vil det kreves stor reduksjon i operasjonell energi. Innen 2026 skal samtlige offentlige bygg som driftes oppnå klimanøytralitet i forhold til operasjonell energi (Zeiner & Reyr, 2023).

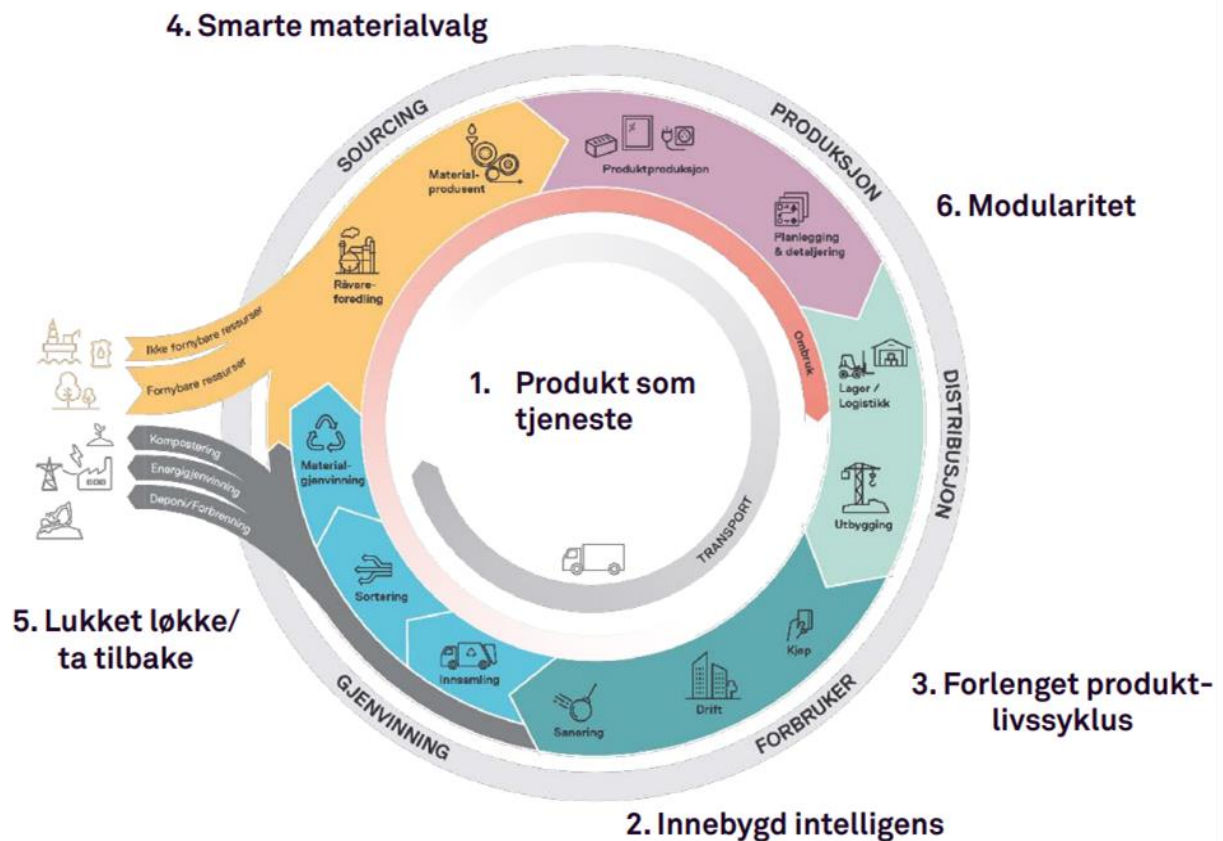
I EU står byggebransjen for en tredjedel av alt avfall (European Commission, u.å.-a). Dette bidrar igjen til utslipp. En viktig del av planleggingen av fremtidige bygg vil derfor bli valg av materialer som produserer lite avfall og som er lett og gjenvinne. I 2022 genererte bygninger og konstruksjoner ca 2,1 millioner tonn avfall i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2023).

Det er overveiende sannsynlig at byggebransjen står overfor en stor omstilling, og at dette vil påvirke planlegging, konstruksjon og drift av fremtidens offentlige bygg.

2.2 Dagens forretningsmodeller i byggebransjen

En undersøkelse utført av Deloitte (2020) viste at gruppen bygg, anlegg og næringseiendom har et særlig høyt potensial for økt sirkularitet. Gitt at dagens økonomi- og regnskapsregler er beregnet og tilpasset for en lineær økonomi (vekst), skaper dette problemer for bransjen. Dette fordi bransjen i stor grad fortsatt benytter seg av tradisjonelle forretningsmodeller hvor lønnsomhet og vekst er i fokus. Det å velge sirkulære tiltak har tradisjonelt vært tidkrevende og fordyrende. Deloitte (2020) poengterer at tidligere EU-regelverk knyttet til ombruk av byggematerialer og regnskapsregler har stått i veien for vedlikehold og rehabilitering. Det har bidratt til at de økonomiske gevinstene var større ved å rive og bygge nytt i stedet for å rehabilitere eldre bygg og gjenbruke gamle materialer.

Med økt fokus på krav om klimaregnskap (Direktoratet for byggkvalitet, u.å.) og tiltak for å redusere CO₂, er ikke det gamle EU-regelverket lenger en barriere for byggebransjen. Det er derfor trolig at det er økte kostnader og tidsbruk som er utslagsgivende for mer konvensjonelle valg (se figur 1.1). En omstilling fra tradisjonelle til sirkulære forretningsmodeller vil være avgjørende for at bransjen kan bygge mer klimavennlig. Ifølge Æra Strategic Innovations (2020) kan en slik omstilling se ut som figur 2.1 viser.



Figur 2.1: Sirkulær forretningsmodell (Æra Strategic innovation, 2020, lysbilde 9)

Som tidligere nevnt har Æra Strategic Innovations (2020) sett på to mulige forretningsmodeller for sirkulær økonomi. Dette er grønn vekst (økologisk modernisering) og regenerativ økonomi. Grønn vekst innebærer en satsing på klimavennlige tiltak, og et samfunn som er preget av fornybar energi, karbonfangst og smartteknologi gjennom politisk regulering, avgifter og subsidier. Regenerativ økonomi legger i tillegg vekt på deling, lokal produksjon og sosial utjevning. For byggebransjen innebærer deling færre nybygg og dermed redusert avfallsmengde, mens lokal produksjon kan gjøre det mindre kostbart å gjenvinne byggematerialer. I dette perspektivet er tid og lokale ringvirkninger viktigere enn vekst, som ikke er en like sterk drivende faktor. Samfunnet er her en del av naturen og planeten settes først (Æra Strategic Innovation, 2020).

2.3 Idrettshaller

Idrettshaller faller under kategorien formålsbygg. Blant kommunale formålsbygg finner vi blant annet barnehager, skoler, sykehjem, administrasjonslokaler, kulturbygg og idrettsanlegg⁶. Idrettsanlegg inkluderes i denne kategorien på grunn av deres spesifikke funksjon for idrettsaktiviteter. En viktig del av finansieringen til idrettshaller er blant annet gjennom statlige støtteordninger⁷, som inkluderer spillemidler og andre offentlige tilskuddsordninger. Disse støtteordningene kan være med på at steget for kommunene over til et mer klimavennlig materiale ikke er like stort, fordi de ikke må stå for all finansieringen selv.

2.4 Byggematerialer

Valg av byggemateriale er en viktig beslutning som påvirker kostnader, holdbarhet, miljøpåvirkning og energieffektivitet i bygget. Dette delkapitlet vil se på de ulike egenskapene ved massivtre kontra stål og betong.

2.4.1 Heltre/massivtre

Tre har lenge blitt brukt i konstruksjoner av bygg, men bygg i massivtre har ikke vært like vanlig. Massivtre er lameller satt sammen til elementer ved bruk av spiker, skruer, tredybler, lim eller stålstag (Aarstad et al., 2011). I dag har massivtre blitt en viktig komponent i nye bygg, og har hatt en økende popularitet de siste årene (Glosli, 2018).

Det er flere positive sider ved å bruke massivtre i bygg, ikke minst at tre er en fornybar ressurs. Ved å velge tre som byggemateriale bidrar man til en mer bærekraftig og miljøvennlig byggepraksis. Dette er med forbehold om at moderne skogforvaltning sikrer at avskoging kompenseres med nyplanting og at økt hogst ikke fører til tap av natur. Produksjonen av massivtre gir generelt lavere klimagassutslipp sammenlignet med materialer som betong eller stål. Tre har også evnen til å lagre karbon gjennom fotosyntese, som reduserer den totale klimapåvirkningen. Produksjonen av massivtre binder rundt 800 kg CO₂ per kubikk, sammenlignet med betong som produserer 385 kg per kubikk (Splitkon, 2019, Avsnitt 3).

⁶ (Norsk kommunalteknisk forening, u.å.). <https://www.kommunalteknikk.no/felles-standard-for-investeringer-i-kommunale-formaalsbygg-i-osloregionen.5910686-40825.html>

⁷ (Gode idrettsanlegg, 2021). <https://www.godeidrettsanlegg.no/verktoy/finansieringsmetoder>

Tre har noen naturlige egenskaper som bidrar til å redusere energiforbruket i bygninger. Trestrukturer gir naturlig termisk isolasjon, og dermed kan man oppnå bedre energieffektivitet og lavere oppvarmings- og kjølebehov. Riktig behandlet tre har også god holdbarhet og kan vare i mange tiår. Teknologiske fremskritt i impregnering og behandling av tre har gjort det mulig å forlenge levetiden til trestrukturer betydelig (Nyrug, 2018).

2.4.2 Betong

Et av de aller viktigste byggematerialene vi har er betong. Betong er brukt i mange hundre år, men i Norge ble det først tatt i bruk i bygninger tidlig på 1900-tallet (Betongfokus, 2023). Betong har flere egenskaper som gjør det til et attraktivt byggemateriale: Det er sterkt, har god holdbarhet, er motstandsdyktig mot fukt, som igjen reduserer risikoen og mugg og råte – og det er ikke brennbart, noe som naturlig nok både reduserer risikoen for brann og skadevirkningene hvis en brann skulle oppstå. Det lave vedlikeholdsbehovet er også bemerkelsesverdig, og betongkonstruksjoner krever generelt sett minimalt vedlikehold i forhold til andre materialer, noe som resulterer i lavere kostnader gjennom levetiden for bygninger i betong enn mange andre bygningsmaterialer (Thue, 2019).

Men det er også ulemper knyttet til bruk av betong. En av dem er høye CO₂ utslipp ved produksjon. En av hovedingrediensene i betong er sement. For hvert tonn sement som produseres, slippes det ut så mye som 622 kg CO₂ (Brogan, 2021). Likevel må det nevnes at utviklingen i produksjon av lavkarbonbetong er på fremmarsj. Ved å gå fra vanlig betong med utslipp på 320 kg per m³ til lavkarbonbetong, vil man kunne spare opp mot 120 kg CO₂ per m³ (Betongsentrum, u.å.). Det må også tas i betraktning at betong faktisk har potensial til å absorbere karbon. Seniorforsker ved Sintef, Christian Engelsen, presiserer at minimum 15 % av CO₂ fra sementproduksjon kan bindes opp i betongen gjennom naturlig karbonatisering (Strand, 2017).

2.4.3 Stål

Stål, som i hovedsak består av jern, er det mest vanlige materialet som brukes i byggeprosesser. Som byggemateriale har stål mange ønskelige egenskaper. Stål er både et sterkt og varig materiale, men også fleksibelt og billig å bruke. Det er ofte prefabrikkert, noe som innebærer at byggematerialene kan bestilles etter nøyaktige mål. Det gir besparelser både i transport og byggetid (Norsk stålforbund, u.å.).

Norsk Stålforbund (u.å.) trekker også frem at stål er nesten 100 % resirkulerbart, og at det er lettere enn betong og tre når vi korrigerer for nødvendig volum for å oppnå ønsket bæreevne. I forhold til utvinning kreves det bare 1/800 av arealene tilsvarende for tømmer med samme bæreeffekt. Siden nesten alt kan resirkuleres blir det i prinsippet ikke noe avfall etter produksjon.

På den andre siden kreves det store mengder energi for å *produsere* stål. For hvert tonn stål som lages, slippes det ut 1,85 tonn CO₂ (Norsk Stål, 2022, avsnitt 2). En m³ stål veier ca 7 900 kg (Bugge, 2016, s. 13). Bruker vi disse tallene kan vi regne oss frem til at for hver m³ stål produsert, slippes det ut 14 615 kg CO₂. Likevel, jo flere ganger stålet gjenvinnes (stålskrap), desto mindre gjennomsnittlig innbakt energi trengs det for å produsere. Produksjon av stål fra stålskrap krever bare 40 % av energien i forhold til å framstille stål fra jern (Norsk Stålforbund, u.å.). En grønnere produksjon har stor betydning for energisparing og CO₂-utslipp og gjør at man kan spare opptil 70 % utslipp i produksjon sammenlignet med tradisjonelle metoder (Nordic Steel, u.å.).

2.5 Teknologisk modenhet

De konvensjonelle materialene stål og betong har eksistert mye lengre enn massivtre, som er en relativt ung teknologi i forhold. Ut fra datagrunnlaget vårt håper vi på å kunne observere den teknologiske fremgangen for materialene.

Ettersom det første massivtre bygget i Norge kom i 2005 (Nyrud & Glasø, 2018), er hypotesen vår at vi vil observere en større nedgang i pris for massivtre enn stål og betong. Altså at prisforskjellen mellom materialene er mindre på nyere bygg, enn på de første som ble bygd. Stål og betong har vært på markedet i over 100 år, så den teknologiske fremgangen vil nok ha stagnert i større grad, noe som kan reflekteres i prisen.

2.6 Miljøkrav fra EU

Med bakgrunn i klimakrisen vi står overfor, har EU sett det nødvendig å innføre strenge miljøkrav for å oppnå klimamålene de har satt seg i Parisavtalen. Kravene som blir innført i EU kommer også inn i norsk lovgivning. I dette delkapittelet vil vi se nærmere på EU-taksonomien, mål relatert til reduksjon og forebygging av utslipp (1) og omstilling til sirkulær økonomi (4) samt noen spesifikke krav/tiltak knyttet til målene. Til slutt kommer vi kort inn på Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD).

2.6.1 EU-taksonomi

Som tidligere nevnt pekes det på at “klimakrisen” kan ha oppstått som følge av en form for markedssvikt hvor foretaksøkonomisk lønnsomhet og vekst har vært høyeste prioritet. Finansmarkedene befinner seg nå i en omstillingsfase til en lavutslippsøkonomi. Likevel har det vært uklart hva som regnes som bærekraftige investeringer. EU opprettet derfor en taksonomiordning som fungerer som et klassifiseringsverktøy. Dette verktøyet gjør det lettere for investorer å identifisere bærekraftige investeringer. I tillegg kan investorer avgjøre om investeringene er i tråd med langsiktige europeiske klimamål. Taksonomien legger grunnlaget for merkeordninger og standarder for grønne produkter, og bistår selskaper i omstillingsfase til en grønnere hverdag (Regjeringen, 2024b).

Taksonomien treffer i første omgang kun finansinstitusjoner og børsnoterte foretak med over 500 ansatte fra regnskapsåret 2024 (NOU 2023:15, s. 10). De største entreprenørselskapene i Norge, som Skanska og Veidekke, er derfor pliktige til å rapportere etter taksonomien. Foretak som omfattes av taksonomien ser at det kan innebære en høy risiko med aktiviteter som gir negative utslag på målekriteriene i taksonomien. Byggebransjen er avhengig av store investeringer, og banker og investorer er spesielt opptatt av at prosjektene er bærekraftige (grønne bygg). Ved å oppfylle visse kriterier, kan slike bærekraftige prosjekter få tilgang til såkalte "grønne lån"⁸.

En utbygger som ikke møter disse kravene, har større risiko for ikke å få finansiering. Gitt at byggebransjen trenger investorer ser vi at hele bransjen, uavhengig av størrelse på entreprenørene, vil bli berørt (Norsk Byggallianse, 2023).

⁸ (DNB, u.å.-a) <https://www.dnb.no/bedrift/finansiering/bedriftsloan/gronne-lan/naringseiendom-og-boligprosjekter>



Figur 2.2: EUs taksonomimål (Regjeringen, 2024b. Foto: Klima og miljødepartementet)

Figur 2.2 viser hvordan klassifiseringssystemet er bygd opp og hvilke minstekrav som stilles. Det legges særlig vekt på at bedriften må bidra vesentlig til et av de seks miljømålene, samtidig som bedriften ikke må ha en negativ innvirkning på de resterende målene. Bedriften må også oppfylle minstekrav til sosiale og styringsmessige forhold (Regjeringen, 2024b).

Redusere og forebygge klimagassutslipp (første del i figuren), samt omstillingen til en sirkulær økonomi (fjerde del) vil være viktige mål for byggebransjen. For å kunne beregne et klimagassregnskap er det pålagt at man må referere til et referansebygg fra 1990, og sammenligne dagens utslipp mot dette for å se på utslippsreduksjonen. Dette er forankret i Parisavtalen (for Norge gjennom klimaloven) (NOU 2023:25, s.11). Tatt i betraktning mål 1 vil redusert energiforbruk være helt vesentlig. Med det følger et krav om at det primære energiforbruket i nybygg skal være 10 % lavere enn grensen satt for nearly zero energy building

(nZEB). For idrettsbygg er denne grensen 142 kWt/kvadratmeter pr BRA i året⁹ som betyr at det primære energiforbruket ikke kan overstige 127,8 kWt/kvadratmeter pr BRA i året (Norsk Byggallianse, 2023).

Et annet krav er at for bygninger over 5 000 kvadratmeter må det lages en CO₂ beregning for hele livsløpet til bygningen. En flerbrukshall deles inn i størrelsene 25x45, 48x45 og 72x45¹⁰. Gitt at vi har samlet inn data fra noen haller tilknyttet skolebygg vil da disse treffes av kravet, og være pliktig til å lage en slik CO₂ beregning (Norsk Byggallianse, 2023).

En utbygger som skal gi et vesentlig bidrag til sirkulær økonomi, må innfri en rekke krav. Det er for eksempel klare miljøkrav knyttet til bruk av betong og stål. EU krever at maksimalt 70 % av materialet som blir brukt i betong er råmateriale. For stål er målet enda strengere; her er det maksimalt lov med 30 % råmateriale. Grensen for biobasert materiale er 80 % (European Commission, u.å.-c). Det er også miljøkrav knyttet til graden av avfall som må sendes til gjenbruk eller resirkulering. Her har EU satt et minimumsnivå på 90 %.

EU-taksonomien vil ha betydelig innvirkning på byggebransjen, og valget av passende byggematerialer blir kritisk i lys av flere av kravene.

2.6.2 Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)

Taksonomien har medført strengere rapporteringskrav gjennom EUs bærekraftsdirektiv, Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Dette representerer et betydelig skritt mot å forme en bærekraftig og inkluderende økonomi i samsvar med European Green Deal¹¹ og FNs bærekraftsmål¹² (NOU 2023:15, s.8).

Som vi kan se vil det å rapportere i henhold til taksonomien bli et krav i den kommende bærekraftsrapporteringen. I tillegg skal informasjonen være sammenlignbar, pålitelig og lett for bedrifter å finne. Det skal være klare krav til hva som skal rapporteres, og gjøre det lettere å hente tredjepartsinformasjon fra forretningspartnere (PwC, 2023).

⁹ (Regjeringen, u.å.)

<https://www.regjeringen.no/contentassets/60e8f8ec02e246079f4af4d9578d78c2/veiledning-om-beregning-av-primarenergibehov-og-nesten-nullenergibygg.pdf>

¹⁰ (Gode idrettsanlegg, 2023) <https://www.godeidrettsanlegg.no/anleggstype/idrettshall>

¹¹ (European Commission, u.å.-d) https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

¹² (FN-sambandet, 2024) <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>

2.7 Norske krav i byggebransjen

I denne delen vil vi kort redegjøre for byggtekniske krav som bransjen må forholde seg til, herunder byggteknisk forskrift TEK17, Plan og bygningsloven, og byggesaksforskriften.

2.7.1 TEK10 & TEK17

TEK10 (gjeldende 2010 til 2017) og TEK17 (2017 til d.d) (Byggstart, u.å) forskriften definerer tekniske minimumskrav et bygg må ha for å kunne anses som lovlig bygget i Norge. Forskriften gjelder for alle nybygg og hovedombygging/bruksendring. I forskriften skilles det mellom funksjonskrav, ytelseskrav og preaksepterte ytelser. Funksjonskrav er kvalitative og beskriver overordnede oppgaver bygget må oppfylle. Ytelseskrav og preaksepterte er kvantitative krav og beskriver tiltak for å oppfylle funksjonskravene. Kravene til energimerking for bygg, som vil ha stor tyngde i forhold til en omstilling til energieffektive bygg, finnes blant annet her.

For å forstå TEK17 og norsk byggelovgivning er det viktig å kjenne til noen sentrale begreper:

Plan- og bygningsloven: et sentralt juridisk rammeverk i Norge som regulerer arealplanlegging, byggesaksprosesser og håndheving av regelverk knyttet til byggeprosjekter. Lovverket er strukturert i ulike deler, hver med spesifikke formål og ansvarsområder.

Den alminnelige delen viser til fellesbestemmelser og grunnlag for disse. Plandelen omhandler planlegging av tiltak. Gjennomføringsdelen viser til gjennomføring av nødvendige tiltak. Byggesaksdelen viser til søknadsplikt og godkjenning for byggeprosjekter. Håndhevingsdelen håndterer regler og gebyrer. Sluttbestemmelsene viser til overgangsordninger. Mange av bestemmelsene i TEK17 og byggesaksforskriften er hjemlet i plan- og bygningsloven.

Byggesaksforskriften/tekniske veiledere: viser til ytterligere beskrivelser av bestemmelsene i plan- og bygningsloven. Temaer som tillatelser, ansvarsrett, kontroll, saksbehandling og tilsyn fra kommune står sentralt.

DIBK (Direktoratet for Byggkvalitet): forvalter det byggtekniske regelverket i Norge. De fører også tilsyn over nødvendig dokumentasjon, og forvalter godkjenningsordningen.

Dokumentasjon: er påkrevd for prosjektering, produkter og at pågående arbeid oppfyller gjeldende krav. Det kreves dokumentasjon for funksjonskrav, ytelseskrav og utførelse (Byggstart, u.å).

2.8 Verktøy for standardisering av eiendomsbransjen

2.8.1 Fra NS 3454 til NS-EN 16627

Siden 2013 har byggebransjen jobbet etter standarden NS 3454-livssyklus kostnader for byggverk som er et hjelpemiddel for å gjennomføre LCC-analyser. Dette kan brukes i alle faser av prosjektet og under forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU) (Standard Norge, u.å.-a, avsnitt 4). I 2023 ble NS 3453 erstattet av en felles europeisk standard NS-EN 16627-fra livssyklus kostnader til bærekraft. I tillegg til LCC-analyser kan den nye standarden bistå i å vurdere LCC kostnader til et byggverk i et bærekraftig perspektiv (Standard Norge, u.å.-b, avsnitt 1 og 2).

2.9 Miljøsertifiseringer i byggebransjen

Selv om miljøsertifisering ikke er pålagt byggebransjen på samme måte som kravene lagt frem ovenfor, utgjør det en sentral del av bærekraftsarbeidet. Grønn Byggallianse er en av flere organisasjoner som bistår byggebransjen med å ta gode bærekraftige valg. De hjelper også entreprenører med å bli miljøsertifiserte gjennom verktøyet BREEAM-NOR. Av andre aktuelle aktører, kan vi nevne FutureBuilt, ZEB (Zero Emission Buildings) og konseptet passiv-, null-, og plusshus.

2.9.1 Grønn Byggallianse og BREEAM-NOR

BREEAM-NOR, utviklet av Grønn byggallianse (u.å) er det mest benyttede sertifiseringsverktøyet for nybygg og større rehabiliteringer. Sertifiserte prosjekter viser til verdier samfunnet er opptatt av, og til kvaliteter ut over byggforskriftenes minstekrav. Sertifiseringen av et bygg/prosjekt skjer på fem nivåer: Pass (30 %), Good (45 %), Very Good (55 %), Excellent (70 %) og Outstanding (85 %).

Det finnes to typer sertifikater. Ett midlertidig og ett som er frivillig og utstedes etter at prosjekteringsfasen er over. Ved ferdig bygg utstedes et ferdigstillelessertifikat.

Videre er det ni kategorier, hvor hver enkelt kategori består av tiltak som må gjennomføres for å gjøre bygget mer miljøvennlig. Desto flere utførte tiltak, jo høyere poengsum og sertifiseringsnivå får bygget. De ni kategoriene er:

1. ledelse, 2. helse- og innemiljø, 3. energi, 4. transport, 5. vann, 6. materialer, 7. avfall, 8. arealbruk og økologi, og 9. forurensning (Grønn Byggallianse, 2024).

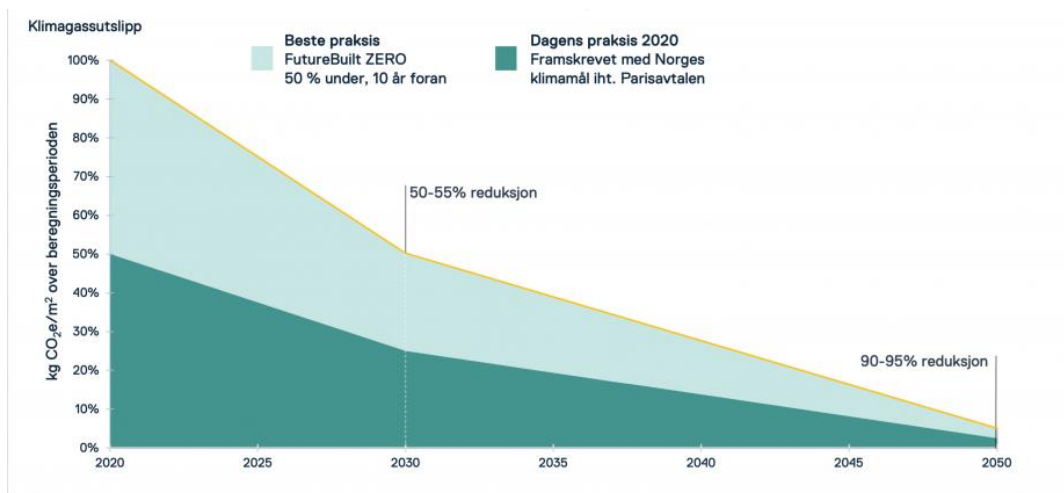
Som vi kan se, sørger de utvalgte kategoriene for et gjennomgående miljøfokus i tilknytning til byggeprosessen. Videre påpekes det av Grønn Byggallianse (2022) at å bygge bærekraftig ofte ikke innebærer økte kostnader på lengre sikt. Dette bekreftes av Cathrine Pia Lund, direktør i Svanemerket. Hun viser til to prosjekter hvor materialkostnaden var tilsvarende konvensjonell bygging. Selve sertifiseringen og oppfølgingen utgjorde kun 0,2 % av totalsummen (Lund, 2023). I de tilfellene hvor miljøsertifiseringen faktisk fører til økte investeringskostnader, vil dette likevel kunne spares inn på sikt gjennom lavere driftskostnader og økt levetid på bygget (Grønn Byggallianse, 2022).

2.9.2 FutureBuilt

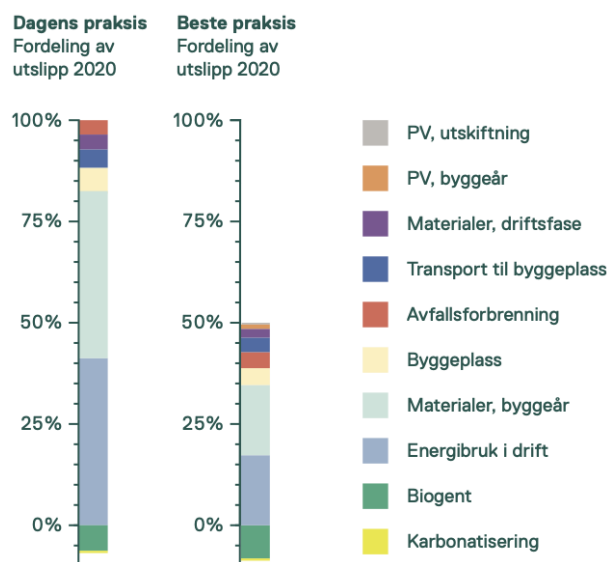
FutureBuilt er et innovasjonsprogram for ambisiøse utbyggere som ønsker å tenke kreativt og bygge miljøvennlig. De har et mål om å realisere såkalte “forbildeprosjekter” som oppfyller FN’s bærekraftsmål og målene satt i Parisavtalen. I tillegg er det krav om minst 50 % kutt i klimagassutslipp i forhold til å bygge konvensjonelt. Det er krav om høy miljømessig kvalitet og at prosjektene er BREEAM-NOR sertifisert med oppnådd poengsum excellent eller høyere.

FutureBuilt har et tett samarbeid med blant annet Oslo, Bærum, Asker, Drammen, Lillestrøm og Nordre Follo hvor hver kommune har en egen representant. I tillegg samarbeider de med flere store aktører, blant annet Grønn Byggallianse, Enova og Direktoratet for byggkvalitet (FutureBuilt, u.å).

Figur 2.3 viser en sammenligning av utslippsreduksjonen for konvensjonell bygging og FutureBuilt ZERO-prosjekter. Det mørket feltet står for konvensjonell bygging og det lyse for FutureBuilt. Selv om utslippsreduksjon som følger målene satt av Parisavtalen, ser vi likevel at FutureBuilt har en ytterligere reduksjon på 50 %, som gjør at de ligger 10 år foran konvensjonell bygging.



