



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

## Mulighetsstudie for energieffektivisering ved Slettebakken skole

*Feasibility study for energy efficiency improvement of  
Slettebakken school*

**Patrick Olofsson, Anders Pedersen & Marie Verlo Zachariassen**

**Kandidatnummer: 271, 275 & 315**

Bachelorprogrammet: Byggingeniør

Institutt for byggfag

Veileder: Anders-Johan Almås

Innleveringsdato: 22.05.23

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	6
Sammendrag.....	7
Abstract.....	8
1 Introduksjon.....	10
1.1 Aktualisering av tema.....	11
1.2 Slettebakken skole .....	13
1.3 Problemstilling .....	15
1.4 Avgrensninger .....	15
2 Teoretisk grunnlag .....	17
2.1 Definisjon av begreper .....	18
2.2 Energibruk i bygninger .....	20
2.3 Ventilasjon .....	24
2.3.1 Typer ventilasjon.....	25
2.4 Isolasjon .....	26
2.5 Andre energieffektiviserende tiltak i bygg.....	27
2.6 Energiforsyning for Slettebakken skole.....	29
2.6.1 Kostnad og økonomi .....	30
2.6.2 Kulturhistorisk Rapport .....	31
3 Metode .....	32
3.1 Datainnsamling fra tidligere arbeid.....	32
3.2 Befaring med tilstandsanalyse .....	32
3.2.1 Befaring.....	32
3.2.2 Utstyr .....	34
3.3 Intervju .....	34
3.4 SIMIEN beregninger .....	35
3.5 Kostnadsberegninger .....	36
3.5.1 Utforming av tiltak og kostnader .....	36

3.5.2	Utregning LCC.....	37
3.5.3	Valg av strømpris .....	37
4	Funn og resultat.....	39
4.1	Tilstandsanalyse .....	39
4.1.1	Konstruksjon og fundament/grunnmur.....	40
4.1.2	Utvendig fasade .....	41
4.1.3	Tak.....	41
4.1.4	Utsparing.....	41
4.1.5	Innvendige overflater.....	42
4.1.6	Universell utforming .....	42
4.1.7	Installasjoner.....	42
4.1.8	Ventilasjon .....	42
4.1.9	Temperaturregulering.....	43
4.1.10	VVS.....	43
4.1.11	Belysning.....	43
4.1.12	Brannsikkerhet.....	44
4.1.13	Fellesområder ute.....	44
4.2	Undersøkelser og målinger på inneklima.....	44
4.3	Intervju .....	46
4.4	Tiltak.....	48
4.4.1	Tiltakspakke 1 .....	48
4.4.2	Tiltakspakke 2 .....	48
4.5	SIMIEN.....	49
4.6	Kostnadsberegninger .....	51
4.6.1	Kostnader.....	51
4.6.2	Livssyklus kostnader.....	55
5	Diskusjon.....	57
5.1	Vurdering av tiltak.....	57

5.1.1	Ventilasjon .....	57
5.1.2	Tak.....	59
5.1.3	Dører .....	60
5.1.4	Tekniske tiltak: Belysning og sensorer .....	61
5.1.5	Potensielle tiltak for energieffektivisering.....	62
5.1.6	Ytterligere tiltak .....	63
5.2	Økonomisk perspektiv/kostnader .....	65
5.2.1	Generelle kostnader.....	65
5.2.2	Energikostnader .....	67
5.3	Metodisk avvik .....	69
5.4	Utfordringer og usikkerheter .....	71
5.4.1	Nasjonale endringer i lover eller marked.....	72
5.4.2	Usikkerheter ved konstruksjon og gjennomførelse .....	72
6	Konklusjon.....	73
7	Referanseliste .....	74

## VEDLEGG:

Vedlegg 1: Tilstandsanalyse

Vedlegg 2: Intervju

Vedlegg 3: Informasjonsskriv til intervju

Vedlegg 4: SIMIEN årssimulering

Vedlegg 5: Rapport SIMIEN input

Vedlegg 6: Målinger fra miljørettet helsevern.

Vedlegg 7: Kostnadsutregninger

## OVERSIKT LISTER

### Figurliste:

Figur 1: Energiforbruk, næringsbygg i Bergen, GWh. Hentet fra (Grorud et al., 2020) .....	23
Figur 2: Tabell over energimengde brukt på Slettebakken skole i perioden 2018-2022, hentet fra personlig kommunikasjon med EBE, 29.01.23 .....	23
Figur 3: Graf som viser akkumulert energiforbruk gjennom året på Slettebakken skole i årene 2020, 2021 og 2022, hentet fra personlig kommunikasjon med EBE, 15.05.23.....	23
Figur 4: Graf som viser energiforbruk på Slettebakken skole i perioden 2017-2023, fordelt på andel fastkraft og fjernvarme, hentet fra personlig kommunikasjon med EBE, 15.05.23 .....	24
Figur 5: Ulikheter i energiforbruk i belyningsløsninger i klasserom.....	28
Figur 6: Oversikt over energibruken i Bergen for fjernvarme, hentet fra (Statistisk sentralbyrå, 2023).....	29
Figur 7: Graf av målinger på klasserom 205. Hentet fra Miljørettet helsevern 2021, vedlegg 6. ....	46
Figur 8: Årlig energibudsjett, dagens tilstand .....	50
Figur 9: Varmetapsbudsjett, dagens tilstand.....	50
Figur 10: Årlig energibudsjett, etter tiltakspakke 1 .....	50
Figur 11: Varmetapsbudsjett, etter tiltakspakke 1 .....	50
Figur 12: Årlig energibudsjett, etter tiltakspakke 2 .....	51
Figur 13: Varmetapsbudsjett, etter tiltakspakke 2 .....	51

### Tabelliste:

Tabell 1: Krav u-verdier for energieffektivisering, skolebygg m.m. ....	22
Tabell 2: Oversikt av TG, KG og Risikovurdering .....	34
Tabell 3: Konsekvenstype med grad av alvorlighet .....	34
Tabell 4: Oppsummert tilstandsanalyse, oversikt for bygg 1 med tilhørende TG og KG .....	40
Tabell 5: Beregninger for tiltakspakke 1 .....	54
Tabell 6: Oversikt over kostnader for tiltakspakke 2 .....	55
Tabell 7: Livssyklus kostnader for nåværende tilstand, etter tiltakspakke 1 og etter tiltakspakke 2.....	56

### Bildeliste:

Bilde 1: Slettebakken skole ovenfra med retningsforklarende tegn, hentet fra (Etat for bygg og eiendom, 2014a) .....	14
Bilde 2: Begrensing av område, fokusområde Bygg 1, hentet fra (Etat for bygg og eiendom, 2014a). ....	16
Bilde 3: Termograferingskamera i aksjon, privat foto. ....	34
Bilde 4: Loft med romslig areal, privat foto .....	40
Bilde 5: Skade i yttervegg, privat foto.....	41
Bilde 6: Illustrasjon av varmetapet, privat foto .....	41
Bilde 7: Rømningsvei nordside med stort varmetap, privat foto .....	41
Bilde 8: Gamle rør uten isolasjon, privat foto.....	43
Bilde 9: Gamle løsninger for lysbrytere, privat foto .....	43

# Forord

Denne bacheloroppgaven er det avsluttende arbeidet som studentene gjennomfører på byggingeniørstudiet ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen. Oppgaven er skrevet av en prosjektgruppe bestående av tre studenter med fordypningsretning innen prosjekt- og byggeledelse. Formålet med oppgaven er at studentene skal i samarbeid med en tredjepart fra næringslivet tilegne seg kunnskap og utforske et ønsket tema. Et tema som gjennom utdanningsløpet har skilt seg ut er energieffektivisering og oppgraderinger/ombygging av bygg. Av den grunn ble dette grunnmuren for denne oppgaven. Dette er også et tema som er veldig aktuelt i dagens lys av urbanisering og utvikling av industrier og generelt bygninger. Flere av studentene har tatt fag som korrelerer med valgte fokusområder, og var av den grunn til fordel for oppgaven. Disse fordypningsemnene var blant annet "Bygningsfysikk" og "Drift, vedlikehold og ombygging av bygninger".

Det har vært en slitsom, men lærerik prosess. Det har krevd mange timer og mye jobb for prosjektgruppen. Arbeidet har gitt oss innblikk i det virkelige arbeidsliv. Med det sagt ønsker vi å rette en takk til veileder Anders-Johan Almås, andre ansatte ved HVL som har hjulpet oss, samarbeidspartnere fra Bergen kommune og andre deltakende i prosjektet, som intervjuobjekter. En ekstra takk til medstudenter som har vært med i studieløpet og hjulpet oss dit vi er i dag.

Bergen, 22.mai 2023



Patrick Olofsson



Anders Pedersen



Marie Verlo Zachariassen

# Sammendrag

Denne bacheloroppgaven er en mulighetsstudie i samarbeid med Bergen kommune, for utbedring av Slettebakken skole i Årstad bydel, Bergen. Skolen består av flere separate bygningsmasser og ble oppført i 1955-1961. Alle byggene er preget av lite vedlikehold og utfordringer knyttet til inneklima og dårlig bygningshelse. Problemstillingen til prosjektet ble som følger: «*Hvordan kan man møte utfordringene rundt energieffektivisering, modernisering og bedring av inneklima i eldre skolebygg på en kostnadseffektiv og bærekraftig måte?*». Oppgaven ser derav på løsninger i lys av energieffektiviserende tiltak og generell ombygging til å bedre inneklimaet. Bergen kommune gjennomfører selv en tilstandsanalyse av Slettebakken skole, og denne studien er et tillegg til en større undersøkelse av skolen. Det skal utvikles et konsept i perioden 2023-2026, og videre skal utbedringene gjennomføres.

Presentert i denne oppgaven er tiltak og utbedringer basert på vurderinger fra tilstandsanalyse og analyse gjennomført i energiberegningsprogrammet SIMIEN. Forbruket vurderes ut ifra en antatt fremtidig strømpris, og analyseres opp mot livssyklus kostnader. Det teoretiske grunnlaget og de tekniske kravene som stilles til skoler baseres på byggteknisk forskrift. Løsningene vil vise relevante og aktuelle tiltak på utfordringene som møtes på Slettebakken, men som også kan være anvendbar på andre eldre bygg. Oppgaven underbygges av kvalitative intervjuer med relevante aktører. Disse viste at fokuset lå på vedlikeholdsetterslepet og ventilasjonsutfordringer som er typiske utfordringer for skoler i fra denne tidsperioden.

På bakgrunn av tema for oppgaven og prosjektgruppens kompetanse er det kommet fram til to tiltakspakker. Tiltakspakke 1 er en anbefaling om å installere balansert ventilasjonssystem og tette eksisterende avtrekksluker, samt isolere og skifte ut tak. Tiltakspakke 2 baserer seg på tiltakspakke 1, men inkluderer også utskifting av gamle lysstoffrør til LED-lys og installere bevegelsessensorer. I tillegg vil en oppgradering av dører inkluderes for å redusere varmetapet. Tiltakspakke 2 er å anbefale da det vil gi størst økonomisk gevinst og

besparelser på energi, med forbehold om at resterende konstruksjon oppfyller nødvendige krav for en levetid på 50 år.

## Abstract

This bachelor thesis is located in Norway and is a feasibility study done in collaborations with Bergen municipality, for the improvement of Slettebakken school in Årstad, Bergen. The school consists of multiple separate buildings and was erected in 1955-1961. All the buildings are affected by a low degree of maintenance and challenges related to indoor climate and building health. Our thesis for this project is as follows: *“How can one meet the challenges of energy efficiency, modernization and improvement of indoor climate in older school buildings in a cost-effective and sustainable manner?”*. This assignment therefore looks at solutions in terms of energy efficient measures and general remodeling to improve the indoor climate. Bergen municipality is conducting their own condition analysis of Slettebakken school, and this study is an addition to a larger investigation of the school. A concept will be developed during the period 2023-2026, and the improvements will be carried out thereafter.

Presented in this report are measures and improvements based on assessments from a condition analysis and carry out analyzes in the energy calculation program SIMIEN. The consumption is evaluated based on an assumed future electricity cost and analyzed against lifecycle costs. The theoretical foundation and technical requirements for schools are in compliance with TEK17, which is a Norwegian regulation containing technical requirements for construction works. The presented solutions will demonstrate relevant and current measures for the challenges faced at Slettebakken, but it may also be applicable to other older buildings. The assignment is supported by qualitative surveys with relevant partakers. These showed that the focus was on the maintenance backlog and ventilation challenges, which are typical challenges for schools from this time period.



From the background of the theme for the assignment and the project group's competence there are presented two options with measures. Option 1 is a recommendation to install a balanced ventilation system and fill existing air vents, isolate and replace the roof. Option 2 is based on option 1 with the inclusion of replacing fluorescent tube lighting with LED and installment of motion sensors. Furthermore, an upgrade of the doors will be included for reduction of heat loss. Option 2 is therefore recommended because it will give the largest financial gain and savings on electricity, with the assumption that the remaining construction fulfills the necessary demands for a lifespan of 50 years.

# 1 Introduksjon

Denne bacheloroppgaven er en mulighetsstudie som tar for seg energieffektivisering av et eldre skolebygg i Bergen kommune. Generelt blir det i dagens samfunn satt stort søkelys på å bedre miljøet og bidra til en mer bærekraftig hverdag. Begrepet bærekraft tok først plass på midten av 1980-tallet (Portney, 2015), og har siden det utviklet seg til å bli et sentralt begrep som brukes i alle aspekter av livet og samfunnet. Bærekraft handler om å møte dagens behov uten å gå på bekostning av fremtidige generasjoners evne til å møte deres behov (Portney, 2015). Mange av forestillingene om bærekraft har utspring i arbeidet til FNs verdenskommisjon for miljø og utvikling, også kalt Brundtland-kommisjonen. Her legges det til grunn at miljø, økonomi og rettferdighet er tre pilarer som holder konseptet oppe, og «[...] bærekraft bare kan oppnås ved å samtidig beskytte miljøet, bevare økonomisk vekst og utvikling og fremme rettferdighet.» (Portney, 2015).

Allerede fra utvikling av Brundtland-kommisjonen ser man at FN spiller en sentral rolle i det globale arbeidet mot å skape en bærekraftig verden. Fra 2000-2015 var tusenårsmålene et felles verktøy og skapte stor framgang på områder som utdanning og helse (FN-sambandet, 2023a). Det er i dag et større fokus på bærekraft, og det ble derfor satt sammen de 17 bærekraftsmålene som skal fungere som en felles global retning for land, næringsliv og sivilsamfunn. Bærekraftsmålene er et verktøy og en felles arbeidsplan som jobber for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030 (FN-sambandet, 2023a). Dette må gjennomføres på flere plattformer og aspekter for å kunne nå målene. Sett i et bygg- og anleggsperspektiv er det flere av bærekraftsmålene som vil være aktuelle verktøy for å bedre bærekraften i næringen.

Denne oppgaven vil i hovedsak belyse mulige endringer som i hovedsak vil basere seg på bærekraftsmål nr. 11; bærekraftige byer og lokalsamfunn. Mer spesifikt vil punkt 11.3, «innen 2030 styrke inkluderende og bærekraftig urbanisering og mulighet for en deltakende, integrert og bærekraftig samfunnsplanlegging og forvaltning i alle land» og punkt 11.6 «innen 2030 redusere byenes og lokalsamfunnenes negative påvirkning på

miljøet (målt per innbygger), med særlig vekt på luftkvalitet og [...]» (FN-sambandet, 2023b) være medvirkende i en energieffektivisering. I tillegg kan bærekraftsmål nr. 7; «Ren energi til alle» (FN-sambandet, 2023a), være aktuell. Disse målene vil ligge til grunn for bedring av energibruk og inneklima, og vil være hensiktsmessig for å skape gode prosesser og se på muligheter som enkelt kan implementeres i ulike utbedringsprosjekter.

## 1.1 Aktualisering av tema

Et godt eksempel, og noe alle bedrifter og byer kan strekke seg etter, er å bli mer bærekraftig, tenke på miljø og gi brukerne av samfunnet bedre livskvalitet. I 2019 kåret EU Oslo til europeisk miljøhovedstad (VVS aktuelt, 2018), med blant annet grunnlag i lansering av den nye miljø- og energistrategi fra *Undervisningsbygg*. I hovedstaden har de et mål om utslippsfrie byggeplasser, humlevennlige skoler og større fokus på ombruk av bygningsmaterialer og inventar. Det er fokus på energiledelse og energibruk i skolebyggene (VVS aktuelt, 2018), og dette vil også være viktig for denne oppgaven. Man ser her at det er mulig å tilrettelegge skolebygg for å bidra til og nå nullutslippsmålet til Norge i 2050 (Norsk Klimastiftelse, 2023). Bergen kommune begynte i 2020 å ombygge Holen skole til et av landets mest energieffektive skolebygg (Hågøy, 2020). Dette er et godt eksempel på at med god planlegging og ved gode valg kan en kombinasjon av riving og ombygging sørge for gode og miljøvennlige skoler. Denne skolen er et foregangsprosjekt for potensielt andre skolebygg.

I Norge er utdanning på offentlige skoler gratis. Dette medfører at stat og kommune er dem som finansierer en betydelig del av utdanningen (Statistisk sentralbyrå, 2019). Bergen kommune har ansvar for de offentlige skolene og kom i 2021 med en ny skolebruksplan for 2021-2030 (Bergen bystyre, 2021). Bergen kommune har stort potensiale i utbedring av skoler. Vurdering av behov gjøres ut fra skolebruksplanen og skal følge prognoser for elevtall, skolestørrelse og muligheter for samlokalisering og sambruk (Bergen bystyre, 2021). På denne måten vil byggene dimensjoneres hensiktsmessig og samsvare med forventningene for nærmiljøet sin boligbygging og elevtallsvekst (Bergen bystyre, 2021).

Bergen kommune har i skolebruksplanen beskrevet hvilke skoler som skal rehabiliteres, hvilke skoler som skal få kapasitetsutvidelser og plan for hvor det skal bygges nye skoleanlegg (Bergen bystyre, 2021). Strategier for fremtidig skolestruktur basere seg på;

- *Skoleanleggenes fysiske læringsmiljø*
- *Skoleanleggets kapasitet*
- *Skolestørrelse og skoletype*
- *Skolekretser og nærskoleprinsippet*
- *Forventet elevtallsutvikling og fremtidig byutvikling*

En generell målsetning som er forankret i kommunens planer er at skoleanleggene skal utvikles til å bli *et hjerte i nærmiljøet* (Bergen bystyre, 2021). Ambisjonen til byrådet her er at Bergen skal være en kortreist fossilfri by preget av gode nabolag og oppvekstmiljø, der folkehelse, inkludering, klima, miljø, biologisk mangfold og sosial utjevning er viktig i all byutvikling (Bergen bystyre, 2021). Bergen by skal blant annet legge til grunn å ha gode barnehage- og skoletilbud i alle bydeler slik at innbyggerne får et likeverdig tilbud og like muligheter. Ifølge kommuneplanens samfunnsdel skal det være en målrettet innsats i områder med levekårsutfordringer. Målsettingen innebærer å utjevne sosiale og geografiske forskjeller som har betydning for levekår og folkehelse (Bergen bystyre, 2021). Denne målsetningen går i tråd med bærekraftsmålene til FN og kan trekkes med i denne oppgaven.

## 1.2 Slettebakken skole

I samarbeid med Bergen kommune ble en av skolene som skal vurderes for konseptutvikling og har behov for oppgradering i Bergen tildelt som mulighetsstudie. Prosjektet tar for seg Slettebakken skole som er lokalisert i Årstad bydel. Skolen består av 4 bygg, oppført mellom 1956-1966 (1971), samt et bygg for barnehage oppført i 1955 som ikke er en del av utbedringsprosjektet. Samtlige bygg bærer preg av lite vedlikehold og utdaterte løsninger med et stort behov for modernisering. Bilde 1 viser Slettebakken skole ovenfra med de ulike byggene plassert rundt skolegården. Skolegården er noe oppgradert siden dette bildet og har blant annet fått flere lekestativer, soner og ballbinge. Øst for skolen går bybanesporet fra Sletten og videre Sletten senter. Rundt skolen på sør-, vest- og nordsiden ligger Tveitevatnet aktivitetspark og Tveitevannet. Dette er et populært turområde.

Slettebakken skole består av flere forskjellige bygg og har opp gjennom årene hatt flere ulike formål. Tidligere har Bygg 6 (se bilde 1) vært helsestasjon og Bygg 2 har vært internasjonal skole (ISB). I dag brukes disse byggene som skole, sammen med bygg 1 (se bilde 1). Bygg 1 består av hovedbygg, mellombygg og administrasjon. Bygg 3 brukes i dag som gymsal, men har også mulighet til å brukes ved ulike arrangement grunnet scene og anlegg for dette. Sør for bygg 2 er også barnehagen lokalisert og tar i bruk fellesområdene.



Bilde 1: Slettebakken skole ovenfra med retningsforklarende tegn, hentet fra (Etat for bygg og eiendom, 2014a)

I 2017 ble det gjennomført en mulighetsstudie av området Sletten og Slettebakken. Studiet tok for seg fremtidig utvikling av området, og konkluderte med at plassering av skolen bør opprettholdes (Bergen bystyre, 2021). Flytting av skolen vil medføre kapasitetsutfordringer på omliggende skoler (Bergen bystyre, 2021, s.49). Det vil derfor være nødvendig å utbedre skolen der den er, også på bakgrunn av nærskoleprinsippet, tomtens sentrale plassering og kvaliteter ved skolen (Bergen bystyre, 2021, s.49).