Figur 2.3: Utslipp fra konvensjonelle bygg og FutureBuilt bygg (Futurebuilt, 2024)



Figur 2.4: Fordeling av utslipp fra konvensjonelle bygg og Futurebuilt bygg (Futurebuilt, 2024)

Figur 2.4 viser fordelingen av utslipp for konvensjonell bygging og FutureBuilt- prosjekter. Det som er interessant er postene netto energibruk i drift og materialer, byggeår. Konvensjonelle bygg krever tre ganger så mye energi til drift som FutureBuilt-bygg. Vi ser også vesentlig mindre utslipp fra materialer i Futurebuilt-prosjekter (FutureBuilt, 2024). I tiden fremover må samtlige bygg bli mer energieffektive, og kutte utslipp. FutureBuilt og lignende prosjekter kan vise seg å være et lurt valg fremover.

2.9.3 Passivhus, nullhus og plussus

Som tidligere påpekt, står bygninger for omtrent 40 % av det globale energiforbruket. Som Energiverket (u.å) presiserer er konseptene passivhus, nullutslippsbygg og plussenergihus

utviklet for å redusere klimagassutslippene fra bygninger. La oss undersøke nærmere hva forskjellene mellom disse ulike konseptene innebærer.

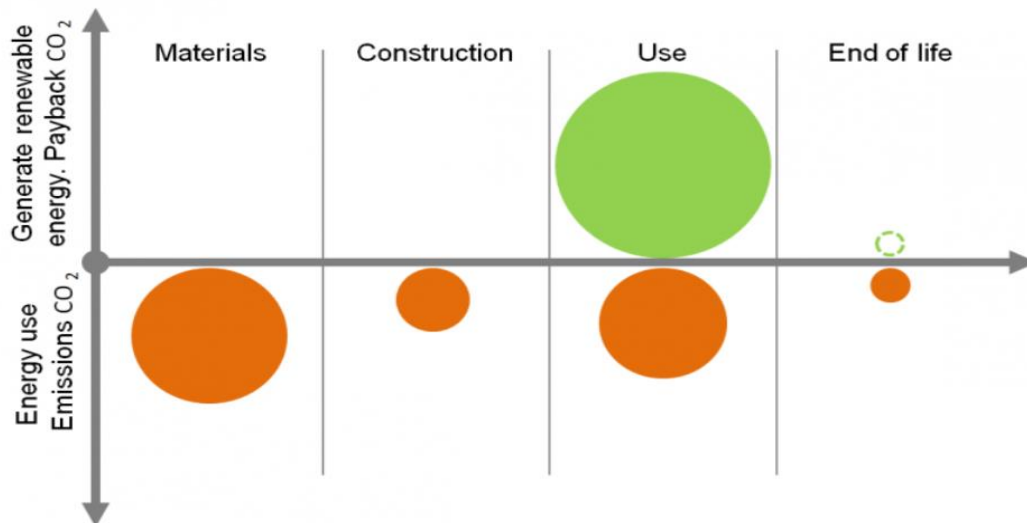
Passivhus bruker passive tiltak som blant annet bedre varmeisolasjon, utnyttning av solenergi og varmegjenvinning for å redusere en bygningens energibehov. Det fører til at passivhus har vesentlig lavere energibehov enn tradisjonelle bygninger. Standarden for passivhus og lavenergihus i Norge tar for seg emner som varmetap, oppvarmingsbehov, energiforsyning og minimumskrav til ulike bygningskomponenter.

Nullhus eller nullutslippsbygninger er bygninger hvor det årlige netto energibehovet og utslippet av klimagasser tilsvarer null. I løpet av sin levetid må nullhus produsere nok energi for å kompensere for alle utslipp både fra bygging og bruk av bygningen.

ZEB er et samarbeid mellom SINTEF og NTNU hvor hovedmålet er å utvikle bygg som har nullutslipp av klimagasser knyttet til konstruksjon, drift og riving. Dette gjelder for både nybygg og eksisterende bygg (ZEB-The Resource Centre on Zero Emission Buildings, u.å.-a, avsnitt 1 og 2).

ZEB forskningscenter har delt nullutslippsbygg inn i ulike nivåer, avhengig av hvor mange faser av bygningens levetid som blir medregnet. De fem viktigste definisjonene¹³ spenner fra nivå 1 (ZEB 0) til nivå 5 (ZEB KOMPLETT). På nivå 1 kompenserer energiproduksjonen for klimagassutslipp fra drift av bygget, mens på nivå 5 kompenseres det for klimagassutslipp fra hele byggets levetid som inkluderer byggevarer – konstruksjon – drift og riving/gjenvinning (ZEB-The Resource Centre on Zero Emission Buildings, u.å.-b, avsnitt 1).

¹³ (ZEB, u.å.-b) <http://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/zeb-definitions>



Figur 2.5: Eneriproduksjon gjennom levetiden til et Zero Emission Building bygg (ZEB, u.å.-b)

Figur 2.5 viser tydelig hensikten med et ZEB-bygg, som er å generere tilstrekkelig fornybar energi til fullstendig å kompensere for byggets klimagassutslipp gjennom hele levetiden.

Plusshus er det optimale målet for å kutte energibehovet til et bygg, ved at bygget vil skape mer energi enn det forbruker. I løpet av levetiden vil et plussenergihus generere overskuddsenergi som dekker ikke bare driftsfasen, men også hele livssyklusen til bygget, inkludert produksjon av materialer, bygging, drift og til slutt riving. Det overskytende energioverskuddet, etter at behovene for oppvarming, varmtvann, belysning og annet elektrisk utstyr er dekket, kan selges videre.

3 Teori og modeller

Kapittelet gir en innføring i viktige teoretiske begreper, både innen økonomi og miljø, og for å få en god forståelse av oppgaven. Resultatet av analysen og diskusjonen vil bygge på sentral teori innen økonomi og miljøøkonomi presentert i dette kapittelet.

Deler av kapittelet bygger videre på teori vi introduserte i prosjektskisse til masteroppgaven. Denne prosjektskissen ble levert 20.11.2023 i faget “M0-ØA Planlegging av masteroppgave høsten 2023”.

3.1 Moderne økonomisk teori og begrensninger

De nyere metodene innen økonomisk analyse har alle sitt opphav fra moderne økonomisk teori. Slik teori bygger på metodisk individualisme og analyserer hvordan enkeltpersoner tar rasjonelle beslutninger for å oppnå det mest gunstige utfallet i henhold til deres mål. Faktorer som risiko og usikkerhet har stor innvirkning for valg. Det er flere ulike matematiske tilnæringsmetoder som utgjør byggesteinene i moderne økonomi, herunder førsteordensbetingelsen fra individets nyttemaksimering¹⁴ og likevektstilnærmingen¹⁵ i forhold til tilbud og etterspørsel. Disse byggesteinene brukes i stor grad med tanke på nettopp nyttemaksimering, som er utfallet samtlige økonomer sikter etter. (Mueller, 2004, s. 61)

Med tanke på miljømessige beslutninger, hevdes det at moderne økonomisk teori legger vekt på optimal bruk av naturressurser for menneskelig produksjon og forbruk. Slike beslutninger kan innebære stor usikkerhet, og det er her utfordringene oppstår. Allerede i 1992 hevdet Dietz & Van der Straaten (1992, s. 32) at daværende evalueringsmetoder ikke ville fungere. Dette skyldes delvis at aktørene ikke har fullstendig innsikt i konsekvensene av å redusere bruken av naturressurser og dens innvirkning på fremtidige generasjoner. I tillegg tas slike beslutninger ofte basert på kortsiktig tankegang blant individuelle økonomer. Miljømessige utfordringer krever langsiktige løsninger, men effekten av kortsiktige løsninger vil kun fungere til nødvendig, midlertidig “brannslukking”.

¹⁴ (Bergholt, 2011) https://bergholt.weebly.com/uploads/1/1/8/4/11843961/sk3520_-_konsumentteori_-_drago_bergholt.pdf

¹⁵(Stoltz & Andersen, 2021) https://snl.no/samfunns%C3%B8konomisk_historie

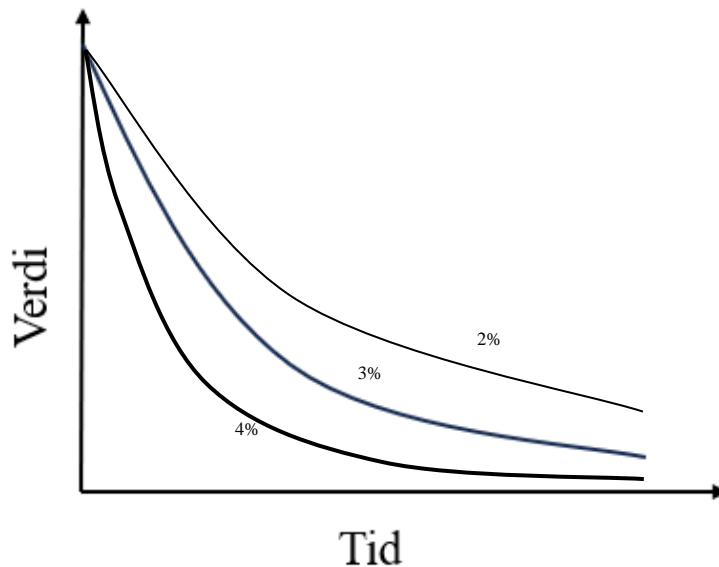
Gluch & Baumann (2004, s. 572) peker på at moderne økonomisk teori begrenser seg ved at elementer uten eier, som naturressurser og økosystemer, ikke blir tatt hensyn til. Dette perspektivet finner vi igjen hos Dietz & Van der Straaten (1992, s. 31) som påpeker at det ikke kan settes en markedspris på slike elementer fordi det ikke finnes markeder for offentlige goder som økosystemer og landskap. Likevel er det velkjent at selv under betydelig usikkerhet blir beslutninger tatt, og det er forventningene som driver denne beslutningsprosessen. Konseptet om rasjonelle forventninger, introdusert av Muth (1961) og senere videreført av Friedman (1968), understreker denne dynamikken. Når det gjelder miljømessige beslutninger, hevder vi at moderne økonomisk teori har visse begrensninger, og derfor kan det være mer hensiktsmessig å utforske alternative metoder. Dette aspektet vil vi vende tilbake til senere.

I forhold til miljømessige beslutninger og lønnsomheten rundt disse er det nødvendig å trekke inn begrepet diskontering. Vi redegjør for dette i neste delkapittel.

3.2 Diskontering

I følge Weitzman (2001) «(...) gjør en “diskonteringsrente” det mulig å sammenligne effekter som oppstår på forskjellige fremtidige tidspunkter ved å konvertere hvert fremtidige dollarbeløp til tilsvarende nåværende dollar» (Weitzman, 2001, s. 260, vår oversettelse).

Diskontering er et av de mest sentrale temaene innen økonomi, fordi verdien på penger endres over tid. På grunn av pengers tidsverdi kan 100 kroner i dag være verdt noe annet enn 100 kroner om ett år. Dette skyldes at penger du har nå kan investeres, i tillegg til at inflasjonen vil redusere den fremtidige verdien av samme pengebeløp (Weber, 2021, s. 506). Figur 3.1 er en illustrasjon av hvordan penger vil synke i verdi over tid med forskjellige rentesatser. Her illustrert med en rentesats på 2, 3 og 4 %. Vi kan se at en høyere rentesats vil gi lavere fremtidig verdi.



Figur 3.1: Pengers verdi over tid (egen illustrasjon)

Konseptet med diskontering er også sentralt i diskusjon rundt klimaspørsmålet. Ettersom klimaskader og tiltak blir verdsatt i kroner og øre, er det viktig at også disse beløpene blir diskontert, spesielt i et langt tidsperspektiv. Hvilken diskonteringsrente som skal brukes blir sentral, fordi dette kan være med på å avgjøre om et tiltak er økonomisk lønnsomt eller ikke. Renten vil også spille en stor rolle når kostnadene ved fremtidige klimagassutslipp skal beregnes.

Det er stadig diskusjoner blant økonomer om hvilken diskonteringsrente som er riktig å bruke. Stern (2008) har spilt en avgjørende rolle i å forme diskusjonene om økonomien knyttet til klimaendringer, og bidratt til forståelsen av behovet for proaktive tiltak for å møte denne globale utfordringen.

En bemerkelsesverdig del av Sternrapporten (2008) er bruken av en lav diskonteringsrente. Ved å bruke en lavere diskonteringsrente enn det som vanligvis blir gjort for langsiktige analyser, veier fremtidige konsekvenser av klimaendringer tyngre enn i mye av dagens beslutningstaking. Han understreker at de økonomiske konsekvensene av klimaendringer kan være veldig alvorlige og føre til betydelig reduksjon i global økonomisk produksjon hvis ingen tiltak blir iverksatt i dag.

Stern (2008) argumenterer for sterke og umiddelbare tiltak for å redusere virkningene av klimaendringer. Han hevder at investering i strategier for å redusere utslipp av klimagasser og tilpasse seg virkningene av klimaendringer gir større velferdsgevinster enn å håndtere

konsekvensene senere. Grunnen til det er i første rekke at kostnadene ved å iverksette tidlige og effektive tiltak for å redusere utslipp av klimagasser, er langt mindre enn kostnadene ved å ikke handle for å håndtere klimaendringer.

Martin L. Weitzman er uenig med Stern i hans valg av lav rente, og argumenterer for bruk av en høyere rente. Det at det ikke eksisterer noen konsensus om hvilken rentesats som skal brukes, anser Weitzman (2001) som det mest kritiske problemet for langsiktige analyser.

Tabell 3.1: Omtrentlig anbefalt diskonteringsrente (Weitzman, 2001, s. 270).

Time period	Name	Marginal discount rate (Percent)
Within years 1 to 5 hence	<i>Immediate Future</i>	4
Within years 6 to 25 hence	<i>Near Future</i>	3
Within years 26 to 75 hence	<i>Medium Future</i>	2
Within years 76 to 300 hence	<i>Distant Future</i>	1
Within years more than 300 hence	<i>Far-Distant Future</i>	0

Tabell 3.1 viser hvilken diskonteringsrente Weitzman (2001) mente en bør ta utgangspunkt i basert på forskjellige tidsscenarioer. Endring av renten over forskjellige tidsperioder heter hyperbolsk diskontering. Et problem med hyperbolsk diskontering er at tidspreferansene blir inkonsistente (NOU 2012:16, s. 67-68).

Weitzman (2007) er en kritikk av Stern sitt arbeid fra 2006. I forhold til andre økonomer hevder Stern at vi må handle nå og bruke mye ressurser på å redusere store mengder utslipp. Selv om andre økonomer har konkludert med det samme, har de likevel valgt en mer gradvis tilnærming med utslippsreduksjoner på langt lavere nivåer, men som vil øke betydelig med tiden (Weitzman, 2007, s. 704). Weitzman kritiserer også Stern for å gi et inntrykk av at arbeidet hans har bred støtte blant majoriteten av økonomer, noe som Weitzman mener ikke stemmer. Dette gir et feilaktig bilde og en måte å skjule svakhetene i argumentasjonen til Stern (Weitzman, 2007, s. 724).

Et annet sentralt tema i Sterns rapport er diskusjonen om at fremtidige generasjoner blir rikere enn den nåværende generasjonen. En lav rente slik Stern setter, verdsettes i fremtiden mer enn ved bruk av en høy rente. I Lavik & Skjerve (2020) trekkes det frem at ved bruk av renten som blir presentert i Stern (2006), vil klimatiltak som trenger investering i dag bli samfunnsøkonomisk lønnsomt. Ved bruk av en høyere rente, for eksempel 5,5 %, som Nordhaus¹⁶ har brukt, vil samme investering ikke lenger være lønnsomt å gjennomføre. Valget

¹⁶ (Nordhaus, 2007) <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jel.45.3.686>

av diskonteringsrente vil derfor være med på å bestemme om vi skal gjennomføre tiltak i dag, eller om vi skal vente slik at det er den fremtidige generasjonen som får kostnaden. Dette blir også et spørsmål knyttet til rettferdig fordeling, og om det er hensiktsmessig å bruke tidsdiskontering med tanke på etiske problemstillinger som oppstår hos fremtidige generasjoner.

Tross uenigheten med Stern om valg av diskonteringsrente, skriver Weitzman (2007) at arbeidet til Stern (2006) er viktig for å øke bevisstheten rundt alvoret med klimaendringer, og hvor stor usikkerhet som er knyttet til denne problematikken.

3.2.1 Rentesatser ved samfunnsøkonomiske analyser

Stern og Weitzmans artikler gir et bredere bilde på problematikken rundt diskontering. Offentlige norske samfunnsøkonomiske analyser følger i dag prinsipper og krav fra finansdepartementet. Direktoratet for forvaltning og økonomistyring (DFØ) har kommet med en veileder for samfunnsøkonomiske analyser. I denne veilederen fra 2021 finner vi krav om bruk av diskonteringsrente over tid.

Tabell 3.2: Valg av kalkulasjonsrente for statlige tiltak (Finansdepartement, 2021, s. 5).

	0-40 år	40-75 år	etter 75 år
Risikojustert rente	4,0	3,0	2,0

Renten i denne tabellen er en realrente, dvs. den nominelle renten fratrukket prisstigning. Dette er altså ikke en nominell rente slik som for eksempel en bankrente, men avkastningskravet til statlige prosjekter. I nåverdiberegninger anbefaler Finansdepartementet en diskonteringsrente på 4 % for nytte og kostnader som oppstår i løpet av de første 40 årene (år 0-39), når det gjelder verdier i faste kroner som er justert for inflasjon. Etter dette tidsintervallet, det vil si år 40 til 75, reduseres diskonteringsrenten til 3 %. For alle aspekter med en forventet levetid på over 75 år, anbefales en diskonteringsrente på 2 %. Dette prinsippet reflekterer en gradvis tilpasning av risikotoleransen og avkastningskravet over tid, og tar hensyn til både kortsiktige og langsiktige aspekter ved investeringene eller prosjektene som evalueres. Et ankerpunkt mot den tidsavhengige renten er som nevnt inkonsistente tidspreferanser (NOU 2012:16, s. 67-68).

Selv om diskontering utgjør en sentral metode for å evaluere nåverdien av fremtidige kostnader og fordeler, er det vesentlig å inkludere livssyklus-kostnader (LCC) for å oppnå en mer helhetlig

forståelse. Mens diskontering fokuserer på å tilpasse fremtidige verdier til dagens verdi, tar LCC-analysen hensyn til alle aspekter av kostnader og fordeler gjennom hele levetiden til et prosjekt eller en investering. Vi ser mer på dette i neste delkapittel.

3.3 Life Cycle Costing (LCC)

Ifølge Larsen et al. (2022, s.3) har utviklingen av LCC strukturerte verktøy og metoder har sitt opphav fra moderne økonomisk teori. I motsetning til moderne økonomisk teori, omtales LCC som en metodikk for å kunne vurdere den forventede totale kostnaden til et produkt, et prosjekt eller et system over dets levetid. For byggenæringen er livssyklus-kostnader (LCC) et samlebegrep på alle bygningsrelaterte kostnader som oppstår i bygningens livsløp. Hensikten er å vurdere investeringskostnader opp mot fremtidige drifts-, vedlikeholds- og utviklingskostnader i planleggingen av bygninger. På den måten kan man unngå uheldige effekter som f. eks kortsiktige valg som fører til høye drifts- og vedlikeholdskostnader (Holte & Barlindhaug, 2004, s. 4).

De siste årene har det dukket opp flere standardiserte definisjoner av LCC. Her kan nevnes den europeiske standarden for bærekraft innen bygg og anlegg, den internasjonale ISO-serien, og bærekraftsertifisering gjennom systemer som BREEAM-NOR (Larsen et al., 2022, s. 3). Tall fra DFØ viser at 10 % bruker slike metoder alltid og 38 % ofte¹⁷. Holte & Barlindhaug (2004, s. 4) trekker frem at hensikten til en byggherre er å selge med høyest mulig fortjeneste, så ressursøkonomiske løsninger som gir god kvalitet og lang levetid på sikt, kan da bli nedprioritert. Det er derfor behov for å utvikle verktøy tilpasset de forskjellige aktørenes behov som sikrer sammenlignbar informasjon for måling av effekter og forbedringer.

¹⁷ (Tunmo, 2023) <https://www.bygg.no/fortsatt-for-svak-lcc-bevissthet-hos-byggherrer/1530426/>

Tabell 3.3: Inputdata i en LCC analyse av en bygning (Gluch & Baumann, 2004, s. 576).

Investeringsdata	Drift- og vedlikeholdsdata	Prosjektspesifikk data
<ul style="list-style-type: none"> ● Byggekostnader ● Tomtekostnader ● Designgebyrer ● Skrapverdi ● Rivekostnader ● Annet 	<ul style="list-style-type: none"> ● Administrasjon ● Energi ● Vann ● Avløpsvann ● Material ● Rengjøring ● Vedlikehold ● Forsikringskostnader ● Avgifter ● Skatter ● Annet 	<ul style="list-style-type: none"> ● Type bygning ● Type design ● Type byggemateriale ● Lokasjon ● Levetid ● Annen spesifikk informasjon

Tilnærmingene fra tabell 3.3 gir forskjellige perspektiver på kostnadsevaluering og bidrar til å gi et mer komplett bilde av påvirkningen og kostnadene forbundet med et produkt gjennom hele dets levetid.

Som vi kan se gir en LCC-analyse informasjon om de økonomiske konsekvensene. En LCA-analyse går dypere ved å analysere miljøpåvirkningene gjennom hele livssyklusen til et produkt eller en tjeneste. Dette gir dermed muligheten til å integrere økonomiske hensyn med en dypere forståelse av miljøpåvirkningene, og dermed styrker grunnlaget for informerte og bærekraftige beslutninger.

3.4 Livssyklusanalyse (LCA)

For å kunne vurdere hvilken miljømessig effekt et produkt har, er det nyttig å utføre en livssyklusanalyse (LCA). Analyseprosessen begynner for et produkt med valg av produksjonsmaterialer og strekker seg deretter gjennom hele produksjons-, distribusjons- og gjenbruksfasene for materialene til nye formål. Denne helhetlige tilnærmingen kalles ofte "fra vugge til grav".

I følge Bjørn et. al (2018) gjør en LCA det mulig å identifisere og forebygge et bredt spekter av miljøutfordringer gjennom tiltak for å redusere miljøpåvirkningen i én prosess eller livssyklusfase som utilsiktet kan skape (muligens større) miljøpåvirkninger i andre prosesser eller livssyklusfaser. Her kan nevnes klimaendringer, landokkupasjon og transformasjon, utnyttelse av ikke fornybare ressurser og forurensede effekter fra metaller og syntetiske organiske kjemikalier. Resultatet fra en LCA kan gi svar på hvor mye et produktsystem

potensielt kan påvirke miljøet, hvor svaret er gitt i antall kg CO₂-ekvivalenter. Slike beregninger skjer ved å kartlegge alle utslipp og ressursbruk samt bruke faktorer som er hentet fra matematiske årsak/virkning-modeller for å beregne potensielle miljøpåvirkninger fra disse utslippene og ressursbruken (Bjørn et. al, 2018, ss. 12-13).

En livssyklusanalyse (LCA) gir muligheten til å velge den mest øko-effektive tilnærmingen for et produkt eller system. Til tross for dette, dukker det opp spørsmål om tydelige begrensninger som må tas i betraktning i lys av bærekraftsutfordringer. Med tanke på begrensninger rundt en LCA, er det nødvendig å se på den såkalte I=PAT- ligningen. Her står I for klimapåvirkninger, P for populasjon A for materiell velstand per innbygger og T for teknologi. Gitt at en LCA ser på miljømessige forbedringer i hele livssyklusen til et produkt, begrenser dette seg i forhold til forbedringer av faktoren T. Det pekes på viktigheten av å justere faktor A i likningen, og at man bør stille seg kritisk til om et produkt i det hele tatt skal tilbys, ikke bare hvordan det skal tilbys. Dette viser at fokuset på øko-effektivitet ikke er nok, og at en LCA i seg selv ikke kan dekke alle aspekter rundt bærekraftsutfordringer (Bjørn & Moltesen, 2018).

Vi har sett at en LCA-analyse adresserer bærekraft og miljøansvar med søkelys på ressursbruk, utslipp og avfall. En BCA-analyse gir en forståelse av lønnsomheten og økonomiske implikasjoner. Dermed kan beslutningstakere ta mer informerte avgjørelser som tar hensyn til både økonomisk ytelse og miljømessig ansvarlighet. Vi ser mer på dette i neste delkapittel.

3.5 Nytte kostnadsanalyse (BCA)

En kostnad-nytteanalyse (CBA), også kjent som nytte-kostnadsanalyse (BCA), representerer en evaluering av et prosjekt ved å veie dets fordeler opp mot dets ulemper, med det overordnede målet å fastslå om prosjektet er samfunnsøkonomisk lønnsomt (Sirens et al., 2021). Denne analysen tar sikte på å gi innsikt i de økonomiske konsekvensene av et prosjekt og er en viktig beslutningstøtte for beslutningstakere og interessenter.

Under ser vi funksjonen for “Netto nåverdi metoden” i en CBA der T er forventet levetid for prosjektet (Perman et al., 2011, s. 394):

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Denne metoden tar fordeler (B_t) minus kostnader (C_t) neddiskontert $(1 \mp r)^t$. Blir netto nåverdi (NPV), over null vil det lønne seg å gjennomføre prosjektet med forbehold om at estimatene for B_t og C_t er pålitelige, gitt dagens kunnskap og at valget av r er godt begrunnet. Grunnen til at det er summen av fordeler og kostnader er fordi fordelene og kostnadene ikke kommer på samme tidspunkt. Bygges det et hus vil kostnaden komme i periode 0, og fordelen, eller inntjeningen, komme først når man selger på et senere tidspunkt.

Hvis man skal ta hensyn til miljøkostnader i en BCA, vil den originale ligningen endre seg. Vi vil nå få en “environmental cost-benefit analysis” (EBCA). I den originale ligningen har vi:

$$NB_t = B_t - C_t$$

Her er NB_t netto nytte for tidsperiode t . I den nye likningen må vi ta høyde for miljøkostnadene over tid. Da blir den nye NB_t seendes slik ut:

$$NB_t = B_t - C_t - EC_t$$

I vår analyse av idrettshaller blir det sentralt å ta med miljøkostnader i beregningene ettersom vi vil vektlegge miljøaspektet ved de ulike byggemetodene.

Mens nytte-kostanalyse (BCA) gir en omfattende vurdering av de økonomiske kostnadene og fordelene ved ulike tiltak eller prosjekter, er det vesentlig å inkludere prising av karbon for å reflektere de reelle miljøkostnadene.

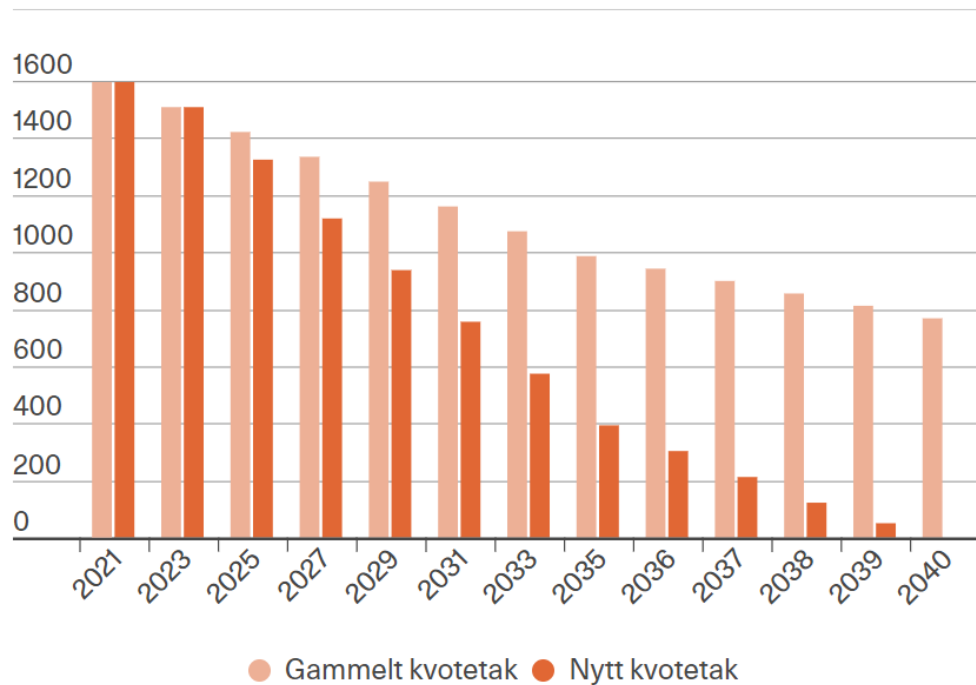
3.6 Prising av CO₂

Karbonprising vil påvirke estimatene som kommer fra en LCC-analyse. Derfor presenterer vi kort noen hovedpunkter i EUs kvotesystem for klimagassutslipp (EU ETS eller bare ETS) og forventet utvikling av totalkvoter og dermed priser på karbonutslipp målt som CO₂-ekvivalenter.

ETS setter et tak på tillatte utslipp per sektor. Slike utslipp av klimagasser omtales som klimakvoter, og hver kvote gir rett til å slippe ut ett tonn CO₂. I praksis betyr det at om en bedrift slipper ut flere kvoter, må en annen slippe ut mindre slik at den totale tillatte kvoten ikke overstiges. Norske bedrifter har siden 2008 vært en del av ETS gjennom EØS-avtalen,

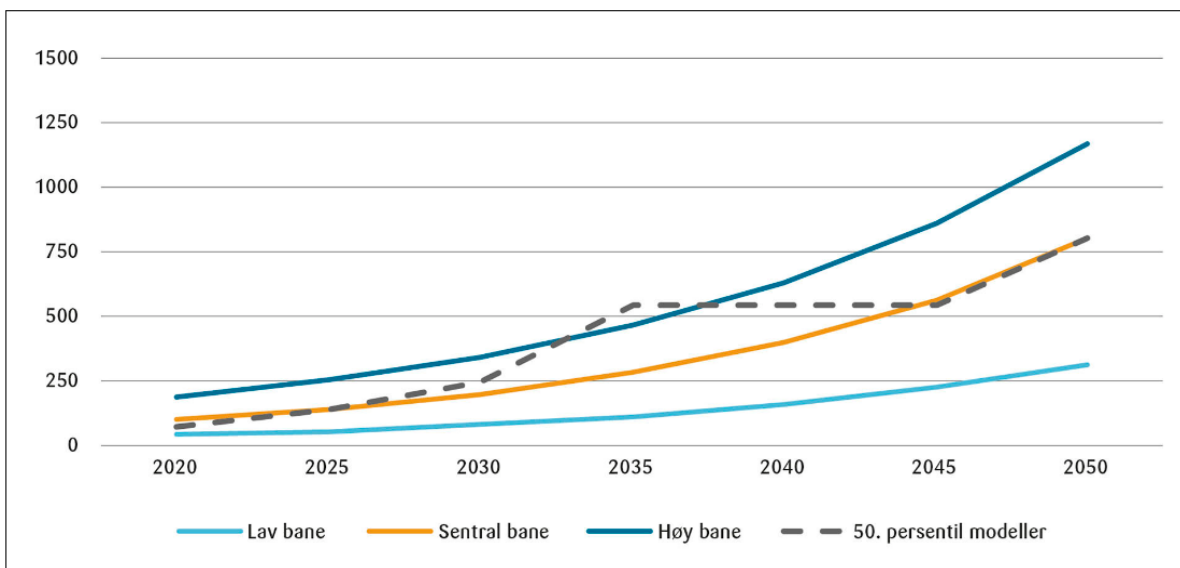
hvor halvparten av utslippene er dekket av kvotesystemet¹⁸. På sikt skal antall kvoter reduseres, slik figuren viser, og prisen på CO₂ vil da stige (se figur 3.2). Det vil da lønne seg å redusere utslipp fremfor å kjøpe klimakvoter (Regjeringen, 2024a).

EU ETS kvotetak i antall mill. tonn



Figur 3.2: EU ETS kvotetak i antall mill. tonn fram mot 2040 (Fjellheim, 2023).

¹⁸ (Regjeringen, 2024a) <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimakvoter/id2076655/>



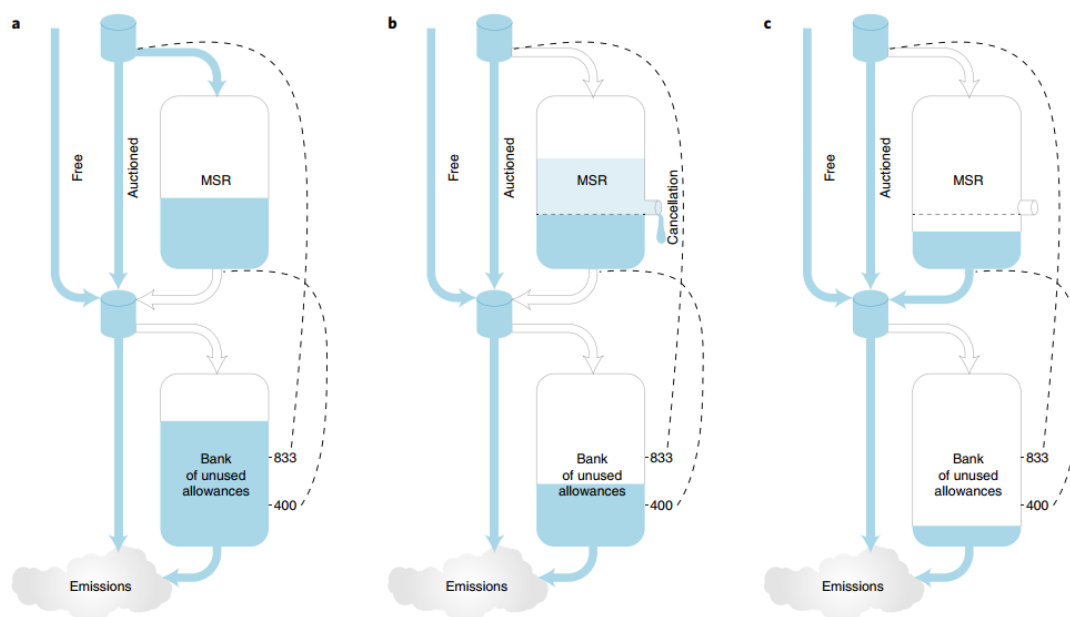
Figur 3.3: Anbefalte karbonprisbaner (EUR2016/tCO_{2e}) for perioden 2020–2050 (Rosendahl & Wangsness, 2023, s. 40)

Overlappende klimapolitiske tiltak har skapt problemer i form av at de påvirker hvem som står for utslipp, men ikke hvor mye det slippes ut totalt. Dette er omtalt som vannsengeeffekten (Perino, 2018). Med det menes at utslipp i et område eller sektor ikke nødvendigvis fører til endring i totale utslipp. Etter finanskrisen har det, grunnet nedleggelse og lav etterspørsel etter klimakvoter, bygget seg opp et overskudd av kvoter. For å redusere dette overskuddet har EU gjort to tiltak. For det første er det innført en reduksjon på årlige kvoter på 2,2 %. For det andre er det opprettet en markedsstabilitetsreserve (MSR), en tilleggs mekanisme til utslippskvotemarkedet, som regulerer denne såkalte “punkteringen” ved at det overflødig antall av kvoter blir flyttet fra markedet “banken” til MSR (Miljødirektoratet, 2024).

Figur 3.4 forklarer dette ved å vise til forskjellige situasjoner med kvoter. Vi ser først på situasjon 1(a), hvor vi ser at “banken” inneholder mer enn det tillatte over grensen på 833 millioner kvoter. Det overflødig antallet kvoter flyttes fra “banken” til MSR. Under situasjon 2(b), ser vi at “banken” ikke lenger overstiger den maksimale grensen på kvoter. Det er dermed ikke behov for hverken å plassere kvoter i MSR eller gi ut kvoter. De overflødig kvotene blir her kansellert, noe som viste seg å være tilfelle i 2023 da 2 500 millioner kvoter¹⁹ ble nettopp det. Situasjon 3(c) beskriver et tilfelle hvor “banken” inneholder færre kvoter enn det tillatte

¹⁹(Regjeringen, 2023) <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/aug/forsterket-kvotesystem-2021-2030/id2878386/>

nedre terskelen på 400 millioner. Kvotene lagret i MSR plasserer nå tilbake i “banken” (Perino, 2018, s. 262).



Figur 3.4: Forklaring av hvordan MSR fungerer i forskjellige scenarier. (Perino, 2018, s. 262).

Ifølge miljødirektoratet (2024) vil, fra og med 2023, antall kvoter i MSR som overstiger antall kvoter som ble auksjonert året før, permanent slettes. Likevel mener Perino (2018) at effekten av “punktering av vannsengen” bare er midlertidig. Dette fordi når antallet tillatelser i banken overstiger grensen på 833 millioner (eller 400 millioner, hvis den indirekte effekten blir tatt i betraktning), blir den langsiktige grensen stabilisert på en effektiv måte, og punkteringen avsluttes (Perino, 2018, s. 263-264).

Rosendahl & Böringer (2010) argumenterer for at bruken av fornybare energikilder er blitt et viktig bidrag til reduksjon av klimagasser, herunder omtalt som svarte kvoter (CO₂) og grønne kvoter (fornybare kilder). Det viser seg at ved målet om reduksjon av CO₂, oppstår det problemer med motproduktivitet i forhold til overlappende regulering. Rosendahl & Böringer (2010) trekker frem særlig ett funn. Ved innføring av grønne kvoter i et marked som allerede er regulert av svarte kvoter, så viser det seg at de mest utslippsintensive teknologiene øker. Ved politiske incentiver for å øke fornybar kraft fører dette til redusert lønnsomhet for utslippsintensive energikilder og nedgang i produksjon. Ved mindre etterspørsel etter svarte kvoter faller prisen på CO₂ som naturlig gagnar de mest utslippsintensive teknologiene. Med en uendret total utslippsgrense under en svart kvote, blir noen produsenter av svart kraft nødt til å øke produksjonen ved å benytte seg av en samtidig grønn kvote. Dette betyr at

kombinasjonen av både svarte og grønne kvoter resulterer i en økning i produksjonen fra de mest forurensende teknologiene sammenlignet med situasjonen der kun en svart kvote er gjeldende. Dette skyldes at grønne kvoter kan redusere den økonomiske byrden for utslipp, noe som gir de mest utslippsintensive teknologiene incentiv til å opprettholde eller til og med øke produksjonen. Med tanke på høyt energibruk i byggebransjen, og særlig at dette nå skal produseres fra fornybare kilder, er dette noe å tenke over i forhold til kommende politiske mål og reguleringer (Rosendahl & Böringer, 2010).

Perino (2018) er av den oppfatning at den optimale klimapolitikken i stor grad avhenger av om grensen i EU ETS er fastsatt eller baserer seg på markedsresultater for at de totale utslippene skal reduseres. Gitt at byggebransjen står for 40 % av verdens utslipp, og må gjennomføre store klimakutt frem mot 2050, er det liten tvil om at det Perino (2018) peker på vil være viktig for dagens og morgendagens klimapolitikk.

Mens prising av karbon gir oss et verdifullt verktøy for å internalisere miljøkostnadene knyttet til karbonutslipp og fremme bærekraftige tiltak, er det også nødvendig å vurdere mulige vippepunkter i økosystemet. Prising av karbon legger vekt på å redusere utslipp og begrense klimapåvirkningen, men vippepunkter representerer kritiske øyeblikk hvor små endringer kan utløse betydelige og uforutsigbare konsekvenser. Ved å inkludere vippepunkter i analysene kan beslutningstakere ta mer helhetlige beslutninger som tar hensyn til både kort- og langsiktige konsekvenser av klimaendringer.

3.7 Vippepunkter (tipping points)

Lenton et al. (2008, s. 1 786) beskriver “tipping points” eller vippepunkter som kritiske terskler der en liten forstyrrelse kvalitativt kan endre tilstanden eller utviklingen til et system. Denne endringen kan være en overgang til en alternativ stabil tilstand eller en annen kvalitativt annerledes tilstand. Forestill deg at du sitter i kano og lener deg sakte over. I starten vil kanoen krenge frem til du passerer et kritisk punkt, og kanoen velter og tipper over. Denne brå endringen er vippepunktet. Analogien kommer fra Dessler (2021, s. 164) og viser at slike vippepunkt er brå endringer som kan ha store konsekvenser.

Nævdal & Vislie (2013) ser på en optimal løsning for kapitalakkumulering og ressursutvinning i en global økonomi som kan stå overfor en uforutsett katastrofe modellert som et langsiktig “produktivitetssjokk”. Sjokket skapes gjennom en bestandsforurensning, og som øker sannsynligheten for å nå et vippepunkt (tipping point). Videre utleder Nævdal & Vislie en

nødvendig skattestruktur for å implementere den optimale løsningen. Tanken bak den foreslåtte skattefunksjonen er som følger:

Gitt at markedsaktørene ikke er motiverte nok til å ta hensyn til de langsiktige konsekvensene ved et produktivitetssjokk (skaper høye utslipp for mest mulig produksjon), foreslår Nævdal & Vislie (2013) en korrigerende skatt på nåværende forbruk for å internalisere det forventede fremtidige velferdstapet. Det vil si at jo høyere risiko og sannsynlighet for katastrofe grunnet økt ressursbruk, jo høyere skatt.

Vedrørende kapitalakkumulering tar man vanligvis utgangspunkt i at kapital er reversibel. For en fyldigere diskusjon undersøkte Nævdal & Vislie (2013) også hva som skjer hvis kapital er irreversibel. Konklusjonen er at det oppstår krefter som motvirker akkumuleringer av kapital for en katastrofe. Ved å bygge opp kapital i beredskapsperioden må det tas høyde for at man kan treffe et vippepunkt til et sjokk som er mer alvorlig enn forventet. I et slikt tilfelle ender man opp med for mye kapital i starten da fordelene ved tidligere sparing ikke kan realiseres som planlagt (Nævdal & Vislie, 2013, s. 27).

Vi kan konkludere med at vippepunkter og tipping elementer er av stor betydning for å kunne forutse og håndtere globale endringer. De gir innsikt i potensielle risikoer og muligheter for å styre og begrense uønskede endringer, og legger grunnlaget for utviklingen av strategier som tar sikte på å opprettholde systemets stabilitet og motvirke uventede og potensielt skadelige konsekvenser av globale endringer (Lenton et al., 2008).

Vi har utforsket ulike aktuelle temaer for å kaste lys over forholdet mellom lønnsomhet og miljømessige beslutninger. Nå retter vi fokus mot teorien bak den metodikken vi har valgt å anvende, nemlig regresjonsanalyse.

3.8 Regresjonsanalyse

En regresjonsanalyse kan vise hvordan “y”, den avhengige variabelen, blir påvirket av “x”, en vektor av uavhengige variabler. Den enkleste formen for regresjonsanalyse er en simpel regresjonsanalyse (SLR), dvs. med en uavhengig variabel. Dersom det bare er én variabel vi ønsker å utforske, er dette en analyse vi kan gjøre. I de fleste tilfeller, inkludert dette studiet, holder det ikke med en SLR. Vi ønsker derfor å se på flere uavhengige variabler (vektoren x) som kan påvirke “y”. Vi trenger derfor en regresjonsanalyse som kan ta høyde for flere

variabler, dvs. at vi må gjennomføre en multippel lineær regresjonsanalyse (MLR). (Wooldridge, 2019 s. 66).

En enkel lineær regresjon (SLR) vil se slik ut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + u_S$$

y er den avhengige variabelen.

x_k den uavhengige variabelen.

β_0 er konstantleddet.

β_1 måler endringen i y med hensyn til x_1 , mens andre faktorer holdes konstante.

u_S er feilleddet, og representerer andre faktorer enn x_1 som påvirker y .

I en multippel lineær regresjon (MLR) bygger vi på med flere uavhengige variabler. En MLR kan derfor skrives på denne måten:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k + u_M$$

Legg merke til at vi har endret uttrykket for feilleddet fra u_S til u_M for å markere at feilleddet i en MLR vil være forskjellig fra i en SLR. Dette skyldes at flere forklaringsvariabler som regel reduserer forskjellen mellom den estimerte og faktiske (målte) avhengige variabelen. For at en multippel regresjon skal gi forventningsrette parameterestimer og gi lavest mulig standardfeil, må ingen vesentlige uavhengige variabler være utelatt. Den funksjonelle formen som er valgt må være korrekt, og det må ikke være for høy grad av samvariasjon mellom de uavhengige variablene. Det siste er også kjent som alvorlig grad av multikollinearitet.

Lineære regresjoner har fått navnet fordi de er lineære i parameterne. Dette forhindrer ikke at det kan være ikke lineære sammenhenger mellom en eller flere av de uavhengige variablene og den avhengige variabelen. I slike tilfeller kan man omforme uavhengige variabler som ikke har en lineær sammenheng med den avhengige variabelen. Hvis f.eks. økonomisk teori sier at sammenhengen mellom y og x_1 er gradvis avtakende økende vil en funksjon $f(x_1)$ der $f'(x_1) > 0$ og $f''(x_1) < 0$, bidra til at systematiske mønstre feilleddet blir redusert. I dette eksemplet blir den omskrevne MLR ligningen ovenfor til:

$$y = \beta_0 + \beta_1 f(x_1) + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k + u_M$$

Ideelt sett skal feileddene være uavhengig og likt fordelt med varierende verdier av for-klarings-variablene.

4 Data og metode

Kapittel 4 handler om metodevalg og datainnsamling. Den første delen fokuserer på valget av forskningsmetode, mens resten av kapittelet gir en forklaring på hvordan dataene er blitt innsamlet, hvilke data vi har, og begrensningene dataene gir for studien.

4.1 Metode

Hensikten med denne studien er å finne ut av om det er forskjeller i kostnader og klimagassutslipp ved bruk av massivtre og stål/betong i oppføring av idrettshaller. Ved valg av metode kan vi velge mellom kvalitativ eller kvantitativ metode.

En kvalitativ tilnærming til dette studiet ville vært lite hensiktsmessig ettersom vi vil være helt avhengige av et datasett med tall for å kunne analysere og besvare den valgte problemstillingen. En kvalitativ metode er hensiktsmessig å bruke dersom man skal tilegne seg dybdekunnskap om få enheter (Grønmo, 2023a). Det er også i liten grad gjennomført analyser av lignende materiell. Derfor er det tvilsomt om intervjuer og kvalitative undersøkelser for å innhente resultater vil gi økt innsikt.

Vi mener derfor at en kvantitativ tilnærming vil være bedre for å gi oss resultater som kan si noe om byggekostnader, klimavirkninger og dermed også klimakostnadene. For å kunne observere forskjeller i klimagassutslipp og kostnader, vil det være nødvendig å sammenligne data fra konvensjonelle idrettsbygg med data fra idrettsbygg i massivtre. Studien vår passer godt inn i beskrivelsen av en kvantitativ metode ettersom vi har talldata fra flere ulike objekter som skal brukes i analysen. Denne metoden er hensiktsmessig å bruke når man skal analysere talldata, og vil kunne gi en oversikt over ulike forhold og sammenhenger (Grønmo, 2023b).

4.1.2 Statistiske verktøy

For å analysere de kvantitative dataene vi har samlet inn, vil vi bruke multippel lineær regresjonsanalyse. Dersom datagrunnlag er stort nok, vil en regresjonsanalyse kunne gi oss svar som viser sammenhenger mellom ulike variabler, som forhåpentligvis kan generaliseres til et større utvalg enn det vi har innhentet. For å muliggjøre en slik analyse, har vi valgt å ta i bruk forskjellige dataprogrammer.

4.1.2.1 Excel

Vi har benyttet Excel som verktøy for å organisere og strukturere dataene våre for å oppnå en god oversikt over datasettet. I tillegg til å organisere dataene, utnyttet vi Excel til å utføre enkle beregninger som var nødvendige for analysen vår. Dette inkluderer å beregne gjennomsnitt, standardavvik og andre relevante statistiske mål. Videre brukte vi Excel til å generere og omforme nødvendige variabler slik at de kan brukes for våre regresjonsanalyser. Gjennom å utnytte Excels funksjonalitet kunne vi effektivt forberede datasettet vårt for videre analyse.

4.1.2.2 Stata

I arbeidet med å analysere dataene, har vi valgt å benytte statistikkprogrammet Stata²⁰. Dette er et program som tilbyr et bredt spekter av verktøy for dataanalyse og grafikk. Gjennom å bruke verktøyene i Stata, vil vi kunne gjøre flere analyser og tester som bidrar til å gi oss et mest mulig pålitelig resultat. Det var også et naturlig valg, siden vi har gode erfaringer med programmet fra økonometrifaget (ECN201) fra NMBU.

Stata er også et hensiktsmessig program å bruke for å dokumentere analyser og resultater slik at det kan deles på en måte som gjør det mulig for andre å reprodusere forskningen. Dette vil gjøre det enklere og gjenskape resultatene vi kommer frem til i denne studien. Alle dataene som er brukt i Stata, er hentet fra regnearket i Excel.

4.2 Data for regresjonsanalyse

Vår analyse er basert på kvantitative data som omfatter byggekostnader for idrettshaller, presentert som tverrsnittsdata. Før vi kunne starte innsamlingen av data, var det avgjørende å definere nødvendige variabler. Variablene vi har inkludert, antar vi vil påvirke byggekostnadene, med tanke på en livssyklus kostnadsanalyse (LCC-analyse). For å gjøre det enkelt og oversiktlig for kommunene vi ønsket data fra, utarbeidet vi en forhåndsdefinert mal med klare beskrivelser av formål og ønsket data (se vedlegg F.1: Mail sendt til kommuner og entreprenører). Etter dette ble det sendt ut henvendelser til kommuner på Østlandet. En fullstendig oversikt finnes i vedlegget.

Datainnsamlingen viste seg å være utfordrende. Vi måtte bruke betydelig tid på å følge opp de relevante kommunene. Dette ble gjort gjennom telefonsamtaler og e-post. Dette førte til at vi

²⁰ (Stata, u.å.) <https://www.stata.com/>

brukte mer tid på datainnsamlingen enn planlagt. Ettersom ikke alle kommunene vi henvendte oss til kunne bidra med data til oppgaven vår, fant vi det nødvendig å ta direkte kontakt med private entreprenører, deriblant Veidekke, Skanska og Betonmast, for å få mer data. Ved å ta direkte kontakt med entreprenørene, lyktes vi delvis med å innhente ønsket datagrunnlag. Utfordringen var at det var få observasjoner. Valget vårt med å fokusere kun på idrettshaller, bidro til at vi tross dette var i stand til å gjennomføre kvantitative analyser, om enn ikke helt som opprinnelig planlagt (se delkapittel 4.3 for nærmere forklaring).

Utslippstall for bygninger i massivtre og stål/betong har vi hentet fra masteroppgaven til Kristian Fridtjof Funderud fra 2022. Funderud gjennomførte en livssyklusanalyse (LCA) av fire skolebygg bygd i massivtre, sammenlignet med tilsvarende i stål og betong. I oppgaven kom han frem til fire forskjellige utslippstall på massivtre, og fire for stål og betong. Disse er oppgitt i utslipp per kvadratmeter. Vi har valgt å bygge videre på tallene Funderud (2022) fant i sin oppgave, for å regne ut klimautslippet, og klimakostnader for hallene i vårt datasett.

4.2.1 Nødvendige beregninger og justeringer

Vi har samlet inn data fra haller bygd i tidsrommet 2012 til planlagt slutføring i 2025. For å få et datasett vi kunne gjøre analyser med, var det nødvendig å utføre beregninger i tillegg til variabelen vi samlet inn.

4.2.1.1 Justering 1: Tidsjusterte byggekostnader

Den uavhengige variabelen vår, Y , representerer totale byggekostnader fra det året bygget var ferdigstilt. Dette medfører at kostnadene blir vanskelige å sammenligne, ettersom de er fra forskjellige tidsperioder. Den første justeringen var derfor å tidskorrigere kostnadene. Vi valgte å bruke 2023 som referanseår og innhentet byggekostnadsindeksen fra 2012 til 2023. For 2024 og 2025 estimerte vi en forventet indeks basert på de tidligere årene. Deretter beregnet vi gjennomsnittet av indeksen for hvert år (se vedlegg B.2: Gjennomsnittlig byggekostnadsindeks per år 2012-2015). Etter å ha beregnet gjennomsnittet for hvert år, gjorde vi en tidskorrigerings på følgende måte:

$$\text{Totale byggekostnader} * (\text{byggekostnadsindeks for 2023} / \text{byggekostnadsindeks for byggeåret})$$

Slik regnet vi oss frem til den nye variabelen tidskorrigerte kostnader 2023 samt justerte kostnader/m² (se vedlegg C.1: Justerte utregninger for kvadratmeterpris).

4.2.1.2 utfordring: Idrettshaller tilknyttet skoler

For å sikre et tilstrekkelig datasett, fant vi det nødvendig å innhente data fra idrettshaller tilknyttet skoler. I flere av tilfellene der vi fikk tilsendt data på idrettshaller tilknyttet skoler, var ikke dataen for hallen skilt ut fra skolen. Dette fordi flesteparten av disse prosjektene ble utført som totalentreprise. Derfor så vi det nødvendig å skille ut kostnadene for hallene ut fra skolene. Det måtte flere beregninger til, og vi gikk frem på følgende måte.

1. Først estimerte vi areal per garderobes plassering ved å ta utgangspunkt i plantegninger, og kom frem til ca. 37 m².
2. Deretter adderte vi antall garderobes plasseringer med arealet. Ved å legge sammen areal for spillflate, annen idrettslig aktivitet, sosiale rom og garderobes plasseringer fant vi antatt BTA for idrettshall.
3. Pris for idrettshall fant vi ved å ta gjennomsnittsprisen for massivt tre eller stål/betong (se vedlegg C.1: Justerte utregninger for kvadratmeterpris) * BTA for idrettshall (se vedlegg A.1 til A.21: Data fra idrettshaller).

4.2.1.3 Justering 2: Klimakostnad

Som tidligere nevnt er hensikten med denne studien å finne ut av om det er forskjeller i klimagassutslipp og kostnader ved bruk av massivt tre og stål/betong i oppføring av idrettshaller. Derfor så vi det nødvendig å beregne den andre uavhengige variabelen klimakostnaden. Vi gikk frem på følgende måte:

1. Vi tok utgangspunkt i dagens CO₂-pris i euro²¹, kronekursen for euro²² og beregnet CO₂-pris per tonn (NOK) ved å addere disse faktorene (se vedlegg C.3: CO₂-pris per tonn (NOK)).
2. Deretter tok vi utgangspunkt i utslipp per tonn av massivt tre og stål/betong. Dette hentet fra masteroppgaven til Funderud (2022) hvor vi beregnet oss frem til et

²¹ (Trading Economics, u.å.) <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

²² (DNB, u.å.-b) <https://www.dnb.no/markets/valuta-og-renter/valutakalkulator>

gjennomsnitt basert på fire tidligere observasjoner²³ (se vedlegg C.2: Utslippsberegninger fra Funderud (2022)).

3. Neste steg var å finne utslipp for idrettshall i tonn. Det gjorde vi ved å ta gjennomsnittet for utslipp per m² (massivt tre eller stål/betong) og addere med BTA (se vedlegg A.1 til A.21 og C.3).
4. Vi beregnet til slutt CO₂-kostnaden, omtalt som CO₂-kostnad (hall), ved å ta utslipp for idrettshall i tonn ganget med CO₂-pris per tonn (NOK) (se vedlegg A.1 til A.21: Data fra idrettshaller).

For å undersøke den teknologiske fremgangen innen massivt tre og stål/betong, var det nødvendig å beregne to dummy-variabler for hvert av byggematerialene. Disse ble beregnet på følgende måte:

$\text{bygg/m}^2 = \alpha_0 + \alpha_1(\text{år} * \text{material/år} - 2011) + \alpha_2(\text{år} * (1 - \text{material/år} - 2011))$ hvor $\alpha_1 = 1$ (massivt tre) og $\alpha_2 = 0$ (stål/betong).

Disse er omtalt som år_mat_tre og år_mat_stål i analysen.

4.2.2 Oversikt og sammendrag av variabler

Under har vi laget to oversikter over variablene. I tabell 4.1 har vi presentert en oversikt med forklaring over hver enkelt variabel som er blitt innsamlet og beregnet. Tabell 4.2 gir en oversikt over antall observasjoner, gjennomsnitt, standardavvik, minimum og maksimumsverdier for de relevante variablene.

²³ (Funderud, 2022) <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/3030827/Funderud%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tabell 4.1: Oversikt over variabler

Variabelnavn	Beskrivelse
Totale byggekostnader	Totale byggekostnader
Totale byggekostnader justert	Totale byggekostnader justert til 2023
Totale byggekostnader (kun for hall)	Totale byggekostnader for idrettshall
Tilknyttet skole	Er idrettshallen bygget i tilknytning til en skole
Byggematerialer	Bygd i massivtre eller stål/betong
År_matr_tre	Dummy-variabel for massivtre
År_matr_stål	Dummy-variabel for stål/betong
Byggeår	Året hallen ble oppført
TEK	Hvilken TEK standard er hallen bygd etter
Spillflater (m ²)	Hvor stort er arealet på spillflaten(e)
Annet idrettslig areal (m ²)	Totalt areal til annen spesiell idrettslig aktivitet (kampidrett, turn, styrkerom osv)
BTA (m ²)	Brutto total areal (m ²)
BTA-garderober	BTA minus garderobe
Sosiale rom (m ²)	Areal på sosiale rom
Garderober (STK)	Antall garderober tilknyttet hallen
Garderober (m ²)	Garderober i kvadratmeter

Kvadratmeter pris	Pris per kvadratmeter
CO ₂ utslipp per m ²	CO ₂ -utslipp per kvadratmeter for massivtre og stål og betong
CO ₂ kostnad (kun idrettshall)	Prisen på utslippet ved kjøp av klimakvoter

Tabell 4.2: Sammendrag av data inkludert haller tilknyttet skoler, pluss estimerte variabler

Variabel	Observasjoner	Gjennomsnitt	Standardavvik	Min	Max
Total byggekostnad (1000 kr)	21	150 000	115 000	38 300	465 000
Justert byggekostnad (1000 kr)	21	165 000	118 000	48 500	445 000
Tilknyttet skole	21	0,29	0,46	0	1
Byggematerialer	21	0,48	0,51	0	1
Byggeår	21	2020	3,5	2012	2025
TEK	21	15,33	3,1	10	17
Spillflater	21	1 470	853	640	4 140
Annet idrettslig areal	21	276	343	0	1 150
BTA	21	4 183	3 159	1 556	13 600

Garderobe m ²	21	202	108	0	444
BTA-garderobe	21	3 980	3 115	1 408	13 452
Sosiale rom	21	174	346	0	1614
Garderober	21	5.5	2.9	0	12
Kvadratmeter pris	21	31 671	14 372	14 583	68 933
CO ₂ kostnaden	21	1 522 668	887 715	536 722	3 500 177

4.3 Begrensninger

Basert på datagrunnlaget vi har samlet inn for denne oppgaven, identifiserer vi flere begrensninger.

Opprinnelig var målet å analysere separate idrettshaller, ettersom dette ville gi oss et relativt homogent sammenligningsgrunnlag. Imidlertid fant vi det nødvendig å innhente data fra idrettshaller tilknyttet skoler for å sikre et tilstrekkelig datagrunnlag. Som nevnt tidligere viste det seg mer krevende enn vi trodde å hente nok data for å få et tilstrekkelig stort utvalg. Ved å inkludere idrettshaller tilknyttet skoler, vil dette påvirke beregningsmetoden, spesielt når det gjelder kostnader. Det ville kreve ekstra tid og ressurser å separere og teste dataene grundig, slik at vi kunne få data som gir reliabilitet til svarene. For å få et enda bedre grunnlag, ville det vært ideelt kun å ha data fra flere idrettshaller, men på grunn av tidsbegrensninger, måtte vi ta til takke med dataen vi fikk i løpet av tiden vi hadde til rådighet.

Det er viktig å påpeke at selv med de dataene vi fikk til slutt, var datagrunnlaget vårt relativt lite. Vi endte med 21 haller, hvorav 15 er separate haller, eller hvor kostnadene har klart å bli separert fra skolebygget, og seks haller tilknyttet skoler. Et av ønskene ved studien, er at resultatene ved analysene skal kunne gjelde for mer enn kun utvalget vårt. Med et begrenset utvalg, er det viktig å være kritisk til om svarene vi har fått, kan gjelde for haller utenfor vår studie.