Skolen har i dag en normalkapasitet på 500 elever og har et forslag på ny normalkapasitet på 450 elever grunnet antall klasserom i skoleanlegget (Bergen bystyre, 2021). I tillegg vil det være behov for arealer til kroppsøving som tilsvarer størrelse på en basketballhall (Bergen bystyre, 2021, s.49-50). Her ser man det vil være nødvendig å oppgradere gymsalen for å sikre behovet. Bergen kommune har i skolebruksplanen presentert handlings- og økonomiplan for 2021-2024, med midler avsatt til utredning av Slettebakken skole. Midler til konkrete byggeprosjekter vil innvilges når prosjektet er tilstrekkelig avklart (Bergen bystyre, 2021, s.48). Bergen kommune har her aktualisert Slettebakken skole og dens verdi, samt

klarert for prosessen for utbedring av skolen. Det er i denne tidlige fasen av prosessen at de ulike konseptene for bygget kan utvikles, og denne oppgaven kan også være et bidrag.

### 1.3 Problemstilling

Fra skolens utgangspunkt ser vi at den har stort potensiale og mange ulike utfordringer. Det kan være alt fra nybygg, oppgradering av gymsal, til optimalisering av dens areal og utbedre disse. Gitt oppgavens fokus på energieffektivisering, inneklime og miljøbevissthet har problemstillingen blitt vinklet rundt disse temaene. I tillegg faller det naturlig å se på skolens utbedringer i tråd med det økonomiske perspektivet da det er en kommunal skole.

Basert på dette lyder problemstillingen for oppgaven slik:

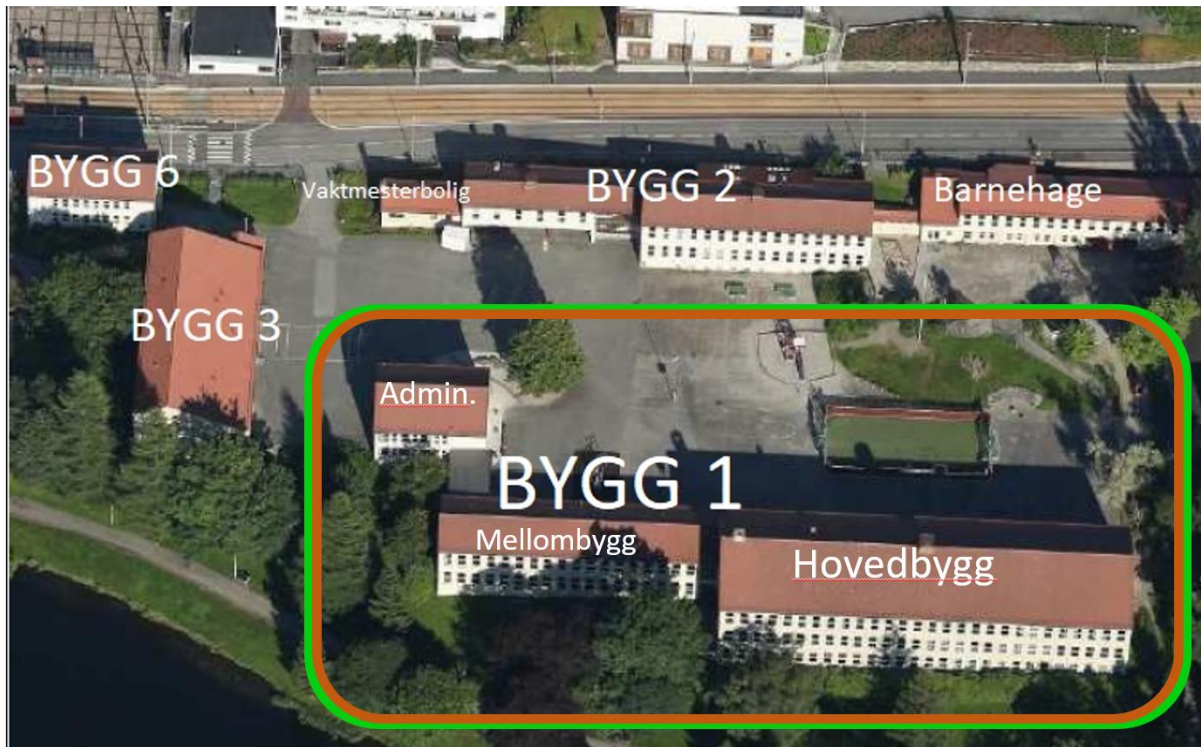
*«Hvordan kan man møte utfordringene rundt energieffektivisering, modernisering og bedring av inneklime i eldre skolebygg på en kostnadseffektiv og bærekraftig måte?»*

### 1.4 Avgrensninger

Grunnet skolens bygningsmasse, som er fordelt på 5 ulike bygg (inkludert barnehagen fra 1955), vil det av natur være ulike utfordringer i hvert bygg. Byggene er oppført ved ulike årstall, men de bærer alle preg av dårlig vedlikehold og eldre løsninger. I denne oppgaven vil det bli gjort en overordnet analyse, for så å avgrense hovedutredningen til et bygg. Fokuset vil ligge på bygg 1 som ble oppført i 1961 (se utringning på bilde 2). Dette bygget består av flere sammenhengende deler som ble fullført til ulik tid, der administrasjonsbygget ble ferdigstilt sist, i 1971. Dette er skolens største bygg, med kapasitet til flest elever. Det er også dette bygget som simuleres i SIMIEN (se kapittel 3.4 for nærmere beskrivelse), samt vektlegges i tilstandsanalysen (se kapittel 3.2).

Undersøkelser som skal underbygge oppgaven vil begrenses til aktører som har kjennskap til skolen og kan gi mest mulig innsikt. Utstyr brukt i datainnsamling avgrenses av ressursene til HVL. I tillegg vil det være avgrensninger med tanke på tilgang og tilgjengelighet på

dokumenter og fysiske områder på skolen. Fysiske avgrensninger på skolen kan komme av sikkerhetsgrunner og begrenset tilgang. I kostnadsberegninger vil det legges fram tiltak som omfatter temaet for oppgaven. Det vil si at beregningene begrenses til å omfatte tiltak som er energieffektiviserende og har positiv innvirkning på inn klima.



Bilde 2: Begrensing av område, fokusområde Bygg 1, hentet fra (Etat for bygg og eiendom, 2014a).



## 2 Teoretisk grunnlag

Dette kapittelet tar for seg den teoretiske bakgrunnen som bygger opp problemstillingen. Det legges frem ulike krav og teori som omhandler temaet om hvordan man kan energieffektivisere et bygg og kulturhistorisk bakgrunn for skolen. Det teoretiske grunnlaget vil baseres på hvordan man kan optimalisere byggets helse. Ved å forstå teorien og sammenhengen bak byggets helse og livssyklus har man større grunnlag til å nå bærekraftsmål nr.7.3; «innen 2030 få forbedringen av energieffektivitet på verdensbasis til å gå dobbelt så fort» (FN-sambandet, 2023c).

Det står beskrevet i boken *Hus og helse* (2009) at «Til enhver tid skjer det et samspill mellom forhold i det fysisk-kjemiske, det psykologiske, det sosiale og det estetiske miljøet og våre nedarvede og tilegnede egenskaper». Inneklimaet er målbare fysisk-kjemiske faktorer i miljøet, og kan derav virke inn på vår fysiske helse (SINTEF Byggforsk, 2009). Innemiljøet omfatter både inneklima, i tillegg til det estetiske, psykologiske og sosiale miljøet. Inneklimasykdommer er ofte knyttet til kroppens slimhinner, men kan også være mer generelle symptomer som hodepine, kvalme og unormal tretthet (SINTEF Byggforsk, 2009). Allergier, astma og andre sykdommer har sammenheng med hus og bygninger med inneklimaproblemer, og er generelt et stort samfunnsproblem (SINTEF Byggforsk, 2009). På bakgrunn av disse problemene ble det i perioden 1994-1999, med forlengelse i perioden 2008-2012, fokus på å redusere inneklimaproblemer (SINTEF Byggforsk, 2009).

Etter krigen, på 50- og 60-tallet, var utbyggingen preget av mye nybygging for å dekke behovet for funksjonelle bygg. Det ble videre på 70-tallet en oppblussing av problemer i hus som formaldehydavgassing fra bygningsmaterialer og helsefare knyttet til asbest. Verdens helseorganisasjon fulgte med i utviklingen og konkluderte med at god inneluft er en menneskerettighet (SINTEF Byggforsk, 2009). Et voksent menneske puster inn 12-15 kg luft per døgn, mens barn forbruker relativt mer luft i forhold til kroppsvekt. Luften består blant annet av oksygen, nitrogen og karbondioksid (CO<sub>2</sub>). Mennesker tar opp oksygenet og frigir CO<sub>2</sub>. Dette vil si at når mange personer er samlet i et rom med for lavt luftskifte vil det bli

høyere konsentrasjon av CO<sub>2</sub>. Dette kan medføre konsekvenser, som problemer med konsentrasjon, tretthet og potensiell hodepine (SINTEF Byggforsk, 2009). Dette vil ha negativ påvirkning for ansatte og elevers helse og prestasjon. Inneklima kan i den forstand påvirke både elevenes helse og faglige utvikling, og man ser relevansen med å ha et skolebygg som har tilstrekkelig god ventilasjon og en bygningshelse som holder dagens krav.

## 2.1 Definisjon av begreper

Videre i oppgaven vil det tas i bruk en del relevante begreper for temaet. Under er disse systematisk listet opp:

- **BRA**; er forkortelsen for bruksareal, og er arealet som ligger innenfor omsluttende vegger. Dette kan for eksempel være innenfor en bruksenhet eller et plan (Direktoratet for byggkvalitet, 2019).
- **BTA**; er forkortelsen for bruttoareal og er betegnelse på arealet i en bygning som begrenses av utsiden av yttervegg eller til midt i skillevegger mot en annen bruksenhet (Anderssen, 2019).
- **Energimerking**; Bygninger energimerkes med en energikarakter, og en oppvarmingskarakter.
  - Energikarakteren for et bygg graderes med bokstav A til G. Karakteren vil baseres på levert energi til bygget, og vil være oppgitt i kWh/m<sup>2</sup> (Norsk Teknologi, 2008). A er beste karakter og gis bygninger med netto levert energibehov mindre eller lik 75 kWh/m<sup>2</sup>.
  - Oppvarmingskarakteren beskrives med en av fem farger fra mørk grønn til rød. Denne karakteren beskriver hvor stor andel av oppvarmingsbehovet til bygget som blir dekket av fossil og elektrisk energi. Mørk grønn er beste karakter, og gis bygninger med andel fossil og elektrisk energi til oppvarming mindre eller lik 30% (NVE, 2013).
- **FDVU**; står for forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling.
  - **Forvaltning** er en overordnet funksjon som omhandler ledelse, organisering av arbeidsoppgaver, de administrative oppgavene knytt til kjøp/salg av

eiendom, økonomisk planlegging og styring, samt utleie, forsikringsavtaler og annet (SINTEF Byggforsk, 2009).

- **Drift** inkluderer alle oppgaver og rutiner som er nødvendig for at bygningen og tekniske installasjoner skal fungere optimalt. Dette vil være blant annet forsyning av vann, energi, renhold og renovasjon (SINTEF Byggforsk, 2009; Thue, 2019).
- **Vedlikehold** tar for seg arbeid som er nødvendig for å opprettholde kvaliteten på bygningen på et fastsatt nivå, og varierer ofte mellom løpende- og periodisk vedlikehold (SINTEF Byggforsk, 2009; Thue, 2019).
- **Utvikling** er arbeid som utføres for å opprettholde bygningens verdi over tid. Disse arbeidene kan være initiert internt av egne brukere eller eksternt av f.eks. myndigheter (SINTEF Byggforsk, 2009).
- **Kapitalkostnad** er investeringskostnaden i bygget (SINTEF Byggforsk, 2009). Det kan være investering ved nybygg eller ved ombygging.
- **kWh**; Strømforbruk måles i kilowatt timer (kWh) og blir behandlet som en egen enhet. Det vil si at tiden ikke nødvendigvis har innvirkning på strømforbruket som verdi. Et apparat som krever mer energi (W) vil forbruke 1 kWh på kortere tid enn et apparat som har lavere energiforbruk (Rosvold & Hofstad, 2023). Enheten kan skrives i flere benevninger for å beskrive mengde.

1 kWh	1 MWh	1 GWh	1 TWh
$1 \cdot 10^3$ Wh	$1 \cdot 10^6$ Wh	$1 \cdot 10^9$ Wh	$1 \cdot 10^{12}$ Wh

Denne enheten utdypes videre til et mer generelt målesystem ved kWh per kvadratmeter (kWh/ m<sup>2</sup>) og beskriver mer presist hvor mye energi et bygg forbraker fordelt på areal.

- **Livssyklus kostnader (LCC)** er en analyse som inkluderer investeringer i nær framtid (kapitalkostnad) sammenholdt med drifts- og vedlikeholdskostnader over lengre tid (SINTEF Byggforsk, 2009). Kostnadene forbundet med ulike valg av løsninger, komponenter og materialer vil danne grunnlaget for en total-økonomisk vurdering (SINTEF Byggforsk, 2009).

- **ppm**; som står for parts per million, brukes til å identifisere mengden av et stoff i luften. Det gjelder ofte stoffer med lav konsentrasjon i det overordnede systemet. Ppm er ofte brukt som en måleenhet for CO<sub>2</sub> i luft selv om det ikke er en internasjonalt anerkjent enhet. Dette er fordi det ikke har en spesifikk mengde som volum, vekt eller antall [mol] (Hofstad, 2023). Mol er enheten for stoffmengde, bestående av partikler eller partikkelgrupper (Holtebekk & Hofstad, 2023). Enkelt forklart betyr det at 1 ppm av et gitt stoff er en milliondel av hele systemet.
- **SD-anlegg**; SD-anlegg er en betegnelse for en sentral driftskontroll, det vil i hovedsak være en teknisk hovedsentral som kommuniserer med andre anlegg i bygningen og gir en overordnet for styring av anleggene (Entro, 2022).
- **U-verdi**; er målt i W/m<sup>2</sup>K og er en varmegjennomgangskoeffisient. Den er et standardisert mål på hvor lett en bygningsdel slipper gjennom varme (SINTEF, 2018). Lavere U-verdier gir lavere varmegjennomgang og er derfor mer energieffektivt.

## 2.2 Energibruk i bygninger

En bygnings energiforbruk er en viktig del av samfunnets totale energiforbruk.

Undersøkelser gjort både for Europa og Norge viser at energiforbruk i bygninger utgjør 30-40% av det totale energiforbruket (Norsk Teknologi, 2008; Yuan & Jin, 2015). På bakgrunn av dette anses energieffektivisering som en viktig strategi for en bærekraftig utvikling på et internasjonalt plan (Yuan & Jin, 2015). Den norske bygningsmassen bruker totalt 82 TWh/år, hvorav 35 TWh går til næringsbygg (Norsk Teknologi, 2008).

Allerede i juni 2009 kom lavenergiutvalget med en rapport for energieffektivisering (Lavenergiutvalget, 2009), noe som understreker at dette har vært et fokusområde lenge. Her ble det presentert mål om å senke den samlede energibruken i byggsektoren, som inkluderer både krav til nybygg, rehabilitering og tiltak i øvrig bygningsmasser. I 2020 er målet satt til 70 TWh, mens i 2030 er det satt til 55 TWh (Lavenergiutvalget, 2009). Data fra Olje- og energidepartementet viser at husholdninger og tjenesteyting brukte 78,2 TWh energi sammenlagt i 2020 (Olje- og energidepartementet, 2023). Om lag 75% av bygninger

er lite energieffektive, og bare 1% av disse blir rehabilitert årlig (Paraschiv et al., 2021). Ved å rehabilitere eksisterende bygninger vil man redusere totalt energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp. De siste 20 årene har globale karbondioksidutslipp økt med rundt 40 % (Paraschiv et al., 2021). I henhold til Paraschiv et al vil det være nødvendig å opprettholde en gjennomsnittlig temperatur innendørs gjennom året, for å redusere karbonavtrykket og energiforbruket til bygninger. Det vil også være aktuelt å redusere varmeoverføring til og fra det ytre miljøet (Paraschiv et al., 2021). Varme vil alltid gå mot kjøligere områder og har en forutsigbarhet som kan brukes til å analysere energieffektiviteten til en bygning (Paraschiv et al., 2021).

Lavenergiutvalget presenterte i 2009 en tiltaksliste basert på TEK07, som også i dag er relevant for å bedre energieffektiviteten i bygg. Tiltakene baserer seg på bygningsmessige tiltak som utskifting av vinduer eller etterisolering, samt tekniske tiltak på oppvarmingssystemer, energistyring og automatisering (Lavenergiutvalget, 2009). Energibesparelser for varmetap kan oppnås ved å installere termisk isolasjon (Paraschiv et al., 2021), som vil belyses i kapittel 2.4.

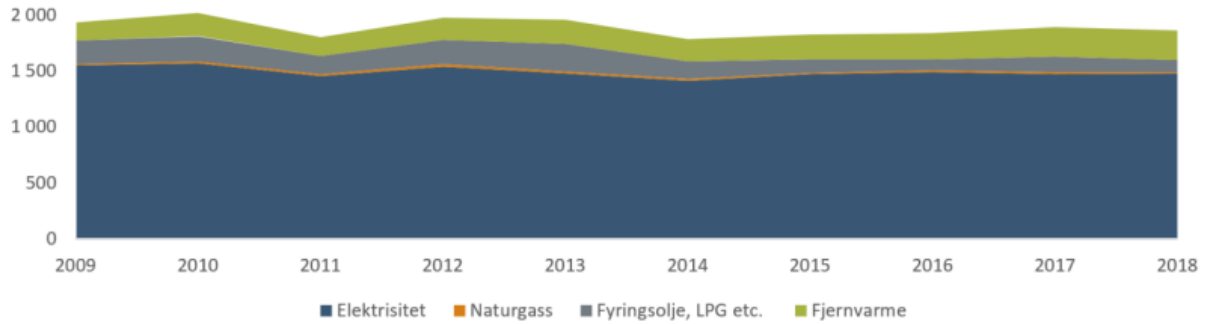
I henhold til byggt teknisk forskrift (TEK17) § 14-2 (1) a) er kravet til energieffektiviteten i skolebygg på 110kWh/m<sup>2</sup> oppvarmet BRA per år (Direktoratet for byggkvalitet, 2020). Kravet til energiforsyning for Slettebakken skole faller under §14-4 (2); bygning med over 1000 m<sup>2</sup> oppvarmet BRA. Det står oppført her i tredje ledd at bygget skal ha energifleksibile varmesystemer som dekker minimum 60% av normert netto varmebehov. Dette skal være beregnet etter Norsk Standard NS:3031:2014 (Direktoratet for byggkvalitet, 2022b). I tillegg skal det tilrettelegges for bruk av lavtemperatur varmeløsninger og det skal være en felles varmesentral (Direktoratet for byggkvalitet, 2022b). Lavtemperatur angis å være energifleksibel varmeløsning med en turtemperatur på 60 grader eller lavere (Direktoratet for byggkvalitet, 2022b). Turtemperatur er utgangstemperaturen på varmen som sendes fra et fyrrum til et system som sirkuleres rundt.

For at minimumsnivået for energieffektivitet skal være oppfylt i henhold til TEK17 må verdiene i tabell 1 innfris (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a). Disse kravene gjelder for alle bygninger med unntak av boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger. Det er også et krav om at rør, utstyr og kanaler som er knyttet til bygningens varmesystem skal være isolert. Tykkelsen på isolasjonen skal beregnes etter norsk standard og være økonomisk optimal (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a).

U-verdi yttervegg [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m <sup>2</sup> K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

Tabell 1: Krav u-verdier for energieffektivisering, skolebygg m.m.

*Energiutredning for Bergen* er en rapport fra 2020, basert på målinger fra 2009 til 2018 (Grorud et al., 2020) og viser et anslag med et noe uendret energiforbruk de siste ti årene (se figur 1). I rapporten omtales skoler som næringsbygg sammen med flere andre typer bygg. Det er derfor en variasjon og usikkerhet til hvor spesifikk energibruken er i de ulike typene med næringsbygg (Grorud et al., 2020). Illustrert i figur 1 vises også variasjonen i de ulike energikildene. Energiforbruket i Bergen i 2018 ligger på om lag 2000 GWh. 300 GWh av disse er fjernvarme, som også Slettebakken skole bruker som primær oppvarmingskilde (se figur 1). Med avfall som primært brensel er fjernvarme ansett som en mer bærekraftig løsning enn alternativene vist i figur 1.

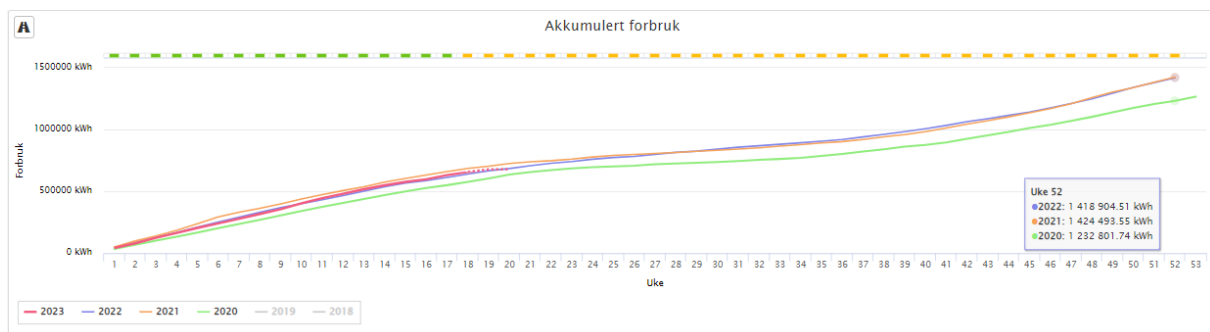


Figur 1: Energiforbruk, næringsbygg i Bergen, GWh. Hentet fra (Grorud et al., 2020)

I figur 2 er en spesifikk oversikt over brukt energimengde på Slettebakken skole fra 2018-2022. Det er vist en dobling av brukt energimengde fra 2021 til 2022, men det vil være aktuelt å se på energimengden over flere år for videre bruk i oppgaven.