En annen begrensning i datagrunnlaget er at mesteparten av dataene er hentet fra Østlandet. Selv om det mest sannsynlig ikke vil være store kostnadsforskjeller i oppføring av idrettshaller basert på geografisk lokalitet i Norge, er ikke dette noe vi kan si sikkert basert på vårt utvalg. En mulig grunn til dette er at byggekostnadene kan være forskjellige mellom pressområder og griseendte strøk. Det gjør det derfor vanskelig for oss å generalisere våre resultater på landsbasis.

En annen observasjon viser at vi har et par haller som skiller seg betydelig ut fra de andre med tanke på kostnader, enten ved totale kostnader eller kvadratmeterprisen på hallen. I et lite datasett vil disse kunne skape forstyrrelser, så vi må gjøre en vurdering på om de skal fjernes, transformeres eller behandles på en annen måte.

Ytterligere begrensninger ved dataene vil komme frem i analysen, og blir tatt opp i kapittel 5 - Analyse og resultater.

Siden vi ønsket å inkludere både totale budsjetterte og faktiske byggekostnader, var det viktig å skille mellom disse for å dekke alle faser av byggets levetid. Noen av dataene var ikke tilstrekkelige for å utføre de nødvendige beregningene, og vi måtte derfor gjøre antagelser om de forventede tallene.

Vi samlet også inn data for kostnadspostene, prosjektering, grunnarbeid og energiløsninger. Her fikk vi ikke inn tilstrekkelige data til gode undersøkelser. Derfor måtte vi gjøre noen antagelser på at disse postene er relativt like uavhengig av om man bygger med massivtre eller konvensjonelt i stål og betong.

4.4 Kunstig intelligens (KI)

Kunstig intelligens (KI) har hatt en stor utvikling de seneste årene, og blir stadig en større del av daglige apper og produkter. KI brukt riktig, kan være et godt verktøy. I denne oppgaven har vi tatt i bruk KI-verktøyet ChatGPT. All tekst, tanker og refleksjoner er våre egne. Vi har kun brukt det som et verktøy til å omformulere og strukturere egenprodusert tekst.

ChatGPT kan også brukes til å generere ny tekst, eller svare på spørsmål, men dette har vi bevisst ikke valgt å gjøre. Begrunnelsen for dette er at det er flere svakheter og utfordringer ved en slik bruk. ChatGPT oppgir ingen kilder på hvor den har fått informasjonen sin fra. Instruksjoner som gis må også være spesifikke slik at programmet ikke tar forutsetninger som påvirker svaret den gir. En annen svakhet er at verktøyet kan gi feil eller direkte usanne svar.

Det er derfor viktig å være kritisk i bruken av et slikt verktøy. Vi ønsker også at det vi presenterer i denne oppgaven fullt og helt er vårt arbeid. Derfor har vi begrenset bruken av KI til kun deler av oppgaven der vi trengte innspill på struktur og omformuleringer.²⁴

²⁴ (OpenAI, 2022) <https://openai.com/blog/chatgpt>

5 Analyse og resultater

I dette kapittelet vil vi presentere resultatene av analysene våre.

Først utførte vi regresjonsanalyser av det økonomiske kostnadsperspektivet, deretter analyserte vi hvordan klimakostnaden påvirkes av materialvalget.

Under delkapittel 5.1 kommer det frem at regresjonsanalysene våre ikke fører til signifikante resultater. I delkapittel 5.2 introduserer vi dermed en ny metode. Vi måtte sette oss ned med datasettet og tenke i nye baner, slik at vi kunne få økt innsikt ut av datasettet vi hadde samlet inn.

I samme delkapittel presenterer vi de nye resultatene, hvor vi nå har tatt i bruk en estimeringsmodell som fortsatt bygger på utvalget fra datasettet. Her skal vi estimere forskjeller i kostnader ved å bygge i massivtre opp mot de konvensjonelle i stål og betong. Vi estimerte også klimagevinsten ved å bygge i massivtre, opp mot fremtidige karbonkostnader.

Vi drøfter resultatene etter hvert som analysene og utregningene blir gjennomført. Dette gjør det lettere å forstå resultatene, og de valgene vi har gjort.

5.1 Resultat fra multipel lineær regresjonsanalyse

Vi satte oss ned og begynte prosessen med å analysere datasettet ved hjelp av regresjonsanalyser. Vårt mål var å undersøke sammenhengen mellom variablene og eventuelle prediktorer. Imidlertid ble vi raskt konfrontert med en rekke utfordringer som hindret oss i å trekke konklusjoner med tilstrekkelig sikkerhet.

En av de første hindringene vi støtte på var store variasjoner mellom observasjonene i datasettet som førte til store feilledd (støy). Vi forsøkte å korrigere denne støyen for å sikre at de identifiserte variablene hadde forventet fortegn og hadde rimelige standardavvik. Til tross for våre forsøk viste det seg at uansett hvilke justeringer vi gjorde, klarte vi ikke å oppnå signifikante resultater.

Etter en nøye gjennomgang ble det tydelig at datasettet vårt led av en betydelig mangel på utvalg. Den begrensede mengden data gjorde det vanskelig å trekke pålitelige konklusjoner om sammenhenger og prediksjoner. Videre var spredningen, standardavvikene, i dataene for stor til å kunne frembringe koeffisienter som kunne tolkes på en meningsfull måte.

På grunn av disse utfordringene var vi tvunget til å konkludere med at datasettet vårt ikke var egnet for de opprinnelige planlagte regresjonsanalysene på tross av at vi investerte betydelige ressurser og innsats i analysene. Dette understreker betydningen av å vurdere grundig datakvalitet og -kvantitet, før man går videre med komplekse analyser, og understreker behovet for å være realistisk med hensyn til hva som kan oppnås med tilgjengelige data.

En detaljert oversikt over alle tiltakene vi gjorde i forhold til regresjonsanalysene, inkludert alle justeringer og forsøk på å få analysen til å fungere, er tilgjengelig i vedlegg E: Resultater av regresjonsanalysene. Her finnes en omfattende gjennomgang av våre metoder, tilpasninger og strategier som ble utforsket for å forbedre analysens pålitelighet og relevans.

5.2 Ny tilnærming - Estimering av kostnader og klimagevinst

I denne nye tilnærmingen har vi fortsatt som mål å ta i bruk dataene vi har samlet inn, samtidig som vi må foreta estimeringer for å komme frem til realistiske resultater som er faglig godt forankret. Hensikten med denne nye tilnærmingen er fortsatt å se på forskjellen i byggekostnader opp mot klimagevinster. Manglende data om klimagevinster i data og litteratur ved å bygge i massivtre, gjorde at vi brukte prognoser for EU ECT-priser for å finne den klimagevinsten som må til for at det skal være økonomisk lønnsomt å velge massivtre som byggemateriale.

Ved å ta i bruk datagrunnlaget vårt vil vi kunne se på kvadratmeterpris-forskjellene for massivtre og konvensjonelle haller. Vi kan også bruke forskjellen i kvadratmeterpris til å estimere hva en eventuell klimagevinst må være for at det skal lønne seg å velge massivtre over konvensjonelle materialer.

Denne estimeringen bygger på BCA-prinsippet (nytte-kost) hvor stor nytten målt i klimagevinst må være for å velge massivtre.

5.2.1 To forskjellige tilnærminger til estimeringen

Er det riktig å fordele kostnadene tilknyttet utslippene fra byggefasen utover levetiden til bygget på 60 år? Eller blir det ikke riktig å ta utgangspunkt i fremtidige kvotepriser og diskontere de tilbake til i dag, ettersom mesteparten av utslipp oppstår i år 0? At alle utslipp oppstår i år 0 vil si at størst andel av utslippene oppstår i produksjonsfasen av byggematerialer og oppføringen av selve bygget, herunder transport av materialer og bruk av anleggsmaskiner etc. Vi vil argumentere for at begge tilnærmingene vil kunne gi interessante resultater.

Grunnen til at vi vil argumentere for at driftskostnader er relativt like, er at dagens bygg uavhengig av materialvalg, må bygges etter en viss forhåndsdefinert byggestandard, den såkalte TEK17 standarden som vi har redegjort for i avsnitt 2.7.1. Denne standarden påvirker driften av bygget, spesielt i forhold til strømforbruk. Vi velger derfor å anta at driftskostnader per kvadratmeter for våre observasjoner er relativt like i vårt tilfelle (arealfordeling mellom ulike romtyper er ganske like for de idrettsbyggene vi har data for). Dette taler for å bruke kalkulerte utslippsreduksjoner og faktiske kostnader ved byggetidspunkt.

En delvis LCC-analyse kan være hensiktsmessig om man trenger grove estimater med hensyn til investeringskostnader alene. Det har også vist seg at det å vurdere byggekostnader nøyaktig allerede i planleggingsfasen, er meget viktig for å unngå unødvendig materialbruk og utslipp knyttet til dette. Vi velger å betrakte en slik analyse, fordi nåverdien vi skal beregne forteller ikke bare hva klimagevinsten må være på dagens investering, men også hva en besparelse i utslipp må være for hele byggets levetid per kvadrat. Vi ønsker derfor å bruke LCC-metodikken for å kunne fordele både utslippene og kostnadene knyttet til disse. Vi er klare over at denne metodikken ikke er optimal gitt situasjonen vår. Derfor gjennomfører vi også en analyse vi mener er mer i samsvar med de faktiske forholdene (se delkapittel 5.5).

Vi vil derfor i den kommende resultatdelen både gjennomføre en analyse der vi ser på hva en klimagevinst må være dersom vi tar utgangspunkt i reglene rundt LCC, og den alternative metoden hvor alle kostnadene forbundet med utslipp kommer i dag (år 0).

5.3 Formler, data og beregninger for de to nye metodene

5.3.1 Formler

Vi vil her presentere formler vi vil ta i bruk, og hvilke formål hver formel har i forhold til analysene. For å slippe og se formlene gjentatte ganger har vi valgt å nummerere dem. Vi vil derfor henvise til nummeret i ligningen slik at vi kan fylle inn tall med en gang.

Tabell 5.1: Ligninger brukt i analysene

(5.1)	$NV = -(c_m - c_k) + kx \left(\sum_{t=0}^{60} p_t * \left(\frac{1}{1+r_t} \right)^t \right) = 0$
(5.2)	$P_t = P_0 e^{\gamma t} \rightarrow \ln(P_t) = \ln(P_0 e^{\gamma t})$ $\rightarrow P_t = \ln P_0 + \gamma t \ln e$
(5.3)	$NV = \int_0^{60} P_0 e^{(\gamma-r)t} dt = \left _0^{60} \frac{1}{(\gamma-r)} 798 (e^{(\gamma-r)60} * e^{(\gamma-r)0}) \right.$
(5.4)	$x \left(\int_0^{40} P_0 * e^{(\gamma-r_{0-40})t} dt + \int_{40}^{60} P_{40} * e^{(\gamma-r_{40-60})t} dt \right) =$ $\int_{40}^{60} P_{40} * e^{0t} dt = \int_{40}^{60} P_{40} * e^{(\gamma-r_{0-40})t} * e^{0t} * (60 - 40) =$ $\left(\left(\frac{1}{\gamma} - r_{0-40} \right) P_0 e^{(\gamma-r_{0-40})} + \left(\frac{1}{\gamma} - r_{0-40} \right) + \left(\frac{1}{\gamma} - r_{0-40} \right) P_{40} e^{(\gamma-r_{40-60})} + \left(\frac{1}{\gamma} - r_{40-60} \right) \right)$
(5.5)	$NV = -(C_m - C_k) + kx \left(\sum_{t=0}^{40} p_0 \left(\frac{1+\gamma}{1+r} \right)^t + \sum_{t=41}^{60} p_{40} \left(\frac{1+\gamma}{1+r} \right)^t \right) = 0$
(5.6)	$\pi = \frac{-\Delta C}{k} + xP_0 = 0$

(5.1) Beregning av terskel for klimagevinst for å bygge i massivtre. Hypotesen vår er at det vil være mindre utslipp ved å bygge i massivtre. Det er derfor vi har satt netto nåverdi (NV) = 0.

(5.2) OLS estimering av kvoteprisbanen. Ligningen kjøres som en lineær regresjon etter log-transformasjon av data i Stata.

(5.3) Omformulering (5.1) til (5.2) på kontinuerlig form da vi opererer med to forskjellige perioder og diskonteringsrenter. Dette for å forenkle ligningen.

(5.4 & 5.5) Beregning for terskel for klimagevinst ved hjelp av forventet årlig økning γ kvoteprisen. Det vist ved kontinuerlig metode og diskret metode.

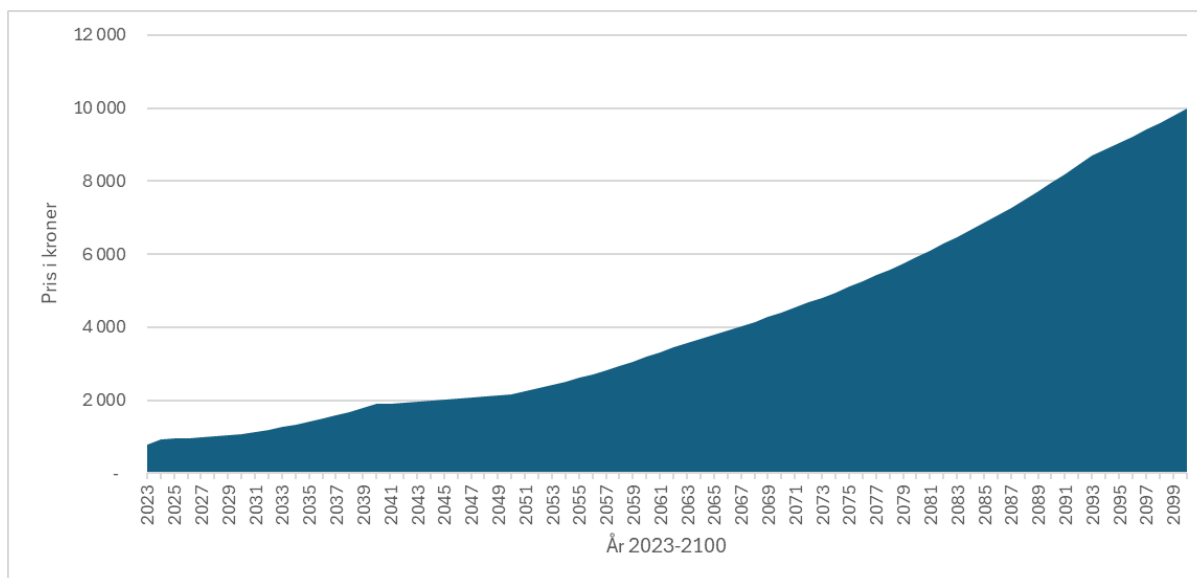
(5.6) Beregning av klimagevinst når alle utslipp oppstår i år 0.

5.3.2 Variabler og beregninger

Tabell 5.2 under viser de nødvendige variablene vi trenger til våre beregninger.

Tabell 5.2: Oversikt over variabler med verdier

Variabler	Verdi	Std. avvik
$c_m =$ Gjennomsnittspris justert m^2 massivtre	37 266	16 191
$c_k =$ Gjennomsnittspris justert m^2 stål/betong	31 893	17 195
$\Delta c = c_m - c_k$	5 373	
$p_0 =$ Kvotepreis i år 0 (2023)	798	
$p_t =$ Kvotepreis i år t	798 - 6 660	
$\gamma_{0-60} =$ Forventet økning i kvotepreisen	3,56 %	2,28 %
$\gamma_{0-40} =$ Forventet økning i kvotepreisen	3,84 %	2,76 %
$\gamma_{41-60} =$ Forventet økning i kvotepreisen	3,00 %	0,0083 %
$r_{0-40} =$ rente fra år 0 til 40	4,00 %	
$r_{41-60} =$ rente fra år 41 til 60	3,00 %	
$t =$ Tidsperiode	0 til 60	
$k =$ omgjøringsfaktor fra $\frac{kr}{\text{tonn}}$ til $\frac{kr}{m^2}$	114	

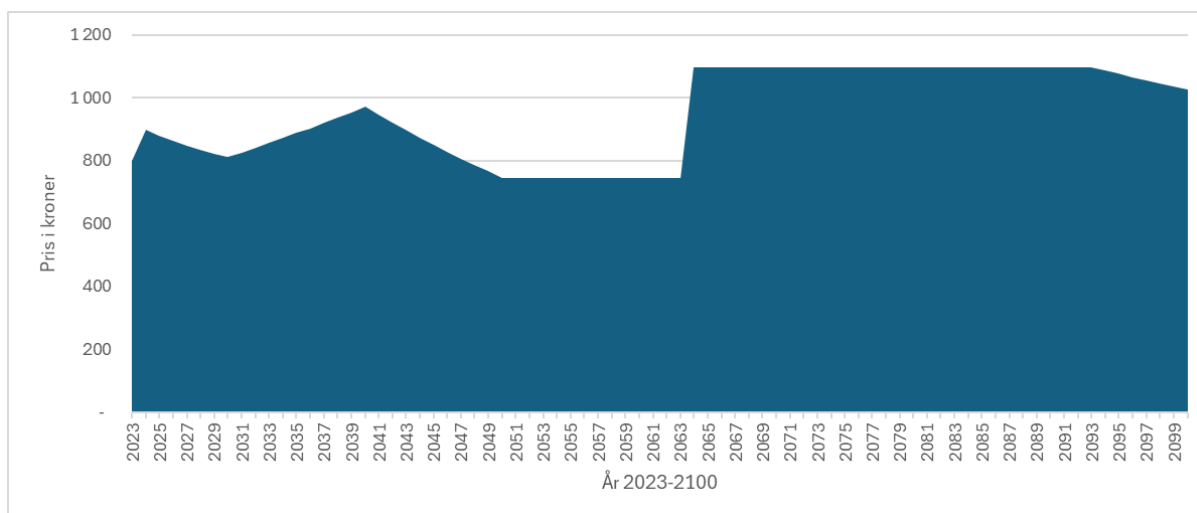


Figur 5.1: Karbonprisbane for bruk i samfunnsøkonomiske analyser i 2024

Vi tok utgangspunkt i karbonprisbanen for bruk i samfunnsøkonomiske analyser i 2024²⁵, som figur 5.1 viser for å kunne beregne variabelen γ (økning i kvoteprisen). Vi så på kvotepris fra år 0 (2023) til 60 (2083), og fant prosentvis økning per år. Ut fra disse prosentene beregnet vi gjennomsnittet for år 0 til 40, og 41 til 60. Vi fikk da γ_{0-40} på 3,84 % og γ_{41-60} på 3,00 %. Disse to variablene vil vi bruke videre i sensitivitetsanalyse av kvoteprisen.

Kvoteprisbanen som er illustrert i figur 5.1 er ikke diskontert. Ved å diskontere alle kvoteprisene ved bruk av en rente på 4 % de første 40 årene, og 3 % de siste 20, får vi prisbanen som er vist i figur 5.2.

²⁵ (Regjeringen, 2023) <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser-i-2024/id3020031/>



Figur 5.2: Diskontert kvoteprisbane

For å kunne integrere kvoteprisene i estimeringen er det viktig at vi får tall som er sammenlignbare. Kvoteprisen slik den er fremstilt nå er gitt i kroner per tonn, mens forskjellen i byggekostnader Δc er oppgitt i kroner per m^2 . Vi introduserer derfor omgjøringsfaktoren k for å kunne regne om kvoteprisen fra $\frac{kr}{\text{tonn}}$ til $\frac{kr}{m^2}$. For å justere k Til riktig benevnning er det nødvendig å dele på 1 000, slik at vi får 0,114.

Vi har fått tilgang til klimagassregnskapet fra to av idrettshallene vi opprinnelig samlet inn data på. Den ene er Emma Hjorth, som er en idrettshall laget av massivtre, mens den andre er Oksenøya flerbrukshall, en konstruksjon av stål og betong. Begge hallene er tilknyttet skolebygg og prosjekter i Bærum kommune. Ut ifra klimagassregnskapene har vi kunnet hente utslippstall per kvadratmeter for massivtre og stål/betong.

Tabell 5.3: Utslipp ved Emma Hjorth og Oksenøya

	Emma Hjorth	Oksenøya
Co2 ekv per m^2 per år	3,09 kg ²⁶	4,99 kg ²⁷

Disse tallene har vi brukt til å regne oss frem til en omgjøringsfaktor k på 0,114.

$$k = \frac{(4,99kg - 3,09kg) * 60\text{år}}{1\ 000}$$

$$k = 0,114 \text{ tonn}/m^2$$

²⁶(Flåten & Kyllingstad, 2022, s.13)

²⁷(Nilsen & Lillegraven, 2020, s.15)

I tabell 5.1 introduserer vi både ligning 5.4 og 5.5, som regner ut det samme, men på diskret og kontinuerlig tid. Vi velger å gå videre med diskret metode ettersom vi har gode datapunkter for hvert år.

5.4 Resultater fra datautvalget - Kostnader og nødvendig klimagevinst ved en LCC-tilnærming

5.4.1 Forskjeller i kvadratmeterpris

Det første resultatet vi ønsker å kommentere på er forskjellene i kvadratmeterpris ($c_m - c_k$), samt standardavviket deres. For å ha en kvadratmeterpris som er sammenlignbar var det viktig å justere kvadratmeterprisene på hver hall til samme år. Vi har satt basisåret til 2023. Dette ble gjort ved å bruke prisindeksen for byggematerialer²⁸ (se vedlegg B.1: Byggekostnadsindeks per måned 2012-2024), og tidskorrigert alle kostnadene til samme år. Vi har også noen haller som er under utbygging, eller som er planlagt bygd. Disse står ferdige i 2024 og 2025. Det finnes ikke noe indeks for disse årene enda, så disse årene har vi valgt å estimere. Måten vi har gjort dette på er å ta gjennomsnittlig vekst i indeksen fra 2019-2023 og antatt at dette vil være økningen de neste to årene (se vedlegg B.2: Gjennomsnittlig byggekostnadsindeks per år 2012-2025)

Vi har også valgt å holde Emma Hjorth-hallen utenfor regnskapet når vi har regnet på gjennomsnittlig kvadratmeterpris for massivtre haller. Dette er gjort fordi sammenlignet med de andre hallene, er spilleflaten til Emma Hjorth betydelig mindre. De andre hallene har minst en spilleflate tilsvarende en full håndballbane (1 125 m²). Spilleflaten på Emma Hjorth tilsvarer kun en basketballbane (640m²).

Som vi ser i tabell 5.1 har c_m og c_k en justert gjennomsnittlig kostnad per kvadratmeter på 37 266 og 31 893 kroner. Dette utgjør en differanse på 5 373, noe som tilsier at massivtre er 16,85 % dyrere enn haller bygd i stål og betong.

Vi beregnet standardavvik for c_m og c_k til være 16 191 og 17 195. Et så høyt standardavvik indikerer stor variasjon i gjennomsnittsprisen på massivtre og stål/betong. Dette innebærer stor usikkerhet om den faktiske differansen i kvadratmeterprisen for de to byggematerialene. Vi gjennomfører derfor en sensitivitetsanalyse i avsnitt 5.4.4.1, der forskjellen i kvadratmeterpris er betydelig mindre.

²⁸(Statistisk sentralbyrå, u.å.) <https://www.ssb.no/statbank/table/08651/>

5.4.2 Klimagevinst fra datagrunnlaget

Under følger nåverdiberegningen av den diskonterte klimagevinsten for våre utvalg ved bruk av ligning (5.1) der aktuelle verdier for de ulike parameterne er skrevet inn:

$$(5.1) \quad NV = -(37\,266 - 31\,893) + 0,114x \left(\sum_{t=0}^{40} p_t * \left(\frac{1}{1+0,04_t} \right)^t + \right. \\ \left. + \left(\sum_{t=41}^{60} p_t * \left(\frac{1}{1+0,03} \right)^t \right) \right) = 0$$

$$-5\,373 + 0,114x(33\,822 + 21\,949) = 0$$

$$-5\,373 + 0,114x * 55\,771 = 0$$

$$-5\,373 + 6358x = 0$$

$$x = 0,8451 (= 0,84507707) = 84,5 \%$$

$$\text{Når } x = 0,8451 \text{ så er } NV = 0$$

På bakgrunn av datagrunnlaget må massivtre oppnå en klimagevinst på minst 84,5 % for at det skal lønne seg å bygge i massivtre over stål og betong. Dette er et høyt krav for at de nødvendige klimagevinstene ved å bygge i massivtre skal kompensere nok for at man kan forsvare å bygge i massivtre. Trolig vil vi ikke differansen mellom massivtre og stål/betong være så store, men dette vil vi komme tilbake til i delkapittel 5.6. Der vil vi se på resultatene av hva analysen, og sensitivitetsanalysene gir oss opp mot faktiske utslipp ved bruk av disse materialene.

Et annet interessant resultat fra analysen er at vi kan se når nåverdien blir negativ. Dette vil skje dersom $x < 0,845$, eller hvis Δc blir større enn -5 373.

5.4.3 OLS-estimering av γ

OLS-estimering er hensiktsmessig å bruke når vi ønsker å forstå hvordan endringer i en eller flere uavhengige variabler påvirker en avhengig variabel. En annen forutsetning som må være til stede er at vi antar at det er en lineær sammenheng mellom dem. For oss er det interessant å se hvordan nåverdien av estimert klimagevinst påvirkes av forskjellige faktorer som endring i kvadratmeterpris, tid og forventet økning på kvoteprisen.

Her tar vi i bruk ligning (5.2) for å estimere utviklingen til kvoteprisbanene.

$$(5.2) \quad P_t = \ln P_0 + \gamma t \ln e \quad \ln e = 1 \text{ og } \gamma = 0,0356$$

$$P_t = \ln 798 + 0,0356 * 0 * 1 = 6,682$$

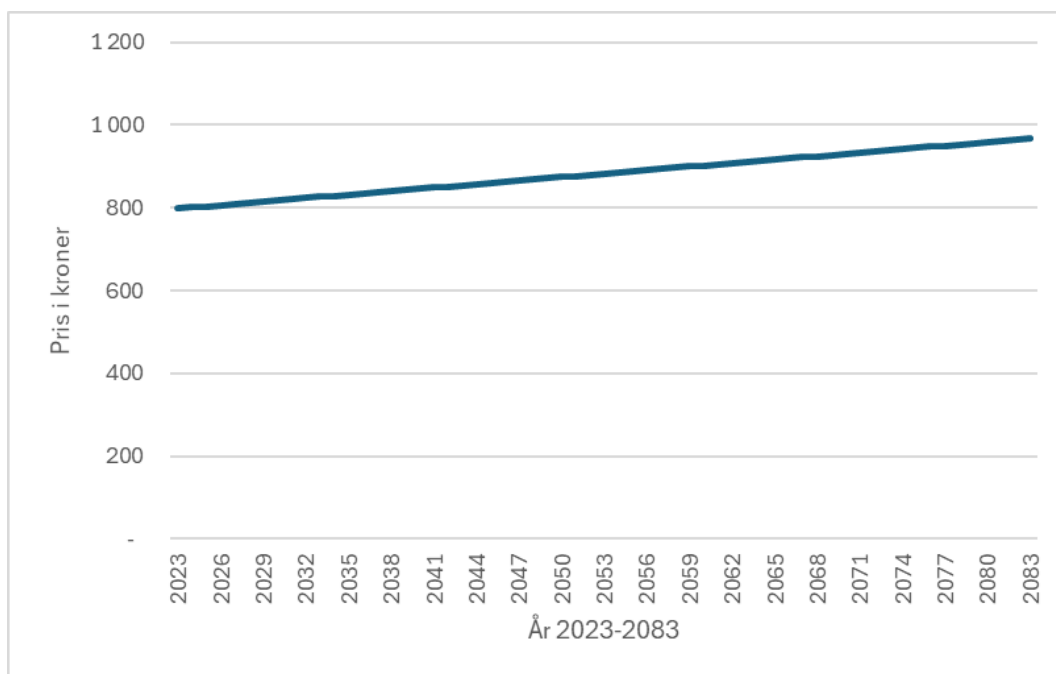
$$Y = \alpha + \beta t = Y = 6,682x + 0,0356 * 0$$

For å se om vi har estimert riktig OLS gjør vi en test ved å regne ut kvoteprisen for år 0 (2023).

$$P_0 = e^{\ln 798} + e^{(1+0,0356)t} = e^{6,682} + 2,82 * 0$$

$$P_0 = e^{6,682} = 798 + 0 = 798$$

Vi får her et resultat på 798. Dette stemmer overens med det første datapunktet vårt. Ved bruk av denne likningen får vi en forventet kvoteprisbane som er illustrert i figur 5.3.



Figur 5.3: Kvoteprisutvikling ved bruk av OLS estimater i ligningen $P_t = P_0 e^{\gamma t}$

Vi velger å vise ved hjelp av kontinuerlig formel for kapitalisering og diskontering at OLS estimatene stemmer overens med en av variablene vi presenterte i delkapittel 5.3.2.

$$\begin{aligned} NV &= \int_0^{60} P_0 e^{(\gamma-r)t} dt = \int_0^{60} \frac{1}{(\gamma-r)} 798 (e^{(\gamma-r)60} e^{(\gamma-r)0}) \\ &= \int_0^{60} \frac{1}{(\gamma-r)} 798 (e^{(\gamma-r)60}) * 1 \end{aligned}$$

Dersom $\gamma = r$:

$$NV = \int_0^{60} P_0 e^{(\gamma-r)t} dt = P_0(60 - 0) = 47\,880, \text{ fordi } e^0 = 1.$$

NV av kvotepriser de neste 60 årene = 47 880 kr per tonn

$$0,114 * 47\,880 = 5\,458 \text{ kr per m}^2$$

Vi ser også at prisen per m^2 som er estimert til 5 485 kroner er tilnærmet lik ΔC på 5 373 kroner som forventet gitt resultatene fra denne statistiske analysen (høy F-verdi og små standardfeil i de estimerte parameterne).

5.4.4 Sensitivitetsanalyse

En god oppgave innen samfunnsvitenskap inneholder sensitivitetsanalyser. Dette innebærer å modifisere variabler i den opprinnelige modellen, for å se hva som skjer med estimatet. (Woolridge, 2019, s. 650) Man kan også vurdere hvor stor betydning usikkerhet har for nåverdien av et prosjekt (NOU 1998:16, s. 25). Effekten av ulike klimatiltak og politiske beslutninger kan ha vesentlig påvirkning på den nødvendige klimagevinsten. En sensitivitetsanalyse av klimagevinsten spiller en sentral rolle i denne prosessen ved å gi innsikt i hvordan ulike faktorer og variabler kan påvirke resultatene av klimatiltak. Slik kan det kartlegges potensielle usikkerheter, sårbarheter og risikoer knyttet til klimapolitikk, som kan gi beslutningstakere nødvendig informasjon for å ta velinformerte og robuste beslutninger. Her gjennomfører vi to forskjellige sensitivitetsanalyser.

5.4.4.1 Sensitivitetsanalyse 1: Knapstadhallen

I den første sensitivitetsanalysen ønsker vi å utføre samme analyse som i avsnitt 5.4.2, men denne gangen med kun Knapstadhallen som grunnlag. Da hallen skulle bli bygget, vurderte daværende Hobøl kommune forslag i massivtre mot den konvensjonelle måten i stål og betong. Valget falt på massivtre, og den faktiske prisen for å bygge denne idrettshallen kom på 71 mill. Entreprenøren regnet seg frem til at massivtrehallen ville bli 1 % dyrere enn en konvensjonell idrettshall i stål/betong. Dette utgjør 703 000 kroner (Hobøl kommune, 2019, s.2). Det er disse tallene vi har tatt utgangspunkt i for å beregne differansen i kvadratmeterpris.

Tabell 5.4: Kvadratmeterpriser for Knapstadhallen

Variabler	Verdi
$m^2_m = \text{Kvadratmeterpris massivtre}$	26 955
$m^2_k = \text{Kvadratmeterpris konvensjonell}$	26 688

Her får vi en differanse på 267 kroner per kvadratmeter. I dette konkrete tilfellet er det som nevnt 1 % dyrere å velge massivtre over stål/betong. Sammenlignet med tallet fra avsnitt 5.4.1 ser vi at det her er en betydelig mindre differanse, noe som trolig vil gi utslag på den nødvendige klimagevinsten for at det skal lønne seg å bygge i massivtre.

$$\begin{aligned}
 (5.1) \quad NV &= -(26\,955 - 26\,688) + 0,114x \left(\sum_{t=0}^{40} p_t * \left(\frac{1}{1+0,04_t} \right)^t \right) + \\
 & \quad x \left(\sum_{t=41}^{60} p_t * \left(\frac{1}{1+0,03} \right)^t \right) = 0 \\
 & -267 + 0,114x * (33\,822 + 21\,949) \\
 & -267 + 0,114x * 55\,771 = 0 \\
 & -267 + 6\,358x = 0 \\
 & x = 0,0419 (= 0,04199434) = 4,20 \%
 \end{aligned}$$

Resultatet viser her at ved en klimagevinst på 4,20 % vil nåverdien for å bygge i massivtre være 0. Fra analysen i 5.4.2 fikk vi en klimagevinst på 84,5 %. I dette eksempelet er differansen i kvadratmeterpris betydelig mindre enn fra datautvalget, og det som har gitt det store reduserte utslaget på klimagevinsten. Dette er en nedgang på om lag 80 prosentpoeng.

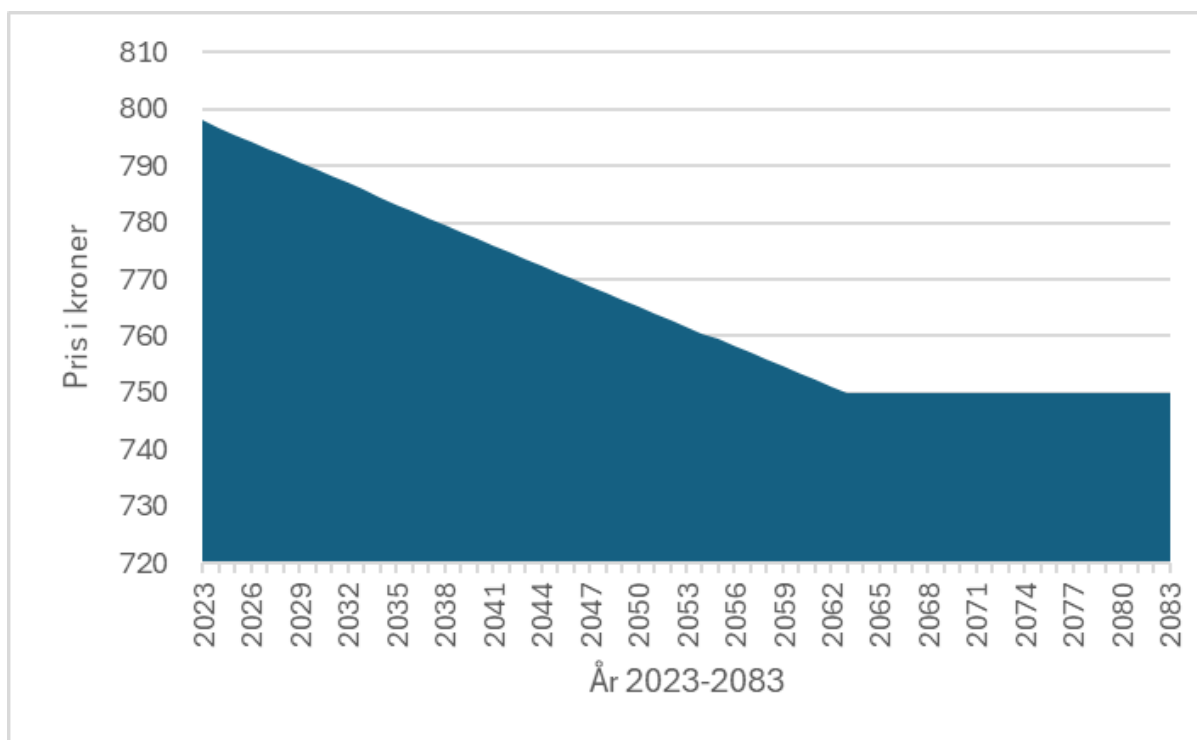
Som vi har kommentert tidligere er standardavviket for kvadratmeterprisene i tabell 5.1 betydelig. Vi ser derfor på denne analysen som svært relevant, ettersom det i flere tilfeller trolig vil bli observert differanser i kvadratmeterpriser som er mye mindre enn i del 5.4.2.

5.4.4.2 Sensitivitetsanalyse 2: Effekt på klimagevinst ved bruk av forventet vekst (γ)

I andre sensitivitetsanalyse velger vi å se på NV-utregning, men vi inkluderer forventet vekst (γ) Dette gjør vi for å se på forskjeller i klimagevinst ved å ta i bruk γ i stedet for spesifikke observasjoner for alle perioder for t. Vi velger å ta i bruk forskjellige estimater av γ fordi vi

braker to forskjellige diskonteringsrater, en fra år 0-40 og en for 41-60. Slik vil det være lettere å fange opp prisendringer og hvor sensitive endringene er.

$$\begin{aligned}
 (5.4) \quad NV &= -(37\,266 - 31\,893) + 0,114x \left(\sum_{t=0}^{40} 798 \left(\frac{1+0,0384}{1+0,04} \right)^t + \right. \\
 &\quad \left. \sum_{t=41}^{60} 749 \left(\frac{1+0,03}{1+0,03} \right)^t \right) = 0 \\
 &= -5\,373 + 0,114x * (31\,712 + 14\,994) \\
 &= -5\,373 + 0,114x * 46\,706 = 0 \\
 &= -5\,373 + x5\,324 = 0 \\
 x &= 1,0092 (= 1,00920361) = 100,1 \%
 \end{aligned}$$



Figur 5.4: Kvoteprisbanen ved $\gamma_{0-40} 3,84\%$

Med bruk av γ for å beregne nåverdien, observerer vi en økning i den nødvendige klimagevinsten fra 84,5 % til 100,1 %. Fra tabell 5.2 ser vi at verdiene for γ_{0-40} og γ_{41-60} ikke er betydelig forskjellig.

Imidlertid observerer vi at standardavviket tilknyttet γ_{41-60} på 0,0083 % er betydelig mindre enn standardavviket til γ_{0-40} som er på 2,78 %. Fra prosentene i vedlegg D.1.1: Prosentvis

økning i kvotepriser, kan vi se at det i løpet av de første 40 årene har vært stor variasjon i forventet utvikling til kvoteprisen. γ varierer fra 17,04 % helt ned til 1,25 %. Denne spredningen i γ_{0-40} forklarer det store standardavviket. For γ_{41-60} er det en mye mindre differanse mellom høyeste og laveste γ . Her er høyeste verdi 3,01 %, mens laveste er på 2,99 %.

5.4.4.3 Sensitivitetsanalyse 3: Gamma(γ_{0-40}) = 10 %

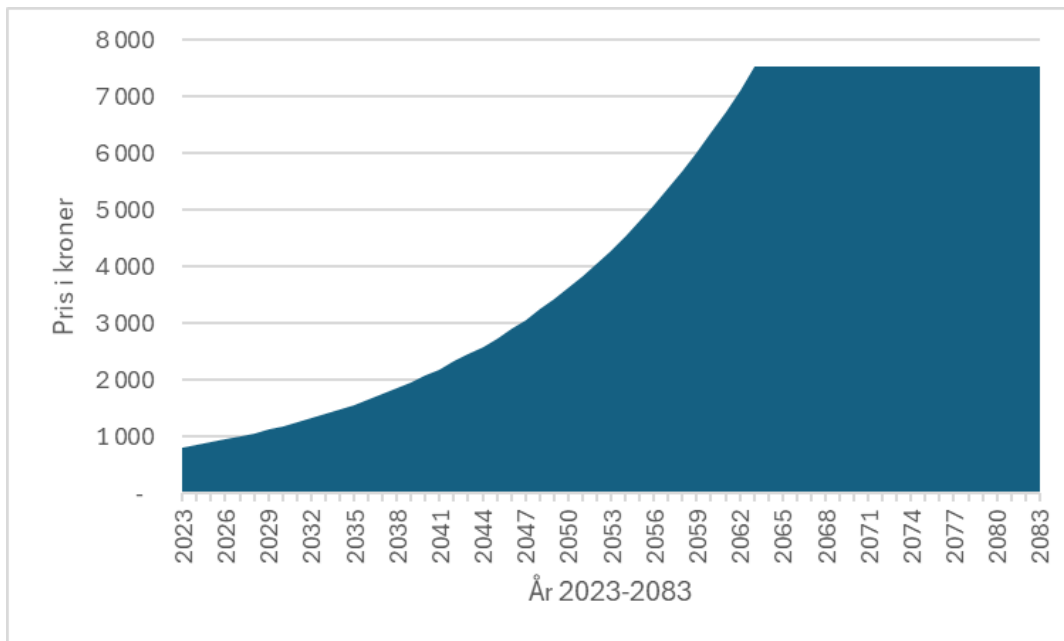
Vi ønsker å se hva som skjer når vi øker verdien til γ_{0-40} fra det vi først har estimert. Et scenario for å øke γ_{0-40} er når strengere reguleringer fører til økt etterspørsel av kvoter, noe som presser kvoteprisen oppover. Et annet scenario som kan være med på å drive kvoteprisen oppover er hvis vi kommer til et såkalt "vippepunkt" i miljøet. Dette kan føre til at vi drastisk må øke innsatsen for bærekraftige tiltak. Begge scenarioene vil føre til en økning i verdien av γ_{0-40} . Vi setter derfor γ_{0-40} til 10 % og γ_{41-60} til 3 %. Grunnen til at vi lar γ_{41-60} stå uendret, er fordi vi ser på det som skjer de første 40 årene som mest sentralt for å nå klimamålene. Det er i løpet av disse årene kvoteprisutviklingen blir mest kritisk for å unngå det tenkte scenariet. Norge har som mål å kutte klimagassutslipp med 55 % innen 2030 sammenlignet med 1990 nivå, noe som er i tråd med "Fit-for-55"²⁹, og satt som mål 90-95 % reduksjon innen 2050³⁰. Her vil utviklingen til kvoteprisen spille en sentral rolle.

Vi tar også utgangspunkt i den estimerte omregningsfaktoren (k) fra 5.3.2 for å beregne klimagevinsten i %.

$$\begin{aligned}
 (5.5) \quad NV &= -(37\,266 - 31\,893) + 0,114x \left(\sum_{t=0}^{40} 798 \left(\frac{1+0,1}{1+0,04} \right)^t \right) + \\
 &\quad \left(\sum_{t=41}^{60} 7\,523 \left(\frac{1+0,03}{1+0,03} \right)^t \right) = 0 \\
 &= -5\,373 + 0,114x * (124\,085 + 150\,505) \\
 &= -5\,373 + 31\,303x = \\
 &= x = 0,1716 (= 0,17164489) = 17,16 \%
 \end{aligned}$$

²⁹ (Regjeringen, 2021a) <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/eus-klimapakke-klar-for-55/id2887217/>

³⁰ (Regjeringen, 2023) <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>



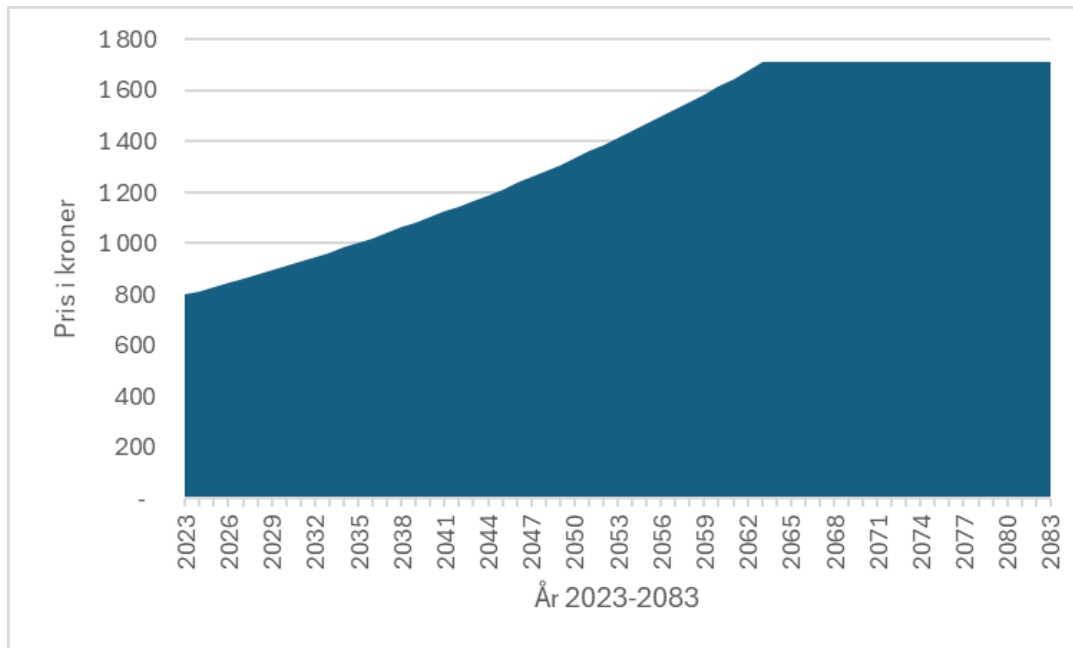
Figur 5.5: Kvotepribanen ved γ_{0-40} 10 %

Resultatet av beregningen viser en nødvendig klimagevinst på 17,16 %. Det betyr at ved å øke γ_{0-40} til 10 %, så vil nødvendig klimagevinst reduseres fra 100,1 % til 17,16 %. Videre ser vi at årlige kvotepriser har en meget bratt kurve som ender på 7 523 kroner i 2063. Som tidligere nevnt har Norge satt svært ambisiøse klimamål frem mot 2050. Scenarier på linje med dette kan derfor ikke utelukkes.

5.4.4.4 Sensitivitetsanalyse 4: Gamma (γ_{0-40}) = 6 %

La oss så se hva som skjer når vi øker verdien av γ fra det vi først har estimert. Vi ønsker å se på effekten ved å sette γ_{0-40} til 6 %. γ_{41-60} velger vi fortsatt å holde på 3 %.

$$\begin{aligned}
 (5.5) \quad NV &= -(37\,266 - 31\,893) + 0,114x \left(\sum_{t=0}^{40} 798 \left(\frac{1+0,06}{1+0,04} \right)^t + \right. \\
 &\quad \left. \sum_{t=41}^{60} 1\,710 \left(\frac{1+0,03}{1+0,03} \right)^t \right) = 0 \\
 &= -5\,373 + 0,114x * (49\,115 + 34\,204) \\
 &= -5\,373 + 0,114x * 83\,319 = 0 \\
 &= -5\,686 + 9\,498x = 0 \\
 x &= 0,5657 (= 56569804) = 56,57 \%
 \end{aligned}$$



Figur 5.6: Kvoteprisbane ved γ_{0-40} 6 %

Som forventet ser vi at en lavere γ_{0-40} gir en nødvendig klimagevinst på 56,57 %. Dette betyr at selv små endringer i kvoteprisen på klimagassutslipp gir store utslag på den nødvendige klimagevinsten. I figur 5.6 er kvoteprisbanen ved γ_{0-40} på 6 % illustrert. Denne er har en jevnere kurve enn ved 10 %, og prisen ender på 1 710 kroner i 2063.

5.4.4.5 Sensitivitetsanalyse 5: Gamma (γ_{0-40}) = 1 %

Siste analyse vi ønsker å gjennomføre ved å endre γ_{0-40} , er dersom veksten blir mye mindre enn det vi først estimerte. Vi setter $\gamma_{0-40} = 1\%$. En situasjon der vi velger å sette en lavere verdi for γ_{0-40} kan oppstå når vi har overskudd av kvoter på markedet. Dette overskuddet kan oppstå som følge av teknologisk fremgang som reduserer behovet for kvoter på grunn av lavere utslipp. Selv om det finnes systemer som Marginal Reduction System (MRS) som kan motvirke dette ved å slette overskytende kvoter, kan det likevel være hensiktsmessig å teste en lavere verdi for γ_{0-40} for å se hvordan det påvirker resultatene våre.

$$(5.5) \quad NV = -(37\,266 - 31\,893) + 0,114x \left(\sum_{t=0}^{40} 798 \left(\frac{1+0,01}{1+0,04} \right)^t \right) +$$

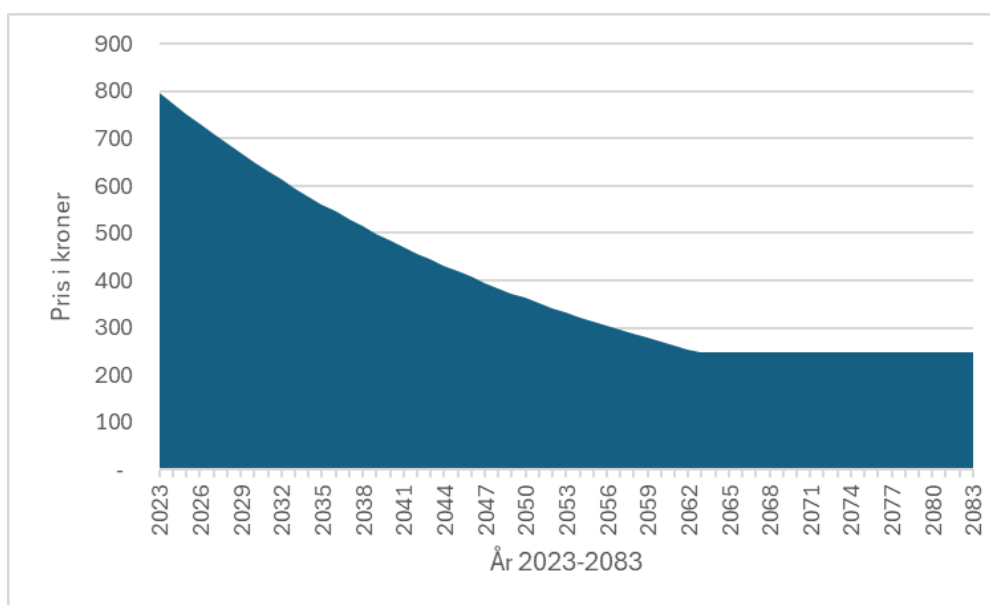
$$\sum_{t=41}^{60} (247 \left(\frac{1+0,03}{1+0,03} \right)^t) = 0$$

$$-5\,373 + 0,114x * (19\,332 + 4\,951)$$

$$-5\,373 + 0,114x * 24\,283 = 0$$

$$-5\,373 + 2\,768x = 0$$

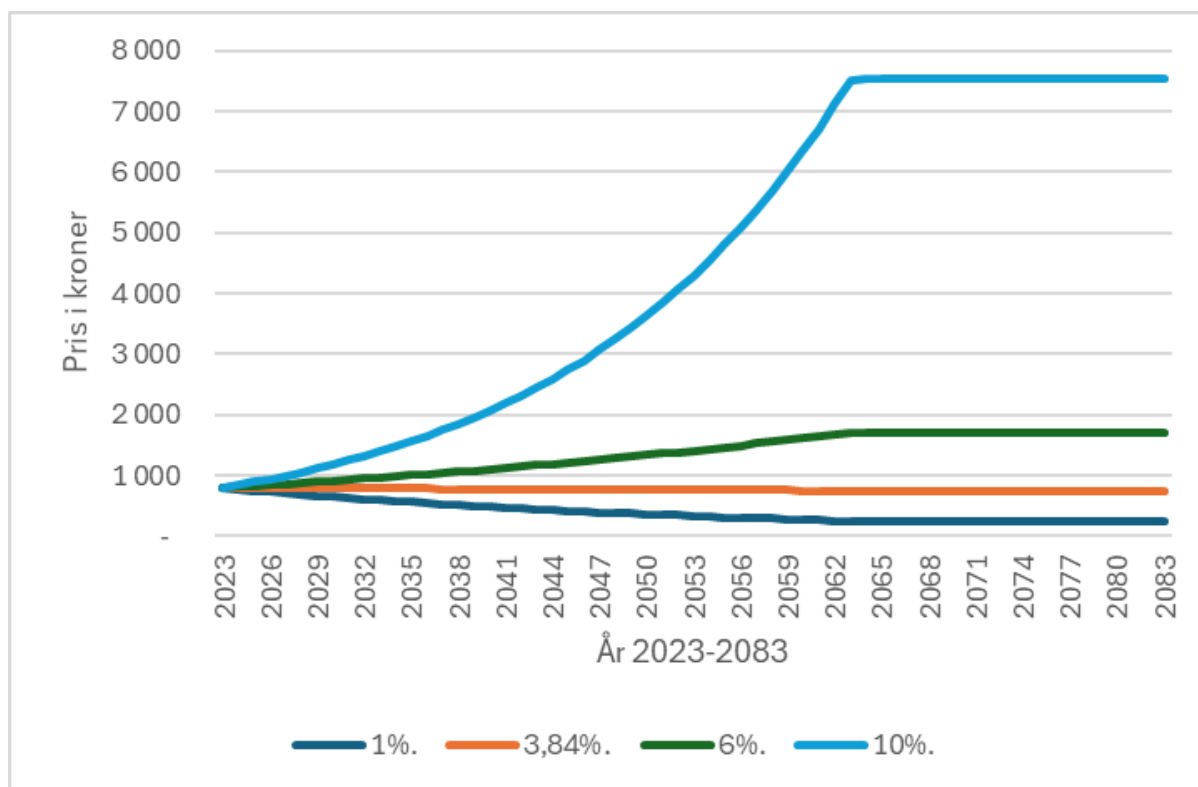
$$x = 1,941 (= 1,94111272) = 194,1 \%$$



Figur 5.7: Kvotepribanen ved γ_{0-40} 1 %

Ved å justere γ_{0-40} til det nedre sjiktet, her 1 %, ser vi en meget drastisk økning i klimagevinsten som nå er på 194,1 %. Vi kan derfor utelukke γ_{0-40} 1 %, om hensikten er at det skal lønne seg å velge klimavennlig materiale. Når vi sammenligner denne grafen med kvotepriene som brukes i samfunnsøkonomiske analyser, synes det klart at å sette γ_{0-40} til 1 % undervurderer kostnadene forbundet med CO₂-utslipp hvor kvotepriene i 2063 kun er på 250 kroner. Dette kan føre til at klimatiltak blir mindre effektive og kan resultere i betydelige negative miljøkonsekvenser. Det understreker betydningen av å ta hensyn til realistiske estimater av CO₂-kostnader når man utarbeider økonomiske analyser.

5.4.5 Sammenligning av sensitivitetsanalysene og resultatene



Figur 5.8: Forventede kvoteprisbaner ved ulik forventet vekst, γ_{0-40} : 1 %, 3,84 %, 6 % & 10 %

I figur 5.8 ser vi en samlet grafisk fremstilling av hvordan kvoteprisbanene kan se ut ved bruk av forskjellige γ_{0-40} .

Selv om betong og stål lenge har vært forbundet med store utslipp, viser det seg at dagens leverandører av disse materialene også har begynt å tilby mer miljøvennlige varianter av disse materialene. Denne utviklingen kan gjøre at en forventet kvoteprisvekst for de første 40 årene, γ_{0-40} på 10 %, blir mindre sannsynlig. Som tidligere nevnt har det blitt utviklet løsninger innen betong og stål som medfører langt mindre utslipp enn tidligere. Denne utviklingen kan resultere i at behovet for klimakvoter blir mindre.

Det samme gjelder for en årlig forventet vekst på bare 1 %, som resulterer i klimagevinst på hele 194,1 % for at det skal lønne seg å bygge med massivtre. Et slikt resultat kan dermed gi en effekt som er motsatt: Ved å beregne γ for lavt, er det som sagt en betydelig risiko for å undervurdere kostnadene knyttet opp mot CO₂ utslipp. Samtidig kan en meget høy klimagevinst sette bygging med massivtre i et negativt lys, noe som kan motvirke våre

intensjoner om å fremme mer miljøvennlige byggemetoder. Det er høyst usannsynlig at vi vil observere en så lav γ med dagens ambisiøse klimapolitikk.

Vi tror at en årlig vekst i kvoteprisen på mellom 4 og 6 % er realistisk. Estimatet vårt på en årlig nominell kvoteprisvekst på 3,84 % er ikke så direkte urealistisk, spesielt hvis den anbefalte samfunnsøkonomiske diskonteringsrenten forblir over 3 %. Disse tallene tar hensyn til både den nåværende utviklingen innen betong og stål og økningen i bruk av miljøvennlige alternativer som massivtre. Næringen blir stadig mer opptatt av miljøet og trenger bærekraftige løsninger. Derfor virker disse vekstanslagene fornuftige med tanke på hva markedet trenger og forventer i fremtiden.

Disse funnene understreker nok en gang betydningen av å analysere og justere slike parametere nøye for å maksimere de miljømessige fordelene ved byggematerialer som massivtre.

5.5 Alle utslipp i år 0

Som vi argumenterte for i 5.2.1 kan det hende løsningen på spørsmålet vårt er mye enklere enn det vi har beregnet i delkapittel 5.4. Følger vi LCC-logikken skal kostnadene tilknyttet utslippene fordeles utover byggets levetid. Hvis vi derimot ikke fordeler utslippene og de tilhørende kostnader utover byggets levetid, får vi en langt enklere likning å jobbe med.

Vi vil i denne analysen også se på hva som skjer med forventet klimagevinst, både når vi tar utgangspunkt i kvadratmeterpriser fra datautvalget vårt. Igjen kjører vi en separat analyse for Knapstadhallen.

Ligningen vi har ønsket å løse er oppført som ligning (6) i tabell 5.1

$$(5.6) \quad \pi = \frac{-\Delta C}{k} + xP_0 = 0$$

Det er viktig å påpeke at i denne ligningen har vi ikke trengt å justere omgjøring faktoren k slik vi gjorde for å bruke den i 5.4. k forblir derfor 114.

5.5.1 Resultat for datagrunnlaget

Legger vi inn tallene fra datagrunnlaget får vi:

$$(5.6) \quad \pi = \frac{-5373}{114} + x798 = 0$$

$$\pi = -47,13 + x798 = 0$$

$$x = \frac{47,13}{798} = 0,0591 (= 0,05906015) = 5,9 \%$$

Vi får her en nødvendig klimagevinst på 5,9 %. Denne gevinsten kan tolkes på samme måte som i delkapittel 5.4: Klimagassutslippene ved massivtre må være 5,9 % mindre enn ved de konvensjonelle materialene for at det skal lønne seg å bygge i massivtre.

5.5.2 Resultat for Knapstahallen

$$(5.6) \quad \pi = \frac{-267}{114} + x798 = 0$$

$$\pi = -2,34 + x798 = 0$$

$$x = \frac{2,34}{798} = 0,00293 = 0,3 \%$$

Med Knapstahallen som utgangspunkt, ser vi at den nødvendige klimagevinsten har falt til 0,3 %.

Sammenligner vi resultatene vi får fra analysene i delkapittel 5.4 med 5.5, ser vi at det er en drastisk forskjell i nødvendig klimagevinst. Denne forskjellen er noe vi vil se nærmere på i delkapittel 5.8. Først ønsker vi å sammenligne tallene fra de to metodene opp mot utslippstall knyttet til de forskjellige byggematerialene.

5.6 Klimagevinst sammenlignet med utslipp for massivtre og stål/betong

Vi ser det som interessant å sammenligne de estimerte klimagevinstene fra delkapitlene 5.4 og 5.5 opp mot noen konkrete observasjoner. Derfor er det interessant å sammenligne våre estimater opp mot resultatene til Funderud (2022), samt idrettshallene tilknyttet Emma Hjorth og Oksenøya, der vi har tall på utslipp. Det er viktig å presisere at ettersom det er tilknyttet store usikkerheter rundt estimatene, vil det være vanskelig å komme frem til et konkret svar på hva slags materiale det lønner seg å bygge i. Utslippstall for massivtrebygg og konvensjonelle bygg varierer også. Dette er grunnen til at vi sammenligner resultatene med to forskjellige kilder.