Figur 2: Tabell over energimengde brukt på Slettebakken skole i perioden 2018-2022, hentet fra personlig kommunikasjon med EBE, 29.01.23



Figur 3: Graf som viser akkumulert energiforbruk gjennom året på Slettebakken skole i årene 2020, 2021 og 2022, hentet fra personlig kommunikasjon med EBE, 15.05.23

MENYER UTVALG

Modul: ENERGI    ÅR    Målt    Normaltabell    Fastkraft/Fjernvarme    0,000 : 0    Utvalgsår: 2021/2020/2019/2018/2017  
 (Målere med kursiv skrift tas ikke med i summen til høyere nivå som bygg, kategori og kunde)

	KAT.	BYGG	TYPE	MÅLER	2023	2021	2020	2019	2018	2017
▼ Bergen Kommune					683 988	1 433 033	1 239 920	1 263 912	1 306 115	1 299 041
▼ Skolebygning					683 988	1 433 033	1 239 920	1 263 912	1 306 115	1 299 041
▼ Slettebakken skole					683 988	1 433 033	1 239 920	1 263 912	1 306 115	1 299 041
			Fastkraft	Fastkraft 00185313	209 828	520 483	488 712	517 247	510 765	495 292
			Fjernvarme	Fjernvarme 33001168	474 160	912 550	751 207	746 665	795 350	803 749

Figur 4: Graf som viser energiforbruk på Slettebakken skole i perioden 2017-2023, fordelt på andel fastkraft og fjernvarme, hentet fra personlig kommunikasjon med EBE, 15.05.23

## 2.3 Ventilasjon

Ventilasjon er en betegnelse på en prosess som har som formål å tilføre frisk luft i et system og gi sirkulasjon ved å erstatte gammel luft. Ventilasjon kan deles opp i tre forskjellige kategorier, som er naturlig ventilasjon, mekanisk ventilasjon og mekanisk balansert ventilasjon (Røstad & Havellen, 2022). TEK17 stiller krav til luftkvalitet ved at ventilasjonen skal være tilpasset rommets utforming forutsatt bruk, forurensing- og fuktbelastning (Direktoratet for byggkvalitet, 2021). Inneluft skal ikke inneholde forurensinger som kan gi helseskade eller irritasjon (Direktoratet for byggkvalitet, 2021). Forskning viser at god luftkvalitet øker produktivitet og ytelse med gjennomsnittlig 2,8% og i enkelte tilfeller med hele 15% (Velux Group, 2023). Ved høyere konsentrasjon av CO<sub>2</sub> (over 1000 ppm) vil bivirkninger være hodepine, tretthet, dårlig konsentrasjon, høy puls og kvalme (Wisconsin Department of Health Services, 2018). Ved full personbelastning er det anbefalt med maksimalt 500 ppm over uteluft (Direktoratet for byggkvalitet, 2016). Uteluft ligger til vanlig på mellom 325 - 400 ppm (Mysen & Polak, 2010). Barn og unge er grunnet fysiologiske forskjeller mer utsatt ved eksponering av forurenset luft og dårlig innelima enn voksne, da de puster inn mer luft i forhold til egen kroppsvekt (Folkehelseinstituttet, 2015).

I arbeidsplassforskriften §2-14 står det at lokaler skal være utformet og innredet slik at rommene får et klima som er tilfredsstillende med tanke på lukt, fukt, trekk, luftkvalitet, temperatur og beskyttelse mot farlige stoffer (Arbeidstilsynet, 2013). TEK17 §13-3 sier det



skal dimensjoneres 2 m<sup>2</sup> for hver per person i undervisningsrom og oppholdsrom i skoler og barnehager (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

Undersøkelser utført av utdannings- og helsemyndighetene viste at 68% av landets skoler tilfredsstillt §6 i forskrift om miljørettet helsevern i skoler og barnehager (Folkehelseinstituttet, 2016). Det utgjør at om lag 900 skoler ikke tilfredsstillt forskriften (Folkehelseinstituttet, 2016). Folkehelseinstituttet mener at det er god grunn til å tro at det er en forholdsvis høy mengde barn som blir utsatt for unødvendig eksponering av dårlig inneluft (Folkehelseinstituttet, 2016).

### 2.3.1 Typer ventilasjon

Et grunnleggende prinsipp bak ventilering er å sørge for at lufttrykket i et system enten er litt positivt eller litt negativt ladet slik at luften trekkes inn eller presses ut (Atkinson et al., 2009). Naturlig avtrekksanlegg fungerer ved at varm luft stiger og luft forsvinner ut av vinduer eller ventiler, som gjør at ny luft trekkes inn (Røstad & Havellen, 2022). Et naturlig anlegg legger til grunn for bruk av vindkraft og termisk oppdrift til å sirkulere luften (Røstad & Havellen, 2022). Denne typen ventilasjon var vanlig i skole og næringsbygg i Norge frem til 50-tallet (NemiTek, 2019).

Mekanisk ventilasjon bygger på prinsippene til naturlig ventilasjon, og bruker et viftesystem til å bedre effekten av ventilasjonen ved å øke mengden luft som blir utskiftet. Rom med lokal produsert forurensning i luften for eksempel bad og kjøkken er ofte utstyrt med mekanisk ventilasjon. Slike rom er ofte negativt ladet ved at luft blir trukket direkte ut fra området som skaper negativt trykk, dette trekker til seg en tilførsel av luft fra andre rom eller innganger (Atkinson et al., 2009). Vifter vil føre luften ut i høyere volum som sørger for negativt trykk, og mer effektiv fjerning av den lokale forurensingen (Røstad & Havellen, 2022). En negativ side er at mekaniske avtrekk kan trekke inn uønskede stoffer med den friske luften som radon, støv, forurensing fra garasje og lignende (U.S. Department of energy, 2023b), som er typiske utfordringer i bymiljøer.

Balanserte ventilasjonssystemer benytter seg av vifter for utskiftning av luft som mekanisk ventilasjon, men skiller seg ut ved å gjenvinne over 80% av varmen (Tekna, 2021). Balansert ventilasjon består av to kanalsystemer hvor et system sørger for å drive luften ut og det andre tilførsel av frisk luft (Tekna, 2021). Gjenbruk av varme sørger for et mer energieffektivt system som senker økonomiske kostnader ved oppvarming. Flere fordeler med balansert ventilasjonssystem er at det gir god kontroll på luftmengden som sirkuleres, kan rense luften og kan jevne ut forskjeller på temperatur og fukt i forskjellige rom (Røstad & Havellen, 2022). Dette vil sørge for en mer forutsigbar driftskostnad ved at temperaturen holder seg jevn.

## 2.4 Isolasjon

Isolasjon er et materiale som reduserer overføringen av varme mellom forskjellige rom. Termodynamikkens andre lov legger grunnlaget for teorien bak bruk av isolasjon. Den sier at varme vil alltid overføres fra et varmere element til et kaldere, aldri motsatt (Pedersen, 2023). Det vil si at isolering i vegger, tak og gulv bidrar til å bremse prosessen hvor varmen i luften forsvinner ut av bygningen til kaldere utvendig luft (U.S. Department of energy, 2023a).

Effekten av isolasjon vil sørge for å begrense tap av varme fra byggets interiør til kaldere omgivelser, men også sørge for at bygget holder seg bedre nedkjølt ved varme eksteriørtemperaturer. Termisk isolasjon vil sørge for et mer komfortabelt innneklima (UngEnergi, 2021), og gi økonomiske fordeler ved reduksjon av energikostnader når det oppstår høyere temperaturforskjeller mellom omgivelsene og interiøret av bygget (Paraschiv et al., 2021). I tillegg vil isolasjon og energibesparelse være med å redusere bygningens karbonavtrykk, som nevnt i kapittel 2.2.

Det er to hovedkategorier som er aktuelle for varmetap ved isolasjon i bygninger; varmeledning og varmekonveksjon. Varmeledning er varmetap som skjer ved overføring av bevegelsesenergi i forskjellige stoffer. Forskjellige stoffer har ulik varmeledning, ved isolering ønskes materialer med dårlig varmelednings kapasitet for å hindre at varmen forlater systemet (UngEnergi, 2021). Varmekonveksjon er når varmen slippes ut fra systemet, for eksempel via sprekker ved vinduer, karmen og dører (UngEnergi, 2021). Bygningsisolasjon brukes i hovedsak for termisk formål, men har også akustiske fordeler (Paraschiv et al., 2021). Isolasjon vil øke energieffektiviteten til bygget, som vil medføre muligheten for å kunne installere varme- og kjøleelementer som vil bruke mindre energi (Paraschiv et al., 2021). Anbefalte innetemperatur ligger på om lag 20-22 °C i et klasserom. Ved lett arbeid skal det ikke bli lavere enn 19 °C eller høyere enn 26 °C (Arbeidstilsynet, 2006). Andre helsemessige og viktige fordeler er reduksjon av klimagassutslipp og forhindring av kondens som forårsaker sopp- og muggvekst (Paraschiv et al., 2021).

For å sikre god varighet og kvalitet på isolasjonen er det viktig med rikelig lufting mellom takteking og isolasjonssjikt, hvor oppbygningen fra utsiden er takteking, luftespalte og undertak og vindsperre (SINTEF, 2010). Hensikten med en utforming som gir god tilgang til lufting er for å transportere bort fukt, slik at fuktskader og soppvekst blir forhindret (SINTEF, 2010). Ved bruk av isolerte tretak er det viktig med størst mulig dampåpenhet/lufting for å sørge for rask uttørring av trematerialene. Vindsperresjikt vil forhindre anblåsning som betyr at kald luft infiltrerer isolasjonen, noe som vil redusere isolasjonens effektivitet (SINTEF, 2010). Denne plasseres utenpå undertaket.

## 2.5 Andre energieffektiviserende tiltak i bygg

Utsparinger, som dører og vinduer, har et høyere lekkasjetall og vil bidra til et forhøyet energiforbruk (Niemeyer et al., 2011). I en artikkel fra Shenyang Jianzhu University ble det kalkulert at slike utsparinger står for 20-30% av det totale varmetapet (Feng et al., 2016). Oppgradering av forseglingen og generell tetting av utsparinger er en enkel og rimelig løsning som kan gi god økonomisk besparelse (European Commission, 2022). Nyere dører

vises å være svært tette og har lav luftlekkasje, tall fra trykktesting viste at kun 1,5 L/s lekker gjennom en moderne dør (Chen & Stensson, 2018). Det å ha effektive vindu- og dørforseglinger hjelper å skape et mer energieffektivt bygg (Hailu, 2021), gode forseglinger vil forhindre lekkasjer og bedre holde temperaturen stabil.

Det er vist i en undersøkelse fra *Gehør* at i eksisterende yrkesbygg så er det å blant annet utføre følgende energiltak som gir de største energibesparelsene; bruk av LED-lys og lysstyring, varmegjenvinning av ventilasjonsluft, driftsoptimalisering og innføring av energioppfølgingssystem (SD anlegg) (Grini et al., 2017). Her kom det frem at utskiftning til LED-lys og bedre lysstyring ga en energibesparelse på 1,8 TWh, og forbedring av energioppfølgingssystem og bruk av SD-anlegg førte til 1,1 TWh spart (Grini et al., 2017). Et forskningsstudium utført av to studenter ved Washington State University undersøkte effekten ved utskifting av lysrør (T-5, T-8) til LED og installasjon av bevegelsessensorer i tre undervisningsbygg (Powers & Saad, 2022). I studiet kom det frem at oppgraderingen ville sørget for en total reduksjon på 60% av belastning fra lys på skolen, tilsvarende 350 MWh per år (Powers & Saad, 2022). Spesifikt viste det en reduksjon på 66,2% av strømforbruk i klasserom ved bruk av LED-lys og bevegelsessensorer (se figur 5)(Powers & Saad, 2022).

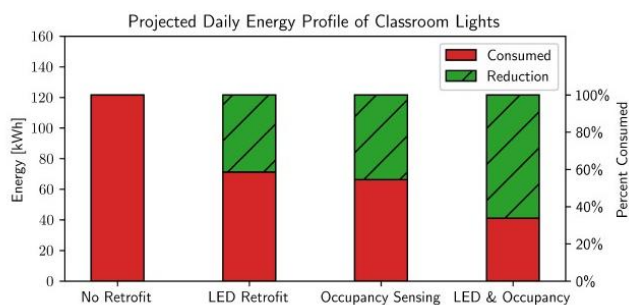


Figure 5. Bar chart comparison for daily classroom lighting energy usage.

Table 5. Classroom and lab average daily data using a \$0.10/kWh utility rate.

Case	kWh	Energy Cost	Reduction	% Reduction
No retrofit	121.6	\$12.16	-	-
LED retrofit	71.2	\$7.12	\$5.04	41.4%
Occupancy sensing	66.3	\$6.63	\$5.53	45.5%
LED retrofit & occupancy	41.1	\$4.11	\$8.05	66.2%

Figur 5: Ulikheter i energiforbruk i belsningsløsninger i klasserom

## 2.6 Energiforsyning for Slettebakken skole

Slettebakken skole har i hovedsak fjernvarme som varmekilde. Fjernvarme er et oppvarmingssystem der energi fra en fjernvarmesentral bli fraktet rundt i form av varmt vann i isolerte rør. Produsenter av fjernvarme skal i hovedsak bygges og drives av staten (Lovdata, 2022). *Eviny* som er leverandøren til Slettebakken skole er eid av Staten og Bergen kommune henholdsvis 43,44% og 37,75% (Rosvold, 2023b). Prisen på fjernvarme er regulert gjennom energiloven og kan ikke overstige strømprisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde (Lovdata, 2022). *Eviny* har valgt å produsere en tilgjengelig pris på 3% under strømpris (Eviny, 2023b). Dette kan være til et bygg, til større bydeler eller til andre bygg i større områder (Rosvold, 2023a). *Eviny* har to sentraler i Bergen, hvor anlegget i Rådalen forsyner Slettebakken skole (Eviny, 2023b).

Energikilden for fjernvarmenettet er spillvarme fra avfallshåndtering (Eviny, 2023b) og i 2021 var 88,8% av totale energiproduksjonen fra avfallsforbrenning (Multiconsult Norge AS, 2021). I figur 6 er det en oversikt for energibruk i kommunal eiendomsforvaltning i Bergen for fjernvarme. I 2022 var energibruken for skolelokaler i Bergen målt til 9546 MWh (Statistisk sentralbyrå, 2023). Ifølge Statistisk sentralbyrå har skolelokaler i Bergen et totalt strømforbruk på 54 689 MWh (Statistisk sentralbyrå, 2023).

	Energibruk (MWh)		
	2020	2021	2022
4601 Bergen			
222 Skolelokaler			
Fjernvarme/fjernkjøling	6 336	8 712	9 546

Figur 6: Oversikt over energibruken i Bergen for fjernvarme, hentet fra (Statistisk sentralbyrå, 2023).

## 2.6.1 Kostnad og økonomi

Tall fra 2017 viser at 205 milliarder kroner ble brukt i driftskostnader for utdanningssektoren (Statistisk sentralbyrå, 2019). Det innebærer både drift av utdanningsinstitusjoner, men også kostnad for utdanning av ansatte og byggenes utgifter til skrivemateriell og bøker (Statistisk sentralbyrå, 2019). 42 av disse 205 milliardene gikk til investering i utdanningsformål, særlig skolebygg. Dette viser at en god andel av økonomien blir satt til skole. I prosjekter for ombygging og nybygging av skoler har Bergen kommune et samarbeid mellom BBSI (Byrådsavdeling for barnehage, skole og idrett), Etat for bygg og eiendom (EBE) og Etat for utbygging (EFU) (Bergen bystyre, 2021).

Handlings- og økonomiplanen til Bergen kommune har for perioden 2023-2026 satt skole til det største investeringsbudsjettet. Denne posten ligger på 4,3 milliarder og utgir om lag 1/3 av hele investeringsbudsjettet (Bergen byråd, 2023). Dette går til både konseptutvikling og utbedring av de aktuelle skolene. I investeringsplanen står det at Slettebakken skole i første omgang har fått ressurser for å utvikle konsepter, på om lag 47,3 millioner kroner for perioden 2023-2025. I 2025 skal konseptutviklingsperioden være ferdig, og det vil da tildeles midler for videre utbedring etter man vet omfanget og kostandsbehovet for utbedringene. I planen beskrives Slettebakken slik: *«[...] det er konkludert med at bygningene har stort innvendig vedlikeholdsetterslep. Det er behov for omfattende ombygninger og oppgraderinger for å tilpasse bygningsmassen til moderne skoledrift og tilfredsstillende krav til arbeidsmiljø. [...] Budsjett skal dekke kostnader for planlegging og utvikling av prosjektet, mens budsjett for gjennomføringsfasen inngår i sekkepost inntil videre.»* (Bergen byråd, 2023). I en utbedring er det nødvendig å se på livssyklus-kostnader, da disse synliggjør kostnadskonsekvensene. Disse vil ha innvirkning for valg av alternativer og løsninger som gjøres av en byggherre (SINTEF Byggforsk, 2009).

## 2.6.2 Kulturhistorisk Rapport

Det ble i 2013 utgitt en kulturhistorisk rapport hvor Byantikvaren undersøkte skoler som ble bygget mellom 1724 og 1979 i Bergen kommune og vurderte hvor verneverdig byggene var. Verneverdien til Slettebakken blir oppsummert til å ha høy arkitekturhistorisk og arkitektonisk verdi, og et godt eksempel på et karakteristisk skolebygg fra 1950-tallet. Slettebakken blir beskrevet som et bygg med høy miljøverdi for nærområdet og dets utbygging. Rapporten viser til at strukturen til anlegget er godt bevart og fasadene er relativt godt bevart, men skolen har i senere tid fått noen nyere dører og vinduer.

## 3 Metode

Metoden benyttet i denne bacheloroppgaven baserer seg på innhenting av data fra tidligere analyser av Slettebakken skole, samt gjennomføring av tilstandsanalyse, intervju av aktuelle parter og energiberegninger i SIMIEN. Det vil videre utføres beregninger for kostnader ved aktuelle oppgraderinger av bygningsdeler.

### 3.1 Datainnsamling fra tidligere arbeid

I 2014 utarbeidet OPAK på vegne av Bergen kommune en tilstandsvurdering av 14 skoler (Etat for bygg og eiendom, 2014a). I vedlegget for rapporten ble det lagt fram en rekke data. Blant annet inneklime med CO<sub>2</sub>-nivå, energiattest, asbestkartlegging, radonrapport, samt plantegninger og andre aktuelle målinger/rapporter (Etat for bygg og eiendom, 2014b). I tilstandsanalysen presenterte de både *strakstiltak* (0-1år) og *videre anbefaling* (1-10år). På bakgrunn av at tidsperioden for «*videre anbefalinger*» er passert ble det vurdert for denne oppgaven at det var nødvendig med en ny tilstandsanalyse, for å se på aktuelle forbedringer og forverringer av bygget (se punkt 3.2).

### 3.2 Befaring med tilstandsanalyse

#### 3.2.1 Befaring

I ønske om å få en god oversikt av bygget og et helhetlig perspektiv, ble det gjennomført tre befaringer av Slettebakken Skole. Første runde med befaring ble ledet av vedlikeholdstekniker. Her var det en omvisning av byggene og de største problemområdene presentert. I anledning befaring nummer to og tre ble det gjennomført en overordnet tilstandsanalyse av alle byggene. Tidligere arbeid gjort i rapport fra 2014 (se kapittel 3.1) vil vurderes med i tilstandsanalysen og vil sammen med egne resultater fra befaringen utgjøre grunnlagsinformasjonen.



En tilstandsanalyse har som mål å gi oversikt over tilstandsstatusen for et byggverk, inkludert funksjonsegenskaper som bygget har (Standard Norge, 2020, s.1).

Tilstandsanalysen er gjennomført i samsvar med NS 3424, i analysenivå 1. Dette innebærer registreringer og observasjoner, måling av fukt, se etter fallforhold og nedbøyninger, stikkkontroller, temperaturmålinger m.m. (Standard Norge, 2020, s.6).

### *3.2.1.1 Tilstandsgrader*

En tilstandsanalyse inneholder et referansenivå, konsekvensgrad (KG) og tilstandsgrad (TG). Referansenivået er beskrivelsen av ønsket tilstand for bygningsdel, objekt eller byggverket (Standard Norge, 2020, s.6). I denne rapporten vil ønsket tilstand være som *ny*. Ut ifra referansenivået kan også TG defineres. Disse vil være fra TG0-TG3 der TG0 er den optimale tilstanden (se tabell 2). I tillegg kan det defineres med TGIU, som betyr at tilstandsgraden ikke er undersøkt. Dette kan være dersom bygningsdelen ikke er tilgjengelig for inspeksjon og det er nødvendig med nærmere undersøkelser (Standard Norge, 2020).