5.6.1 Utslippstall fra Funderud (2022)

For en mer grundig analyse av den nødvendige klimagevinsten i forhold til de faktiske utslippene for massivtrebygg og konvensjonelle bygg i stål og betong, har vi valgt å referere til masteroppgaven vi nevnte i delkapittel 1.3 (Funderud, 2022). I oppgaven har Funderud undersøkt forskjellene i klimagassutslipp mellom massivtre og stål/betong ved å analysere fire skolebygg. Vårt formål er å utforske realiteten bak den nødvendige klimagevinsten vi beregnet for massivtre ut ifra resultatene i delkapitlene 5.4 og 5.5, opp mot Funderud sine resultater på utslippstall.

En signifikant forskjell mellom vår og Funderuds oppgave er valget av bygningstype som utgangspunkt. Et skolebygg har en betydelig annen utforming enn en idrettshall, og krever derfor en større mengde og noen andre typer materialer. Dette vil trolig føre til større utslippstall per m² enn ved en idrettshall. Det må også nevnes at Funderud bruker utslipp per BRA, mens vi har tatt utgangspunkt i BTA for utregningene. Det har vært utfordrende å finne nøyaktige utslippstall for idrettshaller. Dette gjør at vi må bruke tall som er usikre i vår analyse, men som fortsatt kan sammenlignes med resultatene vi har fått.

Uansett valg av byggemateriale vil byggene følge standardiserte krav til utforming, til tross for deres forskjellige funksjoner. Funderud har hatt fordelene av samarbeid med både entreprenører og arkitekter, og dermed hatt tilgang til mer pålitelige data, noe som kan bidra til å gi et mer realistisk bilde av utslippene sammenlignet med de som fremkommer i våre estimater.

Skolebyggene Funderud analyserte ble bygget i perioden 2019 til 2021. Vi hentet ut utslippstallene Funderud fant på materialene, og regnet oss frem til den prosentvise forskjellen i utslippet for massivtre og stål/betong per kvadratmeter.

Tabell 5.5: Utslippstall fra Funderud (Funderud, 2022, s. 39, 42, 45 og 48).

Skole	Utslipp massivtre $\frac{kg CO_2}{m^2}$	Utslipp konvensjonell $\frac{kg CO_2}{m^2}$	Differanse (%)
Flesberg skole	294	292	-0,7 %
Bamble skole	284	314	9,5 %
Huseby skole	299	289	3,3 %
Nordre Ål skole	215	230	6,5 %

Når vi sammenligner klimagevinsten i tabell 5.5 ved å bygge i massivtre med resultatene vi fikk i delkapittel 5.4, ser vi at det er store forskjeller. Fra resultatene i avsnitt 5.4.2 fikk vi en nødvendig klimagevinst på 84,5 %. Den høyeste gevinsten vi observerer fra tabell 5.5 er 9,5 %. For Flesberg skole er klimagevinsten faktisk negativ. Dette betyr at det i dette tilfellet er mindre utslipp knyttet til stål og betong enn massivtre. Kun med estimatet fra avsnitt 5.4.4.1 på 4,2 % ville det lønt seg å velge massivtre i to av alternativene.

Som vi ser taler estimatet i avsnitt 5.4.2 for seg selv: Det vil ikke lønne seg å bygge noen av de fire skolebyggene i massivtre. Derimot samsvarer estimatet fra avsnitt 5.4.4.1 i større grad med Funderuds resultater.

Tar vi utgangspunkt i resultatene vi beregnet i delkapittel 5.5 ser det også her lovende ut å velge massivtre. Resultatene til Funderud sammenlignet med beregningene for Knapstadhallen viser nå at det lønner seg å bygge i massivtre for samtlige skolebygg unntatt Flesberg skole. Basert på resultatet vårt i avsnitt 5.5.1 på 5,9 %, er dette nå også vesentlig nærmere Funderuds resultater. På bakgrunn av våre funn vil det da lønne seg å bygge i massivtre for både Nordre Ål og Bamble skole.

5.6.2 En sammenligning av utslipp fra Emma Hjorth og Oksenøya flerbrukshall

Basert på utslippstallene vi introduserte i avsnitt 5.3.2 vil vi gjøre en sammenligning av idrettshallene tilknyttet Emma Hjorth og Oksenøya.

Tabell 5.6: Oversiktstall for Emma hjort og Oksenøya

	Emma Hjorth	Oksenøya
Totalpris (1000 kr)	108 750	129 250
BTA (m ²)	1 556	1 875
Korrigert kvadratmeterpris	66 822	71 994
CO ₂ ekv per m ² per år	3,09 kg ³¹	4,99 kg ³²

Som vist i tabell 5.6, er disse to prosjektene relativt like prismessig. Begge er også bygget i en nyere standard og på en forventet bærekraftig måte. Emma Hjorth er et passivhus³³, mens Oksenøya har fått BREEAM-sertifiseringen "outstanding". Det er spesielt interessant for oss å

³¹ (Flåten & Kyllingstad, 2022, s.13)

³² (Nilsen & Lillegraven, 2020, s.15)

³³ (Mosland, 2013) <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hva-er-et-passivhus/>

se på disse prosjektene. Dette med tanke på deres bærekraftige byggemetoder og hvordan den teknologiske fremgangen innen lavkarbonbetong og bærekraftig stål påvirker klimagassregnskapet for hvert prosjekt.

Selv om Oksenøya har fått BREEAM-sertifiseringen "outstanding", ser vi fra utslippstallene at Emma Hjorth sine utslipp er 38 % mindre per m² per år. Sammenlignet med den nødvendige klimagevinsten vi har estimert oss frem til i avsnitt 5.4.2, ser vi at også her vil det ikke lønne seg å bygge i massivtre når vi tar utgangspunktet i at klimakostnadene er fordelt utover byggets levetid. Derimot ser vi at ved å bruke estimeringen fra delkapittel 5.5, lønner det seg med god margin å bygge i massivtre. Dette gjelder for resultatet vi fikk i avsnitt 5.5.1 og 5.5.2, på henholdsvis 5,9 % og 0,3 %.

Det er viktig å påpeke at Oksenøya er en litt spesiell hall, ettersom den er bygd ned i bakken. Dette vil selvfølgelig være en faktor som kan påvirke utslippstallene, men vil nok i større grad påvirke den totale byggekostnaden. Vi kan se at begge hallene har betydelig større kvadratmeterpris sammenlignet med gjennomsnittet fra datautvalget i avsnitt 5.4.1.

5.7 Sammenligning av metodene

Fra delkapittel 5.6 ser vi at konklusjonene vi kommer frem til er avhengig av hvilken tilnærming til problemet vi velger. Resultatene i delkapittel 5.4 er sprikende da estimatet fra avsnitt 5.4.2 peker i favør stål og betong. Derimot ser vi fra estimatene i avsnitt 5.4.4.1 at det i større grad lønner seg å bygge i massivtre. Dette kan forklares ved at differansen i kvadratmeterpris er vesentlig mindre for Knapstadhallen enn for resten av datautvalget, noe som har stor innvirkning på estimeringen når utslippene fordeles over levetiden på 60 år. Metoden i delkapittel 5.5 gir langt mer positive resultater, dersom man ønsker at valget i flere tilfeller skal lande på massivtre over det konvensjonelle.

Fra nesten samtlige LCC-analyser i delkapittel 5.4, ser vi høye nødvendige klimagevinster for at nåverdien for å bygge i massivtre skal bli positiv. Prosentene spriker fra 4,2 % fra sensitivitetsanalysen i avsnitt 5.4.4.3, til 194,1 % i 5.4.4.5 Dette er store forskjeller, noe som gjør det vanskelig å konkludere med en av dem som riktig å bruke i analyser av klimagassutslipp. Selve resultatet fra hovedanalysen (avsnitt 5.4.2) på 84,5 % viser en meget høy nødvendig gevinst for at det skal lønne seg å bygge i massivtre.

Fra analysene i delkapittel 5.5 er differansen mye mindre. Her fikk vi to prosent på 5,9 % og 0,3 %, fra henholdsvis avsnitt 5.5.1 og 5.5.2. Dette skyldes at det er færre faktorer som spiller inn. I delkapittel 5.5 tar vi ikke høyde for fremtidige kvotepriser, og vi diskonterer heller ikke. Det blir derfor bare to variabler som kan endres i 5.5. Det er differansen i kvadratmeterpris på massivtre kontra konvensjonelle byggematerialer, og hva dagens kvotepris er. Dagens kvotepris vet vi. Derfor så vi det ikke nødvendig å eksperimentere med den, men differansen i kvadratmeterpris er derimot interessant å se på. Det var på bakgrunn av dette vi utførte analysene i avsnittene 5.5.1 og 5.5.2.

Etter å ha utført begge analysene, vil vi argumentere for at svarene fra delkapittel 5.5 er mer realistiske enn fra 5.4. Likevel ser vi at resultatene fra avsnitt 5.4.4.1, hvor differansen i kvadratmeterpris er vesentlig mindre, gir resultater som er mer sammenlignbare med faktiske utslipp. Dette viser at dersom det er liten forskjell i kvadratmeterpris svekkes argumentene basert på våre resultater mot å ta i bruk en LCC-tilnærming selv om mesteparten av utslippene kommer i år 0.

Dersom en reell klimagevinst måtte vært på nesten 84,5 %, ville vi nok sett færre idrettshaller i massivtre enn det vi ser i dag. Det kan være andre faktorer vi ikke har sett på i vår studie som kan føre til at byggherrer velger massivtre over konvensjonelle byggematerialer. Om det kun var på bakgrunn av klimagevinsten man valgte massivtre, ville vi trolig ikke sett like mange massivtrehaller som det blir bygd i dag. Selv om formelen for LCC vi brukte i delkapittel 5.4 fanger opp de viktigste elementene ved en LCC-analyse, så trenger ikke det å bety at det er riktig å bruke en slik metode for å beregne klimagevinsten hvor det totale utslippet fordeles utover levetiden på 60 år. På bakgrunn av dette, et snevert utvalg og en vesentlig større differanse i kvadratmeterpris anser vi derfor resultatene fra avsnitt 5.4.2, som lite troverdige.

Resultatene fra delkapittel 5.5 gjenspeiler i større grad det som faktisk blir bygd, og er planlagt av massivtre idrettshaller i dag. Ser vi på datautvalget fra vedlegg A: Data fra idrettshaller, kan vi se at fire av hallene, fem dersom vi inkluderer skolene, som er under utbygging, eller planlagt bygd, er massivtre. Dette tyder på at det enten økonomisk lønner seg å bygge i massivtre, eller at andre fordeler ved massivtre til sammen veier tyngre enn kostnadsforskjellen.

6 Konklusjon

6.1 Problemstilling og forskningsspørsmål

I masteroppgaven vår ønsket vi å se på hva som kreves for at det skal være mer samfunnsøkonomisk lønnsomt fra et klimaperspektiv å bygge i massivtre kontra stål og betong. På bakgrunn av denne problemstillingen formulerte vi tre forskningsspørsmål. Vi svarer på hvert forskningsspørsmål fortløpende.

FS1: Hva er de totale byggekostnadene per m² for en idrettshall i massivtre sammenlignet med stål og betong?

Basert på datagrunnlaget vi samlet inn, beregnet vi at gjennomsnittskostnaden per m² for å bygge i massivtre og stål/betong var henholdsvis 37 266 kroner og 31 893 kroner. Det ga oss en differanse på 5 373 kroner, noe som betyr at byggekostnadene med massivtre er 16,85 % høyere enn for stål/betong. For Knapstadhallen beregnet vi en gjennomsnittlig kostnad på henholdsvis 26 955 kroner for massivtre og 26 688 kroner for stål/betong, som gir en differanse på 267 kroner. I dette tilfellet er massivtre kun 1 % dyrere enn stål/betong.

FS2: Hvilke klimagevinster får man ved å bygge idrettshaller i massivtre sammenlignet med stål og betong?

Funderud (2022) kom frem til fire casebaserte klimagevinster i sin analyse på -0,7 %, 9,5 %, 3,3 % og 6,5 %. I tre av tilfellene er det en klimagevinst ved å bygge i massivtre, for det siste tilfellet er det færre utslipp forbundet med den konvensjonelle metoden stål og betong.

Fra våre egne resultater i avsnitt 5.6.2 kom vi frem til at klimagevinsten ved å bygge i massivtre var 38 % basert på en sammenligning av Oksenøya og Emma Hjorth.

FS3: Hvordan endres estimert lønnsomhet seg ved bruk av ulike metodiske tilnærminger?

For første metodiske tilnærming (LCC) fikk vi resultater som spenner fra 4,2 % til 194,1 % i sensitivitetsanalyse 5.4.4.3 og 5.4.4.5. Fra selve hovedanalysen (avsnitt 5.4.2) fikk vi en meget høy nødvendig klimagevinst på 84,5 %, men for avsnitt 5.4.4.1 fikk vi en gevinst på 4,2 %. Dette viser at differansen i kvadratmeterpris er utslagsgivende for om vi får et høyt eller lavt estimat. For den andre tilnærmingen fikk vi to resultater på 5,9 % og 0,3 %, fra henholdsvis

5.5.1 og 5.5.2. Disse gir langt mer positive resultater, dersom man ønsker at valget i flere tilfeller skal lande på massivtre over det konvensjonelle.

Dersom en reell klimagevinst måtte være på ca 84 % og dette var kjent for beslutningstakerne, ville vi sannsynligvis sett færre idrettshaller i massivtre enn det vi ser i dag. Det kan være andre faktorer vi ikke har vurdert i vår studie som kan føre til valg av massivtre over konvensjonelle materialer.

Vi velger derfor å konkludere med at metoden gjennomført i delkapittel 5.5 gir et resultat som samsvarer med nødvendige klimagevinster ved å bygge i massivtre for at det skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

6.2 Begrensninger i oppgaven

Allerede i mars så vi at mangel på data ville skape utfordringer for arbeidet vårt. Dersom vi i utgangspunktet hadde hatt større datagrunnlag, ville det kanskje ikke vært nødvendig å gå over til estimeringsmetodene i delkapittel 5.2 og påfølgende delkapittel.

En annen sentral svakhet ved analysene er mangelen på sammenligningstall for de nødvendige klimagevinstene. Med bakgrunn i hvordan vi har estimert, har det vært krevende å finne utslippstall på massivtre og stål/betong som er sammenlignbare med resultatene fra analysene. Vi har kun sammenlignet med to av dataobservasjonene og Funderud (2022) sine funn. Dersom vi hadde funnet mer litteratur på utslipp fra slike bygg ville det sannsynligvis styrket sikkerheten i konklusjonene vi har tatt.

6.3 Videre forskning

I forbindelse med videre arbeid, ville det være interessant å videreføre forskningen rundt klimagassutslipp fra nybygg fra et økonomisk perspektiv. I stedet for kun å se på totale utslipp ved oppføring, kan det også være hensiktsmessig å se på utslipp fra forskjellige faser av bygningens levetid, og om dette påvirker lønnsomheten i positiv eller negativ retning.

Idrettshaller, som i utgangspunktet er relativt homogene bygg, har vist seg å være mer kompliserte å sammenligne enn forutsatt. Mange idrettshaller blir bygd i forbindelse med skoler, og utbyggerne sliter med å skille ut hva som er kostnader til skolebygget og hva som kun gjelder for idrettshallen. Ved å se på andre bygg, som for eksempel kontorbygg, industribygg eller boligbygg, kan vi få mer kunnskap om byggekostnader og forventede

klimaeffekter av å bygge i massivtre sammenlignet med stål og betong. Det er viktig å påse at forutsetningene for funksjonsgrunlaget for bygg man eventuelt velger, er i samsvar med faktiske forhold for å gjennomføre en sammenligningsanalyse med mer pålitelige resultater.

Den teknologiske fremgangen i materialene hadde også vært interessant å se på. Som vi skrev om i delkapittel 2.5 er massivtre en relativt umoden teknologi i forhold til stål og betong. Dersom man kan få tilgang til et riktig datagrunnlag for massivtre og stål og betong, vil det være mulig å estimere seg frem til hvordan både utslipp og kostnadsutviklingen har vært over tid. Et eventuelt samarbeid med en eller flere anvendte forskningsinstitusjoner kan lønne seg for raskt å sikre pålitelige og oppdaterte data.

Vi har tatt utgangspunkt i nybygg. Det ville også vært interessant å se nærmere på renovering og tilpasning av allerede oppførte bygg. Oslo har blant annet en stor andel verneverdige og eldre bygårder som sannsynligvis ikke kvalifiserer til kommende krav til energibruk til akseptable kostnader.

6.4 Avsluttende refleksjoner

Selv om det har vært en krevende oppgave å arbeide med, har det samtidig vært en utrolig lærerik prosess. Det å jobbe med en så kompleks og ikke minst viktig problemstilling innen vårt fagfelt, har vært både meningsfylt og faglig inspirerende.

Som vi har nevnt tidligere, var prosessen med å samle inn data til tider krevende. En viktig erfaring å ta med seg videre, er derfor viktigheten av grundig planlegging, tydelig kommunikasjon og ikke minst nok tid i forbindelse med innhenting av data. Jo mer tydelig og presis man klarer å kommunisere med respondentene, jo større er sannsynligheten for å få gode og relevante data å jobbe med. Selv om vi jobbet mye med innhold og budskap i vår korrespondanse med kommuner og entreprenører, opplevde vi at spørsmål ble besvart på ulike måter og med delvis mangelfulle data.

Det var heller ikke alltid lett å finne riktig kontaktperson. Særlig hos de store entreprenørene og kommunene kunne vi oppleve å bli sendt rundt fra den ene til den andre før vi kom i kontakt med noen som faktisk kunne svare på det vi spurte om. Dette er naturligvis en del av gamet, men gjør at det å oppdrive data er en møysommelig og tidvis frustrerende prosess.

Til slutt ønsker vi å trekke frem noen tanker rundt analysene som er gjennomført, og som vi anser som selve kjernen i oppgaven. Vi visste at datagrunnlaget var snevert, men vi håpet likevel at det skulle lede frem til pålitelige resultater. Da det ikke var tilfelle, har det vært spennende og lærerikt å begi seg ut på estimeringsmetoden vi gjennomførte i delkapittel 5.4 og 5.5. Dette var egentlig ikke en metodisk tilnærming vi så for oss da vi startet på dette arbeidet.

Oppgaven har lært oss mye, som at forskning er som en tursti med både snublesteiner og bratte skrenter. Underveis fikk vi erfare at den stien vi hadde staket ut på forhånd, ikke var så farbar som vi hadde trodd. Da gjelder det å være løsningsorientert og finne alternative veier som kan føre oss fram til målet. Det gjør ferden både spennende, utfordrende og utviklende. Det har også gitt oss mye ny lærdom og kompetanse som vi håper og tror kan ha stor overføringsverdi til arbeidslivet som nå venter oss.

Referanseliste

- Aarstad, J., Glasø, G., & Bunkholt, A. (2011, 1. august). *Massivtre*. Trefokus. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>
- Betongfokus (2023, 13. november). “Det gamle er det nyeste nye” – om betong og mur på Rogaland Kunstsenter. Betongfokus.no <https://www.betongfokus.no/2023/11/13/det-gamle-er-det-nyeste-nye-om-betong-og-mur-pa-rogaland-kunstsenter/>
- Betongsentrum (u.å.) *Betongsentrum: lavkarbonbetong*. Hentet 22. april 2024 fra <https://www.betongsentrum.no/lavkarbonbetong/>
- Brogan, C. (2021, 20. mai). *Best ways to cut carbon emissions from the cement industry explored* | Imperial News. Imperial College London. <https://www.imperial.ac.uk/news/221654/best-ways-carbon-emissions-fra-cement/>
- Bugge, L. (2016, 26. Februar). *Bruk av tre i offentlige bygg*. Asplan viak. https://trebruk.no/wp-content/uploads/2023/02/Trebruk_24s-godkjent-lavopplost.pdf
- Byggstart. (u.å). *TEK17: En komplett guide (våtrom, soverom, brannklasser)*. Hentet 23. januar 2024 fra <https://www.byggstart.no/guide/tek17#Tekst-01>
- Deloitte. (2020, 3. september). *Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi – Delutredning 2 Barrierer for å utløse potensial for sirkulær økonomi i Norge*. https://www.regjeringen.no/contentassets/7ca1a81f57cc4611a193570e80c4dafd/deloitte_kunnskapsgrunnlag-sirkular-okonomi_barrierer.-delrapport-2.pdf
- Dessler, A. E. (2021). *Introduction to modern climate change* (3. Utg). SD Books.
- Dietz, F. J., & Van der Straaten, J. (1992). Rethinking environmental economics: missing links between economic theory and environmental policy. *Journal of economic Issues*, 26(1), 27-51.
- Direktoratet for byggkvalitet. (u.å). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet 17. januar 2024 fra <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/17/17-1>
- DNB. (u.å.-a). *Grønne lån til næringseiendom og boligprosjekter*. Hentet 3. mai 2024 fra <https://www.dnb.no/bedrift/finansiering/bedriftsloan/gronne-lan/naringseiendom-og-boligprosjekter>
- DNB (u.å.-b). *Valutakalkulator*. Hentet 14.mars 2024 fra <https://www.dnb.no/markets/valuta-og-renter/valutakalkulator>
- Energiverket (u.å.). *Hva er passivhus, nullhus og plusshus?*. Hentet 02. mai 2024 fra <https://energiverket.no/hva-er-passivhus-nullhus-og-plusshus/>

European Commission. (u.å.-a). *Construction and demolition waste*. Hentet 17. januar 2024 fra https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en

European Commission. (u.å.-b). *Corporate sustainability reporting*. Hentet 30. april 2024 fra https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en

European Commission. (u.å.-c). *EU Taxonomy Navigator - Construction of new buildings*. Hentet 1. februar 2024 fra <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/350/view>

European Commission. (u.å.-d). *The European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent*. Hentet 13. mai fra https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Fjellheim, H. (2023, 15. september). Mot nullutslipp i EUs kvotesystem. *Finansavisen*. https://www.finansavisen.no/esg/2023/09/15/8029488/mot-nullutslipp-i-eus-kvotesystem?zephyr_sso_ott=zI5VjL

Finansdepartementet. (2021). *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser*. (R-109) [Rundskriv]. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2021.pdf

Flåten, I., & Kyllingstad, M. (2022). *Emma Hjorth Skole: Klimaregnskap*. Sweco.

FN-Sambandet. (2023, 21.mars). *Klimaendringer*. <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>

Friedman, M. (1968). The Role of Monetary Policy. *American Economic Review*, 58(1), 1-17. <https://www.aeaweb.org/aer/top20/58.1.1-17.pdf>

Funderud, K. F. (2022). *Effekten av massivtre på klimagassutslipp og økonomiske kostnader forbundet med skoler gjennom et livsløp*. [Masteroppgave]. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. NMBU brage. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/3030827/Funderud%202022.pdf?sequence=1>

FutureBuilt. (u.å.). *Om oss*. Hentet 2. februar 2024 fra <https://www.futurebuilt.no/Om-oss>

FutureBuilt. (2024, 1. februar). *Zero bygg*. <https://futurebuilt-zero.web.app/kriterier/zero-bygg>

Glosli, C. (2018, 28. mai). Så miljøvennlige er trebygg. *Forskning.no*. <https://www.forskning.no/jord-og-skog-miljo-nmbu-norges-miljo-og-biovitenskapelige-universitet/sa-miljovennlige-er-trebygg/266554>

Gluch, P., & Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and environment*, 39(5), 571-580. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.10.008>

Gode idrettsanlegg. (2021, 3. mai). *Finansieringsmetoder*. <https://www.godeidrettsanlegg.no/verktoy/finansieringsmetoder>

Gode idrettsanlegg. (2023, 12. mars). *Idrettshall*. <https://www.godeidrettsanlegg.no/anleggstype/idrettshall>

Grønmo, S. (2023a, 16. januar). Kvalitativ metode. *Store norske leksikon*. https://snl.no/kvalitativ_metode?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwncWvBhD_ARIsAEb2HW_C3wBpRPGciMu-giNNEF8O5OQYK-rm6lutHwpfVb4fNqlJi8klfPAaAohQEALw_wcB

Grønmo, S. (2023b, 16. januar). Kvantitativ metode. *Store norske leksikon*. https://snl.no/kvantitativ_metode?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwncWvBhD_ARIsAEb2HW_iZi1kYzCjiSzd47tkyM_vCTuLupY0fXVoIMPg6JO_cbtU6bsQNhIaAv5nEALw_wcB

Grønn Byggallianse. (2022, 17. mars). *BREEAM-NOR v.6.0 for nybygg*. https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2022/03/BREEAM-NOR-v6.0_NOR.pdf

Grønn Byggallianse. (u.å.). *Ofte stilte spørsmål om BREEAM-NOR – Grønn byggallianse*. Hentet 22. januar 2024 fra <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/manual-verktoy-og-hjelp/breeam-nor-faq/#1645191836556-1fa7eef0-4681>

Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I., Bjørn, A., Moltesen, A., Owsianiak, M., Molin, C., & Laurent, A. (2018). Life cycle assessment. *Springer International Publishing*, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3> Book.

Hobøl kommune (2019). *Finansiering av flerbrukshallen på Knapstad*. Hobøl kommunestyre saksnr. 19/597. <https://innsyn.acosky.no/hobol/hist/wfdocument.ashx?journalpostid=2019000597&dokid=50425&versjon=1&variant=A&>

Holte, K., & Barlindhaug, R. (2004). *Status for livssyklus kostnader i tilknytning til boliger*. Prosjektrapport 374. Byggforsk - Norges byggforskningsinstitutt. <https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/prosjektrapport374.pdf>

Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Elsevier*, 81(2), 1906-1916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>

IEA. (2019, desember). *Global Status Report for Buildings and Construction 2019*. Hentet 17. januar 2024 fra <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction->

[2019?fbclid=IwAR020tN1WmiBEam5IdtdOcvdshLDgjtgnrW3F2SKGgktzEGBoLfegGVV
KO](https://www.forskning.no/teknologi/svensk-selskap-lager-stal-uten-kull-na-er-forste-leveranse-sendt-til-volvo/1900643?fbclid=IwAR2CUe_FixrbgIszwFNCZSonQhMqvhMgxdJ8RGI7uOLMb8nBmpr-p6m7Sg)

Kjørstad, E. (2021, 26. august). Svensk selskap lager stål uten kull. Nå er første leveranse sendt til Volvo. *forskning.no*. https://www.forskning.no/teknologi/svensk-selskap-lager-stal-uten-kull-na-er-forste-leveranse-sendt-til-volvo/1900643?fbclid=IwAR2CUe_FixrbgIszwFNCZSonQhMqvhMgxdJ8RGI7uOLMb8nBmpr-p6m7Sg

Larsen, V. G., Tollin, N., Sattrup, P. A., Birkved, M., & Holmboe, T. (2022). What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA. *Journal of Building Engineering*. 50, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104203>

Lavik, T., & Skjevnik, K. (2020). Kritikk av den rene tidsdiskontering. Bør vi tilskrive velferden til fremtidige generasjoner lavere verdi?. *Norsk filosofisk tidsskrift*, 55(2-3), s. 157–169. <https://doi.org/10.18261/issn.1504-2901-2020-02-03-06>

Lenton, M. T., Held, H., Kriegler, E., Hall, W. J., Lucht, W., Rahmstorf, S. & Schellnhuber, J. H. (2008, 12. februar). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 1 786- 1 793. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0705414105>

Lund, C. P. (2023, 1. juni). Et miljøvennlig skolebygg trenger ikke koste mer. *Utdanningsnytt*. <https://www.utdanningsnytt.no/baerekraftig-utvikling-cathrine-pia-lund-klima/et-miljoventlig-skolebygg-trenger-ikke-koste-mer/361705>

Miljødirektoratet. (2024, 2. januar). *EUs klimavotesystem*. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimavoter/eus-klimavotesystem/>

Miljødirektoratet. (2023, 17. januar). *Veileder: Hvordan ta hensyn til klimaendringer i plan?* <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/veiledning-til-statlige-planretningslinjer-for-klimatilpasning/nodvendig-kunnskap/>

Mosland, T. (2013, 26. november). *Hva er et passivhus?* Tekna. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hva-er-et-passivhus/>

Mueller, D. C. (2004). Models of man: neoclassical, behavioral, and evolutionary. *Politics, Philosophy & Economics*, 3(1), 59-76. <https://doi.org/10.1177/1470594X04039982>

Muth, J. F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica* 29(3), 315-335. <https://www.jstor.org/stable/1909635?origin=crossref>

Nævdal, E. & Vislie, J. (2013). Resource depletion and capital accumulation under catastrophic risk: Policy actions against stochastic thresholds and stock pollution. *Memorandum*, no 24/2013. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/90718/1/769834744.pdf>

Gulden, K. T. (2023, 7. desember). *Klima- og samfunnseffekter av økt trebruk i Norge*. NIBIO. https://www.nibio.no/nyheter/klima-og-samfunnseffekter-av-okt-trebruk-i-norge?fbclid=IwAR3OFWZ4rPeTEQXGPa7TUozPB9_K0IGmA7LkU5KuDf1U0zhdMzryRQyt5Ao

Nilsen, H. (2020, 5. november). Den tredelte bunnlinje. *Store Norske Leksikon*. https://snl.no/Den_tredelte_bunnlinje

Nilsen, I. & Lillegraven, I. (2020). *Oksenøya skole, klimagassberegning*. Veidekke. <https://www.futurebuilt.no/content/download/21756/129210>

Nordal, A. G. (2023, 20. juni). *Denne byggemetoden kan redusere 70 prosent av klimautslippene*. TEKNA. https://www.tekna.no/magasinet/Denne-byggemetoden-kan-reducere-70-prosent-av-klimautslippene/?fbclid=IwAR0ezg6OzBpJHyiAvaG44Ez9nRXSic_MZAho7ZC3MafB8AUCjiyoeiX0p_s

Nordhaus, W. (2007). A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, 45, 686–702. <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jel.45.3.686>

Nordic Steel (u.å.) *Nordic Steel tilbyr grønt stål: En løsning for en mer bærekraftig verden*. Hentet 22. april 2024 fra <https://www.nordicsteel.no/fagartikler/tilbyr-gront-stal>

Norsk Byggallianse. (2023, 10. august). *EUs taksonomi – nye rammebetingelser for bærekraft – Grønn byggallianse*. <https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/nye-rammebetingelser-for-baerekraft-i-bygg-og-eiendom/#1606741285578-be585f95-d079>

Norsk kommunalteknisk forening (u.å.). *Felles standard for investeringer i kommunale formålsbygg i Osloregionen?*. NKF bygg og eiendom. Hentet 02. mai 2024 fra <https://www.kommunalteknikk.no/felles-standard-for-investeringer-i-kommunale-formaalsbygg-i-osloregionen.5910686-40825.html>

Norsk Stål. (2022, 18. mai). *Reduser CO₂ - utslippene dine med Miljømetall™ Vi kan redusere CO₂*. <https://www.norskstaal.no/aktuelt/produktnyheter/reduser-co2-utslippene-dine-med-miljoemetall>

Norsk Stålforbund. (u.å.). *Miljø*. Hentet 23. januar 2024 fra <https://www.stalforbund.no/wp-content/uploads/2021/02/Miljobyggingistaal.pdf>

NOU 1998:6. (1998). *Nytte-kostnadsanalyser: Veiledning i bruk av lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor*. Finans og tolldepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/665d0f4312f545f18b4028694a003412/no/pdfa/nou199819980016000dddpdfa.pdf>

- NOU 2012:16. (2012). *Samfunnsøkonomiske analyser*. Finansdepartementet.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/5fce956d51364811b8547eebdbcde52c/no/pdfs/nou201220120016000dddpdfs.pdf>
- NOU 2023:15. (2023). *Bærekraftsrapportering: Gjennomføring av direktivet om bærekraftsrapportering (CSRD)*. Finansdepartementet.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/bf46c3c7dc764834a0ce5bc3370918b7/no/pdfs/nou202320230015000dddpdfs.pdf>
- NOU 2023:25. (2023). *Omstilling til lavutslipp: Veivalg for klimapolitikken mot 2050*. Klima- og miljødepartementet.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/20944f0c5bf14bd5b5112ae8aa08e853/no/pdfs/nou202320230025000dddpdfs.pdf>
- Nyrud, A. Q., & Glasø, G. (2018, 30. april). Forskeren forteller: Neste generasjons trebygg kommer nå. *Forskning.no*. <https://www.forskning.no/arkitektur-bygningsmaterialer-forskeren-forteller/forskeren-forteller-neste-generasjons-trebygg-kommer-na/272123>
- OpenAI, (2022, 30. november). *Introducing ChatGPT*.
<https://openai.com/blog/chatgpt>
- Perino, G. (2018). New EU ETS Phase 4 rules temporarily puncture waterbed. *Nature Climate Change*, 8(4), 262-264. <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0120-2>
- Perman, R., Ma, Y., Common, M., Maddison, D., & Mcgilvray, J. (2011). *Natural resource and environmental economics* (4). Pearson.
- PwC. (2023, 23. oktober). *Nå blir bærekraftsrapportering likestilt med finansiell rapportering*. PwC Norge. <https://www.pwc.no/no/pwc-aktuelt/naa-blir-baerekraftsrapportering-likestilt-med-finansiell-rapportering.html>
- Regjeringen. (2024a, 22. januar). *Dette er klimakvotesystemer på bedriftsnivå*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimakvoter/id2076655/>
- Regjeringen. (2021a, 16. november). *EUs klimapakke Klar for 55 (Fit for 55)*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/eus-klimapakke-klar-for-55/id2887217/>
- Regjeringen. (2023, 20. november). *Forsterket kvotesystem 2021-2030*.
<https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/aug/forsterket-kvotesystem-2021-2030/id2878386/>
- Regjeringen. (2021b, 10. oktober). *Internasjonale klimaforhandlinger*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/de-internasjonale-klimaforhandlingene/id2741333/>

Regjeringen. (2024b, 15. januar). *Taksonomien for bærekraftig økonomisk aktivitet*. <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/finansmarkedene/taksonomien-for-barekraftig-okonomisk-aktivitet/id2924859/>

Regjeringen. (u.å.). *Veiledning om beregning av primærenergibehov i bygninger og energirammer for nesten nullenergibygninger*. Hentet 13. mai fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/60e8f8ec02e246079f4af4d9578d78c2/veiledning-om-beregning-av-primarenergibehov-og-nesten-nullenergibbygg.pdf>

Rosendahl, K. E., & Böringer, C. (2010). Green promotes the dirtiest: on the interaction between black and green quotas in energy markets. *Journal of Regulatory Economics*, 37, 316–325. <https://doi.org/10.1007/s11149-010-9116-1>

Rosendahl, K. E., & Wangsness, P. B. (2023) Karbonpriser til bruk i nyttekostnadsanalyser i Norge. *Samfunnsøkonomen*, 37(3), 34-44. <https://www.samfunnsokonomen.no/asset/Utgaver/2023/03/Samf-2023-03.pdf>

Sirens, E., Stoltz, G., & Nilsen, H., R. (2021, 10. januar). nytte-kostnadsanalyse. I *Store Norske Leksikon*. https://snl.no/nytte-kostnadsanalyse?gclid=Cj0KCQiAzoeuBhDqARIsAMdH14HmGLINGwD7eJS-BHsalP_5CaYDUm-qtqU3MeoWSGXrXj2mJz6b-kMaAvO4EALw_wcB

Skanche, M., Halvorsen, K., Bjørnstad, T., Thorburn, K., & Ekeli, T. (2021, 15. august). *Klimarisiko og Oljefondet*. Regjeringen. <https://www.regjeringen.no/contentassets/fb49a0e957324d7caadb625c6ec4490c/no/pdfs/r-0655-b-klimarisiko-og-oljefondet.pdf>

Skara, A. B. (2022, 31. januar). *Rekordhøy tømmerhogst*. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogavvirkning-for-salg/artikler/rekordhoy-tommerhogst>

Splitkon. (2019, 3. april). *Miljøvernministeren åpnet verdens største massivtrefabrikk*. <https://splitkon.no/nyheter/miljovernministeren-apnet-verdens-storste-massivtrefabrikk/>

Standard Norge. (u.å.-a). *Livssyklus kostnader for byggverk – NS 3454*. Hentet 1. februar 2024 fra <https://standard.no/fagomrader/ns-3420-/livssyklus-kostnader-for-byggverk---ns-3454/>

Standard Norge. (u.å.-b). *NS-EN 16627:2015/G1:2023*. Hentet 1. februar 2024 fra <https://online.standard.no/nb/ns-en-16627-2015g1-2023>

Stata (u.å.). *Why stata*. Hentet 10. mars 2024 fra <https://www.stata.com/why-use-stata/>

Statistisk sentralbyrå (u.å.). *Byggekostnadsindeks for bosteder*. Hentet 23. april 2024 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/08651/>

Statistisk sentralbyrå. (2023, 13. desember). *Waste fra building and construction*. <https://www.ssb.no/en/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfall-fra-byggeaktivitet>

- Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *The American Economic Review*, 98(2), 1-37. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.98.2.1>
- Stoltz, G., & Andersen, M. E. (2021, 30. desember) Samfunnsøkonomisk historie. *Store norske leksikon*. https://snl.no/samfunns%C3%B8konomisk_historie
- Strand, S. (2017, 30. mars). *Resirkulert betong kan suge mer CO₂ ut av luften*. Byggeindustrien-bygg. <https://www.bygg.no/resirkulert-betong-kan-suge-mer-co-2-ut-av-luften/1309843!/>
- Thue, J. V. (2019, 19. juli). Betong. *Store norske leksikon*. <https://snl.no/betong>
- Trading Economics (u.å.) *EU Carbon Permits*. Hentet 24. januar 2024 fra <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- Tunmo, T. (2023, 10. juli). Fortsatt for svak LCC-bevissthet hos byggherrer. *Byggeindustrien - bygg.no*. <https://www.bygg.no/fortsatt-for-svak-lcc-bevissthet-hos-byggherrer/1530426!/>
- Waage, L. I. (u.å.). *Lager betong nesten uten CO₂-utslipp*. næringsforeningen.no. Hentet 11. januar 2024 fra <https://naeringsforeningen.no/annenmedia/lager-betong-nesten-uten-co2-utslipp/index.html?fbclid=IwAR2te6yCqcPwpQ43Km-QR667hcd4Rt1qbSSlo8Y6EORHac2IV7On201iYRE>
- Weber, R. (2021). Embedding futurity in urban governance: Redevelopment schemes and the time value of money. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 53(3), 503–524. <https://doi.org/10.1177/0308518X20936686>
- Weitzman, M. (2007) A review of the Stern Review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, 45(3), 703-724. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.45.3.703>
- Weitzman, M. (2001). Gamma discounting: *American economic review*, 91(1), 260-271. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.91.1.260>
- Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (7.). Cengage
- ZEB-The Resource Centre on Zero Emission Buildings. (u.å.-a). *About the ZEB Centre*. Hentet 2. februar 2024 fra <http://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/about-the-zeb-centre>
- ZEB-The Resource Centre on Zero Emission Buildings. (u.å.-b). *ZEB Definitions*. Hentet 2. februar 2024 fra <http://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/zeb-definitions>
- Zeiner, K. R., & Reyr, B. (2023, 28. mars). Her er EU-kravene eiendomsbransjen må ruste seg for. *Estatenyheter*. <https://www.estatenyheter.no/her-er-eu-kravene-eiendomsbransjen-ma-ruste-seg-for/369662>

ÆRA Strategic Innovation. (2020). *Fremtidens forretningsmodeller i byggebransjen*. Hentet 12. Januar 2024 fra

https://www.tekpluss.no/_files/ugd/13ac66_3f598df078ba48a3981601f5eea38d7f.pdf?index=true&fbclid=IwAR3u_klH8C_E5MuY8t2HOamtFeKYgK0RnfOc1See8O-MHK61CNkTZrzA700

Vedlegg:

Vedlegg A: Data fra idrettshaller

A.1: Kodalhallen.....	86	A.12: Knapstadhallen.....	91
A.2: Dælenenga.....	86	A.13: SVGS idrettshall.....	92
A.3: Østre Greverud idrettshall.....	87	A.14: Åssiden fotballhall.....	92
A.4: Oksenøya flerbrukshall.....	87	A.15: Emma Hjorth idrettshall.....	93
A.5: Frogner idrettspark.....	88	A.16: Lislebyhallen.....	93
A.6: Raufoss idrettshall.....	88	A.17: Trosvikhallen.....	94
A.7: Lystlunden idrettshall.....	89	A.18: Volda Campus Arena.....	94
A.8: Leikvoll C.....	89	A.19: Bjørkelangen.....	95
A.9: Røyken.....	90	A.20: Marvikshallen.....	95
A.10: Nesbru.....	90	A.21: Kringsjåhallen.....	96
A.11: Brandengen flerbrukshall.....	91		

Vedlegg B: Byggekostnadsindeks for bosteder

B.1: Byggekostnadsindeks per måned 2012-2024.....	97
B.2: Gjennomsnittlig byggekostnadsindeks per år 2012-2025.....	99

Vedlegg C: Sentrale kalkulasjoner i Excel

C.1: Justerte utregninger for kvadratmeterpris.....	100
C.2: Utslippsberegninger fra Funderud (2022).....	100
C.3: CO ₂ -pris per tonn (NOK).....	100

Vedlegg D: Kvotepriser til bruk i samfunnsøkonomiske analyser

D.1: Kvotepliktig utslipp (unntatt luftfart og petroleum) 2023-2100.....	101
D.1.1: Prosentvis økning i kvotepris.....	102
D.2: Diskonterte Kvotepriser (2023-2100).....	103
D.3: Kvotepriser ved γ_{0-40} 3,84 % (2023-2083).....	104
D.4: Kvotepriser ved γ_{0-40} 10 % (2023-2083).....	106
D.5: Kvotepriser ved γ_{0-40} 6 % (2023-2083).....	107

D.6: Kvotepriiser ved γ_{0-40} 1 % (2023-2083).....	108
D.7: Kvotepriis ved OLS estimering.....	109

Vedlegg E: Resultat av regresjonsanalysene

E.1: Regresjon 1: Resultat med skoler.....	111
E.2: Regresjon 2: Resultat uten skoler.....	112
E.3: Regresjon 3: Resultat med tidskorrigerede kostnader.....	113
E.4: Regresjon 4: Resultat uten Emma Hjort og Oksenøya.....	114
E.5: Teknologisk fremgang.....	116
E.6: Klimakostnad utifra valg av materiale.....	117

Vedlegg F: Mail sendt til kommuner og entreprenører

F.1: Mail sendt til kommuner og entreprenører.....	118
--	-----

Vedlegg A: Data for idrettshaller

A.1: Kodalhallen

NAVN	Kodalhallen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Sandefjord	Pris per m2 (BTA)	19 312
Skole?	NEI	Justert kr/m2	23 851
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	796
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2020	Utslipp for hallen i tonn	1 377
TEK	17	Co2 kostnad	1 095 285
Spillflater	1 067		
Annen idrettslig aktivitet	-		
BTA	2 035		
Sosiale rom	55		
Garderobes (STK)	4		
Totale byggekostnader	39 300 000		
Totale justerte byggekostnader	48 536 775		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	39 300 000		

A.2: Dælenenga

NAVN	Dælenenga	Nødvendige utregninger	
Kommune	Oslo	Pris per m2 (BTA)	50 820
Skole?	NEI	Justert kr/m2	46 544
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2025	Utslipp for hallen i tonn	4 127
TEK	17	Co2 kostnad	2 800 048
Spillflater	1 125		
Annen idrettslig aktivitet	1 150		
BTA	6 100		
Sosiale rom	250		
Garderobes (STK)	6		
Totale byggekostnader	310 000 000		
Totale justerte byggekostnader	283 921 348		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	310 000 000		

A.3: Østre Greverud idrettshall

NAVN	Østre Greverud idrettshall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Nordre Follo	Pris per m2 (BTA)	16 794
Skole?	NEI	Justert kr/m2	25 832
Material	Stål/Betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2012	Utslipp for hallen i tonn	1 606
TEK	10	Co2 kostnad	1 089 661
Spillflater	1 114		
Annen idrettslig aktivitet	119		
BTA	2 278		
Sosiale rom	384		
Garderober (STK)	6		
Totale byggekostnader	38 254 000		
Totale justerte byggekostnader	58 843 755		
Prosjektering	1 600 000		
Grunnarbeid	2 781 465		
Oppføring	30 371 335		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	3 501 200		

A.4: Oksenøya flerbrukshall

NAVN	Oksenøya flerbrukshall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Bærum	Pris per m2 (BTA)	68 933
Skole?	NEI	Justert kr/m2	71 994
Material	Stål/Betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2022	Utslipp for hallen i tonn	1 322
TEK	17	Co2 kostnad	896 929
Spillflater	1 133		
Annen idrettslig aktivitet	225		
BTA	1 875		
Sosiale rom	-		
Garderober (STK)	-		
Totale byggekostnader	129 250 000,00		
Totale justerte byggekostnader	134 988 777		
Prosjektering	4 200 000		
Grunnarbeid	33 812 500		
Oppføring	91 237 500		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	-		

A.5: Frogner idrettspark

NAVN	Frogner idrettspark	Nødvendige utregninger	
Kommune	Lillestrøm	Pris per m2 (BTA)	14 583
Skole?	NEI	Justert kr/m2	19 555
Material	Stål/Betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2017	Utslipp for hallen i tonn	5 076
TEK	10	Co2 kostnad	3 444 208
Spillflater	3 320		
Annen idrettslig aktivitet	568		
BTA	7 200		
Sosiale rom	228		
Garderobes (STK)	12		
Totale byggekostnader	105 000 000		
Totale justerte byggekostnader	140 798 100		
Prosjektering	3 800 000		
Grunnarbeid	15 800 000		
Oppføring	85 000 000		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	400 000		

A.6: Raufoss idrettshall

NAVN	Raufoss Idrettshall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Vestre Toten	Pris per m2 (BTA)	20 554
Skole?	NEI	Justert kr/m2	21 466
Material	Stål/betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2022	Utslipp for hallen i tonn	1 974
TEK	17	Co2 kostnad	1 339 414
Spillflater	1 180		
Annen idrettslig aktivitet	580		
BTA	2 800		
Sosiale rom	160		
Garderobes (STK)	4		
Totale byggekostnader	57 550 000		
Totale justerte byggekostnader	60 105 254		
Prosjektering	2 600 000		
Grunnarbeid	3 900 000		
Oppføring	27 000 000		
Energiløsninger	1 350 000		
Resterende budsjett	22 700 000		

A.7: Lystlunden idrettshall

NAVN	Lystlunden Idretthall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Horten	Pris per m2 (BTA)	18 040
Skole?	NEI	Justert kr/m2	23 418
Material	Stål/betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2018	Utslipp for hallen i tonn	5 158
TEK	17	Co2 kostnad	3 500 177
Spillflater	2 250		
Annen idrettslig aktivitet	250		
BTA	7 317		
Sosiale rom	140		
Garderober (STK)	6		
Totale byggekostnader	132 000 000		
Totale justerte byggekostnader	171 346 057		
Prosjektering	4 000 000		
Grunnarbeid	11 200 000		
Oppføring	99 400 000		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	17 400 000		

A.8: Leikvoll C

NAVN	Leikvoll C	Nødvendige utregninger	
Kommune	Asker	Pris per m2 (BTA)	29 066
Skole?	NEI	Justert kr/m2	35 897
Material	Stål/betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2020	Utslipp for hallen i tonn	3 137
TEK	17	Co2 kostnad	2 128 712
Spillflater	1 125		
Annen idrettslig aktivitet	150		
BTA	4 450		
Sosiale rom	-		
Garderober (STK)	12		
Totale byggekostnader	129 342 350		
Totale justerte byggekostnader	159 742 000		
Prosjektering	4 394 106		
Grunnarbeid	10 079 526		
Oppføring	20 625 000		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	94 243 718		

A.9: Røyken

NAVN	Røyken	Nødvendige utregninger	
Kommune	Asker	Pris per m2 (BTA)	52 632
Skole?	NEI	Justert kr/m2	50 321
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 024	Utslipp for hallen i tonn	1 928
TEK	17	Co2 kostnad	1 308 219
Spillflater	1 125		
Annen idrettslig aktivitet	210		
BTA	2 850		
Sosiale rom	60		
Garderober (STK)	6		
Totale byggekostnader	150 000 000		
Totale justerte byggekostnader	143 413 610		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	105 000 000		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	45 000 000		

A.10: Nesbru

NAVN	Nesbru	Nødvendige utregninger	
Kommune	Asker	Pris per m2 (BTA)	52 632
Skole?	NEI	Justert kr/m2	48 204
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 025	Utslipp for hallen i tonn	1 928
TEK	17	Co2 kostnad	1 308 219
Spillflater	1 125		
Annen idrettslig aktivitet	210		
BTA	2 850		
Sosiale rom	60		
Garderober (STK)	6		
Totale byggekostnader	150 000 000		
Totale justerte byggekostnader	137 381 297		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	105 000 000		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	45 000 000		

A.11: Brandengen flerbrukshall

NAVN	Brandengen flerbrukshall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Drammen	Pris per m2 (BTA)	26 599
Skole?	NEI	Justert kr/m2	33 633
Material	Stål/Betong		
Skole (BIN)	-	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	-	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 019	Utslipp for hallen i tonn	1 665
TEK	10	Co2 kostnad	1 129 413
Spillflater	1 125		
Annen idrettslig aktivitet	60		
BTA	2 361		
Sosiale rom	-		
Garderobes (STK)	4		
Totale byggekostnader	62 800 000		
Totale justerte byggekostnader	79 407 257		
Prosjektering	3 368 750		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	29 058 408		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	30 372 842		

A.12: Knapstadhallen

NAVN	Knapstadhallen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Indre østfold	Pris per m2 (BTA)	26 955
Skole?	NEI	Justert kr/m2	33 291
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	798
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 020	Utslipp for hallen i tonn	1 782
TEK	17	Co2 kostnad	1 422 527
Spillflater	1 125		
Annen idrettslig aktivitet	607		
BTA	2 634		
Sosiale rom	198		
Garderobes (STK)	4		
Totale byggekostnader	71 000 000		
Totale justerte byggekostnader	87 687 304		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	71 000 000		

A.13: Sandefjord videregående skole idrettshall

NAVN	SVGS	Nødvendige utregninger	
Kommune	Sandefjord	Pris per m2 (BTA)	16 914
Skole?	NEI	Justert kr/m2	21 386
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 019	Utslipp for hallen i tonn	1 679
TEK	10	Co2 kostnad	1 139 298
Spillflater	1 525		
Annen idrettslig aktivitet	151		
BTA	2 482		
Sosiale rom	83		
Garderobes (STK)	6		
Totale byggekostnader	41 979 691		
Totale justerte byggekostnader	53 081 085		
Prosjektering	1 383 750		
Grunnarbeid	4 462 500		
Oppføring	36 133 441		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	-		

A.14: Åssiden fotballhall

NAVN	Åssiden fotballhall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Drammen	Pris per m2 (BTA)	20 554
Skole?	NEI	Justert kr/m2	23 347
Material	Stål/Betong		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 021	Utslipp for hallen i tonn	2 950
TEK	17	Co2 kostnad	2 001 468
Spillflater	4 140		
Annen idrettslig aktivitet	155		
BTA	4 184		
Sosiale rom	-		
Garderobes (STK)	4		
Totale byggekostnader	86 000 000		
Totale justerte byggekostnader	97 685 848		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	86 000 000		

A.15: Emma Hjorth idrettshall

NAVN	Emma Hjorth idrettshall	Nødvendige utregninger	
Kommune	Bærum	Pris per m2 (BTA)	69 891
Skole?	Nei	Justert kr/m2	66 822
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	0	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 024	Utslipp for hallen i tonn	1 053
TEK	17	Co2 kostnad	714 242
Spillflater	640		
Annen idrettslig aktivitet	-		
BTA	1 556		
Sosiale rom	-		
Garderober (STK)	4		
Totale byggekostnader	108 750 000		
Totale justerte byggekostnader	103 974 867		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	-		

A.16: Lislebyhallen

NAVN	Lislebyhallen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Fredrikstad	Pris per m2 (BTA)	36 797
Skole?	JA	Justert kr/m2	49 964
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	1	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 015	Utslipp for hallen i tonn	988
TEK	10	Co2 kostnad	670 175
Spillflater	1 125	Kalkulasjoner for kun hall:	
Annen idrettslig aktivitet	57	Gj pris per m2 massivtre	36 797
BTA	3 304	BTA kun hall	1 460
Sosiale rom	130	Pris på hall	53 723 700
Garderober (STK)	4		
Totale byggekostnader	116 996 570		
Totale justerte byggekostnader	165 079 889		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	25 968 009		
Oppføring	70 241 324		
Energiløsninger	1 800 000		
Resterende budsjett	18 987 237		

A.17: Trosvikhallen

NAVN	Trosvikhallen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Fredrikstad	Pris per m2 (BTA)	26 890
Skole?	JA	Justert kr/m2	21 005
Material	Stål/betong		
Skole (BIN)	1	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 024	Utslipp for hallen i tonn	791
TEK	17	Co2 kostnad	536 722
Spillflater	800	Kalkulasjoner for kun hall:	
Annen idrettslig aktivitet	-	Gj pris per m2 Stål/betong	26 890,38
BTA	3 491	BTA kun hall	1 122
Sosiale rom	174	Pris på hall	30 171 007
Garderober (STK)	4		
Totale byggekostnader	76 697 466		
Totale justerte byggekostnader	73 329 736		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	76 697 466		

A.18: Volda Campus Arena

NAVN	Volda Campus Arena	Nødvendige utregninger	
Kommune	Volda	Pris per m2 (BTA)	26 890
Skole?	JA	Justert kr/m2	26 499
Material	Stål/betong		
Skole (BIN)	1	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 020	Utslipp for hallen i tonn	3 849
TEK	17	Co2 kostnad	2 611 379
Spillflater	2 297	Kalkulasjoner for kun hall:	
Annen idrettslig aktivitet	1 141	Gj pris per m2 Stål/betong	26 890,38
BTA	10 673	BTA kun hall	5 459
Sosiale rom	1 614	Pris på hall	146 794 588
Garderober (STK)	11		
Totale byggekostnader	229 000 000		
Totale justerte byggekostnader	282 822 431		
Prosjektering	7 500 000		
Grunnarbeid	31 250 000		
Oppføring	43 750 000		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	146 500 000		

A.19: Bjørkelangen

NAVN	Bjørkelangen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Aurskog-Høland	Pris per m2 (BTA)	36 797
Skole?	JA	Justert kr/m2	31 749
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	1	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 017	Utslipp for hallen i tonn	929
TEK	17	Co2 kostnad	630 240
Spillflater	1 125	Kalkulasjoner for kun hall:	
Annen idrettslig aktivitet	100	Gj pris per m2 massivtre	36 797,05
BTA	13 600	BTA kun hall	1 373
Sosiale rom	-	Pris på hall	50 522 356
Garderober (STK)	4		
Totale byggekostnader	322 000 000		
Totale justerte kostnader	431 780 839		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	500 000		
Resterende budsjett	321 500 000		

A.20: Marvikshallen

NAVN	Marvikshallen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Kristiansand	Pris per m2 (BTA)	36 797
Skole?	JA	Justert kr/m2	227 745
Material	Massivtre		
Skole (BIN)	1	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	1	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 024	Utslipp for hallen i tonn	1 321
TEK	17	Co2 kostnad	896 015
Spillflater	1 133	Kalkulasjoner for kun hall:	
Annen idrettslig aktivitet	62	Gj pris per m2 massivtre	36 797
BTA	1 952	BTA kun hall	1 952
Sosiale rom	115	Pris på hall	71 827 851
Garderober (STK)	4		
Totale byggekostnader	464 974 925		
Totale justerte byggekostnader	444 558 216		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	464 974 925		

A.21: Kringsjåhallen

NAVN	Kringsjåhallen	Nødvendige utregninger	
Kommune	Kristiansand	Pris per m2 (BTA)	26 890
Skole?	JA	Justert kr/m2	164 189
Material	Stål/betong		
Skole (BIN)	1	ETS Co2 pris (kr/tonn)	679
Material (BIN)	0	Utslipp per m2 (tonn)	1
Byggår	2 024	Utslipp for hallen i tonn	1 306
TEK	17	Co2 kostnad	885 927
Spillflater	1 277	Kalkulasjoner for kun hall:	
Annen idrettslig aktivitet	-	Gj pris per m2 Stål/betong	26 890
BTA	1 852	BTA kun hall	1 852
Sosiale rom	-	Pris på hall	49 800 985
Garderober (STK)	4		
Totale byggekostnader	318 042 991		
Totale justerte byggekostnader	304 077 956		
Prosjektering	-		
Grunnarbeid	-		
Oppføring	-		
Energiløsninger	-		
Resterende budsjett	318 042 991		

Vedlegg B: Byggekostnadsindeks for bosteder

B.1: Byggekostnadsindeks frper måned 2012-2024

2012M01	90,5	2014M07	97,8	2017M01	103,9	2019M07	111,6	2022M01	131,4
2012M02	90,8	2014M08	98,0	2017M02	104,2	2019M08	112,2	2022M02	130,5
2012M03	91,1	2014M09	98,1	2017M03	104,2	2019M09	112,1	2022M03	131,3
2012M04	91,3	2014M10	98,2	2017M04	104,8	2019M10	112,4	2022M04	133,1
2012M05	91,5	2014M11	98,5	2017M05	105,2	2019M11	112,3	2022M05	134,6
2012M06	91,6	2014M12	98,6	2017M06	105,2	2019M12	112,4	2022M06	134,8
2012M07	91,7	2015M01	98,9	2017M07	105,3	2020M01	112,8	2022M07	136,0
2012M08	92,1	2015M02	99,3	2017M08	105,5	2020M02	112,8	2022M08	137,0
2012M09	92,2	2015M03	99,4	2017M09	105,5	2020M03	112,8	2022M09	137,0
2012M10	92,4	2015M04	99,8	2017M10	106,0	2020M04	113,7	2022M10	137,8
2012M11	92,9	2015M05	100,1	2017M11	106,5	2020M05	114,4	2022M11	139,2
2012M12	92,9	2015M06	100,1	2017M12	106,7	2020M06	114,3	2022M12	138,9
2013M01	93,3	2015M07	100,2	2018M01	107,0	2020M07	114,7	2023M01	139,5
2013M02	93,6	2015M08	100,3	2018M02	107,4	2020M08	114,9	2023M02	139,6
2013M03	93,6	2015M09	100,3	2018M03	107,5	2020M09	115,0	2023M03	139,2
2013M04	93,7	2015M10	100,5	2018M04	108,0	2020M10	115,2	2023M04	140,0
2013M05	94,2	2015M11	100,7	2018M05	108,4	2020M11	115,2	2023M05	141,1

2013M06	94,2	2015M12	100,7	2018M06	108,5	2020M12	115,5	2023M06	140,7
2013M07	94,4	2016M01	101,0	2018M07	108,8	2021M01	116,8	2023M07	140,8
2013M08	94,9	2016M02	101,2	2018M08	109,4	2021M02	116,8	2023M08	141,5
2013M09	94,8	2016M03	101,1	2018M09	109,5	2021M03	117,3	2023M09	141,7
2013M10	95,0	2016M04	102,0	2018M10	109,9	2021M04	119,7	2023M10	142,8
2013M11	95,4	2016M05	102,4	2018M11	110,1	2021M05	121,0	2023M11	143,4
2013M12	95,5	2016M06	102,6	2018M12	110,2	2021M06	123,2	2023M12	143,3
2014M01	95,8	2016M07	102,7	2019M01	110,5	2021M07	124,9	2024M01	144,3
2014M02	96,3	2016M08	103,1	2019M02	110,7	2021M08	127,8	2024M02	143,9
2014M03	96,3	2016M09	103,0	2019M03	110,8	2021M09	130,0		
2014M04	97,3	2016M10	103,3	2019M04	111,2	2021M10	130,8		
2014M05	97,6	2016M11	103,5	2019M05	111,7	2021M11	132,0		
2014M06	97,7	2016M12	103,7	2019M06	111,5	2021M12	130,7		