### *3.2.1.2 Analyse av avvik og konsekvensgrad*

KG sier hvor alvorlig og omfattende tilstanden til en bygningsdel er og konsekvensen av dette. KG varierer fra 0-4 og kan kategoriseres i ulike konsekvenstyper (se tabell 2)(Standard Norge, 2020). Dette vil være kategorier som helse, økonomi, estetikk, trygghet og funksjonsevne (se tabell 3 for full oversikt). For analysenivå 1 *kan* det (om mulig) være relevant å ta med hensikt til avviket, mens ved et høyere analysenivå *skal* det tas med (Standard Norge, 2020). Årsak til avvik i en bygningsdel kan komme av avvik i byggeutførelse, endrede krav, slitasje, fysisk påvirkning og nedbrytning, manglende vedlikehold m.m. (Standard Norge, 2020). Det vil også vurderes gjenværende brukstid for alle bygningsdeler med tilstandsgrad TGIU, og andre bygningsdeler der det er hensiktsmessig å vurdere gjenværende brukstid (Standard Norge, 2020). Avhengig av hvilket analysenivå som er valgt vil sannsynlighet for om uønsket hendelse kan skje eller ikke kan skje vurderes. Det vil si at ved analysenivå høyere enn 1 skal det inkluderes hvor stor

sannsynlighet for om noe uønsket vil skje eller ikke skje. Konsekvenser kan derav vurderes, basert på type byggverk og virksomhet.

Tabell 2: Oversikt av TG, KG og Risikovurdering

Tilstandsgrad (TG 0-3)	Konsekvensgrad (KG 0-3)	Risiko (KG x S) S = sannsynlighet 0-3
TG 0 = Ingen avvik	KG 0 = Ingen konsekvens	Liten risiko = 1 – 2,5
TG 1 = Ingen vesentlige avvik	KG 1 = små og middels konsekvenser	
TG 2 = Vesentlig avvik	KG 2 = Vesentlige konsekvenser	Middels risiko = 2,5-5
TG 3 = Alvorlig avvik	KG 3 = Store og alvorlige konsekvenser	Stor risiko = 5-9

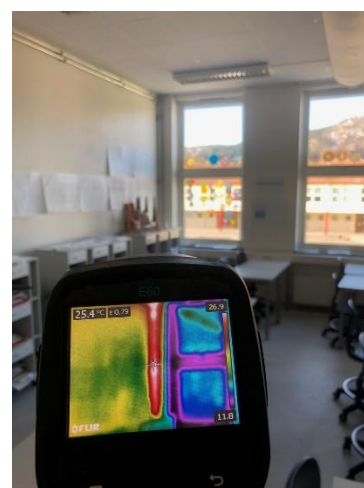
Konsekvenstype	Vekttall (alvorlighetsgrad)
Estetikk	1
Funksjonalitet	2
Vedlikehold	3
Driftsavbrudd	4
Helse og miljø	5
Pålegg påregnelig	6
Sikkerhet	7
Pålegg foreligger	8
Fare for liv og helse	9

Tabell 3: Konsekvenstype med grad av alvorlighet

### 3.2.2 Utstyr

For gjennomføring av tilstandsanalysen ble det brukt et Flir termograferingskamera for å se hvor det er varmetap i bygget. Det ble også brukt et laser-termometer fra Bosch som målte både fuktighet og temperatur generelt i rommet, men også på målt overflate. Dører og vinduskarmer (både nye og gamle) ble målt med Bosch fuktmåler for å vurdere tilstanden deres mer nøyaktig og om det burde gjøres noen tiltak der.

Uopplyste avstander ble kontrollmålt med håndholdt Bosch laser avstandsmåler. Denne ble benyttet for å måle areal og volum av blant annet fyrrom i kjeller, som ikke er inkludert på tegningsgrunnlaget.



Bilde 3: Termograferingskamera i aksjon, privat foto.

### 3.3 Intervju

Det ble totalt gjennomført tre intervjuer i kvalitativ metode. Kvalitativ metode samler inn data i form av tekst og har som hensikt å oppnå dybdekunnskap og en helhetlig forståelse av spesifikke kontekster (Grønmo, 2023). En slik metode omfatter færre enheter og utføres

gjærne ved deltakende observasjon, ustrukturerte intervjuer, fokusgrupper m.m. (Grønmo, 2023). I denne oppgaven ble det gjennomført ustrukturert intervju med vedlikeholdsteknikeren av Slettebakken skole og med to ansatte i Bergen kommune. Det ble på forhånd utformet en intervjuguide for hvert av intervjuobjektene (se vedlegg 2). Disse var godkjent av Sikt for videre bruk, med tanke på personvern og oppbevaring av data. Ønsket med intervjuene var å gå i dybden av personens holdninger til skolebyggene. Intervjuguiden var derfor utformet med åpne svarmuligheter og med mulighet til å stille utfyllende spørsmål (Orgeret, 2018).

Denne oppgaven bygger på problematikken rundt gamle bygg og vedlikeholdet av dette. Det ble tidlig avklart at et intervju med vedlikeholdstekniker på Slettebakken skole ville gi god innsikt og forståelse av utfordringene. Både grunnet perspektivet som fagperson, men også som bruker av bygget. En ekstra utfordring i denne oppgaven er at det er en skole og det derav er mange faktorer som spiller inn. Dette er en kommunal skole, og det kreves derfor en god samhandling med kommunen og en god utredning av bygget. Det er mange kommunale bygg som en kommune skal vedlikeholde og distribuere ressurser til. Det vil derfor være nødvendig å ta hensyn til det politiske perspektivet i oppgaven.

### 3.4 SIMIEN beregninger

Beregningsprogrammet SIMIEN ble benyttet for å simulere bygningsmassens energieffektivitet, og for å energimerke bygget. Programvaren bruker inndata som blant annet luftlekkasje, ventilasjonsgrad, termografi og strømforbruk (levert energi), for å kalkulere et forventet energibehov og varmetap gjennom de ulike bygningsdelene.

I våre beregninger for skolebygget er det benyttet data fra forrige tilstandsrapport fra 2014 (Etat for bygg og eiendom, 2014b), informasjon hentet fra intervju, driftstekniker på skolen, samt branntegninger av bygget. Grunnet kapasitetsutfordringer er ikke lengder og arealer på skolebygget målt opp av prosjektgruppen. Avstander er derfor hentet fra skalerte branntegninger over skolebygget. Luftvolum er beregnet med gulvareal fra branntegninger, multiplisert med oppmålt takhøyde på 3,24 m.

Enkelte verdier har ikke vært tilgjengelig i eldre dokument, og det er derfor benyttet erfaringstall fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) sin veileder «Praktisk veileder til energimerking». Se VEDLEGG 4 for oversikt over input-verdier per konstruksjonsdel anvendt i beregningene.

Bygg 1 er satt sammen av tre sammenkoblede bygg med et lite område felles vegg-areal i sammenkoblingene. Deler av bygget har fått enkelte oppgraderinger gjennom årene, og dette gjør at bygget må deles inn i flere soner for at spesielt ventilasjon skal beregnes riktig.

I simuleringen fikk hver del av bygningen hver sin sone; hovedbygg, mellombygg, og administrasjonsbygg inklusiv gangforbindelsen mot mellombygget. Med enkeltrom utstyrt med balansert ventilasjon, hvor resten av bygget bruker mekanisk avtrekk for ventilasjon, er også disse rommene skilt ut som egne soner.

## 3.5 Kostnadsberegninger

Videre i oppgaven vil det være nødvendig å se på diverse kostnadsalternativer for ulike problemløsninger. Det vil tas høyde for livssyklus-kostnader med kapitalkostnader som omfatter oppgraderinger knytt til energieffektivisering, samt drifts- og vedlikeholdskostnader over lengre tid. FDV-kostnader og investeringskostnader vil basere seg på erfaringstall fra Holteportalen. Holteportalen er et kalkulasjonsverktøy og kan i denne sammenheng brukes for å se kostnader for ulike utbedringer utført i ulik standard (Holte, 2023). Standarden kan variere fra lav, til normal, til høy. En detaljert oversikt over kalkyler og utregninger ligger vedlagt i vedlegg 7.

### 3.5.1 Utforming av tiltak og kostnader

Det blir utført beregninger på kombinasjoner av forskjellige tiltak som kan utføres på bygget. Kostnadsberegningene vil presentere flere mulige investeringsnivå hvor de forskjellige tiltakene blir kalkulert. De mest fundamentale tiltakene vil virke som et grunnlag i den økonomiske beregningen, og de andre potensielle løsningene vil bli tilføyd som et påskudd i utregningen. Det blir benyttet antakelser eller andre kilder for elementer som ikke

er tilgjengelig i Holte. Estimering av arbeidstid for utføring og kostnader for produkter vil produsere en reell prisantydning for prosjektet. Fordelingen og aktualiteten av tiltakene er basert på interne diskusjoner og logiske antagelser, samt informasjon fra eksterne kilder som vil fremstille en anvendelig estimering av kostnadene. Alle kostnader vil inkludere en sikkerhetsmargin på 10% for svinn og andre usikkerheter.

Et grunnlag for kostnadsberegningen er tilstedeværelsen av en naturlig sammenheng mellom forskjellige tiltak. Tiltak som befinner seg på et spesifikt område eller har en anvendelse som krever lignende utførelse vil være hensiktsmessig å utføre i en samlet prosess. Installasjonskostnadene kan reduseres fordi arbeid og preparasjoner som blir utført for et tiltak kan benyttes for implementering av et annet tiltak.

### 3.5.2 Utrekning LCC

For utregning av livssyklus kostnader vil det tas høyde for at det er en kommunal skole og det derav er mindre avgifter og økonomiske utgifter. Utrekningen vil som tidligere nevnt basere seg på Holteportalen, og dette vil innebære FDV-kostnader med kategorier som drift og vedlikehold, utskifting og renholdskostnader. Forsyningskostnader og forvaltningskostnader kan hentes fra reelle tall i Bergen kommune. Anskaffelses og restkostnader er i henhold til utregning for pris på hovedombygging.

### 3.5.3 Valg av strømpris

Som en del av kostnadsberegningen vil energikostnader i årene fremover være en sentral del av utregningen. Det vil skapes en forventet gjennomsnittspris som er realistisk i henhold til tilgjengelig informasjon og forventninger til strømkraft. Gjennomsnittsprisen for strømkraft i 2022 var 149,6 øre per kWh (Holstad, 2023), og ifølge rapport fra NVE forventes det en svak strømkraftøkning fremover (Birkelund et al., 2021). Strømprisen er veldig varierende med halvering av prisen fra 2019 til 2020 og over dobbel økning i året fra 2020 til 2022 (Holstad, 2023). Økningen har blant annet blitt påvirket av dagens situasjon med krigen i Ukraina, som har ført til europeiske sanksjoner mot Russland. Dette har hindret salget av russisk gass, som medførte en prisøkning i Europa (Grønning, 2022). Det er stort

fokus på bærekraft og miljøvennlighet i politisk sektor, hvor det skal legges vekt på utvikling av nye typer for strømprodusering (Olje- og energidepartementet, 2021). Utvikling av mer væravhengig kraftsystem i Europa medfører bruk av mer grønn energi, men kan skape usikkerhet ved forekomsten av ugunstig vær- og vindforhold (Buvik et al., 2022).

Nedfasing av kjernekraftverk i Europa vil skape et tap av tilgjengelig energi, for eksempel er Tyskland og Frankrike store produsenter av kjernefysiske energi produsering (Eviny, 2023a). Frankrikes totale energiproduksjon besto av rundt 70% fra kjernekraft (Hofstad, 2023b), og avvikling i Tyskland sørget for at de tre siste reaktorene ble stengt ned i 2023 (Hofstad, 2023c). Dette kan bidra til mer konkurranse og høyere priser i markedet (Buvik et al., 2022). Norge går mot et lavere effektoverskudd som betyr at Norge er avhengig av import når behovet er høyt i en periode med lav effekttilgang (Buvik et al., 2022).

Utvikling av nye markedsløsninger og økt utvekslingskapasitet vil knytte strømmarkedet tettere i Europa som kan føre til mer aktiv og god distribusjon (Buvik et al., 2022).

Overføring av strøm mellom Norden og Europa er forventet å ha en økning fra 9 GW i 2021 til 12 GW i 2030 (Buvik et al., 2022). Med grunnlag i denne informasjonen skal det utarbeides en forventet strømpris som brukes som grunnlag i beregninger i oppgaven.

## 4 Funn og resultat

I denne delen av oppgaven vil resultater og funn fra tilstandsanalyse, intervjuer og SIMIEN-beregninger presenteres. Datainnsamling har i store deler basert seg på befarings med tilstandsanalyse, intervjuer og utforsking av andre eksterne kilder. Dette gjelder blant annet oppdaterte målinger gjort i etterkant av rapporten i 2014 (Etat for bygg og eiendom, 2014a). Eksempelvis vil det være CO<sub>2</sub>-målinger fra miljørettet helsevern som ligger vedlagt i vedlegg 6. Grunnet manglende utstyr og kompetanse ble det ikke gjort nye målinger på CO<sub>2</sub>-nivå, asbestkartlegging og resultatene må derfor ses i lys av kompetansenivået. For en dypere innsikt i bygget og helhetlig forståelse av omfanget bør det gjennomføres flere undersøkelser og vurdering av personell med høy faglig kompetanse.

### 4.1 Tilstandsanalyse

Bygg 1 viser tydelige innvendige etterslep, og relativt utdaterte løsninger. Mye av endringene som er gjennomført er udokumentert, og derav vanskelig å finne en helhetlig oversikt. I vedlegg 1 er en fullstendig oversikt av tilstandsanalyse gjennomført i analysegrad 1. Tabell 4 under viser en liste med oppsummert tilstand av bygningsdeler med TG og KG for bygg 1. Analysene bygger på egne observasjoner, samt tidligere dokumentasjon fra tilstandskartleggingen av skolen i 2014 og andre data som er tilegnet.

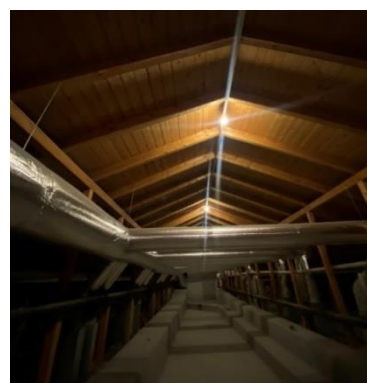
Bygningsdel m/situasjon	TG	KG
Fundament/grunnmur og konstruksjon: Uviss tilstand på armering, men bør vurderes grunnet saltutslag i betong.	TGIU	KG2
Utvendig fasade: Noe avflassing og skader i betong. Behov for ny runde med vedlikehold og oppgradering da det er 13 år siden sist.	TG2	KG2
Tak: Takstein med mer ble byttet i 2005 og har 50 års levetid. Tak bør dog isoleres og oppgraderes. Noen gliper i overganger mellom dekke og tak, samt råte lokalisert i fagverk. Himlinger er forbi sin levetid og bør byttes.	TG2	KG2
Utsparing: Vinduer ok. Hoveddører i teak og rømningsvei har stort varmetap og er lite energieffektiverende. Store gliper på underside av dørbladet. Må utbedres.	TG2	KG2

Innvendige overflater: Generelt slitt, gamle og umoderne overflater. Bemerkelsesverdig med saltutslag på vegger. Videre undersøkelser og oppgradering av grunnmur bør vurderes.	TG2	KG2
Universell utforming: Ingen vesentlige avvik.	TG1	KG1
Installasjoner: I form av SD-anlegg, gamle sikringer og generelt lite oppdaterte løsninger. Risiko ved overbelastninger.	TG2	KG3
Ventilasjon: Anses som dårlig og kritisk for både bygghelsen og den fysiske helsen. Medfører flere ulemper med mekanisk avtrekk uten gjenvinning, som f.eks. vanskelig temperaturregulering og CO <sub>2</sub> -utfordringer. Krav fra helsemyndighetene om utbedring for å senke CO <sub>2</sub> -nivå i klasserom.	TG3	KG2
Temperaturregulering: Vannbåren fjernvarme i gamle og nye rør. En del gamle rør som er uisolert og gir varmetap. Store varmetap i utsparinger, f.eks. i gliper med dører og mye gjennomtrekk.	TG2	KG2
VVS: Oppdaterte sanitæranlegg. Rør bør undersøkes. Noe forurensende luft fra bøttekott under administrasjonsdelen som i perioder kan være sjenerende for personalet.	TG1	KG1
Belysning: Vesentlig avvik med energikrevende løsninger.	TG2	KG1
Brannsikkerhet: ingen vesentlige avvik, men uoppdagede problem vil ha konsekvens av vesentlig grad. En ny brannteknisk undersøkelse bør gjennomføres.	TG1	KG2
Fellesområde: Sentralt og god tilkomst til skolen. Har dog vesentlig avvik i form av vandalisering og turbulent nabolag. Parken kan tiltrekke ulike grupper.	TG2	KG2

Tabell 4: Oppsummert tilstandsanalyse, oversikt for bygg 1 med tilhørende TG og KG

#### 4.1.1 Konstruksjon og fundament/grunnmur

Generelt grei konstruksjon. Betong i fundament, og vegger bestående av tegl og betong. TGIU på armering. Generelt lav utnyttelse av areal i bygget. Det anbefales en nærmere undersøkelse av grunnmur og fundament for å avgjøre om betong og armering holder nødvendige krav. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.



Bilde 4: Loft med romslig areal, privat foto



### 4.1.2 Utvendig fasade

Vegger i betong og hvitmalt puss. Det er en del avflassing, tagging på vegger, samt noe synlig armering og skade i betongen. Kvalitet på betongen er uviss. Sist malt i 2010, og det er nå tid for ny oppgradering. Vurderes til TG2. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.



Bilde 5: Skade i yttervegg, privat foto

### 4.1.3 Tak

Yttertaket sett fra innsiden ser generelt bra ut, men det er noen synlige sprekker i overgang mellom tak og gulv. I tillegg er det ingen isolasjon. Det er lite tegn til fukt og råte i treverket, og er kun avdekket ett sted på loftet. Gammel himling i store deler av bygget. Vurderes til TG2 med stort varmetap og lite energieffektivitet. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.



Bilde 6: Illustrasjon av varmetapet, privat foto

Bilde 7: Rømningsvei nordside med stort varmetap, privat foto

### 4.1.4 Utsparing

Vinduene i bygg 1 er generelt nye og har i den store betydning lite å si for varmetapet. Derimot er det erfart et større varmetap på dører. Dette er illustrert på bilde 6 som viser målt temperatur på dør (7,4 grader) og målt temperatur på vinduer (16,1 grader) i samme rom, ved bruk av termometer. Originale ytterdører i teak har stort varmetap, men nyere

dører i aluminium har lavere varmetap. Tiltak for teakdører må gjennomføres. Vurderes TG1 for vinduer og TG2 for dører. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.5 Innvendige overflater

Lite oppdaterte overflater og en del av elementene er forbi sin levetid. Saltutslag fra fuktinntrenging og dårlig drenering har også påvirket betong og innvendige veggoverflater. Vurderes til TG2. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.6 Universell utforming

Det er forsøkt tilretteleggelse for universell utforming. Det er installert heis i hovedbygget og noen automatiserte dører mellom korridor og gang. Mangler HC-toalett i bygg 1, men dette er installert i bygg 2 og 3. Vurdert til TG1. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.7 Installasjoner

SD-anlegg oppdatert og utvidet i 2007, men omfatter bare deler av skolens bygningsmasse. Gamle skrusikringer for store deler av bygget. Nylig oppgradert sikringsskap på kjøkken der det er høy risiko. Generelt mange installasjoner som ikke er i bruk og kunne vært fjernet. Installasjoner vurderes til TG2, og viser middels kritisk tilstand og høy konsekvens om noe skulle gå galt. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.8 Ventilasjon

Omtrent hele bygget har mekanisk avtrekk uten gjenvinner. Dette medfører utfordringer for temperaturreguleringer. TGIU på vifterom over administrasjon, men er avdekket asbest (se kapittel 4.2). Selve løsningen med mekanisk avtrekk uten gjenvinning gir dårlig sirkulasjon på luften og medfører høyere CO<sub>2</sub>-målinger. Her er det også krav fra helsemyndighetene om å gjennomføre tiltak mot dette (se kapittel 4.2). Refereres også her til tidligere undersøkelser

ved forrige tilstandsregistrering i 2014 at flere ansatte var påvirket av den dårlige luften. Vurderes til TG3. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.9 Temperaturregulering

Vannbåren fjernvarme som virker greit. Noen uisolerte rør som gir varmetap i fyringsrom. Generelt store varmetap til dørutsparinger og gamle teakdører. Noe påvirket av ventilasjonsløsning, som forårsaker at innetemperaturen er lettpåvirkelig av utendørs temperatur, grunnet åpne hull i veggene. Dårlig løsning som medfører større behov for reguleringer ved høye og lave temperaturer. Vurderes til TG2. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.



Bilde 8: Gamle rør uten isolasjon, privat foto

#### 4.1.10 VVS

Utvendige toalettet oppdatert og nye. TGIU på rør. Noen utfordringer med vaskerom/bøttekott under administrasjon da denne av gir forurenset luft i perioder. Vannberedere blir oppvarmet med fjernvarme til lunken temperatur, men ikke varmere. Vurderes til TG1, men med behov for videre undersøkelse av gamle rør av kompetente fagfolk. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.11 Belysning

Belysning i bygg 1 består for det meste av T5- og T8-lysstoffrør. Det er gamle lysbrytere som elevene lett har tilgang til og misbruker. Unødvendig bruk av energi ved at disse slås av og på. Generelt gamle lysbrytere som bør skiftes. Vurderes til TG2. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.



Bilde 9: Gamle løsninger for lysbrytere, privat foto

#### 4.1.12 Brannsikkerhet

Ikke noen bemerkelsesverdige funn. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

#### 4.1.13 Fellesområder ute

Området er påvirket av å være et samlingspunkt for ungdommer som tagger, samt utfordring med rusmisbrukere i parken. Dårlig drenering rundt byggene, men generelt fine områder med Tveitevatnet aktivitetspark og gode tilkomstmuligheter til skolen ved kollektivtransport. Vurderes til TG1. Se vedlegg 1 eller tabell 4 for oppsummering og nærmere vurdering.

### 4.2 Undersøkelser og målinger på inneklima

I denne delen av oppgaven vil diverse målinger gjennomført på skolen bli presentert. Prosjektgruppen har ikke hatt mulighet til å gjennomføre noen undersøkelser selv, men har tatt tidligere undersøkelser av radon, asbest og CO<sub>2</sub> med i vurderingsgrunnlaget. Tilstandsrapporten fra 2014 la frem Asbestkartlegging fra 1999 og viste flere funn i flere av byggene. I bygg 1 var det lokalisert på loft over administrasjonsavdelingen og i kjeller i innvendig isolasjon i dør for oljefyrkjel. Asbestmålingene var målt til *Meget liten*, med krav om «rutinemessig utskifting/sanering av asbestholdige materialer». I tillegg til asbestmålinger ble det også lagt fram radonmålinger i tilstandsrapporten. Målinger for radon ble gjennomført i 2013 og ble lokalisert i flere klasserom. Disse varierte fra 30 til 330 Bq/m<sup>3</sup>. Ved 100 målte Bq/m<sup>3</sup> er det anbefalt tiltak. Slettebakken skole har installert radonvifter (se vedlegg 1, tilstandsanalyse), for å redusere nivåene.

På bakgrunn av bekymringsmeldinger fra ansatte om saltutslag i vegger og frykt for muggsopp ble det også gjennomført en CYTOX inneklimaundersøkelse i 2010. Resultater fra luftprøver og fukttekniske undersøkelser viste lave konsentrasjoner av muggsporer. Saltutslag ble vurdert til at det sannsynligvis kommer på grunn av vanninntrengning

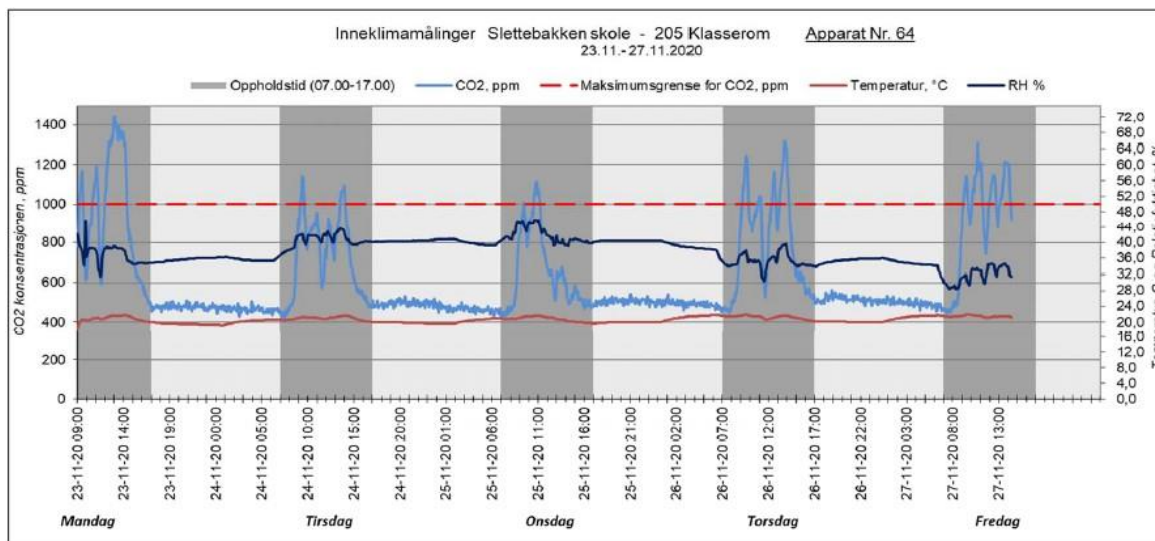
gjennom fasade. CYTOX anbefalte her en videre undersøkelse av områder med vanninntrenging.

Rapporten fra 2014 presenterte også målinger for CO<sub>2</sub>-nivåer. Disse målingene ble ansett som gamle da det ble opplyst av vedlikeholdstekniker i intervju at Miljørettet helsevern gjennomfører disse undersøkelsene annet hvert år. Det ble derav vurdert som unødvendig at prosjektgruppen selv skulle gjennomføre en slik undersøkelse, ei var hverken utstyr eller kompetanse tilstrekkelig for det. Prosjektgruppen tilegnet seg tilgang på de nyeste CO<sub>2</sub>-målinger fra Miljørettet helsevern, som ble produsert i januar 2021. Målingene ble utført over fire sammenhengende døgn i tidsrommet 23 til 27 november 2020, der dataene ble registrert hvert femte minutt. Undersøkelsene ble utført på syv forskjellige klasserom, romnummer 003, 109, 125, 204, 205, 206 og 208. Samtlige av de syv klasserommene overskred anbefalt CO<sub>2</sub> konsentrasjon ved å produsere målinger på over 1000 ppm. Høyeste målinger varierte fra 1037 til 1448 ppm.

Sammen med CO<sub>2</sub>-målinger ble det også gjort temperaturmålinger. Disse varierte mellom 18.2 °C til 26.8 °C i alle rommene som ble målt, hvor utetemperaturens laveste og høyeste måling var 2.7 °C og 10.5 °C. Rommene produserte verdier både over og under arbeidstilsynets anbefalinger, hvor rom 204 var kaldest med temperatur variasjon mellom 18,3 °C og 20,7 °C. Rom 125 ga høyest temperatur og inntraff fredag 27/11-20 klokken 05:00, og rommet hadde betydelig høyere maks temperatur enn de andre på 26,8 °C.

Ut ifra rapporten anbefaltes det å utføre strakstiltak, som for eksempel å være nøye på at personantallet i et rom ikke overskrider med bestemmelsene. I tillegg anbefales det jevn lufting av rommet i pauser, samt unngå doble timer. I rommene 205 og 206 er det antatt for mange personer i forhold til areal. Her er det anbefalt at personbelastningen bør revurderes. Langsiktige tiltak som installasjon av balansert ble anbefalt.

Rapporten hadde detaljerte grafer som viste utvikling av de forskjellige målingene gjennom døgnet. Figuren under (figur 7) viser en grafisk framstilling av variasjonen i CO<sub>2</sub>-nivået i rom 205 ved bruk i skoletiden og utenom. CO<sub>2</sub>-innholdet i luften synker i perioder ned til rundt 400 ppm som er normal utendørsluft. CO<sub>2</sub>-målingene vises med den lyseblå kurven.



Figur 7: Graf av målinger på klasserom 205. Hentet fra Miljørettet helsevern 2021, vedlegg 6.

### 4.3 Intervju

Samtaler med de ansatte i Bergen kommune ga mye hensiktsfull og læringsrik innsikt til hvordan prosessen om en potensiell forbedring av en skole foregår. Det er viktig å forstå at Bergen kommune har ansvar for 84 skoler, hvor mange er eldre konstruksjoner.

Vedlikeholdsetterslep har vært et sentralt punkt som beskriver situasjonen på flere av skolene i Bergen. Mange problemer oppstår også ved at det har vært dårlig dokumentasjon på byggene, både ved plantegninger og lignende, men også vedlikehold som har blitt utført. Kommunens ressurser vil muligens måtte brukes på å kartlegge informasjon som kunne vært til stede ved bedre oppfølging av dokumentering. *Rådgiver for byrådsavdeling for barnehage, skole og idrett* legger frem arbeidet med skoler i Bergen slik: “[...] gamle bygg er et lappeteppe [...] som tar veldig mye av ressursene våre” (Intervju, se vedlegg 2).

Ventilasjon er et gjentakende problem for kommunen i mange skolebygg, dette oppstår fordi anleggene ofte er fra byggets byggeår. Gamle ventilasjonsanlegg sliter også med økning av elevbelastning. Ventilasjon og inneklime er problemer som ofte er prosjektutløsende for en god del byggeprosjekter. I intervjuet med vedlikeholdstekniker på Slettebakken kom det fram at han ofte får tilbakemeldinger på temperatur. Det er avhengig av været og årstid, og gjelder både for kulde og for varme. Dette er noe som må tas med i vurdering av tiltak.

Det kommer til uttrykk fra flere av intervjuobjektene at Slettebakken skole blir sett på som en sentral del av nærområdet i Årstad. Skolen er et samlingspunkt og tas i bruk etter skoletid, til for eksempel språkopplæring og kursing. Oppgradering av bygget er derav høyst nødvendig. Jamfør intervju med ansatt i Bergen kommune er det ønskelig at ved utføring av totalreovering skal bygget rehabiliteres for 50 år frem i tid. På bakgrunn av dette vil det tas som et utgangspunkt med en levetid på 50 år for tiltakene i oppgaven. Dermed vil prosjekteringen bli mer omfattende og sørge for gode løsninger.

Ved større rehabiliteringsprosjekter så vil BBSI bestille en konseptvalgutredning fra EFU. EFU vil da kontrahere utredere og presentere en konseptvalgutredning i henhold til hva behovet er. For eksempel kan behovet være i forhold til elevtall, teknisk stand, hva som ønskes, om det er flerbruk og et funksjons- og areal program.

Byrådsavdeling for *finans, næring og eierskap* forvalter bygninger og økonomiske ressurser i Bergen kommune. Det jobbes på tvers av byrådsavdelinger for å samarbeide om behovene i investeringsbudsjettet. Skole har den største potten med over 1 milliard kroner i årlige investeringer. I kontakt med ansatte i Bergen kommune ble det også oppgitt at det ble brukt 3,1 millioner kroner på vedlikehold de siste fem årene.

## 4.4 Tiltak

For å redusere energiforbruket og bedre energieffektiviteten til skolebygget, er det vurdert ulike løsninger for å redusere varmetapet. Det blir framstilt 2 ulike tiltakspakker for oppgraderinger av bygget, med mål om å redusere energiforbruket mest mulig kostnadseffektivt.

### 4.4.1 Tiltakspakke 1

Tiltakspakke 1 består av tiltakene ventilasjonssystem, isolering på loft og utskiftning av tak. Balansert ventilasjonssystem er et sentralt tiltak som vil være gunstig både for økonomien og inn klima på Slettebakken skole. Tiltaket vil sørge for en reduksjon av energiforbruket og bedring av inn klima. Under vinduer og bak radiatorer er det eksisterende hull for avtrekk, som må bli gjenstøpt. Ventilasjonsanlegget vil plasseres på loft, og heises ned gjennom en midlertidig åpning i taket. Det er derfor naturlig å gjennomføre disse tiltakene samtidig. Taktekkingen skiftes ut, og nytt tak monteres med anbefalt luftespalteåpning, som er 60mm (SINTEF, 2010) for taket på hovedbygget. Dette er høyden målt mellom undertak og underside lekt. Ny betongtakstein ble lagt i 2005, med forventet levetid på 50 år (Huseierne, 2017).

Tiltak for isolering av loft medførte at tak må skiftes grunnet ukjente forhold. Det skal etterisoleres alle tak med 200mm glassvatt. Isolering av loftet ble vurdert som et gunstig tiltak for å hindre varmetap og ble tiltenkt nyttig ved installasjon av ventilasjonssystem. Full utskiftning av taket gjennomføres for å forsikre en forsvarlig bruk ved installasjon av isolasjon på loftet og sørge for best mulig effekt.

### 4.4.2 Tiltakspakke 2

Tiltakspakke 2 består av tiltakene fra tiltakspakke 1 og ytterlige utbedring i form av utskiftning av inngangsdører og bytte av lys, samt introduksjon av bevegelsessensorer.



Utskiftning av ytterdører er et tiltak hvor eldre uisolerte teakdører med slitasje blir skiftet ut med moderne og tettere dører. Dørene utsetter bygget for varmetap ved betydelig gliper under og mellom dørene, hvor det blir høy lekkasje av luft. Utskiftning av disse dørene blir utført for å minske luftlekkasjer, samt bedre utseende og funksjonaliteten.

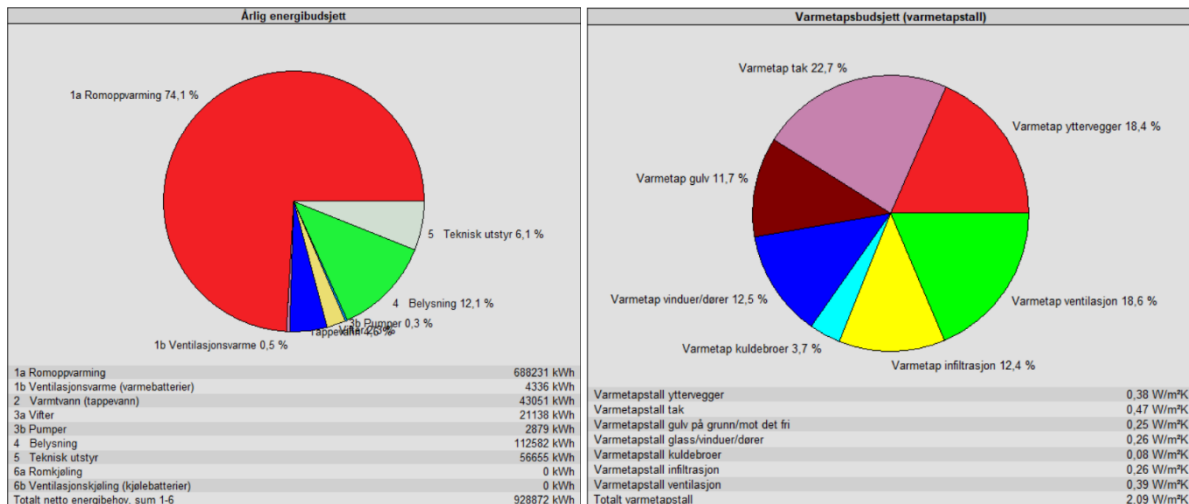
Installasjon av moderne LED-lys og bevegelsessensorer er et mindre økonomisk tiltak som er naturlig med tanke på nåværende elektrisk standard på skolen. Implementering av bevegelsessensorer og utskiftning til moderne LED-lys vil bidra til reduisering av energiforbruket. Tiltaket er også inkludert for å eliminere bruken av gamle lysbrytere og øke sikkerheten på skolen for brukerne.

## 4.5 SIMIEN

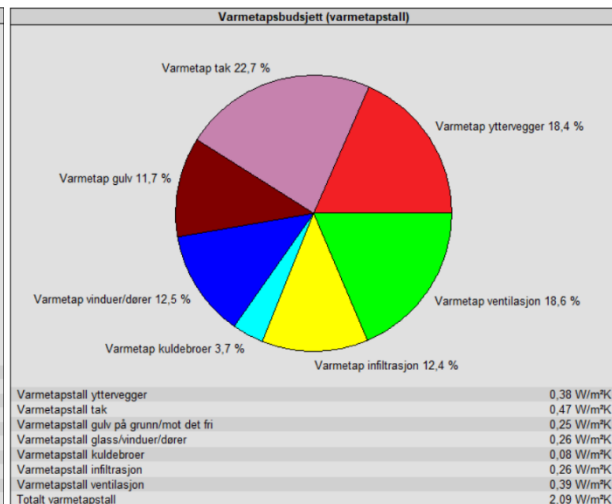
Tall for årlig energiforbruk i perioden 2017-2023 er blitt formidlet av Bergen Kommune per e-post 29.01.23, og senere oppdatert 15.05.22. Se avsnitt 2.2 for tabeller og grafer. Tallene viser et gjennomsnittlig årsforbruk for hele skolen på 1.308.404 kWh i perioden 2017-2022. Videre i delkapittelet vil forbruket avrundes til nærmeste hele tusen.

Gjennomsnittlig forbruk i bygg 1 er beregnet etter totalt forbruk per kvadratmeter. Forbruket multipliseres så med arealet i Bygg 1, og dette gir et antatt forbruk på 830.000 kWh per år.

Beregningene i SIMIEN anslår et årlig energiforbruk på 929.000 kWh. Dette forbruket er innenfor forventet avvik. Beregningene viser at største varmetap i bygget er gjennom tak, yttervegger og ventilasjon. U-verdien på tak slik bygget er i dag på 0,38 W/m<sup>2</sup>K. Totalt netto energibehov er beregnet til 155.4 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er langt over kravet i forskriften på 110 kWh/m<sup>2</sup>.

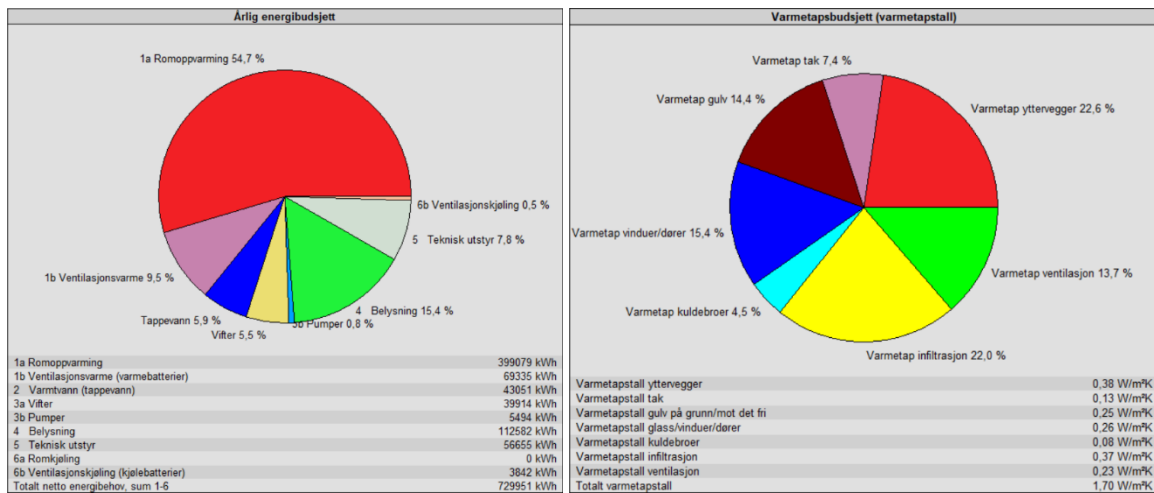


Figur 8: Årlig energibudsjett, dagens tilstand

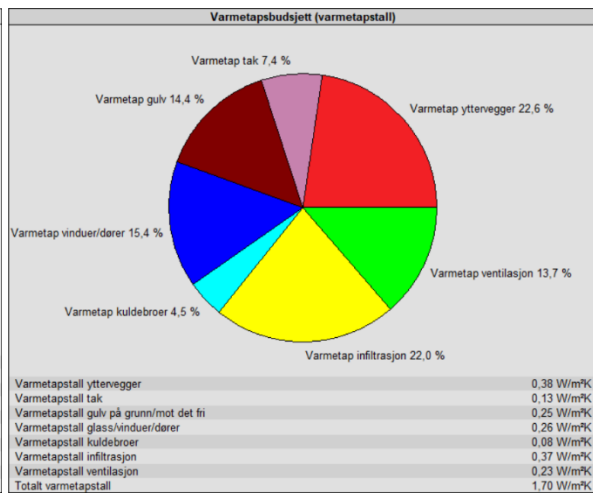


Figur 9: Varmetapsbudsjett, dagens tilstand

Gjennomføring av tiltakspakke 1 vil redusere energiforbruket med 199 000 kWh i året, og bedre inn klima betraktelig. U-verdien på tak blir beregnet redusert til 0,13 W/m²K. Denne verdien er innenfor TEK17-kravet på 0,18 W/m²K. Totalt netto energibehov vil med disse tiltakene reduseres til 170 kWh/m².



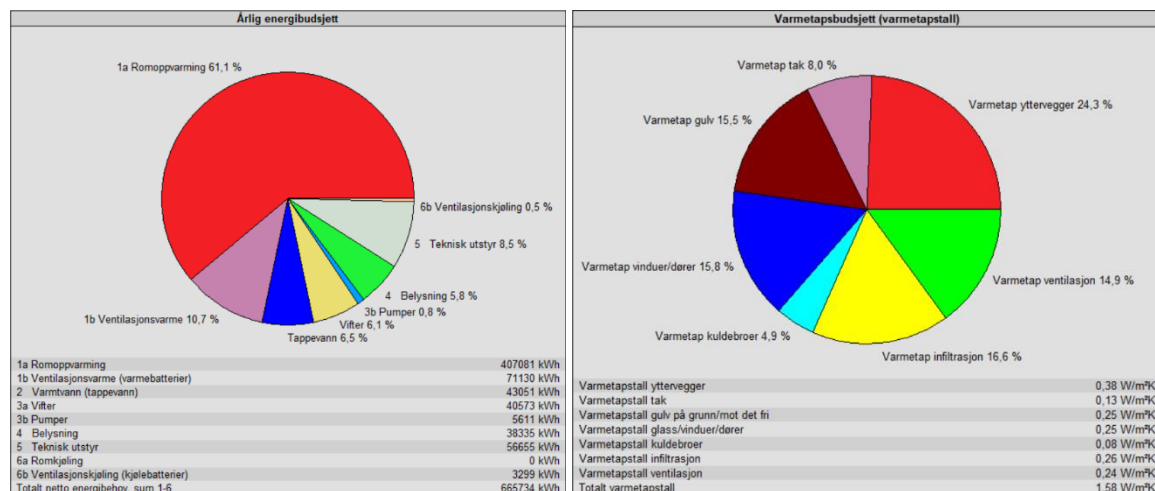
Figur 10: Årlig energibudsjett, etter tiltakspakke 1



Figur 11: Varmetapsbudsjett, etter tiltakspakke 1

I alternativ 2 beregnes det, i tillegg til oppgraderingene i tiltakspakke 1, utskiftning av gamle ytterdører i tre samt installasjon av lyssensorer og LED belysning i bygget. Dette senker energiforbruket ytterligere, og beregnet energiforbruk er nå 666.000 kWh per år. Disse

oppgraderingene bidrar til at totalt netto energibehov ytterligere vil senkes til rundt 156 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er fortsatt langt over energikravet i TEK17 på maksimalt 110 kWh/m<sup>2</sup>.



Figur 12: Årlig energibudsjett, etter tiltakspakke 2

Figur 13: Varmetapsbudsjett, etter tiltakspakke 2

## 4.6 Kostnadsberegninger

### 4.6.1 Kostnader

Kostnadene for utbedring av Slettebakken skole vil her bli presentert og forklart. En stor andel av kostnadene ble hentet fra Holte (Holteportalen), og beregnet med verdier fra bygget (se nærmere beskrivelse i metode kapittel 3.5). Det vil inkludere strømpris på 80 øre som er vurdert ut ifra faktorene i kapittel 3.5.3. Det er vanskelig å beregne fremtidig strømpris, og derav er strømprisen valgt til å være litt høyere enn opprinnelige priser fra før prisstigning jamfør kapittel 3.5.3. I vedlegg 7 ligger fullstendig utregning og oversikt for kostnadsberegninger. Det er blitt valgt en prosjektvarighet på to måneder og beregningene utføres med grunnlag i dette. Alle kostnadene har et tillegg på 10% i prisene fra Holte, men grunnet usikkerhet i forhold til materialer og fremtidige priser blir det beregnet med en ekstra margin på 10% i kostnadskalkylen. Alle priser fra Holte er oppdatert den 11.05.2023.

Det blir presentert to ulike tiltakspakker som inneholder diverse utbedringer. Tiltakene er satt sammen slik for å optimalisere utførelses- og bruks-sammenheng. Hver tiltakspakke blir

her presentert med kostnadsberegninger og utdypet videre. Alle kostnadene presenteres i tabell 5 og 6 for henholdsvis tiltakspakke 1 og 2. Tabellene presenterer nøyaktige priser for tiltakene. Diverse dypere utregninger er vedlagt i vedlegg 7.

#### *4.6.1.1 Beregninger for tiltakspakke 1*

Her blir beregninger for tiltakspakke 1 forklart og utdypet. Pakken består av spesifikke tiltak med det som vurderes til å ha en naturlig sammenheng ved utbygging og drift. Tiltakspakke 1 består av tiltakene som ble vurdert som mest essensielle for energieffektivisering og bedring av inn klima til bygget, se kapittel 4.4.1. Videre presenteres bakgrunn for forsikring, rigg, riving og selve utbedringen.

Forsikring for byggeplassen er essensielt for et byggeprosjekt for å sikre arbeiderne, utstyr og materialene som benyttes. Prisen ble hentet fra en prisantydning på total konstruksjon av nybygd barneskole i Holte. Det ble valgt høy standard for pris på forsikring, som også inkluderer gebyrer og avgifter. Garantistillelse fra byggherren som sørger for at entreprenør/byggherre får forsikret seg om at produktet/avtalen blir holdt. Prisen fra holte presenteres i kroner per kvadratmeter.

Ved kostnadsberegningene for rigg ble behovet til arbeiderne vurdert, basert på sikkerhet og gode arbeidsforhold, samt forsvarlig og riktig behandling av avfall. Dette omhandler anlegg som må være tilgjengelig på området i byggefasen for sikkerhet og ivaretagelse av arbeidere, samt sikre effektiv utførelse. Utregningen inneholder installasjon og bruk av utstyr som containere, stillas og brakke. Det ble utført nærmere undersøkelse på priser for de diverse tiltakene. Beregning av containere ble utført ved en behovsanalyse for arbeidet og utregninger av pris fra *Bergen Miljø og Gjenvinning* (se vedlegg 7). Prisantydningen for stillas ble regnet ut fra priser i Holte, ved tre poster som var tilrigging, montering og leie. Pris for brakke ble funnet ved valg av letthus fra *EDH utleie* og inkluderte spiserom, garderobe, bad, vask, dusj og kjøleskap. Det defineres nærmere i vedlegg 7 hvor informasjon og priser fra rigg forklares og vises ytterligere.

Ventilasjonskostnadene ble tatt fra en oppsummert kostnads kalkyle i Holte for full konstruksjon av en nybygd barneskole. Ventilasjonen ble valgt til høy standard og har en kvadratmeter pris. Dette gjelder et balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning i henhold til Helsedirektoratets veiledning, med behovsstyring av luftmengder (VAV).

Det er nødvendig med tetting av eksisterende avtrekk for å oppnå god effekt ved bruk av ventilasjonssystemet. Pris på tetting av eksisterende hull for ventilering ble beregnet fra eget estimert antall på mengden hull og kostnad for gjenstøping av utsparing i vegg hentet fra Holte. Det ble valgt areal  $t < 200 \times 200 \text{ mm}$  siden det er lignende areal som de sirkulære utsparingene i bygget. Kostnaden her var definert som pris for hvert hull.

Kostnadene for isolering på loftet ble utregnet med takarealet og prisantydning på etterisolering i reisverk av tre. For disse kostnadene er det inkludert for arbeidet og materialene mineralull, innvendig kledning av enkel gips, enkelt bindingsverk av tre, sparkling, maling og listing. Her blir det prisen presentert i form kr per  $\text{m}^2$ .

Riving og utbytte av taket ble utregnet separat med kvadratmeter priser fra holte og multiplisert av takarealet. Riving av nåværende takstein, papp undertak, lekter og sløyfer var inkludert i beskrivelsen for tak fjerningen. Kostnaden til utskiftning av taket inneholdt takstein, undertaksbelegg, fuging, mønepanner, mønekam og generell installasjon. Taksteinen er definert som vanlig sort takstein av betong i dobbeltkrum fasong fra *Zanda* (*Zanda Arktis takstein*, 2023).

Etter beregning vil alternativ 1 koste om lag 21,1 millioner kroner totalt og få en kvadratmeterpris på 4 467,5 kr/ $\text{m}^2$ , se fullstendig oppsett i tabell 5.

Tiltak	Mengde	Pris	Total	Total med 10% margin	Merknad
Forsikringer (høy standard)	4723 m <sup>2</sup>	529 kr/m <sup>2</sup>	kr 2 748 313,70	kr 3 023 145,07	Pris: Holte, 2023
Rigg (Definert i vedlegg 7)	Definert	Definert	kr 175 482,20	kr 193 030,42	Pris: Definert i vedlegg 7
Installasjon av ventilasjonssystem	4723 m <sup>2</sup>	2458 kr/m <sup>2</sup>	kr 11 609 134,00	kr 12 770 047,40	Pris: Holte, 2023
Hulltetting for ventilasjonssystem	174 stk	225,56 kr/stk	kr 39 247,44	kr 43 172,18	Pris: Holte, 2023
Tak isolering	1820 m <sup>2</sup>	1033,84 kr/m <sup>2</sup>	kr 1 881 588,80	kr 2 069 747,68	Pris: Holte, 2023
Riving av tak	1820 m <sup>2</sup>	130,68 kr/m <sup>2</sup>	kr 237 855,80	kr 261 641,38	Pris: Holte, 2023
Bytte av tak	1820 m <sup>2</sup>	1346,14 kr/m <sup>2</sup>	kr 2 449 974,80	kr 2 694 972,28	Pris: Holte, 2023
<b>Alternativ 1 total</b>			<b>kr 19 141 596,74</b>	<b>kr 21 055 756,41</b>	

Tabell 5: Beregninger for tiltakspakke 1

#### 4.6.1.2 Beregninger for tiltakspakke 2

Ved alternativ 2 vil beregningen fra tiltakspakke 1 fungere som grunnlaget, samt vil kostnader for ytterlige tiltak utvide den eksisterende kostnadskalkylen. Utskifting av ytterdører tok utgangspunkt i tre dobbeltdører og en enkeltdør bestående av teak. På grunn av ulike installasjonskostnader er prisanslaget for de doble dørene og den enkle døren separat. Beregningene inneholder kostnader for selve døren, montering av lister og forsegling som gir en helhetlig og aktuell prisantydning for prosjektet.

Pris på LED-lys (LEDLyskilder, 2023) og bevegelsessensorer (Elektroimportøren AS, 2023) ble funnet fra grossist nettsider. Det ble estimert et nødvendig antall med lys og sensorer ved bruk av branntegning og antagelser for behovet. Enhetsprisen på produktet ble multiplisert med estimert antall som resulterte i kostnad på utstyret. Montering av lys og sensorer ble utregnet ved å benytte en ekstern kilde med prisanslag på diverse oppgaver utført av elektrikerfirma. Ved antydninger og informasjon fra denne kilden ble det valgt en timespris på 1000 kroner for arbeiderene (boligsmart, 2023). Anslått monterings tid er basert på at arbeiderene skal installere to lysrør på en time og en time for installasjon av sensor. Estimeringen av pris på arbeidet og multiplisering med produktantallet ga et omtrentlig prisanslag for total monterings tid.

Kostnadsberegningen for alternativ to bygger på tiltakene fra alternativ 1, samt kalkulasjoner for å skifte ytterdører og utbedre belysningen med LED-lys og bevegelsessensorer. Med prisanslaget på dører og belysning blir det om lag kroner

1 050 000 for de ytterligere tiltakene. Totalt resulterer dette i at tiltakspakke 2 ligger på 22,11 millioner kroner, med en kvadratmeter pris på 4 681,3 kr/m<sup>2</sup>.

Tabell 6 viser en oversikt som fremstiller de nøyaktige kostnadene og beregningene brukt til kostnadskalkuleringen for alternativ 2.

Tiltak	Mengde	Pris	Total	Total med 10% margin	Merknad
Forsikringer (høy standard)	4723 m <sup>2</sup>	529 kr/m <sup>2</sup>	kr 2 748 313,70	kr 3 023 145,07	Pris: Holte, 2023
Rigg (Definert i vedlegg 7)	Definert	Definert	kr 175 482,20	kr 193 030,42	Pris: Definert i vedlegg 7
Installasjon av ventilasjonssystem	4723 m <sup>2</sup>	2458 kr/m <sup>2</sup>	kr 11 609 134,00	kr 12 770 047,40	Pris: Holte, 2023
Hulltetting for ventilasjonssystem	174 stk	225,56 kr/stk	kr 39 247,44	kr 43 172,18	Pris: Holte, 2023
Tak isolering	1820 m <sup>2</sup>	1033,84 kr/m <sup>2</sup>	kr 1 881 588,80	kr 2 069 747,68	Pris: Holte, 2023
Riving av tak	1820 m <sup>2</sup>	130,68 kr/m <sup>2</sup>	kr 237 837,60	kr 261 621,36	Pris: Holte, 2023
Bytte av tak	1820 m <sup>2</sup>	1346,14 kr/m <sup>2</sup>	kr 2 449 974,80	kr 2 694 972,28	Pris: Holte, 2023
Riving av dører	7 stk	1232,99 kr/stk	kr 8 630,93	kr 9 494,02	Pris: Holte, 2023
Ytterdør, enkel	1 stk	21761,83 kr/stk	kr 23 938,01	kr 26 331,81	Pris: Holte, 2023
Ytterdør, dobbel	3 stk	41421,34 kr/stk	kr 136 690,42	kr 150 359,46	Pris: Holte, 2023
LED-lys	666 stk	212 kr/stk	kr 155 311,20	kr 170 842,32	Pris: LEDlyskilder, 2023
Bevegelsessensorer	118 stk	1009 kr/stk	kr 130 968,20	kr 144 065,02	Pris: Elektroimportøren AS, 2023
Montering av sensorer og lys	451 timer	1000 kr/time	kr 496 100,00	kr 545 710,00	Pris: boligsmart, 2023
<b>Alternativ 2 total</b>			<b>kr 20 093 217,30</b>	<b>kr 22 102 539,03</b>	

Tabell 6: Oversikt over kostnader for tiltakspakke 2

## 4.6.2 Livssyklus kostnader

I dette kapitlet vil beregningene for kostnader sett over en tidsperiode presenteres. Beregningene vil bygge på investeringskostnader, det nye energibehovet utregnet i SIMIEN etter oppgraderinger, samt med nøkkeltall for FDVU. I vurdering av tiltakspakke 1 og 2 vurderes de opp mot livssyklus kostnader og potensielt andre oppgraderinger som må påberegnes. Ved disse oppgraderingene vil det reduserte energiforbruket medføre lavere forsyningskostnader, men det er antatt at det vil være jevnlig oppgraderinger og vedlikehold som viderefører høy standard på skolen og vil heve livssyklus kostnadene. I tabell 7 presenteres livssyklus kostnadene over en periode på 50 år, da det er dette Bergen kommune sier de ønsker å bygge ut for. Det vil gi en annuitetsfaktor på 0,0725 og en sumfaktor på 13,8007. Det vil være med kapitalkostnadene på 21,1 millioner kroner for tiltakspakke 1 og 22,11 millioner kroner for tiltakspakke 2.

Fullstendig oversikt over nøkkeltall og utregninger er oppgitt i vedlegg 7. I tabell 7 vises både nåverdien og årskostnadene for 50 år levetid. Energiforbruket utregnet i SIMIEN for bygg 1

før oppgraderingene ligger på 930 000 kWh, og har en reduksjon ned til 730 000 kWh i tiltakspakke 1 og 666 000 kWh i tiltakspakke 2. Det er ikke tatt høyde for restverdi av skolen, men det er beregnet med kapitalkostnad for investering for tiltak. Disse verdiene vil også påvirke helheten.

Areal: 4723 m <sup>2</sup> Annuitetsfaktor:0,0725	Nåverdi (kr)		Årskostnader (kr)	
	Total	Pr.kvm	Total	Pr.kvm
<b>Lav standard</b>				
Kapitalkostnad	0	0	0	0
FDVU m.m.	88 180 781	18 671	6 393 107	1 354
<b>Totalt</b>	88 180 781	18 671	6 393 107	1 354
<b>Tilstandspakke 1</b>				
Kapitalkostnad	21 100 000	4 467	11 529 750	324
FDVU m.m.	138 871 212	29 403	10 068 163	2 132
<b>Totalt</b>	159 971 212	33 871	9 388 491	2456
<b>Tilstandspakke 2</b>				
Kapitalkostnad	22 110 000	4 681	11 619 910	2 121
FDVU m.m.	138 164 616	29 254	1 602 975	339
<b>Totalt</b>	160 274 616	33 935	10 016 935	2 460

Tabell 7: Livssyklus kostnader for nåværende tilstand, etter tiltakspakke 1 og etter tiltakspakke 2.

Det vil bli sett på en nedbetaling på en 30 års periode, med en kalkulasjonsrente på 4%. Dette gir en annuitetsfaktor på 0,0578. For tiltakspakke 1 gir dette 1958 kr/m<sup>2</sup>/år og for tiltakspakke 2 gir dette 1962 kr/m<sup>2</sup>/år.

Besparelser per år blir presentert ved bruk av valgt strømpris og strømforbruk besparelser fra SIMIEN beregninger (se vedlegg 7 for utregninger). Gjennomføring av tiltakspakke 1 medfører en kostnadsbesparelse på 159 200 kr årlig sammenlignet med dagens utgifter for energiforbruk. Gjennomføring tiltakspakke 2 medfører en kostnadsbesparelse på 210 400 kr årlig sammenlignet med dagens utgifter for energiforbruk.



## 5 Diskusjon

I dette kapitlet vil resultatene og funnene fra datainnhenting diskuteres opp mot relevant teori. Funnene vil vurderes i lys av kompetansen til prosjektgruppen og temaet i oppgaven. Målet med oppgaven er å se på tiltak som skal heve Slettebakken skole til høy standard og sørge for at skolen samsvarer med dagens krav i henhold til TEK17. Generelt kan man se fra tilstandsanalyse og SIMIEN-beregninger at det er flere tiltak som må til for å nå dette. Både tiltak med og uten fokus på energieffektivisering og inneklima. Det vil være nødvendig å ta med i beregningene at tiltakene er del av en større oppgraderinger, og at det må vurderes opp mot et helhetlig økonomisk perspektiv. Presenterte resultater i kapittel 4 har ført til tiltak som skal gi gode forutsetninger for barna på skolen. Målet er å bidra til en energieffektiv skole og oppnå et inneklima som går i tråd med både Bergen kommune sin visjon for skoler og bærekraftsmålene til FN. Alle barn har rett til like forutsetninger for gode læringsarealer og bygninger som fremmer dette.

### 5.1 Vurdering av tiltak

#### 5.1.1 Ventilasjon

Hovedtiltaket for utbedring av skolen begir seg ut på å installere et fungerende ventilasjonssystem, og eliminere tilhørende faktorer som senker kvaliteten på inneklimaet. Generelt har ventilasjonssystemet basert seg av avtrekk uten gjenvinning som har gitt utfordringer av ulik konsekvensgrad. Totalt blir dette tiltaket sett på som viktig grunnet dens store gevinst både for helsen til brukerne av bygget, og byggets egen helse.

Et balansert ventilasjonssystem gir større kontroll på luftmengden som sirkuleres og kan rense luften før den kommer inn i bygget (se kapittel 2.3). Dette vil være nødvendig å utbedre i bygget, på bakgrunn av målingene til Miljørettet helsevern. Målingene viste at alle målte klasserom overskred 1000 ppm, og Slettebakken skole kan av den grunn vurderes til å være en skole som ikke tilfredsstiller §6 i forskrift om miljørettet helsevern i skoler og barnehager. Målet med utbedring vil være å få skolen til å tilfredsstille §6, samt tilfredsstille

luftkvalitet i henhold til TEK17. På bakgrunn av målingene vil man her anta at luftkvaliteten er helseskadelig. Dette underbygget behovet og prioriteringen av ventilasjonssystemet.

Ved installering av ventilasjonssystem vil det også være mulig å forsegle eksisterende ventilasjonshull i veggen. Det vil her være en usikkerhet ved manglende nøyaktig oppmåling. Det ble antatt at hullene hadde areal under 400 mm<sup>2</sup>. Her er det også usikkerhet i forhold til dybden da det ikke er definert i holte for standardprisen. Det er heller ikke oppgitt i plantegninger hvor tykke veggene er. Det vil sannsynlig oppstå høyere kostnader grunnet forventet behov for demontering av radiatorer plassert foran utsparingene. Ved behov for gjenstøping fra utsiden vil dette medføre økte kostnader ved eventuell bruk av stillas eller lift.

Når man har installert ventilasjonssystemet og tettet utsparingene for det naturlige avtrekket har man redusert behovet for temperaturregulering. Det har tidligere vært stort behov for å regulere grunnet den ytre påvirkningen. I tidligere målinger fra miljørettet helsevern ble den høyeste temperaturen målt til 26,8 °C (se kapittel 4.2). Dette er en unødvendig høy temperatur både med tanke på generelle anbefalinger på 20-22°C (se kapittel 4.2), men også med tanke på tid på døgnet målingen er gjennomført. Slettebakken skole burde nå i større grad kunne reguleres med høyteknologiske installasjoner som bidrar til å holde anbefalte temperaturer og reduserer unødvendig energibruk på dette.

Prisen for ventilasjon kan bli høyere fordi prosjektet omhandler rehabilitering og ikke ny konstruksjon. Det ligger til grunn en forventet økning av kostnaden fordi det er stor sannsynlighet for å måtte utføre endringer og tilpasninger som ikke ville vært nødvendig ved et nybygg. For en ny konstruksjon ville dette vært inkorporert i prosjekteringen og det blir akkommodert for installasjonsprosessen av ventilasjonsanlegg. Ved prisantydning på full konstruksjon er det antatt en inkludering av 10% øking på prisen. Her blir det lagt til grunn for en høyere pris på ventilasjonen ved gjennomføring av prosjektet.

Utbedringer av ventilasjonssystemet anses som et sentralt tiltak som vil ha god effekt på energieffektiviseringen av bygget, og bedring av inneklime. Tiltaket vil ha den største kostnaden for utbedring, men vurderes som det mest nødvendige og sentrale tiltaket for skolen.

### 5.1.2 Tak

Tiltakspakke 1, bestående av utbedring av ventilasjonssystem og isolering av tak blir sett på som en sammenhengende utbedring. Grunnet manglende dokumentasjon og plantegninger på utforming av tak ble det i oppgaven her valgt å se på tiltak og utregninger med prinsippet «*til sikker side*» til grunn. Priser for full utskifting av tak gir en høyere verdi og gir en større margin ved feilberegninger. I tillegg antas det at nåværende takstein er lagt direkte på undertaket uten tilstrekkelig lufting. Dette er forhold prosjektgruppen ikke har hatt mulighet til å undersøke.

Ifølge TEK17 er det nødvendig med rikelig med lufting mellom takstein og isolasjon (se kapittel 2.4 om isolasjon). Det var en usikkerhet angående dette tiltaket ettersom det innebar både ukjent tilstand på selve taket, men også om det var tilstrekkelig plass til isolasjon. Det var lokalisert fukt i undertaket i hovedbygget, noe som kan indikere at det har vært en lekkasje. Generelt ble det befart at undertaket var i god nok stand, men grunnet usikkerhetene rundt tilstanden ble det tatt en avgjørelse på å inkludere full utskifting av taket. På denne måten kunne man forsikre en forsvarlig standard og for god utnyttelse av isolasjonen, i tillegg til det økonomiske perspektivet. Isolasjon vil også energieffektivisere bygget ved at det reduserer behovet for temperaturregulerende elementer som oppvarming og nedkjøling (se kapittel 2.4). Ved å beregne for mest mulig jobb og full utskifting vil man eliminere den økonomiske usikkerheten, og det vil anses som en gevinst om antagelsen av taket er feil. Ved god standard på takets komponenter vil denne kostnaden kunne vurderes bort. Etterisolering av tak vil redusere bygningsdelens U-verdi nok til å tilfredsstille TEK17 kravet for tak  $\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Mellombygget i Bygg 1 beregnes også med etterisolering av yttertak. Loftet i dette bygget er et kryploft, og dette kan innebære at det er hensiktsmessig å isolere gulv på loft, og ikke yttertak. Grunnet mulige kostnadsforskjeller og gjennomførbarhet på tiltakene, kan det være gunstigere å legge isolasjon på gulv. Dette vil hindre fremtidig ferdsel på loftet, og tiltaket må derfor vurderes nærmere.

For å ivareta den bærekraftige siden av prosjektet ville det vært ønskelig å gjenbruke eksisterende takstein som ligger på taket, eller eventuelt bruke takstein lokalisert i tilfluktsrommet i hoveddelen. Taksteinen var byttet i 2005 og har i teorien en levetid på over 50 år. Det vil si at det er om lag 30 år med restlevetid om de blir håndtert riktig. For øvrig er ikke tilstanden til verken taksteinen på taket eller i tilfluktsrommet oppgitt eller avdekket og bør undersøkes for å bestemme prosjektomfanget.

Kostnaden for isolering inneholder arbeid og materialer, men montering av innvendig gipsplater, sparkling, listing og maling kan muligens utelukkes. Dette gir posten isolasjon en usikkerhet ved kostnad, grunnet muligheten for å redusere innvendig arbeid. Her er det også muligheter for økt svinn ved beskjæringer for tilpasning i taket, noe som kan øke mengden isolasjon og eventuelt gips som behøves. Kostnadene rundt riving og utskiftning av taket vurderes som veldig reelle og brukbare til kostnadsalkylen i dette prosjektet.

Utskiftning av taket og isolering er en kostbar utbedring, men blir vurdert til at effekten vil være lønnsom. Det vil sørge for et bygg med mindre varmetap og godt inne miljø. Tiltaket vurderes som viktig for økt energieffektivisering og er anbefalt ved utbedring av skolen.

### 5.1.3 Dører

I tiltakspakke 2 er hovedtiltaket å redusere varmetapet som er forårsaket av de gamle teakdørene generelt, og i glipene rundt hoveddørene. Dørene har relativt stor slitasje, og mye skal til for å få disse dørene opp til riktig standard. Ved valg av tiltakspakke 2 vil det

være nødvendig å undersøke nærmere de økonomiske utfordringene ved rehabilitering av teakdører, kontra å erstatte de med nye tilsvarende dører. Det vil også være nødvendig å se på den ukjente kostnaden ved utskifting av dører med tanke på oppgradering av låsemekanisme. Her må det tas hensyn til behovet og ønsket for bruk av nye nøkler og låsesystem, kontra pris på låsemekanismer som samsvarer med eksisterende nøkler på bygget. Dette kan kartlegges med brukermedvirkning.

Rehabilitering av gamle teakdører vil kreve spesifikk kompetanse og undersøkelse av utbedringen. Dørene vil ikke gi like god isolasjonsevne som installering av nye. Verneverdien av dørene og fasaden må vurderes opp mot energibesparelsene til nye dører. Fasaden er vurdert til høy verneverdi, men det vil være mulig å søke til byantikvaren om krav for dører for å møte behovet. Det ble undersøkt muligheter for rehabilitering av dørene, men prisanslagene som ble funnet besto av estetisk karakter og ikke for funksjonaliteten og hindring av varmetap som er oppgavens fokus. I oppgaven her er det gjort en antagelse om at det vil være mulig å skifte ut dører som har samme stil som eksisterende dører. På denne måten vil bygget beholde sine karakteristiske trekk med kontrastfarger på vegger og dører, men også gi lavere lekkasjetall da nyere dører er vist å være lufttette (se kapittel 2.5, avsnitt 1) og øke energieffektiviteten i bygget. I et økonomisk perspektiv vil kostnadene for utskifting kunne veies opp med det reduserte energiforbruket.

Kostnadsposten for utskifting av dører er vurdert som realistiske i forhold til riving og installasjon, samt dens positive effekt på bygningshelsen. Grunnet nåværende dørers tilstand vil de anses å være stor gevinst på denne posten.

#### 5.1.4 Tekniske tiltak: Belysning og sensorer

Den andre oppgraderingen i tiltakspakke 2 omfatter å bytte ut T5- og T8-lysrør med LED-lys, samt benytte bevegelsessensorer i alle rom. Bruk av bevegelsessensorer anses som et nyttig tiltak da det reduserer sjansen for at barn misbruker lysbrytere, og det er et steg mot et mer universelt utformet bygg. Det er også en mulighet for at ansatte kan styre lys dersom det

skulle være behov for det. På denne måten blir det i større grad begrenset hvor mange ganger lyset blir slått av og på, og man kan her redusere energiforbruket med tanke på energimengden lysrør bruker ved oppstart. LED-lys er i den forstand en mye mer energieffektiv løsning, med langt lavere energiforbruk.

Det er ikke forventet noe materialmangel eller lignende som kan begrense produksjonen. I tillegg heller ikke forventet en betydelig påvirkning på importkostnader, men det tas med i vurdering at uforutsette hendelser kan skje. Antall bevegelsessensorer og lysrør kan være usikkert grunnet en omtrentlig antakelse av behovet og bruk av branntegning til estimering. Her kan det være usikkerhet om antallet som blir valgt ved feil vurdert behovsmengde eller områder hvor det kan være unødvendig med oppgradering. Oppgradering av belysning vil være en av de større kostnadene, men vil ha stor effekt på redueringen av energiforbruket. Dette blir vurdert som et langsiktig lønnsomt tiltak for skolen.

### 5.1.5 Potensielle tiltak for energieffektivisering

De energieffektiviserende tiltakene som ble valgt er i stor grad tiltak som har tidligere vist å være valide og trygge løsninger. Dog er det flere alternative tiltak som kunne vært gjennomført for å øke energieffektiviseringen og utbedringen av inneklimate.

Det befinner seg uisolerte rør for fjernvarme i fyrrommet som burde isoleres grunnet unødvendig tap av varme (se vedlegg 1, tilstandsanalyse). Her ble det vurdert utbedring av prosjektgruppen, men vanskeligheter for beregning av mengde isolasjon ble tiltaket vurdert bort. Nye målinger og undersøkelser bør utføres for å kartlegge behovet og effekten av utbedring.

Bygget bærer preg av at det er fra 60-tallet, og dette vises også igjen i de teknologiske utformingene. Det er lite oppgradert, og utbedringer gjøres spredt og impulsivt. Dette har medført en stor variasjon i de ulike systemene. Bygget bør i den forstand oppgraderes til

den nyeste teknologien, for eksempel med et nytt SD-anlegg. SD-anlegg befinner seg allerede på skolen, men inntrykket fra vedlikeholdstekniker tilsier det ikke er helt funksjonelt og kunne dermed blitt vurdert erstattet.

Det kunne også vært aktuelt å se på mer avansert teknologi som ville gitt ytterligere energisparinger. Dette kunne vært tiltak som solceller på tak for utnyttelse av solenergi. En slik løsning kunne vært inkorporert i tiltakspakke 1, da rigg og forutsetninger for takarbeid allerede var planlagt. Fasaden til Slettebakken skole er av byantikvaren blitt vurdert med høy verneverdi, derav ble det økt fokus på bruk av tiltak som ikke påvirker dette. Solcellepanel som tiltak kan stride mot den utvendige karakteren til bygget og gi utfordringer ved gjennomføring.

### 5.1.6 Ytterligere tiltak

Totalt er det mange oppgraderinger som må gjennomføres for at skolen samsvarer fullstendig med kravene i TEK17, samt at det skal være tilfredsstillende for brukerne. Dette inkluderer de energieffektiviserende tiltakene som nevnt i kapittel 5.1.1-5.1.5, men også andre tiltak som omhandler utseende, utforming og andre installasjoner. Det var tydelig fra intervju og tilstandsanalyse at det var et generelt høyt etterslep, og skolen anses som gammel og slitt. Ved ytterligere utbedring vil det være hensiktsmessig å oppgradere overflater, vurdere en mer universell utforming med for eksempel automatikk på dører, og oppgradere elektriske systemer. Gamle og ubrukte kabler tar opp plass i passasjene som benyttes til formålet. Her vil det være behov for opprensning og eventuelt utforming av nye hull.

Dersom tiltaksklasse 2 gjennomføres, er det beregnet et totalt netto energibehov for bygg 1 på 156 kWh/m<sup>2</sup>. Dette må senkes ytterligere for å tilfredsstille TEK17 kravet på 110 kWh/m<sup>2</sup>. De mest relevante tiltakene antas å være etterisolering av yttervegger, samt installasjon av lavenergivinduer og dører i hele bygget.

I tilstandsanalysen ble det erfart at fasade ikke har blitt endret siden 2010, og denne har normalt et vedlikeholdsbehov på 10-12 år. Ved utbedring av valgte energieffektiviserende tiltak vil det på bakgrunn av dette også være nødvendig å oppdatere fasaden og samtidig etterisolere den. Fasaden er relativt høyt utsatt for ekstern slitasje både grunnet vær og vind, men også ved fysisk slitasje fra brukerne av bygget. Dette gjelder både skolebarna, men også andre som kan vandalisere utenom skoletid. For videre konseptutbedring vil det være nødvendig å ta hensyn til at det etterisoleres slik at man respekterer den verneverdige statusen, men også slik at man forebygger for fremtidig påvirkning på fasade.

Generelt trengs det oppgraderinger og bedre arealutnyttelse av bygget. Ved å utbedre romformålene, samt oppgradere tekniske og elektriske systemer, blir det mulighet til å eliminere utdatert elementer i bygget. På denne måten kan man gi barna mer rom for læring i gode og tilfredsstillende skolelokaler.

Ved en fullstendig oppgradering vil det også være nødvendig å ta stilling til de andre byggene og gjennomføre tilsvarende oppgradering som i bygg 1, slik at de er alle på dagens nivå og følger dagens krav. I tillegg vil det måtte gjennomføres individuelle tiltak, som er spesifikt for hvert bygg siden tilstanden er noe ulik grunnet sporadiske oppgraderinger etter behov. Et spesifikt tiltak som er ønsket å utføre på bygg 3 (gymsal) er å utvide arealet slik at det tilsvarer en fullstendig basketball bane. Grunnet det felles etterslepet og behov for større oppgraderinger i alle bygg kan det anses at det ikke nødvendigvis blir mye dyrere å utvide størrelsen på gymsalen også, kontra å bare oppgradere det kritiske etterslepet. Ved alle oppgraderingene vil det kunne vurderes til at investeringene er verdt det i det lange løp for å gi best mulige forhold og arealer til barna.



## 5.2 Økonomisk perspektiv/kostnader

Usikkerheter og utfordringer vil her bli presentert i perspektiv av kostnadene. Det ble i hovedsak fokusert på løsninger som vil gi økonomisk fortjeneste, men også forbedre inneklima og miljø. Usikkerhet rundt utførelse av diverse oppgaver i prosjektet førte til avgjørelser som baseres på prosjektgruppens vurderinger. En mulighet for å redusere usikkerheten rundt dette ville det vært å benytte seg av veileder eller personer med relevant kunnskap i større grad. Videre vil det undersøkes nærmere på ulemper som dette medførte, og diskutere grep som kunne redusert denne usikkerheten.

### 5.2.1 Generelle kostnader

Alle beregningene er preget av en viss usikkerhet angående tidsbruk og arbeidsmengde som kreves ved et slikt prosjekt. Her var det utfordrende å finne god ekstern informasjon angående arbeid og tid, og prosjektgruppen valgte derfor et anslag på to måneder prosjekttid som skal være mulig å gjennomføre med færre tiltak, men kan bli utfordrende med en større oppgradering. I tillegg gir det også muligheter for å gjøre arbeidsforhold enklere for arbeiderne ved å planlegge arbeid når skolen skal være stengt.

Prosjektet omhandler i hovedsak rehabilitering og forbedring, derfor vil mengden arbeid være mindre enn en hel konstruering som prisantydning fra holte innebærer. Prisen er derfor usikker med tanke på mengden arbeid, personer involvert og prosjektets lengde når det sammenlignes med en full konstruksjon. Det er derfor antatt at kostnadene blir beregnet med en for høy forsikringspris.

Ved beregning av behov for containere ble det gjort utregning med vekt på isolasjon, gips og takstein fra eksterne kilder og avrundinger i kalkulasjonen. Behovet for containere til restavfall ble valgt med en omtrentlig antakelse som gruppen så som realistisk, det kan oppstå endringer av behovet som skaper usikkerhet. Med grunnlag i at trevirke på taket er i antatt god stand, er det forventet en mengde avfall fra trevirke under 1000kg. Container for

gips kan utelukkes fullstendig og trekkes fra beregningen, grunnet manglende behov for gipsplater på loftet. Loftet er ansett som et teknisk rom uten jevnlig personbelastning.

Behovet for gode arbeidsforhold i utbedringsprosjektet ble vurdert til at en brakke med toalett, spiseområde og garderobe var tilfredsstillende. Med ukjent antall arbeidere ble det for sikkerhet valgt en større brakke hvor det inkluderes dusj som kan vurderes unødvendig. Ved innhenting av pris på brakke er det usikkerhet fordi det var vanskelig å finne en prisantydning fra firmaer i Bergen med en konkret pris tilgjengelig. Dette gjorde at det ble valgt *EDH utleie* hvor det fantes tilgjengelige priser som kan anvendes, prisen ble vurdert relevant selv om utleieren er lokalisert i Tønsberg. Mulighet for utnyttelse av fasiliteter på skolens områder kan gi et redusert eller intet behov for bruk av brakke.

Det er risiko for feil valgt størrelse og varighet på leie av stillas ved noe ukjent anvendelse, eventuelt om det er praktisk å flytte stillaset gradvis. Det er lagt til grunn at bruk av stillas er nødvendig rundt hele eksteriøret. Vestsiden av bygget har en ulempe med ulendt terreng bestående av grøntområde, hvor montering av stillas kan være problematisk. Ved uopnåelig monteringen av stillas vil det være nødvendig å undersøke muligheter med lift eller annet utstyr, som vil med stor sannsynlighet øke kostnadene.

Prosjektgruppens muligheter for testing av materialer ble valgt vekk grunnet utilgjengelig utstyr og begrenset tid på prosjektet. Det finnes usikkerhet ved kvaliteten av eksisterende materialer som for eksempel trevirke på taket, undertaket og taksteinen. Mer fokuserte og spesialiserte undersøkelser ville bidratt til mer nøyaktige beslutninger angående gjenbruk og utskiftning av materialer, som ville påvirket kostnadsberegningen i prosjektet.

Brukskostnader kan også senkes ved installasjon av flere tiltak samtidig fordi de vil ha et samarbeids forhold i et overordnet system som vil sørge for økt energieffektivitet. Kombinasjon av flere elementer vil styrke effekten i systemet fordi de vil ha positiv

påvirkning på hverandre og samarbeide mot et felles mål. For eksempel vil individuell bruk av lys og bevegelsessensorer ha en umiddelbar effekt på energiforbruket, men kombinasjon av tiltakene vil etablere en enda større reduksjon av energiforbruket (illustrert i figur 3, kapittel 2.5).

Det kunne vært en mulighet å finne lignende prosjekter og trekke sammenhenger i planlegging og tiltak rundt prosjektene. Vurderinger kunne blitt trukket ved å bruke tidligere prosjekter for å vurdere sannsynligheten for høyere kostnader, forsinkelser, hindringer og andre utfordringer og ta dette i betraktning opp mot vårt prosjekt. Fordypning på diverse materialer som blir nevnt i vår oppgave kunne vært aktuelt å undersøke dypere. Mer detaljert utvalg av materialer ville vært en forsikring ved at riktig materiale for prosjektet ble brukt og sørge for en mer realistisk beregning ved lavere eller høyere materialkostnad.

Miljøet på og rundt Slettebakken skole har forårsaket mye hærverk og knuste vinduer både i og utenfor skoletiden. Det er derfor stort fokus på å utføre tiltak som ikke i like stor grad blir påvirket av dette. Dette medfører dårlig integritet og bruk av midlertidige løsninger, som for eksempel plater i kryssfinér for tildekning. Disse isolerer dårlig og øker varmetapet til bygningene. Dette skaper høyere kostnader ved økt energiforbruk grunnet varmetap og behovet for erstatning av vinduet og installasjonsarbeid.

### 5.2.2 Energikostnader

Videre vil forventninger og beslutninger rundt kostnader for strøm og energibruk diskuteres. Her vil det drøftes rundt usikkerheter og utfordringer angående strøm, samt begrunnelse for avgjørelser gjort i oppgaven. Det tas utgangspunkt i diverse faktorer som kan ha påvirkning på varierende priser i markedet og prediksjoner for fremtidig strømpris og tilførsel. Det blir betraktet bruk av en lavere strømpris for å minske den økonomiske fortjenesten, ved at kWh som forbrukes forblir lik men økonomisk fortjeneste reduseres. Dette er mindre gunstig for prosjektet, men vil øke sannsynligheten for bedre livssyklus-kostnader og raskere tilbakebetaling ved eventuelt høyere strømpris enn anvendt i utregningene.

Strømprisen har vært svært varierende og uforutsigbar, forskjellige aspekter som klima politikk, værforhold, konflikter og utvikling kan alle påvirke prisen. Krigen i Ukraina har hatt påvirkning på strøm markedet i Europa og antas som stor grunn til rekord høye priser og store variasjoner de siste årene. Nedfasing av kjernekraftverk vil sørge for et tap av store mengder energi som er uavhengig av sesong og værforhold. Ved utvikling og bruk av mer grønne produseringsmetoder er det sannsynlig med varierende mengde tilgjengelig strøm. Mye fokus på bærekraft og miljø i samfunnet sørger for politiske grep som fremmer utviklingen av bedre produsering og bruk av strøm. Dette kan være som nevnt i 5.1.5 solcellepanel som vil gi lavere utgifter på energiforbruket. Økt utviklingskapasitet vil sørge for en større tilknytning til det europeiske markedet, men vurderes til å ha lav effekt på pris. Gruppen legger til grunn for variasjon og høyere priser i tiden fremover, men stabilisering av markedet er forventet. Dette antas å bidra til en senkning av strøm med mindre variasjoner, basert på disse opplysningene ble det valgt strømprisen 0,80 kr for de neste 30 årene.

*Eviny*, som leverandør av fjernvarme, sørger for troverdighet ved følgende av de varierende priser på markedet. Jamfør *Eviny*s egen nettside skal fjernvarme ligge på 3% rimeligere pris enn strømpris. Her er det usikkert hva *Eviny* legger i betegnelse strøm, men det er vurdert at *Eviny* vil i høy grad holde seg til sagt markedspris. Mesteparten av energiproduksjonen kommer av avfallsforbrenning. Økt fokus på bærekraft og resirkulering kan medføre usikkerhet i fremtiden da mindre avfall gir en lavere produksjon.

Etter beregning vil tiltakspakke 1 koste om lag 21,1 millioner kroner og tiltakspakke 2 om lag 22,11 millioner kroner, se fullstendig oppsett i tabell 5. Ut ifra utbedringskostnader er dette noe prosjektgruppen anser som fullt gjennomførbart. Med tanke på livssyklus kostnader er det valgt å bruke de høyeste nøkkeltallene, noe som kan gjøre at det er en stor forskjell fra det økonomiske perspektivet for dagens standard og til etter utbedring av tiltakspakke 1 og 2. Det kan her tenkes at flere av postene ikke vil være like dyre som oppgitt, og summen kan gi et feilaktig bilde. Totalt ser man at det ikke er stor forskjell i årskostnad på tiltak 1 og tiltak

2. Tiltak 2 kan raskt spares inn med tanke på høyere kapitalkostnad og lavere energibehov sammenlignet med tiltak 1. Derav vil det anbefales at tiltak 2 gjennomføres.

### 5.3 Metodisk avvik

Selve oppgaven bygger på innhentet informasjon fra tidligere undersøkelser gjort på skolen og nye undersøkelser gjennomført av prosjektgruppen med et overordnet blikk. En nøyere tilstandsanalyse er kritisk for å få en mer gjennomtenkt og helhetlig konseptutvikling. En utfordring gjennom hele oppgaven var innhenting av tidligere informasjon av bygget, samt lokalisere hvor aktuell informasjon kunne innhentes. På bakgrunn av dette er det gjort antagelser basert på tidligere tilstandsanalyse og vurderinger ut ifra dagens tilstand i markedet og bygget. I mangel på plantegninger med nødvendige mål ble det tatt i bruk Revit for skalering av tilgjengelige branntegninger. Her kan det defineres som en svakhet og en feilkilde om dimensjonene var riktige, og det kan derav komme noen avvik som følge av disse målingene.

Tilstandsanalyse skulle sørge for en overordnet analyse av alle byggene, men det kunne vært mulighet for å gå mer i dybden på diverse områder og undersøkt de ulike bygningselementene nærmere. Fokuset ble lagt på å få laget en analyse for å dekke det prosjektgruppen hadde tilgang til og med hovedfokus på bygg 1. Personlig vurdering og kunnskap, samt vurderinger fra tidligere analyse ble grunnlaget for valg av nødvendighetsgrad på tiltakene. Prosjektgruppen ser behovet for tiltak på andre områder, men på bakgrunn av alvorlighetsgraden på avvikene (se tilstandsanalyse, vedlegg 1) på både dører, ventilasjon og isolering av bygget er det reelle tiltak som ville vært nødvendig uansett temaområde.

Prosjektet startet tidlig med informasjonsinnhenting og planlegging av undersøkelser for å sikre et godt grunnlag for oppgaven. Det ble valgt å fullføre flere kvalitative undersøkelser

med diverse ansatte i Bergen Kommune, som har direkte tilknytting til utbedringen eller kjennskap til skolen. Etter interaksjonen med ansatte fra Bergen kommune, ble det vurdert at det er ønsket at Slettebakken skole skal holde god kvalitet for lengre levetid. Slettebakken skole ble presentert som et viktig samlingspunkt for nærmiljøet, både på og utenfor skoletid. Det er derfor antatt at kommunen er villig til å investere betydelige kostnader i skolen for utbedring, slik at skolen fortsatt blir utnyttet i høy grad. De kvalitative undersøkelsene ble brukt som et middel for å få presise svar fra relevante personer som ble valgt på grunn av aktualiteten og tilknytningen de hadde til prosjektet. For å øke kredibilitet og bygge opp om valgte løsninger kunne det vært en mulighet med kvalitativ undersøkelse eller en samtale med relevante folk for spesialiserte fagområder. Dette kunne for eksempel vært innen energi, isolering, ventilasjon og lignende, for å tilegne seg fagkompetansen i større grad.

Kvantitativ undersøkelse ble ikke fokusert på fordi det ble vurdert at det ville være vanskelig å finne riktig målgruppe, stille relevante spørsmål og få gode svar som kunne brukes. I tillegg var det gjennomført en kvantitativ undersøkelse blant ansatte på skolen ved forrige tilstandsregistrering. Prosjektgruppen tok en antagelse om at det ikke er blitt en bedring av forholdene på skolen grunnet mangel på oppgraderinger. Det ville derfor blitt mer arbeid for samme resultat. Fra denne tidligere undersøkelsen kom det dog frem at det var tydelig at behovet for en bedre ventilasjonsløsning og temperaturregulering var nødvendig.

Det ble utført en befaring av alle byggene, samt en ekstra befaring av bygg 1, som var fokusområdet i prosjektet. For gjennomføring av tilstandsanalyse er det en fordel med fagfolk som har erfaring med slikt arbeid. Kompetanse og erfaring gir forutsetning for gode observasjoner og øker troverdigheten av analysen. I tillegg stilles prosjektgruppen seg kritisk til utstyr og mulighet til utvidede undersøkelser. Noen av problemene og utfordringene som ble befart hadde vært relevant med flere selvstendige tester på. På denne måten kunne man hente oppdaterte og egne verdier. Dette ville forsikret oss enda bedre om byggets tilstand, og oppgaven hadde i mindre grad måtte benytte seg av verdier fra tidligere undersøkelser.

Det er nesten 10 år siden forrige tilstandsregistrering, og ut ifra kostnadene de siste 5 årene brukt på vedlikehold, som ligger på 3,1 millioner. Det kan antas ut ifra dette tallet at det har vært minimalt med store oppgradering og utviklinger, og behovet for dette vil nå være økt. Det kunne vært aktuelt å utføre egne CO<sub>2</sub>- og temperaturmålinger, men dette ble vurdert som uaktuelt grunnet en tidskrevende prosess. Samtidig ble målingene fra miljørettethelsevern ansett som gode og troverdige. I forbindelse med ventilasjonssystemet som nyttes og varmetapet i bygget kunne det vært interessant å benytte lufttrykkstesting for å senke usikkerhet rundt luftlekkasjer og fått en mer nøyaktig beregning på bygget. Dette ville spesielt vært aktuelt for SIMIEN-beregninger. Lufttrykkstesting er dog utfordrende ved at det krever tid og logistikk for gjennomføring. Det må tas hensyn til at skolen kan være i bruk, samt at det ville vært krevende med utsparinger grunnet avtrekksløsningen med hull i veggene.

SIMIEN-beregningene er forventet å avvike fra de virkelige forholdene da ikke alle variabler nødvendig i beregningene er dokumentert. Arealer og luftvolum benyttet i beregningene i SIMIEN er hentet fra branntegningene til skolebygget. Tegningene indikerer å være skalerte med skala 0-20 m, men i virkeligheten er det avvik på avstandsforholdene. Grunnet kapasitetsutfordringer hadde prosjektgruppen likevel ikke mulighet til å kontrollere avstandsmålene i virkeligheten, og beregningene vil derfor avvike noe fra virkeligheten. Bygningsdelenes konstruksjon er ikke dokumentert, og U-verdier er derfor hentet fra tabell i NVEs veileder for energimerking.

## 5.4 Utfordringer og usikkerheter

Avsluttende vil det diskuteres noen utfordringer og usikkerheter som befinner seg utenfor prosjektgruppens kontroll. Dette kan være uforutsette hendelser, endringer eller undersøkelser som ikke kommune som byggherre Intervju viser at det er mange skoler som trenger oppussing og div, dette kan bli veldig mye for kommunen, derfor ting kan ta lang tid og blir brukt mye penger her på kortsiktige løsninger som ikke nødvendigvis lønner seg i lengden.

### 5.4.1 Nasjonale endringer i lover eller marked

Det er ikke forventet noe betydelig usikkerhet rundt lovverk og tillatelser når det kommer til konstrueringen. Det kan komme fremtidige retningslinjer med tanke på klima og utslipp, men det vurderes til liten sannsynlighet for at det forekommer store endringer som påvirker prosjektet før utbygging starter. Prosjekteringen vurderes igangsatt på relativt kort tid hvor ikke store endringer i lovverket vil ha innvirkning. Markedet for utbygging og konstruksjon er konjunkturavhengig ved at dårlig økonomi sørger for mindre utbygging og motsatt. Her er det vurdert en normal variasjon som ikke nødvendigvis vil påvirke et prosjekt som dette.

### 5.4.2 Usikkerheter ved konstruksjon og gjennomførelse

Ved ulykker på anleggsplassen vil prosjektet med stor sannsynlighet midlertidig stoppes og skape forsinkelse skaper økonomiske konsekvenser for kommunen. Ved en relativt kort forventet prosjektvarighet på to måneder ideelt utført i sommerferien, så kan forsinkelser skape mye hindringer ved at Slettebakken er en operativ skole.

Betongen og armeringen i fundamentet har høy usikkerhet grunnet saltutslag og mistanke om dårlig kvalitet fra vedlikeholdstekniker på området. Her er det høyt anbefalt med spesialiserte undersøkelser for forsikring av akseptabel kvalitet før en eventuelt stor utbedring av Slettebakken skole. Dårlig kvalitet av betong eller armering i fundamentet vil være risikabelt for hele strukturen og da bør det vurderes videre tiltak. Utbedring av fundamentet vil da være preget av høye kostnader og en omfattende mengde arbeid. Her vil det anbefales å avvise utbedringen presentert i denne oppgaven og vurdere riving og oppbygging av et nytt skolebygg.



## 6 Konklusjon

Situasjonen på Slettebakken skole er et utbredt problem som også finnes på andre eldre skoler. Ved en systematisk framgangsmåte ser prosjektgruppen det som mulig å anvende metodikken på andre utbedringsprosjekter. En tilstandsanalyse gir god oversikt, og med tilstrekkelig data og informasjon kan det produseres et helhetlig bilde over ønskede konseptutviklinger. Dagens beregningsverktøy gir mulighet for å enkelt utvikle et økonomisk og realistisk prosjekt. I dette tilfellet ser vi på utbedringer av eksisterende bygg, der ønsket er å oppgradere skolen til dagens standard. En oppgradering av en skole fra 1960-tallet viste seg å være omfattende og komplekst.

Oppgaven til prosjektgruppen baserer seg på energieffektiviserende tiltak med fokus på helse for bygget og brukeren. Gjennom prosjektarbeidet ble det avdekket tydelige avvik med stort behov for utbedring. I tillegg til utfordringer med energiforbruk er det nødvendig med grundigere undersøkelser av konstruksjonsmessige avvik. Dette innebærer for eksempel risiko med saltpåvirkning i armeringen. Disse er avgjørende for om konstruksjonen kan stå eller må rives. Derav bør dette undersøkes nærmere før videre konseptutbedring. Grunnet det manglende vedlikeholdet og utfordringene ved skolen medfører dette et behov for en betydelig investering til oppgraderingene. Ut ifra behovet om oppgradering er det anbefalt å gjennomføre tiltakspakke 2 da den har vist seg mest effektiv på energi. Denne tiltakspakken har størst gevinst med tanke på reduksjon av energiforbruk, og vil da være mest lønnsom i forhold til investeringskostnader. Ved videre arbeid bør utbedring av yttervegger, samt vindu og dører vurderes for å senke energiforbruket ytterligere.

Avslutningsvis ser prosjektgruppen at det er potensiale i å rehabilitere skolen, men per dags dato er det mye som må gjøres for at skolen skal ha god nok standard til å vare i de 50 årene kommunen utbedrer for. Totalt ser man at det er en del tiltak som må gjøres for at skolen skal komme til høy standard. Prosjektgruppen anbefaler nøye kartlegging av bærende konstruksjon og gjennomføring av tiltakspakke 2 dersom målingene tilfredsstillende.

## 7 Referanseliste

- Anderssen, H. B. (2019). Bruttoareal. I *Store norske leksikon*. MDPI. <https://snl.no/bruttoareal>
- Arbeidstilsynet. (2006). *Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen* [Veiledning]. Direktoratet for arbeidstilsynet.
- Arbeidstilsynet. (2013). *Krav til ventilasjon*. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/krav-til-ventilasjon/>
- Atkinson, J., Chartier, Y., Pessoa-Silva, C. L., Jensen, P., Li, Y., & Seto, W.-H. (2009). Concepts and types of ventilation. I *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*. World Health Organization. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143277/>
- Bergen byråd. (2023, mars 21). *Investeringsprogram*. Handlings- og økonomiplan 2023-2026. [https://pub.framsikt.net/2023/bergen/bm-2023-hop\\_23-26\\_1\\_brgn/#/generic/summary/investmentplan](https://pub.framsikt.net/2023/bergen/bm-2023-hop_23-26_1_brgn/#/generic/summary/investmentplan)
- Bergen bystyre. (2021). *Skolebruksplan for Bergen 2021-2030*. Bergen kommune.
- Birkelund, H., Arnesen, F., Hole, J., Splide, D., Jelsness, S., Aulie, F. H., & Haukeli, I. E. (2021). *LANGSIKTIG KRAFTMARKEDSANALYSE 2021 – 2040*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- boligsmart. (2023, april 21). *Hva koster elektriker? Pris per punkt i 2023*. <https://www.boligsmart.no/pris/elektriker-pris-per-punkt>
- Buvik, M., Cabrol, J., Splide, D., Skaansar, E., Roos, A., Tveten, Å. G., Doorman, G., & Døskeland, I. (2022). *Norsk og nordisk effektbalanse fram mot 2030* (Nr. 20). Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Chen, H., & Stensson, S. (2018). *Energy performance of door solutions* (Nr. 40845–1). E2B2.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2016, juli 15). § 13-1. *Generelle krav til ventilasjon*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/tek/3/13/i/13-1>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). § 13-3. *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-3>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2019, juni 27). § 5-4. *Bruksareal (BRA)*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/5/5-4>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020, oktober 1). § 14-2. *Krav til energieffektivitet*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2021, oktober 1). § 13-1. *Generelle krav til ventilasjon*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2022a, juli 1). § 14-3. *Minimumsnivå for energieffektivitet*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2022b, juli 1). § 14-4. *Krav til løsninger for energiforsyning*. Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-4>
- Elektroimportøren AS. (2023, april 21). *Bevegelsesdetektor IS 2360 STEINEL*. Elektroimportøren AS. <https://www.elektroimportoren.no/bevegelsesdetektor-is-2360-steinel/1478401/Product.html?UseStock=121&UseStock=115>
- Entro. (2022, mars 28). *Slik fungerer et SD-anlegg*. Entro. <https://www.entro.no/aktuelt saker/slik-fungerer-et-sd-anlegg>
- Etat for bygg og eiendom. (2014a). *Del 1 Sluttrapport ifm. Arbeidstilsynspålegg* (s. 58) [Tilstandsrapport].
- Etat for bygg og eiendom. (2014b). *Del 2 Vedlegg ifm. Arbeidstilsynspålegg*. Bergen kommune.
- European Commission. (2022). *Long-Term Building Renovation Strategy*.
- Eviny. (2023a). *Alt du trenger å vite om strømpriser og energikrisen*. eviny.no. <https://www.eviny.no/om-eviny/energimarkedet-og-strompriser/alt-du-trenger-%C3%A5-vite-om-str%C3%B8mpriser-og-energi-krisen>

- Eviny. (2023b). *Fjernvarme*. eviny.no. [https://www.eviny.no/varme-og-kjoling/fjernvarme?gclid=EAlalQobChMIIOG6-uT7\\_QIVjazVCh2CIAywEAAAYASAAEgLuQvD\\_BwE](https://www.eviny.no/varme-og-kjoling/fjernvarme?gclid=EAlalQobChMIIOG6-uT7_QIVjazVCh2CIAywEAAAYASAAEgLuQvD_BwE)
- Feng, G., Sha, S., & Xu, X. (2016). Analysis of the Building Envelope Influence to Building Energy Consumption in the Cold Regions. *Procedia Engineering*, 146, 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.382>
- FN-sambandet. (2023a, januar 19). *FNs bærekraftsmål*. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- FN-sambandet. (2023b, februar 1). *Bærekraftige byer og lokalsamfunn*. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/baerekraftige-byer-og-lokalsamfunn>
- FN-sambandet. (2023c, februar 3). *Ren energi til alle*. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>
- Folkehelseinstituttet. (2016, oktober 26). *Inneklima i skoler og barnehager. Helsemessig betydning for barn og unge*. Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/publ/2016/inneklima-i-skoler-og-barnehager/>
- Folkehelseinstituttet, P. (2015, mars 3). *Inneklima i skoler og barnehager*. Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/fremhevede-artikler-inneklima-og-helse/inneluftkvalitet-i-skoler-og-barneh/>
- Grini, G., Oksvold, I., & Sæter, R. A. (2017). *Potensialstudie Kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygninger*. Direktoratet for byggkvalitet.
- Grorud, C., Bruvoll, Annegrete, & Riiser, Jon Espen. (2020). ENERGIUTREDNING FOR BERGEN. *Menon*.
- Grønmo, S. (2023). Kvalitativ metode. I *Store norske leksikon*. [http://snl.no/kvalitativ\\_metode](http://snl.no/kvalitativ_metode)
- Grønning, T. (2022, august 14). *Dette påvirker strømprisene i Norge: Gass, krig i Ukraina, lite vann og atomkraftverk i Tyskland*. NRK. [https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/dette-pavirker-stromprisene-i-norge\\_-gass\\_-krig-i-ukraina\\_-lite-vann-og-atomkraftverk-i-tyskland-1.16063700](https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/dette-pavirker-stromprisene-i-norge_-gass_-krig-i-ukraina_-lite-vann-og-atomkraftverk-i-tyskland-1.16063700)
- Hailu, G. (2021). Energy Systems in buildings. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820592-1.00008-7>
- Hofstad, K. (2023a). Ppm. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/ppm>
- Hofstad, K. (2023b). Kjernekraft i verden. I *Store norske leksikon*. [https://snl.no/kjernekraft\\_i\\_verden](https://snl.no/kjernekraft_i_verden)
- Hofstad, K. (2023c). Kjernekraft i Tyskland. I *Store norske leksikon*. [https://snl.no/kjernekraft\\_i\\_Tyskland](https://snl.no/kjernekraft_i_Tyskland)
- Holstad, M. (2023, februar 14). *Rekordhøy strømpris i 2022 – dempet av strømstøtte*. SSB. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/rekordhoy-strompris-i-2022--dempet-av-stromstotte>
- Holte. (2023). *HoltePortalen*. Holte. <https://holte.no/holteportalen/>
- Holtebekk, T., & Hofstad, K. (2023). Mol. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/mol>
- Huseierne. (2017, september 29). *Så lenge bør taket vare*. Huseierne. <https://www.huseierne.no/husbolig/tema/vedlikehold/sa-lenge-bor-taket-vare/>
- Håggøy, T. (2020, desember 3). *Et lærebokeksempel på hvordan fremtidens skolebygg kan bygges*. <https://nemitek.no/dan-vegard-wardal-passivhus-skolebygg/et-laerebokeksempel-pa-hvordan-fremtidens-skolebygg-kan-bygges/138237>
- Lavenergiutvalget. (2009). *Energieffektivisering*.
- LEDLyskilder. (2023, april 21). *LEDlife T8-Pro45—7.5W LED rør, 45 cm*. LEDLyskilder.no. <https://ledlyskilder.no/t8-led-lysrør/883-ledlife-t8-pro45-75w-led-rør-45-cm.html>
- Lovdata. (2022, april 4). *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (Energiloven)—Kap. 5. Fjernvarmeanlegg—Lovdata*. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/kap5#kap5>
- Multiconsult Norge AS. (2021). *Varedeklarasjon fjernvarme Eviny AS i Bergen 2021 iht. BREEAM-NOR 2016, BREEAM-NOR v6.0 og ZEB*.

- Mysen, M., & Polak, K. J. (2010). *Behovsstyrt ventilasjon—Kan vi stole på CO2- sensoren?* SINTEF.
- NemiTek. (2019, august 23). (+) *Kort historikk om ventilasjon*. <https://venttek1.nemitek.no/introduksjon-til-ventilasjonsfaget-oppdater-februar-2019-kapittel-11-ventilasjonsteknikk-del-i-ny-versjon-2019/kort-historikk-om-ventilasjon/168027>
- Niemeyer, S. M., Bartos, L., & Welte, C. (2011). *Save Home Energy by Stopping Air Leaks*. University of Nebraska Lincoln.
- Norsk Klimastiftelse. (2023, februar 13). *Norges vei til nullutslipp*. <https://www.tilnull.no/>
- Norsk Teknologi. (2008). *Energibruk i bygg*.
- NVE. (2013). *Praktisk veileder for energimerking*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Olje- og energidepartementet. (2021, juni 11). *Meld. St. 36 (2020–2021)* [Stortingsmelding]. Regjeringen.no; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-36-20202021/id2860081/>
- Olje- og energidepartementet. (2023). *Norsk energibruk*. Energifakta Norge. <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/>
- Orgeret, K. S. (2018). Intervju. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/intervju>
- Paraschiv, S., Paraschiv, L. S., & Serban, A. (2021). Increasing the energy efficiency of a building by thermal insulation to reduce the thermal load of the micro-combined cooling, heating and power system. *Energy Reports*, 7, 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.122>
- Pedersen, B. (2023). Termodynamikk. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/termodynamikk>
- Portney, K. E. (2015). *Sustainability*. MIT Press. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/hogskbergen-ebooks/detail.action?docID=4397950>
- Powers, A., & Saad, M. (2022). Building Energy Use: Modeling and Analysis of Lighting Systems—A Case Study. *Sustainability*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/su142013181>
- Rosvold, K. A. (2023a). Fjernvarme. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/fjernvarme>
- Rosvold, K. A. (2023b). Eviny AS. I *Store norske leksikon*. [https://snl.no/Eviny\\_AS](https://snl.no/Eviny_AS)
- Rosvold, K. A., & Hofstad, K. (2023). kWh. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/kWh>
- Røstad, H., & Havellen, V. (2022). Ventilasjon. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/ventilasjon>
- SINTEF. (2010, august). 525.101 *Skrå, luftede tretak med isolerte takflater—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/382/skraa\\_luftede\\_tretak\\_med\\_isolerte\\_takflater](https://www.byggforsk.no/dokument/382/skraa_luftede_tretak_med_isolerte_takflater)
- SINTEF. (2018, september). 471.008 *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning\\_av\\_u-verdier\\_etter\\_ns-en\\_iso\\_6946](https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946)
- SINTEF Byggforsk. (2009). *Hus og helse*.
- Standard Norge. (2020). *Veiledning til NS 3424:2012 Tilstandsanalyse av byggverk Innhold og gjennomføring*. Standard Norge 2020.
- Statistisk sentralbyrå. (2019, oktober 17). *Vi brukte 205 milliarder på utdanning*. ssb.no. <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/artikler-og-publikasjoner/vi-brukte-205-milliarder-pa-utdanning>
- Statistisk sentralbyrå. (2023, februar 16). 12150: *Energibruk i kommunal eiendomsforvaltning, etter funksjon, energitype, statistikkvariabel, år og region*. Statistikkbanken. SSB. <https://www.ssb.no/statbank/table/12150/tableviewlayout1/>
- Tekna. (2021, februar 2). *Balansert ventilasjon med varmegjenvinning*. [https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/balansert-ventilasjon-med-varmegjenvinning/](https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/balansert-ventilasjon-med-varmegjenvinning/www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/balansert-ventilasjon-med-varmegjenvinning/)
- Thue, J. V. (2019). FDV. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/FDV>
- UngEnergi. (2021, juli 5). *Isolasjon | UngEnergi*. <https://ungenergi.no/miljoteknologi/bygg/isolasjon/>

- U.S. Department of energy. (2023a, april 11). *Insulation*. Energy.Gov.  
<https://www.energy.gov/energysaver/insulation>
- U.S. Department of energy. (2023b, april 11). *Whole-House Ventilation*. Energy.Gov.  
<https://www.energy.gov/energysaver/whole-house-ventilation>
- Velux Group. (2023, februar 21). *Fresh air shown to improve performance of children in schools*.  
<https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/research-projects/fresh-air-improves-performance-of-children-in-school>
- VVS aktuelt. (2018, oktober 31). *Undervisningsbygg med ny miljø- og energistrategi*. VVS aktuelt.  
<https://www.vvsaktuelt.no/undervisningsbygg-med-ny-miljo-og-energistrategi-127696/nyhet.html>
- Wisconsin Department of Health Services. (2018, januar 2). *Carbon Dioxide*. Wisconsin Department of Health Services. <https://dhs.wisconsin.gov/chemical/carbondioxide.htm>
- Yuan, Y., & Jin, Z. (2015). Life Cycle Assessment of Building Energy in Big-Data Era: Theory and Framework. *2015 International Conference on Network and Information Systems for Computers*, 601–605. <https://doi.org/10.1109/ICNISC.2015.130>
- Zanda Arktis takstein. (2023). Nortekk Taksenter. <https://nortekktaksenter.no/produkter/zanda-arktistakstein>