B.2: Gjennomsnittlig byggekostnadsindeks per år 2012-2025

År	Byggekostnadsindeks:	Endring i indeks
2012	91,75	
2013	94,38	2,63
2014	97,52	3,13
2015	100,03	2,51
2016	102,47	2,44
2017	105,25	2,78
2018	108,73	3,47
2019	111,62	2,89
2020	114,28	2,66
2021	124,25	9,97
2022	135,13	10,88
2023	141,13	6,00
2024	147,62	6,48³⁴
2025	154,10	

³⁴ Gjennomsnittlig endring fra 2019-2023

Vedlegg C: Sentrale kalkulasjoner i Excel

C.1: Justerte utregninger for kvadratmeterpris

Gj. snitt m ² separate idrettshaller	36 371
Standardavvik	16 874
Gj.snitt m ² separate idrettshaller massivtre	37 266
Standardavvik	16 191
Gj.snitt m ² separate idrettshaller stål/betong	31 893
Standardavvik	17 195

C.2: Utslippsberegninger fra Funderud (2022)

Utslipp massivtre (m ² /tonn)	0,6765
Utslipp stål/betong (m ² /tonn)	0,705

C.3: CO₂ -pris per tonn (NOK)

CO ₂ -pris per tonn	68 ³⁵
1 Euro per 14.03.24	11,74 ³⁶
CO ₂ -pris per tonn (NOK)	798,3

³⁵ (Trading Economics, u.å.) Hentet 24. januar 2024 fra <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

³⁶ (DNB, u.å.) Hentet 14. mars 2024 fra <https://www.dnb.no/markets/valuta-og-renter/valutakalkulator>

Vedlegg D: Kvotepriser til bruk i samfunnsøkonomiske analyser

D.1: Kvotepliktig utslipp (unntatt luftfart og petroleum) 2023-2100

Periode	År	Kvotepiktig utslipp (unntatt luftfart og petroleum)	Periode	År	Kvotepiktig utslipp (unntatt luftfart og petroleum)	Periode	År	Kvotepiktig utslipp (unntatt luftfart og petroleum)
0	2023	798	28	2051	2 236	56	2079	5 745
1	2024	934	29	2052	2 325	57	2080	5 917
2	2025	951	30	2053	2 418	58	2081	6 095
3	2026	970	31	2054	2 515	59	2082	6 277
4	2027	990	32	2055	2 616	60	2083	6 466
5	2028	1 015	33	2056	2 720	61	2084	6 660
6	2029	1 040	34	2057	2 829	62	2085	6 859
7	2030	1 066	35	2058	2 942	63	2086	7 065
8	2031	1 129	36	2059	3 060	64	2087	7 277
9	2032	1 196	37	2060	3 183	65	2088	7 496
10	2033	1 266	38	2061	3 310	66	2089	7 720
11	2034	1 341	39	2062	3 442	67	2090	7 952
12	2035	1 420	40	2063	3 580	68	2091	8 191
13	2036	1 503	41	2064	3 687	69	2092	8 436
14	2037	1 592	42	2065	3 798	70	2093	8 689
15	2038	1 686	43	2066	3 912	71	2094	8 863
16	2039	1 785	44	2067	4 029	72	2095	9 040
17	2040	1 890	45	2068	4 150	73	2096	9 221
18	2041	1 915	46	2069	4 275	74	2097	9 406
19	2042	1 939	47	2070	4 403	75	2098	9 594
20	2043	1 965	48	2071	4 535	76	2099	9 786
21	2044	1 990	49	2072	4 671	77	2100	9 981
22	2045	2 016	50	2073	4 811			
23	2046	2 042	51	2074	4 955			
24	2047	2 068	52	2075	5 104			
25	2048	2 095	53	2076	5 257			

26	2049	2 122	54	2077	5 415			
27	2050	2 150	55	2078	5 577			

D.1.1: Prosentvis endring i kvotepris

Periode	År	Prosentvis økning i kvotepris (gamma)	Periode	År	Prosentvis økning i kvotepris (gamma)	Periode	År	Prosentvis økning i kvotepris (gamma)
0	2023		28	2051	4,00 %	56	2079	3,01 %
1	2024	17,04 %	29	2052	3,98 %	57	2080	2,99 %
2	2025	1,82 %	30	2053	4,00 %	58	2081	3,01 %
3	2026	2,00 %	31	2054	4,01 %	59	2082	2,99 %
4	2027	2,06 %	32	2055	4,02 %	60	2083	3,01 %
5	2028	2,53 %	33	2056	3,98 %	61	2084	3,00 %
6	2029	2,46 %	34	2057	4,01 %	62	2085	2,99 %
7	2030	2,50 %	35	2058	3,99 %	63	2086	3,00 %
8	2031	5,91 %	36	2059	4,01 %	64	2087	3,00 %
9	2032	5,93 %	37	2060	4,02 %	65	2088	3,01 %
10	2033	5,85 %	38	2061	3,99 %	66	2089	2,99 %
11	2034	5,92 %	39	2062	3,99 %	67	2090	3,01 %
12	2035	5,89 %	40	2063	4,01 %	68	2091	3,01 %
13	2036	5,85 %	41	2064	2,99 %	69	2092	2,99 %
14	2037	5,92 %	42	2065	3,01 %	70	2093	3,00 %
15	2038	5,90 %	43	2066	3,00 %	71	2094	2,00 %
16	2039	5,87 %	44	2067	2,99 %	72	2095	2,00 %
17	2040	5,88 %	45	2068	3,00 %	73	2096	2,00 %
18	2041	1,32 %	46	2069	3,01 %	74	2097	2,01 %
19	2042	1,25 %	47	2070	2,99 %	75	2098	2,00 %

20	2043	1,34 %	48	2071	3,00 %	76	2099	2,00 %
21	2044	1,27 %	49	2072	3,00 %	77	2100	1,99 %
23	2046	1,29 %	51	2074	2,99 %			
24	2047	1,27 %	52	2075	3,01 %			
25	2048	1,31 %	53	2076	3,00 %			
26	2049	1,29 %	54	2077	3,01 %			
27	2050	1,32 %	55	2078	2,99 %			

D.2: Diskonterte Kvotepriiser (2023-2100)

Periode	År	Diskonterte kvotepriiser	Periode	År	Diskonterte kvotepriiser	Periode	År	Diskonterte kvotepriiser
0	2023	798	28	2051	746	56	2079	1 098
1	2024	898	29	2052	746	57	2080	1 097
2	2025	879	30	2053	746	58	2081	1 098
3	2026	862	31	2054	746	59	2082	1 097
4	2027	846	32	2055	746	60	2083	1 097
5	2028	834	33	2056	746	61	2084	1 097
6	2029	822	34	2057	746	62	2085	1 097
7	2030	810	35	2058	746	63	2086	1 097
8	2031	825	36	2059	746	64	2087	1 097
9	2032	840	37	2060	746	65	2088	1 098
10	2033	855	38	2061	746	66	2089	1 097
11	2034	871	39	2062	746	67	2090	1 097
12	2035	887	40	2063	746	68	2091	1 098
13	2036	903	41	2064	1 097	69	2092	1 097
14	2037	919	42	2065	1 097	70	2093	1 097
15	2038	936	43	2066	1 097	71	2094	1 087

16	2039	953	44	2067	1 097	72	2095	1 076
17	2040	970	45	2068	1 097	73	2096	1 066
18	2041	945	46	2069	1 098	74	2097	1 055
19	2042	920	47	2070	1 097	75	2098	1 045
20	2043	897	48	2071	1 097	76	2099	1 035
21	2044	873	49	2072	1 097	77	2100	1 025
22	2045	851	50	2073	1 097			
23	2046	828	51	2074	1 097			
24	2047	807	52	2075	1 097			
25	2048	786	53	2076	1 097			
26	2049	765	54	2077	1 097			
27	2050	746	55	2078	1 097			

D.3: Kvotepriiser ved γ_{0-40} 3,84 % (2023-2083)

Periode	År	Kvotepriis	Periode	År	Kvotepriis
0	2023	798	31	2054	761
1	2024	797	32	2055	759
2	2025	796	33	2056	758
3	2026	794	34	2057	757
4	2027	793	35	2058	756
5	2028	792	36	2059	755
6	2029	791	37	2060	754
7	2030	789	38	2061	752
8	2031	788	39	2062	751
9	2032	787	40	2063	750
10	2033	786	41	2064	750

11	2034	785	42	2065	750
12	2035	783	43	2066	750
13	2036	782	44	2067	750
14	2037	781	45	2068	750
15	2038	780	46	2069	750
16	2039	778	47	2070	750
17	2040	777	48	2071	750
18	2041	776	49	2072	750
19	2042	775	50	2073	750
20	2043	774	51	2074	750
21	2044	772	52	2075	750
22	2045	771	53	2076	750
23	2046	770	54	2077	750
24	2047	769	55	2078	750
25	2048	768	56	2079	750
26	2049	766	57	2080	750
27	2050	765	58	2081	750
28	2051	764	59	2082	750
29	2052	763	60	2083	750
30	2053	762			

D.4: Kvotepriser ved γ_{0-40} 10 % (2023-2083)

Periode	År	Kvotepris	Periode	År	Kvotepris
0	2023	798	31	2054	4 541
1	2024	844	32	2055	4 803
2	2025	893	33	2056	5 080
3	2026	944	34	2057	5 373
4	2027	999	35	2058	5 683
5	2028	1 056	36	2059	6 011
6	2029	1 117	37	2060	6 358
7	2030	1 182	38	2061	6 724
8	2031	1 250	39	2062	7 112
9	2032	1 322	40	2063	7 523
10	2033	1 398	41	2064	7 525
11	2034	1 479	42	2065	7 525
12	2035	1 564	43	2066	7 525
13	2036	1 655	44	2067	7 525
14	2037	1 750	45	2068	7 525
15	2038	1 851	46	2069	7 525
16	2039	1 958	47	2070	7 525
17	2040	2 071	48	2071	7 525
18	2041	2 190	49	2072	7 525
19	2042	2 316	50	2073	7 525
20	2043	2 450	51	2074	7 525
21	2044	2 591	52	2075	7 525
22	2045	2 741	53	2076	7 525
23	2046	2 899	54	2077	7 525
24	2047	3 066	55	2078	7 525
25	2048	3 243	56	2079	7 525

26	2049	3 430	57	2080	7 526
27	2050	3 628	58	2081	7 526
28	2051	3 838	59	2082	7 526
29	2052	4 059	60	2083	7 526
30	2053	4 293			

D.5: Kvotepriiser ved γ_{0-40} 6 % (2023-2083)

Periode	År	Kvotepriis	Periode	År	Kvotepriis
0	2023	798	31	2054	1 440
1	2024	813	32	2055	1 468
2	2025	829	33	2056	1 496
3	2026	845	34	2057	1 525
4	2027	861	35	2058	1 554
5	2028	878	36	2059	1 584
6	2029	895	37	2060	1 615
7	2030	912	38	2061	1 646
8	2031	929	39	2062	1 677
9	2032	947	40	2063	1 710
10	2033	965	41	2064	1 710
11	2034	984	42	2065	1 710
12	2035	1 003	43	2066	1 710
13	2036	1 022	44	2067	1 710
14	2037	1 042	45	2068	1 710
15	2038	1 062	46	2069	1 710
16	2039	1 082	47	2070	1 710
17	2040	1 103	48	2071	1 710

18	2041	1 124	49	2072	1 710
19	2042	1 146	50	2073	1 710
20	2043	1 168	51	2074	1 710
21	2044	1 190	52	2075	1 710
22	2045	1 213	53	2076	1 710
23	2046	1 237	54	2077	1 710
24	2047	1 261	55	2078	1 710
25	2048	1 285	56	2079	1 710
26	2049	1 309	57	2080	1 710
27	2050	1 335	58	2081	1 710
28	2051	1 360	59	2082	1 710
29	2052	1 386	60	2083	1 710
30	2053	1 413			

D.6: Kvotepriiser ved γ_{0-40} 1 % (2023-2083)

Periode	År	Kvotepriis	Periode	År	Kvotepriis
0	2023	798	31	2054	322
1	2024	775	32	2055	313
2	2025	753	33	2056	304
3	2026	731	34	2057	295
4	2027	710	35	2058	286
5	2028	689	36	2059	278
6	2029	669	37	2060	270
7	2030	650	38	2061	262
8	2031	631	39	2062	255
9	2032	613	40	2063	247
10	2033	596	41	2064	248

11	2034	578	42	2065	248
12	2035	562	43	2066	248
13	2036	545	44	2067	248
14	2037	530	45	2068	248
15	2038	514	46	2069	248
16	2039	500	47	2070	248
17	2040	485	48	2071	248
18	2041	471	49	2072	248
19	2042	458	50	2073	248
20	2043	444	51	2074	248
21	2044	432	52	2075	248
22	2045	419	53	2076	248
23	2046	407	54	2077	248
24	2047	395	55	2078	248
25	2048	384	56	2079	248
26	2049	373	57	2080	248
27	2050	362	58	2081	248
28	2051	352	59	2082	248
29	2052	341	60	2083	248
30	2053	332			

D.7: Kvotepriis ved OLS estimering

Periode	År	Kvotepriis	Periode	År	Kvotepriis
0	2023	798	31	2054	885
1	2024	801	32	2055	888
2	2025	804	33	2056	891
3	2026	806	34	2057	894
4	2027	809	35	2058	897
5	2028	812	36	2059	899
6	2029	815	37	2060	902

7	2030	818	38	2061	905
8	2031	821	39	2062	908
9	2032	823	40	2063	911
10	2033	826	41	2064	913
11	2034	829	42	2065	916
12	2035	832	43	2066	919
13	2036	835	44	2067	922
14	2037	837	45	2068	925
15	2038	840	46	2069	928
16	2039	843	47	2070	930
17	2040	846	48	2071	933
18	2041	849	49	2072	936
19	2042	852	50	2073	939
20	2043	854	51	2074	942
21	2044	857	52	2075	944
22	2045	860	53	2076	947
23	2046	863	54	2077	950
24	2047	866	55	2078	953
25	2048	868	56	2079	956
26	2049	871	57	2080	959
27	2050	874	58	2081	961
28	2051	877	59	2082	964
29	2052	880	60	2083	967
30	2053	883			

Vedlegg E: Resultat av regresjonsanalysene

Resultat fra multippel lineær regresjonsanalyse

I dette vedlegget er fremgangsmåten for regresjonsanalysen illustrert. Dette vedlegget viser også hvorfor regresjonsanalysen ikke ledet frem.

E.1: Regresjon 1: Resultat med skoler

Første regresjon vi kjørte, var med alle 21 observasjoner både separate haller og haller tilknyttet skoler. Det ga følgende regresjonsligning:

$$\text{Tot. byggekostnad} + \alpha_0 + \alpha_1 \text{ spillflater} + \alpha_2 \text{ garderober} + \alpha_3 \text{ Material} + \alpha_4 \text{ Byggeår} + \alpha_5 \text{ skole} + u$$

Tabell E.1: Resultatet av regresjon 1

	Koeffisient	Std. avvik	t-verdi	p-verdi	Signifikant/ ikke signifikant
Konstant					
α_0-konstant (i 1 000)	-23 400 000	12 200 000	-1,92	0,075	-
α_1-spillflater	14 648	27 696	0,53	0,605	Ikke signifikant
α_2-garderobe (STK)	4 809 484	7 546 683	0,64	0,534	Ikke signifikant
α_3-material	49 900 000	44 000 000	1,13	0,274	Ikke signifikant
α_4-byggeår	11 600 000	6 044 158	1,92	0,074	Ikke signifikant
α_5-skole	149 000 000	44 300 000	3,37	0,004	Signifikant

Her ser vi middels R2 som indikerer at 52,9 % av dataene passer inn i denne regresjonsmodellen.

Videre ser vi at det er kun skoler som er en signifikant variabel med en p-verdi på 0,004 som er lavere enn konfidensintervallet på 0,1. Dette betyr at det eksisterer en reell sammenheng mellom totale byggekostnader og idrettshaller tilknyttet et skolebygg, og at dette fører til økte byggekostnader. Gitt at det er dyrere å bygge et skolebygg kontra en idrettshall så vet vi at dette stemmer, og at vi forventet å finne en sammenheng her, altså at skole ville være signifikant. Koeffisienten til α_5 (skole) viser at det koster 149 mill ekstra for hele bygget inkludert skolebygg med tilknyttet idrettshall. Samtidig ser vi et stort standardavvik som øker usikkerheten på hvor mye dyrere det er å bygge skole med tilknyttet hall kontra en separat idrettshall. Vi har generelt høy usikkerhet i samtlige standardavvik som gjør det nødvendig å minimere denne usikkerheten for å få bedre estimater.

Selv om vi har en middels R^2 , er det ønskelig for oss at flere av variablene skal være signifikante. Vi ser tydelig at variabelen α_5 (skole) skaper støy i datasettet. Derfor velger vi å fjerne α_5 , og vi kjøre en ny regresjon uten skoler.

E.2: Regresjon 2: Resultat uten skoler

$$\text{Tot. byggekostn} + \alpha_0 + \alpha_1 \text{ spillflater} + \alpha_2 \text{ garderober} + \alpha_3 \text{ Material} + \alpha_4 \text{ Byggeår} + u$$

Tabell E.2: Resultatet av regresjon 2

	Koeffisient	Std. avvik	t-verdi	p-verdi	Signifikant/ikke signifikant
Konstant					
α_0 (i 1 000)	-29 100 000	11 500 000	-2,54	0,030	-
α_1- Spillflater	-2 085	19 103	-0,11	0,915	Ikke signifikant
α_2- Garderober	7 368 172	5 631 478	1,31	0,220	Ikke signifikant
α_3 -Material	-14 300 000	40 000 000	-0,36	0,729	Ikke signifikant
α_4 -Byggeår	14 500 000	5 684 814	2,54	0,029	Signifikant

Hypotesen, før vi kjørte regresjonen, var at dette ville gi en høyere R2 og flere signifikante variabler fordi vi fjernet støy fra datasettet. Ved å kjøre en regresjon uten variabelen skole ser vi nå at dette har påvirket R2 som nå er kun på 44,8 %. Den er altså lavere nå enn da vi inkluderte haller tilknyttet skoler. Variablene forklarer bare 44,8 % av dataene i regresjonsmodellen. Dette fordi vi fjernet α_5 skole, som var en signifikant variabel som påvirket R2 positivt i forrige regresjon.

Basert på signifikansnivået ser vi at kun byggeår med en p-verdi på 0,029 er betydelig lavere enn konfidensintervallet på 0,1, og derfor anses det som signifikant. Dette indikerer at det er en faktisk sammenheng mellom totale byggekostnader og byggeår. Koeffisienten til byggeår indikerer at byggekostnadene øker hvert år med 14,5 millioner. Faktorer som inflasjon, prisstigning, teknologisk utvikling og økte miljøkrav kan sannsynligvis påvirke de totale kostnadene avhengig av det valgte byggeåret. Dette kan også resultere i høyere investeringskostnader i begynnelsen. Over tid er det imidlertid sannsynlig at byggeåret ikke vil ha samme innvirkning på de totale kostnadene, da byggeprosessen blir mer effektiv og tilpasset kommende krav og teknologiske fremskritt.

Vi ønsker derfor å tidskorrigere kostnadene slik at vi kan tydeligere få frem påvirkningen til de andre variablene, og fordi variabelen byggeår skaper "støy" i datasettet. Dette vil også gjøre det mulig å se om det har vært teknologisk fremgang ved de forskjellige materialene.

E.3: Regresjon 3: Resultat med tidskorrigerede kostnader

I denne analysen har vi tidjustert de totale byggekostnadene ved å bruke byggekostnadsindeksen fra SSB³⁷, og justert de totale kostnadene med 2023 som basisår.

$$\text{Tidskorr. byggekostnad 2023} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{ spillflater} + \alpha_2 \text{ garderober} + \alpha_3 \text{ material} + u$$

³⁷ Statistisk sentralbyrå (u.å.) <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/byggekostnadsindekser/statistikk/byggjekostnadsindeks-for-bustader>

Tabell E.3: Resultatet av regresjon 3

	Koeffisient	Std. avvik	t-verdi	p-verdi	Signifikant/ Ikke signifikant
Konstant					
α_0	73 900 000	52 900 000	1,40	0,190	Ikke signifikant
α_1 - Spillflater	1 675	20 803	0,08	0,937	Ikke signifikant
α_2 - Garderober	5 951 426	577 755	1,00	0,341	Ikke signifikant
α_3 - Material	16 900 000	37 900 000	0,45	0,664	Ikke signifikant

Vi antok at vi nå vil få en høyere R2 siden vi har tidskorrigert de totale kostnadene og fjernet variabelen byggeår som skapte støy. Vi ser derimot at R2 igjen har gått ned, og kun er på 9 % som indikerer at denne modellen er meget svak i forhold til å forklare sammenhengen mellom den uavhengige og de avhengige variablene.

Selv med et konfidensintervall på 90 % ser vi at ingen av variablene er signifikante i denne modellen. Dette viser at vi må gjøre ytterligere justeringer.

E4: Regresjon 4: Resultat uten Emma Hjort og Oksenøya

Etter å ha gjennomgått dataen ser vi at Emma Hjort og Oksenøya senteret er to observasjoner som skaper mye støy i dataen. Disse observasjonene har mye høyere kostnader per m² samt at hallen tilknyttet Emma gjort er vesentlig mindre enn de resterende observasjonene. Nå som vi har fjernet skoler begynner utvalget i datasettet allerede å bli relativt lite, men vi ser det nødvendig å fjerne disse hallene for å få et mer homogent datasett.

I tillegg til å ekskludere to av observasjonene har vi valgt å endre noen av variablene i håp om at vi skal få flere signifikante variabler. Garderober tror vi er en viktig kostnadsdriver ettersom vi vet det innebærer høye kostnader å bygge våtrom. Vi endrer fra garderober i stykk til kvadratmeter (m²), ettersom vi da vil kunne se i hvilken grad størrelsen på en garderobe vil spille inn på totalprisen. Vi endrer også fra spillflater til BTA fordi vi tror størrelsen på hallen er en mer signifikant variabel enn spillflatene. En del av hallene har en del ekstra areal i tillegg

til spillflatene, og påvirkningen av disse har ikke blitt fanget opp i de tidligere analysene. Garderobe arealet er inkludert i BTA, noe som gjør at vi må korrigere BTA variabelen slik at ikke garderobene blir tatt med to ganger. Vi har derfor laget variabelen BTA minus arealet på garderobene.

Den nye regresjonen blir dermed:

$$\text{Tidskorrr. byggekostnad 2023} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{ Material} + \alpha_2 \text{ garderober_m}^2 + \alpha_3 \text{ BTA-garderobe_m}^2 + u$$

Tabell E.4. Resultatet av regresjon 4

	Koeffisient	Std. avvik	t-verdi	p-verdi	Signifikant/ Ikke signifikant
Konstant					
α_0	-22 400 000	41 100 000	-0,55	0,599	Ikke signifikant
α_1 - Material	53 000 000	26 500 000	2,00	0,077	Signifikant
α_2 - Garderober_m²	55 361	147 365	0,38	0,716	Ikke signifikant
α_3 - BTA-garderobe_m²	28 676	8 284	3,46	0,007	Signifikant

Denne modellen ser betraktelig bedre ut ved første øyekast ettersom vi får en R² på 65 %, som er en betydelig økning fra forrige modell.

I forhold til variabler er både material og BTA-garderobe_m² signifikante. Likevel er det fortsatt noe som gjør at svarene ved modellen ikke er realistiske. Selv om material nå er signifikant viser koeffisienten at det medfører ekstrakostnader på 53 000 000 å bygge i massivtre. Vi har en hypotese om at det dyrere å bygge i massivtre, men dette beløpet er noe i overkant. Selv om garderober_m² ikke er signifikant, indikerer koeffisienten at kvadratmeterprisen for bygging av garderobe er 55 361 kroner, sammenlignet med 28 676

kroner for hallflaten. Det er allment kjent at det er kostbart å bygge garderober, spesielt våtrom, så dette resultatet virker å være realistisk.

Vi eksperimenterte med å justere koeffisienten for α_1 *material* ved å utføre tester med ulike variabler. Dette førte til noe reduksjon, men samtidig mistet material sin signifikans. Med et allerede begrenset antall observasjoner og svake resultater, blir det utfordrende å kutte flere observasjoner. Derfor må vi vurdere alternative tilnæringer, men først vil vi undersøke den teknologiske utviklingen og hvordan materialbruk påvirker klimakostnaden.

E.5: Teknologisk fremgang

$$\text{Tidskorrigert kvadratmeterpris} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{ år_mat_tre} + \alpha_2 \text{ år_mat_stål} + u$$

Tabell E.5. Resultatet av regresjon 5

	Koeffisient	Std. avvik	t-verdi	p-verdi	Signifikant /Ikke signifikant
Konstant					
α_0	-3 316 137	1 717 357	-1,93	0,082	Signifikant
år_mat_tre	1658	849	1,95	0,079	Signifikant
år_mat_stål	1655	850	1,95	0,080	Signifikant

Før vi kjørte regresjonen antok vi at den teknologiske fremgangen for massivtre ville være høyere enn stål og betong. Basert på vårt begrensede utvalg klarer vi dessverre ikke å fange opp denne forskjellen, selv med en R2 på 48 % og signifikante variabler. Vi forsøkte derfor å tidsdiskontere variablene, men det resulterte i en lavere R2 på 11 % og ingen signifikante variabler. Vi kan derfor ikke bruke disse resultatene til å beskrive den teknologiske fremgangen for massivtre og stål/betong.

Tabell E.6. Resultatet av regresjon 6

	Parameter	Std.avvik	t-verdi	p-verdi	Signifikant/ Ikke signifikant
Konstant					
a0	30 269	5 348	5,66	0,000	Signifikant
a1 - år_mat_tre_2011	23,798	35,64	0,67	0,519	Ikke signifikant
a2 - år_mat_stål_2011	-3,476	6,86	-0,51	0,624	Ikke signifikant

E.6: Klimakostnad utifra valg av materiale

$$CO_2perm^2 = a_0 + a_1 material + a_2 prisperm^2BTA + u$$

Vi gjennomførte i tillegg en regresjon hvor å teste hvordan materialvalg påvirker klimakostnaden. Derimot var resultatene så svake med en R2 på kun 10 % og ingen signifikante variabler på grunn av for få observasjoner. Vi kan dessverre ikke bruke disse resultatene til å besvare vår problemstilling.

Vedlegg F: Mail sendt til kommuner og entreprenører

F.1: Mail sendt til kommuner og entreprenører

(mottakers navn)

Ås/NMBU (dato. måned) 2024

Kostnader ved oppføring av idrettshaller/-bygg i heltre/massivtre

Hei,

Vi er to masterstudenter fra NMBU som studerer økonomi og administrasjon, med spesialisering innen klima, energi og miljøøkonomi. Denne våren skal vi skrive masteroppgave og vil sette stor pris på deres hjelp med data.

Temaet vi har valgt å fordype oss i er hvordan dagens offentlige bygg kommer til å bli påvirket av de kommende miljøkravene, og hvordan valg av byggemateriale vil påvirke kostnader og miljø. Vi skal fokusere på idrettshaller og -bygg, og sammenligne haller i heltre/massivtre med tilsvarende konvensjonelle materialer (stål og betong).

Vi ønsker data både fra oppføring av bygget og driftskostnader.

Data om bygget:

- Byggeår
- Standard bygget er bygd etter: TEK xx
- Totalt areal for bygget
 - areal tilrettelagt for ballspill (også kjent som spillflater)
 - totalt areal til annen spesiell idrettslig aktivitet (kampidrett, turn, styrkerom osv.)
 - antall garderober (til utøvere)
 - areal til sosiale rom
- Totalt budsjett for byggekostnader, gjerne fordelt på
 - prosjektering
 - grunnarbeid (drenering, tilkjørt masse mv.)
 - oppføring av bygget
 - ekstra budsjett for om spesielle energiløsninger er valgt som jordvarme, solpaneler, fjernvarme eller tilsvarende
 - resterende budsjett slik at totalsummen blir lik totalt budsjett

Vi er klare over at vi spør om mye. Om det er enklere og raskere for dere å oversende dokumentene brukt ved vedtak om bygging i kommunestyret (gjerne som pdf eller lenke til vedtaksgrunnlaget), vil vi være i stand til å finne denne informasjonen selv.

I tillegg ønsker vi **faktiske totale byggekostnader**, gjerne fordelt på de samme postene som i budsjettet ovenfor.

Om kommunen også vurderte bygging av et konvensjonelt idrettsbygg/konvensjonell idrettshall, ville det vært fint om vi fikk forventet totalt budsjett for dette alternative bygget som ble forkastet av kommunestyret.

Vi ønsker også innsikt i de totale driftskostnadene for bygget for 2023, eventuelt 2022 dersom data for 2023 ikke er tilgjengelig. Har kommunen et tilsvarende konvensjonelt idrettsbygg ville det vært fint om vi fikk driftskostnadene i 2023 for dette bygget sammen med byggets totalareal, byggeår, tek-standard og om eventuelle spesielle energiløsninger (jordvarme, solpaneler, fjernvarme) er valgt for det bygget.

Vi håper naturligvis på positivt svar, men setter uansett pris på om dere kan gi oss en tilbakemelding på hvorvidt dette er noe dere kan bistå med så raskt som mulig. Selve dokumentasjonen trenger vi helst innen ca 15. februar.

Vi setter stor pris på om dere på denne måten kan bidra til gjennomføringen av denne masteroppgaven. Dere vil naturligvis få full tilgang til resultatene og besvarelsen når den foreligger. Vi håper disse også kan være til nytte for deres videre arbeid med å nå de klimamålene dere har satt.

På forhånd tusen takk for hjelpen.

Dersom noe er uklart eller dere har spørsmål, vennligst ta kontakt.

Med vennlig hilsen

Christina Mile Herman S. Ueland

Christina Mile & Herman Størby Ueland

Kontaktinfo:

christina.mile@nmbu.no

921 60 038

herman.storby.ueland@nmbu.no

413 06 018



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway