

Energieffektivisering av eksisterende kontorbygninger

En casestudie av Banehaven 4A i Kristiansand

Av Julie Skaiå

VEILDERE

Intern: Henrik Kofoed Nielsen

Ekstern: Tor Aslak Mølland Ånensen

Universitetet i Agder, 2023

Fakultet for teknologi og realfag

Institutt for ingeniørvitenskap

Master

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">- ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.- ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.- ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.- har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.- ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Opgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2023 ved Institutt for Ingeniørvitenskap som en del av masterprogrammet for Bygg, sivilingeniør ved Universitetet i Agder. Formålet med rapporten er å utforske energieffektiverende strategier og tiltak for oppgradering av eksisterende kontorbygninger. Dette ble gjort ved å se på en spesifikk case: den eksisterende kontorbygningen i Banehaven 4A i Kristiansand.

Mitt engasjement for energieffektivisering av bygninger ble vekket under min bachelorgrad hvor jeg studerte emnet "Bygningsfysikk og energieffektive bygninger" med blant annet min veileder Henrik Kofoed som foreleser. Dette engasjementet har vokst ytterligere gjennom min deltidsjobb hos Rådgivende Ingeniører Løyning AS de siste to årene. Jeg har sett hvor viktig denne energieffektiviseringen er for å nå klimamålene, og ønsker som en snart ferdigutdannet sivilingeniør å utgjøre en forskjell i samfunnet i fremtiden. På bakgrunn av dette ble valget av fagområde for masteroppgaven enkelt.

Jeg ønsker å benytte anledningen til å takke veilederne mine, Henrik Kofoed Nielsen og Tor Aslak Mølland Ånensen, for alt engasjement, oppfølging og faglig innspill til arbeidet med masteroppgaven. Jeg hadde aldri klart dette uten dere.

Videre ønsker jeg å uttrykke min takknemlighet overfor Rådgivende Ingeniører Løyning AS, som har vist meg tillit ved å tildele meg en case for min masteroppgave. Både arbeidsgiver og ansatte hos Løyning har vært svært hjelpelige med faglige spørsmål og støtte under masterskrivingen.

Til slutt vil jeg takke familie, venner og kjæreste som har kommet med oppløftende ord og støtte i tider der motivasjonen har vært lav. Dere er nok like glade som meg for at dette nå er over.

Grimstad, 22. mai 2023

Julie Skaia

Summary

Buildings account for around 40% of the world's total energy use and for more than half of Norway's electricity demands. Most of the world's building stock in 2050 exists today and around 75% of this building stock in the EU is inefficient. The Norwegian government has set a target to reduce energy use in existing buildings by 10 TWh by 2030. Furthermore, increased electricity prices, the energy label scheme, the EU taxonomy, demands from banks, insurance companies and other stakeholders will be important drivers for energy efficiency in existing buildings. The purpose of this master thesis is to explore energy-efficient upgrade measures and the energy-saving potential of existing office buildings. The measures were applied to a real-world case study of the existing office building at Banehaven 4A in Kristiansand city. In order to integrate research and experience-based knowledge in the development of the concepts, a systematic literature search was carried out as a preparatory process. The building was then analyzed, and three different upgrade concepts were prepared for the building which were simulated in the energy calculation program Simien. All the upgrade concepts presented in the report will ensure that the building meets the regulations' requirements for energy efficiency. Concept 1 consists of the least ambitious measures for the body of the building, the energy supply and the technical solutions, and will only be sufficient if the aim of the upgrade is to meet the requirements of the regulations. Concept 2 consists of more ambitious and comprehensive measures on the building, energy supply and technical systems in addition to solar panels on the roof and will lead to the goal of a nearly zero-energy building being fulfilled. Concept 3 is a further development of concept 2, and consists of ambitious measures on the building, energy supply and technical systems in addition to solar cells on both the roof and in facades. The concept fulfills Powerhouse's definition of a plus energy building by achieving a remarkable 94.5% reduction in energy consumption, and it is recommended for further research.

Innhold

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
Forord.....	iii
Summary	iv
Figurliste.....	ix
Tabelliste	xi
1 Innledning	1
2 Samfunnsperspektiv.....	4
3 Kunnskapsbakgrunn.....	6
3.1 Varmetap i bygninger	6
3.1.1 Varmestråling	6
3.1.2 U-verdi.....	6
3.1.3 Kuldebroer.....	7
3.1.4 Transmisjonsvarmetap	7
3.1.5 Infiltrasjonsvarmetap	8
3.1.6 Ventilasjonsvarmetap.....	9
3.2 Tiltak på bygningskropp og tekniske systemer.....	10
3.2.1 Etterisolering	10
3.2.2 Vinduer	13
3.2.3 Ventilasjonsanlegg.....	14
3.2.4 Solskjerming	14
3.2.5 Lys og belysning.....	15
3.2.6 El-utstyr	16
3.2.7 Solceller	16
3.3 Fornybar oppvarming og kjøling	19
3.3.1 Varmepumpe.....	19
3.3.2 Grunnvarme.....	22
3.3.3 Fjernvarme og fjernkjøling	24
3.4 Ambisiøse ambisjonsnivåer for energieffektive bygninger.....	27
3.4.1 Nullenergibygninger	27
3.4.2 Plussenergibygge og Powerhouse.....	28
3.4.3 Passivhus og passivhusrehabilitering	29
3.5 Gjennomgang av tidligere oppgraderingsprosjekter	31

3.5.1	Powerhouse Kjørbo, Sandvika.....	31
3.5.2	Solbråveien 23, Asker	34
3.5.3	Fredrik Selmers vei 4, Oslo	35
3.6	Dynamisk beregningsmetode.....	37
3.6.1	Simien	37
3.6.2	IDA ICE	37
4	Forskerspørsmål.....	38
4.1	Avgrensning.....	38
5	Case	39
5.1	Banehaven 4A.....	39
5.1.1	Bygningskroppen	39
5.1.2	Tekniske system og energiforsyning	40
5.1.3	Bygningsteknisk tiltand.....	41
5.1.4	Historikk.....	43
5.1.5	Grunnforhold.....	43
5.1.6	Solforhold	44
5.1.7	Målt energiforbruk	45
6	Metode.....	46
6.1	Litteratursøk	46
6.2	Casestudie som forskningsmetodikk.....	47
6.2.1	Valg av case	47
6.2.2	Datainnsamling og analyse av data	48
6.3	Energiberegninger	49
6.3.1	Felles inndata simuleringer i Simien.....	49
6.3.2	Inndata energisimulering eksisterende situasjon	49
6.3.3	Dimensjonering av energibrønner	51
6.4	Konsept 1.....	53
6.4.1	Tiltak på bygningskropp.....	53
6.4.2	Tiltak på tekniske systemer	54
6.4.3	Tiltak på energiforsyning	54
6.4.4	Inndata for energisimulering.....	54
6.5	Konsept 2.....	56
6.5.1	Tiltak på bygningskroppen	56
6.5.2	Tiltak på tekniske systemer	56

6.5.3	Tiltak på energiforsyning	57
6.5.4	Inndata for energisimulering.....	57
Konsept 3.....		59
6.5.5	Tiltak på bygningskroppen	59
6.5.6	Tiltak på tekniske systemer	59
6.5.7	Tiltak på energiforsyning	60
6.5.8	Inndata for energisimulering.....	60
7	Resultat	62
7.1	Eksisterende situasjon.....	62
7.1.1	Netto energibehov	62
7.1.2	Levert energi.....	62
7.1.3	Evaluering mot forskriften.....	63
7.1.4	Energimerke	63
7.1.5	Varmetap.....	64
7.2	Konsept 1.....	66
7.2.1	Netto energibehov	66
7.2.2	Levert energi.....	66
7.2.3	Evaluering mot forskriften.....	66
7.2.4	Evaluering mot passivhusstandard.....	67
7.2.5	Energimerke	69
7.2.6	Varmetap.....	69
7.3	Konsept 2.....	71
7.3.1	Netto energibehov	71
7.3.2	Levert energi.....	71
7.3.3	Evaluering mot forskriften.....	72
7.3.4	Evaluering mot passivhusstandard.....	72
7.3.5	Energimerke	73
7.3.6	Varmetap.....	74
7.3.7	Produksjon av elektrisitet.....	75
7.4	Konsept 3.....	76
7.4.1	Netto energibehov	76
7.4.2	Levert energi.....	77
7.4.3	Evaluering mot forskriften.....	77
7.4.4	Evaluering mot passivhusstandard.....	78

7.4.5	Energimerke	79
7.4.6	Varmetap	80
7.4.7	Produksjon av elektrisitet	81
7.5	Energibrønner	82
8	Diskusjon	84
8.1	Drøfting av oppgraderingstiltak	84
8.1.1	Tiltak på bygningskropp	85
8.1.2	Tiltak tekniske systemer	87
8.1.3	Tiltak på energiforsyning	88
8.2	Sammenligning av oppgraderingskonsepter	89
8.2.1	Energibehov	89
8.2.2	Levert energi	90
8.2.3	Varmetap	91
8.2.4	Energimerke	92
8.2.5	Ambisjonsnivåer	92
8.2.6	Sammenligning med referanseprosjekter	93
8.3	Svakheter ved energiberegningene	94
8.3.1	Standardiserte verdier	94
8.3.2	Estimater og antagelser	94
8.3.3	Begrensninger i Simien	94
8.3.4	Brukervaner	95
8.3.5	Avvik mellom prosjektert levert energi og faktisk forbruk	95
8.4	Overordnet refleksjon og anbefalt konsept	97
8.4.1	Generelt	97
8.4.2	Utfordringer med energieffektivisering av eksisterende kontorbygninger	97
8.4.3	Anbefalt konsept og overføringsverdi til andre prosjekter	98
9	Konklusjon	99
10	Anbefalinger	101
10.1	Anbefalinger for Banehaven 4A	101
10.2	Anbefaling generelt for oppgradering av eksisterende kontorbygninger	102
11	Referanser	103
12	Vedlegg	108

Figurliste

Figur 1: Illustrasjon av oppbygningen til oppgaven.....	2
Figur 2: FNs bærekraftsmål og relevans for energieffektivisering av eksisterende bygninger, etter [7] .	4
Figur 3: Eksempler på tilslutninger hvor det oppstår kuldebroer i bygninger [22]	7
Figur 4: Prosentvis fordeling av varmetap i kontorbygg bygd etter TEK10 standard [28]	9
Figur 5: Eksempel på oppbygning av varmeisoleret betonggulv på grunn [31].....	11
Figur 6: Illustrasjon av temperaturvariasjonen ved henholdsvis utvendig og innvendig isolering [32]	11
Figur 7: Illustrasjon av isolasjon i påføring (til høyre), kontinuerlig isolasjon (i midten) og isolering med puss (til høyre) [32]	12
Figur 8: Sandwichelement med stålplater og pur isolasjon. Foto: Julie Skaiå	12
Figur 9: Prinsipiell fremstilling av ventilasjonsvinduet i 3 scenarioer; ved nøytralt klima, ved oppvarming og ved kjøling [37].....	14
Figur 10: Illustrasjon av hvordan dagslys kan utnyttes i en bygning. Foto: Julie Skaiå	15
Figur 11: Midlere solinnstråling for Norge i januar og juli [50]	17
Figur 12: Bygningsintegreerte solceller på Brynseng skole i Oslo [52]	18
Figur 13: En-akset (til venstre) og to-akset (til høyre) solcellepanel [54]	18
Figur 14: Prinsipiell skisse av en varmepumpe [56]	20
Figur 15: Prinsipiell fremstilling av en effekt- varighetskurve for klimaavhengige varmebehov for en bygning. Maksimale netto varmeeffektbehov (PN) ved dimensjonerende utetemperatur (DUT). I dette eksempelet trenger bygget oppvarming i omtrent 270 dager [55]	21
Figur 16: Åpent system. Opphenting av grunnvann fra produksjonsbrønn (a) som utnyttes i bygning for å deretter bli ledet tilbake til grunnen eller til nærliggende vann [58].....	22
Figur 17: Lukket system hvor energibrønner er boret ned i fjell og løsmasser [58].	23
Figur 18: Prinsipiell framstilling av energibalansen for et varmepumpeanlegg, hvor Q_F er den energien som må hentes opp fra grunnen [55]	24
Figur 19: Fjernvarme illustrasjon. Varmt (og eventuelt kaldt) vann distribueres i rør ut til bygninger og tilbake [63].....	24
Figur 20: Energikilder for norsk fjernvarme i 2021 [66]	25
Figur 21: Prinsipiell illustrasjon av et ventilasjonsaggregat som bruker fjernvarme som innsatsfaktor [68]	26
Figur 22: Illustrasjon av forholdet mellom beregnet energibehov og fornybar energiproduksjon for ulike typer energieffektive eneboliger [69].....	27
Figur 23: Illustrasjon av de viktigste prinsippene for å oppnå passivhusstandarden [76]	30
Figur 24: Powerhouse Kjørbo før og etter renovering [77].....	31
Figur 25: Levert energi til Powerhouse Kjørbo, delt på ulike energiposter. Figuren viser forventede verdier for år 1 og år 20-60, i tillegg til målte verdier for det første og andre året i drift.	32
Figur 26: Solbråveien 23 før og etter oppgradering [29]	34
Figur 27: Fredrik Selmers vei 4 før og etter renovering [61].....	35
Figur 28: Posisjonen til bygningen til venstre [80], og bilde av fremsiden til bygget til høyre	39
Figur 29: Snittegning av kontorbygningen fra 1975. Utarbeidet av Sannes og Steen's arkitektkontor.	40
Figur 30: Bilder av ytterveggene til kontorbygningen i Banehaven 4A.....	40
Figur 31: Ventilasjonsaggregatene i Banehaven 4A. Det til venstre er plassert i 2. etasje og det til høyre står på taket til 3. etasje.....	41
Figur 32: Varmetap langs grunnmur (til venstre) og i fasaden (til høyre).....	42

Figur 33: Varmetap i vinduer i inngangsparti (til venstre) og i vinduer i fasaden (til høyre)	42
Figur 34: Bilder av skader og sprekker i noen av betongveggene i Banehaven 4A.....	42
Figur 35: Bilder av det visuelle uttrykket til kontorbygningen i Banehaven 4A. Det er tydelig at bygningen er moden for en oppgradering.	43
Figur 36: Figur som viser estimerte grunnforhold i Banehaven 4A. Figuren er et skjermbilde hentet fra ngu.no [81]	44
Figur 37: Estimerte solforhold på tomten til Banehaven 4A. Figuren er et skjermbilde hentet fra solkart.no [82]	44
Figur 38: Målt strømforbruk i Banehaven 4A de siste 4 årene	45
Figur 39: Den metodiske tilnærmingen som ble benyttet i dette prosjektet	46
Figur 40: Energimerket til eksisterende bygning. Hentet fra Simien.	64
Figur 41: Varmetap i den eksisterende bygningen. Figur hentet i Simien.	65
Figur 42: Energimerket til konsept 1. Hentet fra Simien.....	69
Figur 43: Beregnet varmetapsbudsjett i konsept 1. Figur hentet i Simien.....	70
Figur 44: Energimerket til konsept 2. Hentet fra Simien.....	74
Figur 45: Beregnet varmetapsbudsjett i konsept 2. Figur hentet i Simien.....	75
Figur 46: Energibehov elektrisitet mot energiproduksjon ved solcellepaneler i konsept 2. Figur hentet i Simien.	76
Figur 47: Energimerket til konsept 3. Hentet fra Simien.....	80
Figur 48: Beregnet varmetapsbudsjett i konsept 3. Figur hentet i Simien.....	81
Figur 49: Energibehov elektrisitet mot energiproduksjon ved solcellepaneler i konsept 3. Figur hentet i Simien.	82
Figur 50: Illustrasjon av foreslått plassering av energibrønner på tomten. Det er behov for 4 energibrønner for å dekke oppvarmingsbehovet. Figur hentet fra kartverket.no.	83
Figur 51: Sammenligning av beregnet spesifikt energibehov for eksisterende situasjon mot konsept	89
Figur 52: Sammenligning av beregnet levert energi til de ulike konseptene, uten og med hensyn til elektrisitetsproduksjon fra solceller.....	90
Figur 53: Sammenligning av varmetap i konseptene	91

Tabelliste

Tabell 1: Kravsnivå til vektet levert energi i nesten nullenergibygninger, etter [71] og [73]	28
Tabell 2: Oppgraderingstiltak gjennomført på Powerhouse Kjørbo [77].....	32
Tabell 3: Termiske egenskaper Powerhouse Kjørbo [36].....	34
Tabell 4 : Oppgraderingstiltak gjennomført på kontorbygget i Solbråveien 23, etter [29]	35
Tabell 5: Oppgraderingstiltak gjennomført på kontorbygget i Fredrik Selmers vei 4, Oslo, etter [38].	36
Tabell 6: U-verdier før og etter renovering av Fredrik Selmers vei 4, etter [38].	36
Tabell 7: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simuleringen av eksisterende bygning	50
Tabell 8: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av den eksisterende bygningen	51
Tabell 9: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simulering av konsept 1.....	55
Tabell 10: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 1.....	55
Tabell 11: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simulering av konsept 2.....	58
Tabell 12: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 2.....	58
Tabell 13: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simulering av konsept 3.....	61
Tabell 14: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 3.....	61
Tabell 15: Netto energibudsjett i eksisterende bygning. Tabell hentet fra Simien.....	62
Tabell 16: Beregnet levert energi til eksisterende bygning. Tabell hentet fra Simien.	62
Tabell 17: Evaluering av eksisterende bygg mot TEK17. Tabell hentet fra Simien.	63
Tabell 18: Evaluering av eksisterende bygg mot energirammen i TEK17. Tabell hentet fra Simien.....	63
Tabell 19: Evaluering av eksisterende bygning mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet fra Simien.	63
Tabell 20: Netto energibudsjett i konsept 1. Tabell hentet fra Simien.	66
Tabell 21: Beregnet levert til bygningen ved konsept 1. Tabell hentet fra Simien.	66
Tabell 22: Evaluering av konsept 1 mot TEK17. Tabell hentet i Simien.	67
Tabell 23: Evaluering av konsept 1 mot energirammen i TEK17. Tabell hentet i Simien.....	67
Tabell 24: Evaluering av konsept 1 mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet i Simien.....	67
Tabell 25: Evaluering av konsept 1 mot passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	68
Tabell 26: Evaluering av konsept 1 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	68
Tabell 27: Evaluering av konsept 1 mot krav til energiytelse i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	68
Tabell 28: Evaluering av konsept 1 mot minstekrav til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.....	68
Tabell 29: Netto energibudsjett i konsept 2. Tabell hentet fra Simien.	71
Tabell 30: Beregnet levert til bygningen ved konsept 2. Tabell hentet fra Simien.	71
Tabell 31: Evaluering av konsept 2 mot TEK17. Tabell hentet i Simien.	72
Tabell 32: Evaluering av konsept 2 mot energirammen i TEK17. Tabell hentet i Simien.....	72
Tabell 33: Evaluering av konsept 2 mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet i Simien.....	72
Tabell 34: Evaluering av konsept 2 mot passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	72
Tabell 35: Evaluering av konsept 2 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	73
Tabell 36: Evaluering av konsept 2 mot krav til energiytelse i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	73

Tabell 37: Evaluering av konsept 2 mot minstekrav til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.....	73
Tabell 38: Netto energibudsjett i konsept 3. Tabell hentet fra Simien.	77
Tabell 39: Beregnet levert til bygningen ved konsept 3. Tabell hentet fra Simien.	77
Tabell 40: Evaluering av konsept 3 mot TEK17. Tabell hentet i Simien.	77
Tabell 41: Evaluering av konsept 3 mot energirammen i TEK17. Tabell hentet i Simien.....	78
Tabell 42: Evaluering av konsept 3 mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet i Simien.....	78
Tabell 43: Evaluering av konsept 3 mot passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	78
Tabell 44: Evaluering av konsept 3 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	79
Tabell 45: Evaluering av konsept 3 mot krav til energiytelse i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.	79
Tabell 46: Evaluering av konsept 3 mot minstekrav til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.....	79
Tabell 47: Oversikt over tiltakene i konsept 1, 2 og 3.....	85
Tabell 48: Oversikt over U-verdier for dagens situasjon og de tre konseptene	87
Tabell 49: Oversikt over spesifikt energibehov og spesifikk levert energi for dagens situasjon og de tre konseptene.....	91
Tabell 50: Oversikt av energimerke for de ulike konseptene.....	92
Tabell 51: Potensial for oppnåelse av ambisjonsnivå for de ulike konseptene og eksisterende situasjon	93
Tabell 52: Sammenligning av simulert og målt energiforbruk i kontorbygningen i Banehaven 4A. Verdier hentet fra case- og resultatkapittelet.....	96

1 Innledning

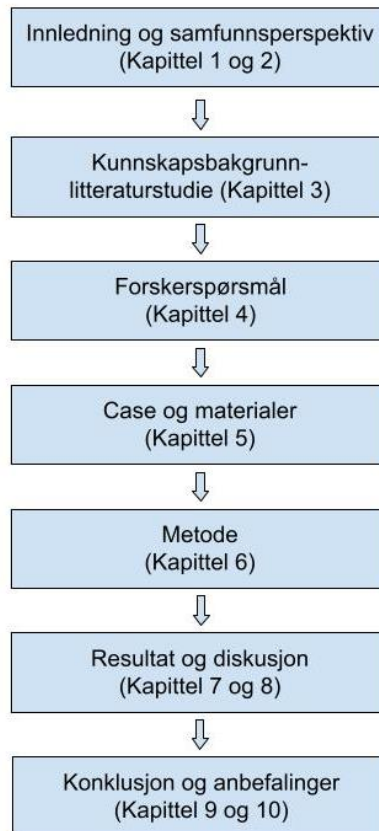
Bygninger står for rundt 40% av verdens totale energibruk, og for mer enn halvparten av elektrisitetsbehovet i Norge [1]. I tillegg står klimagassutslipp fra energiproduksjon for den største andelen av verdens klimagassutslipp [2]. For å klare å nå Parisavtalen mål om å begrense den globale oppvarmingen til fortrinnsvis 1,5 °C, er det nødvendig å redusere energibruket i bygninger og utnytte energien mer effektivt [2].

Som følge av strømkrisen som traff Norge i 2021, satte regjeringen ned en energikommisjon, og 1. februar 2023 la kommisjonen frem en rapport som løftet frem energisparing og fornybar energiproduksjon i bygg som avgjørende faktorer for å redusere og effektivisere energibruken i Norge [3]. Dette støttes av FNs klimapanel (IPCC) som mener det enklest og mest effektivt å redusere utslipp i bygninger for å nå klimamålene [2]. Videre vil økte strømpriser, EU-taksonomien, energimerkeordningen, krav fra banker, forsikringsselskap og andre interessenter være viktige drivere for energieffektivisering av eksisterende bygninger [4].

I 2021 hadde den tjenesteytende sektoren i Norge et energiforbruk på 40 TW, hvorav 29 TW var elektrisitet [3]. Regjeringen har satt et mål om å redusere energibruken i eksisterende bygninger med 10 TWh innen 2030. I 2022 var Norge ikke i rute til å oppnå dette [3]. Det meste av verdens bygningsmasse i 2050 eksisterer i dag, og rundt 75% av denne bygningsmassen i EU er ineffektiv [5]. Derfor er det helt avgjørende å effektivisere det som allerede er bygget [6].

Denne oppgaven består av en casestudie av kontorbygningen i Banehaven 4A i Kristiansand by. Den eksisterende bygningen skal de i løpet av de årene renoveres og bli et senter for kunnskapsutvikling og innovasjon i byggebransjen. Bygningen skal huse 150 arbeidsplasser, og det skal ses på muligheten for å være selvforsynt med energi gjennom å ha solceller på tak og i fasader. Rådgivende Ingeniører Løyning AS er en av bedriftene som i dag bruker kontorbygningen og skal fortsette å bruke den i fremover. Det skal i denne masteroppgaven vurderes og utarbeides ulike energieffektiviserende oppgraderingskonsepter for kontorbygningen på oppdrag for Rådgivende Ingeniører Løyning AS.

Oppgaven er bygd opp etter rapportmalen for Bygg master ved Universitetet i Agder, og illustreres i Figur 1.



Figur 1: Illustrasjon av oppbygningen til oppgaven.

Kapittel 1 inneholder oppgavens bakgrunn, problemområde og oppbygning.

Kapittel 2 beskriver problemområdet i et samfunnsperspektiv.

Kapittel 3 består av et kunnskapsbakgrunn som presenterer kunnskapsfronten på energieffektivisering av eksisterende bygninger i dag.

Kapittel 4 omhandler forskerspørsmål og underspørsmål, inkludert en avgrensing av oppgaven.

Kapittel 5 beskriver casen i denne oppgaven; den eksisterende kontorbygningen i Banehaven 4A i Kristiansand by. Konstruksjonen, tekniske systemer, energiforsyning og dagens energiforbruk vil bli presentert.

Kapittel 6 beskriver forskningsmetodikken som er benyttet i denne oppgaven. Her presenteres også datagrunnlag for energiberegning av 3 ulike renoveringskonsept.

Kapittel 7 presenterer resultatet fra energiberegningene av de ulike renoveringskonseptene i Simien.

Kapittel 8 består av en sammenligning og drøfting av oppgraderingskonseptene, i tillegg til en refleksjon over svakheter og utfordringer med studien.

Kapittel 9 presenterer de viktigste funnene i oppgaven knyttet til forskerspørsmålet.

Kapittel 10 består av forslag til videre arbeid.

Kapittel 11 og 12 består av referanser og vedlegg for oppgaven.

2 Samfunnsperspektiv

En viktig forutsetning for å nå bærekraftmålene er at bruken av energi blir redusert og at energien som brukes kommer fra fornybare energikilder [7]. Selv om elektrisitet produsert i Norge i all hovedsak kommer fra fornybare energikilder, er det ingen hemmelighet at Norge importerer energi fra andre europeiske land som baserer sin energiproduksjon på fossile energikilder [8]. Denne energien blir hovedsakelig brukt i transport- og industrinæringen, mens energibruken i bygninger baseres på elektrisitet [8]. Derimot vil energieffektivisering av eksisterende bygninger frigjøre elektrisitet som kan brukes til andre formål, slik at den totale fossile energibruken kan reduseres [9]. Denne frigjøringen av energi vil ha ringvirkninger for flere aspekter i samfunnet, og vil bidra til å nå flere av FNs bærekraftsmål. Det er i hovedsak 8 bærekraftsmål som påvirkes av energieffektivisering av eksisterende bygninger, som vist i Figur 2.



Figur 2: FNs bærekraftsmål og relevans for energieffektivisering av eksisterende bygninger, etter [7]

Mål nummer 7 handler om at alle mennesker skal ha rett på ren energi, og et av delmålene (7.3) sier at energieffektiviseringsraten skal dobles innen 2030 [10]. Bygninger står for omtrent 40% av all energibruk, og det forventes en økning i strømbruken i Norge når også transport- og industrinæringen skal elektrifiseres [10]. Siden de fleste bygninger i 2050 eksisterer i dag, og 75% av denne bygningsmassen er ineffektiv er det helt nødvendig med en energieffektivisering av den eksisterende bygningsmassen for å nå disse målene [5].

Det å redusere energibruken og ta i bruk fornybare energikilder i bygninger er tiltak som kan bidra til å bygge bærekraftige byer og samfunn, som er det mål nummer 11 handler om. Da omtrent all menneskelig aktivitet krever energi, er det essensielt å avlaste strømmettet der hvor det er mulig og sikre at energien som blir brukt i byene ikke bidrar til utslipp av klimagasser [11]. Siden forbrenning av fossile brensler som kull, olje og gass fører til utslipp av klimagassutslipp, er verden helt avhengig av at dette klimagassutslippet reduseres for å stoppe klimaendringene, som er det mål nummer 13 handler om [12]. For å utnytte energikildene og redusere forbruket kreves innovasjonsprosess hvor det forskes på innovative løsninger og muligheter for energibesparelse i eksisterende bygninger [13].

Bærekraftsmål nummer 14 handler om livet i havet [14]. Økende klimagassutslipp fra landbasert energivirksomhet vil gjøre havet varmere, surere og oksygenfattig. Dette utgjør en trussel mot økosystemene i havet, som er en viktig kilde til mat for mennesker. Videre vil et økt energiforbruk føre til økt kraft og linjeutbygging, noe som vil kreve at trær og planter må kuttes og felles. Dette strider med mål nummer 15, som handler om livet på land [15].

De overnevnte påvirkningene og bærekraftmålene omhandler hovedsakelig det miljømessige perspektivet av bærekraft. Energieffektivisering av eksisterende bygninger vil også påvirke det økonomiske og sosiale perspektivet av bærekraft. Bærekraftsmål nummer 8 handler om anstendig arbeid og økonomisk vekst [16]. Det å utnytte ressursene bedre og optimalisere energibruken i bygninger vil redusere driftskostnader som kan styrke konkurransevnen, skape trygge arbeidsplasser og bidra til økonomisk vekst [17]. Implementering av energieffektiviserende tiltak i

bygninger er et av de mest tilgjengelige tiltakene for energisparing, og kan være spesielt verdifullt nå i en tid hvor det er spådd høye strømpriser og et ustabilt marked i årene som kommer [17].

Det kreves samarbeid mellom myndigheter, næringsliv og sivilsamfunnet for å lykkes med disse bærekraftmålene [18]. I et mindre perspektiv krever det samarbeid mellom ulike fag og interessenter i prosjekteringsprosessen og i drift av bygninger, slik at alle de tre dimensjonene av bærekraftperspektivet bli hensyntatt når eksisterende bygningsmasse skal oppgraderes og driftes i fremtiden.

3 Kunnskapsbakgrunn

Denne delen av rapporten presenterer relevant teori angående varmetap i bygninger og energieffektiviserende oppgraderingstiltak for bygningskroppen, energiforsyning og tekniske installasjoner. Videre blir det gitt en innføring i teorien knyttet til ambisiøse ambisjonsnivåer for energieffektivisering, etterfulgt av en gjennomgang av tidligere oppgraderingsprosjekter. Til slutt blir det introdusert teori relatert til programvare for dynamiske energiberegninger.

3.1 Varmetap i bygninger

Energiforbruk i bygninger er nært knyttet til varmetapet i bygninger. Det skal i dette kapitlet introduseres teori som er knyttet til varmetap som skjer gjennom materialer og til luft.

3.1.1 Varmestråling

I bygg kan varmestråling referere til varmeoverføring fra en varmekilde til omgivelsene via infrarød stråling [19]. I et oppvarmet rom vil varmestrålingen og konveksjonen fra varmekilder som ovner, radiatorer eller gulvvarme bidra til å varme opp omgivelsene og gi komfortabel temperatur i rommet. På samme måte vil varmestråling fra solen kunne bidra til oppvarming av et rom gjennom vinduer eller glassfasader [19].

På den andre siden kan uønsket varmestråling fra solen føre til overoppheting i bygninger om sommeren, og dermed øke behovet for kjøling [19]. Derfor er det viktig å planlegge og utforme bygninger med tanke på både varmestråling og kjøling for å skape et komfortabelt og energieffektivt inn klima. Varmestrålingen i bygg kan måles ved hjelp av et infrarødt termometer eller en varmestrålingsmåler, som måler infrarød stråling fra flater [19].

3.1.2 U-verdi

Lav U-verdi er essensielt for å redusere energibruken i bygninger, og Byggteknisk forskrift har minstekrav som må følges at en bygning kan oppføres eller renoveres i henhold til forskriften [20]. Derimot kreves det ofte bedre U-verdi for å klare mer klimaambisiøse bygg. U-verdien, eller varmegjennomgangskoeffisienten defineres som "den varmestrømmen som går gjennom 1 m² når lufta på hver side av en konstruksjon har en temperaturforskjell på 1 K" [19]. Verdien sier altså noe om hvor god isolasjonseffekten til en bygningsdel er. Det er materialets varmemotstand som avgjør U-verdien til en bygningsdel, altså hvor godt et materiale motstår en varmestrøm. Beregningen av U-verdi blir gjort etter formel 1 [19]:

$$U = \frac{1}{R_t} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (1)$$

Der:

R_t = total varmemotstand til sjiktet $\left[\frac{m^2 K}{W} \right]$

$$R_t = R_i + R_1 + \dots R_n + R_e$$

Der:

R_i = innvendig overgangsmotstand. I henhold til NS-EN ISO 6946 brukes 0,13 m²K/W som standardverdi for vegg (horisontal varmestrøm) og 0,17 m²K/W for gulv mot grunn uten gulvvarme (varmestrøm nedover);

R_e = utvendig overgangsmotstand. I henhold til NS-EN ISO 6946 brukes 0,04 m²K/W som standardverdi for alle bygningsselementer.

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

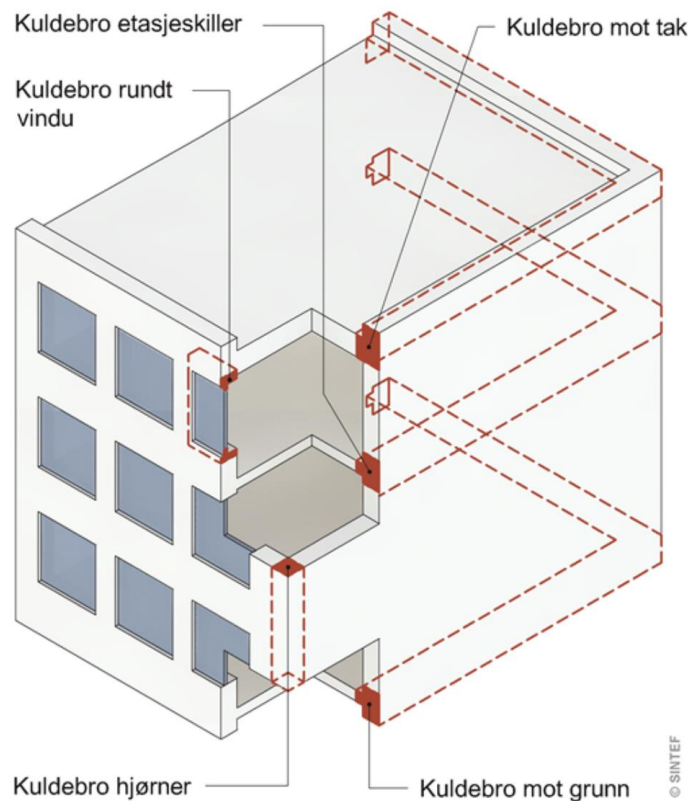
Der:

d_n = tykkelsen på materiale [m];

λ_n = varmekonduktiviteten/varmeledningsevnen til materialet [W/mK].

3.1.3 Kuldebroer

Kuldebroer er et avgrenset parti i en konstruksjon som har dårligere varmeisolering enn konstruksjonen ellers. Dette fører til sterk varmestrøm og økt varmetap i bygningen, og disse er derfor viktige å kartlegge og forbedre [19]. Kuldebroer kan oppstå i bygningsdeler hvor det er gjennomføringer av material som ar høyere varmeledningsevne, dersom det er deler i klimaskjermen hvor tykkelsen endres og/ eller i tilslutninger mellom ulike bygningsdeler [21], slik som illustrert i Figur 3.



Figur 3: Eksempler på tilslutninger hvor det oppstår kuldebroer i bygninger [22].

Kuldebroer som forekommer i tilslutninger mellom to ulike bygningsdeler slik som vegg og tak, vegg og gulv på grunn, vegger og vinduer/dører, er todimensjonale og kalles lineære kuldebroer. I tilslutningen mellom tre bygningsdeler, slik som to vegger og ett tak, oppstår tredimensjonale kuldebroer, også kalt punktformige kuldebroer [21].

3.1.4 Transmisjonsvarmetap

Transmisjonsvarmetap i bygninger vil si varmetap mot det fri, grunnen, uoppvarmede arealer og/eller mot tilliggende bygninger på grunn av varmeledning gjennom bygningsdeler, oppgitt i W/K. Transmisjonstapet beregnes etter formel 2 [23]:

$$H_{tr} = H_D + H_g + H_u + H_a \text{ [W/K]} \quad (2)$$

Der:

H_D er direkte varmetransmisjonstap til det fri, i W/K;

H_g er varmetap mot grunnen, i W/K;

H_u er varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner, i W/K;

H_a er varmetransmisjonstap til tilliggende bygninger, i W/K.

Det direkte varmetransmisjonstapet for bygningsdeler (tak, vegg, gulv, vinduer og dører) styres av varmegjennomgangskoeffisientene, arealene og kuldebroene til bygningsdelene [24], og beregnes som:[23]

$$H_D = \sum_i U_i A_i + \sum_k \Psi_k l_k + \sum_j X_j \text{ [W/K]}$$

Der:

U_i er varmegjennomgangskoeffisienter bygningsdeler i ;

A_i er arealet til bygningsdelen i basert på innvendig mål, i m^2 . For vinduer skal totalt vindusareal brukes, inkludert karm/ramme;

Ψ_k er den lineære kuldebroverdien for kuldebro, k , beregnet for totalt innvendig mål, i W/mK;

l_k er lengden av lineær kuldebro basert på innvendig mål for kuldebro k , i meter;

X_j er kuldebroverdien for en punktformig kuldebro j , i W/K.

3.1.5 Infiltrasjonsvarmetap

For å sørge for et komfortabelt og sunt inneklima i bygninger er det nødvendig med tilstrekkelig luftutskifting. Uten denne luftutskiftingen kan innholdet av fukt og andre gasser i luften bli så høyt at det i tillegg til å være helseskadelig for mennesker kan gi skader på bygningen. Denne luftutskiftingen skjer hovedsakelig gjennom et ventilasjonssystem, men også gjennom luftlekkasjer i klimaskjermen. Mens luftmengdene som skiftes ut gjennom ventilasjonssystemet kan kontrolleres, er luftskifte skapt av infiltrasjon helt ukontrollerbart. Å oppnå kontroll over disse luftlekkasjene er et av hovedmålene i dagens energieffektive konstruksjoner [21].

Infiltrasjonsvarmetap innebærer tap av varmeenergi gjennom luftvekslingen som skjer utenom ventilasjonssystemet. Luften som lekker gjennom klimaskjermen oppgis i lekkasjetall, altså luftvekslinger per time ved et under- eller overtrykk på 50 Pascal (Pa) [23]. Det vil si at dersom et bygg på $1000 m^3$ har et lekkasjetall på 1, vil bygget lekke $1000 m^3$ luft i timen ved et overtrykk på 50 Pa. I en bygning finnes det flere luftspalter og utettheter i klimaskjermen, slik at en luftutveksling i praksis alltid være til stede. Disse luftlekkasjene kan føre til stort varmetap i bygninger, og burde derfor reduseres i den grad det er mulig ved å danne et uavbrutt, kontinuerlig sjikt rundt bygningskroppen. Dette gjøres ved å montere vindsperre på utsiden og dampsperre på innsiden i ytterveggene, og ved å tette overganger og gjennomføringer mellom bygningsdeler og elementer [25].

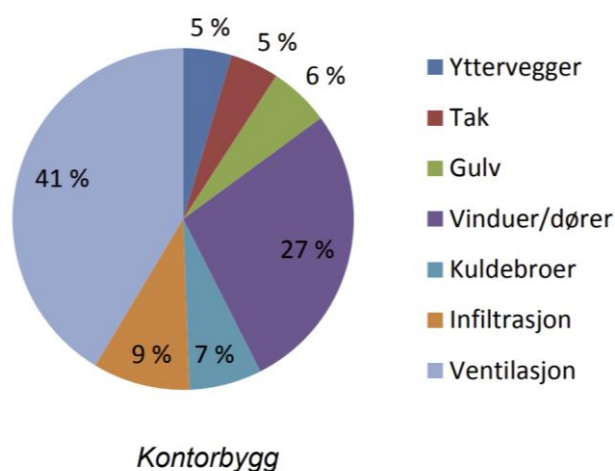
Lekkasjetallet til en bygning kan fastslås ved å gjennomføre en trykktest. Dette gjennomføres ved å tette vanlige åpninger i den ytre konstruksjonen, for å deretter feste en kalibrert vifte til en av døråpningene. Denne viften kjøres på ulike hastigheter og måler luftstrømmer og tilhørende trykkdifferanser som resulterer i et lekkasjetall [19].

3.1.6 Ventilasjonsvarmetap

Mye av varmetapet skjer også på grunn av luftutskiftingen gjennom ventilasjonssystemet. Et naturlig ventilasjonssystem, hvor luftutskiftingen skjer gjennom åpne vinduer og dører og gjennom åpne kanaler og ventiler, sørger naturligvis for varmetap. Et mekanisk, balansert ventilasjonssystem regulerer luftmengder via et aggregat, der like mye brukt inneluft blir trukket ut som frisk uteluft blir tilført bygget. Dette gir mulighet for å regulere dette varmetapet [19].

Mye av varmetapet kan reduseres ved at varmen fra den brukte inneluften blir gjenvunnet via en varmeveksler. NS 3701- Kriterier for passivhus og lavenergibygninger for yrkesbygninger, stiller krav til at den gjennomsnittlige temperaturvirkningsgraden per år for varmegjenvinner er på 80% eller bedre for passivhus, og 70% for lavenergibygning [26]. Det vil si at 70- 80% varmen fra den brukte inneluften blir overført til ny luft. Jo lavere denne temperaturvirkningsgraden er, jo større vil varmetapet til bygningen være. Covent, som er en norsk leverandør av energieffektive og miljøvennlige luftbehandlingsanlegg hevder de kan levere ventilasjonsaggregater med temperaturvirkningsgrad på hele 92% [27].

For norske kontorbygninger bygd etter TEK10 standard er det ventilasjonsvarmetap som utgjør det største varmetapsposten slik som illustrert i Figur 4, derfor vil det å velge et energieffektivt ventilasjonsanlegg med høy temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner kunne spare bygget for mye varmetap [28].



Figur 4: Prosentvis fordeling av varmetap i kontorbygg bygd etter TEK10 standard [28].

Varmetapet fra ventilasjon beregnes etter metode i NS 3031 med følgende formel [21]:

$$H_v = 0,33 \cdot V(1 - \eta) \quad [\text{W/K}] \quad (3)$$

Der:

V er den gjennomsnittlige ventilasjonsluftmengden per time [m^3/h], som gis av antall luftskifter per time [h^{-1}] multiplisert med oppvarmet volum [m^3],

η er årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]. Oppgis mellom 0 og 1, der 0,8 vil si 80%.

3.2 Tiltak på bygningskropp og tekniske systemer

En energisparende strategi kan ikke kopieres fra bygning til bygning, men må tilpasses hvert enkelt prosjekt grunnet store variasjoner mellom ulike typer bygninger. NVE's rapporter om formålsdelt energibruk i ulike typer bygninger viste at drift av tekniske anlegg har stor betydning for kontorbygg, mens belysning utgjør en større del i forretningsbygg [29]. I tillegg til bygningskategori er klimasted og tilstanden til den eksisterende bygningen faktorer som påvirker hva slags strategi som burde velges for det aktuelle prosjektet [29]. I dette kapitlet vil det bli presentert teori om energisparende tiltak på bygningskropp og på de tekniske installasjonene i kontorbygninger.

3.2.1 Etterisolering

Den største energiposten i eldre, eksisterende kontorbygninger er energibruk til oppvarming [29]. Dette energibehovet vil være avhengig av byggets varmetap, derfor burde en oppgradering inkludere tiltak for å redusere dette varmetapet. Etterisolering er et passivt energitiltak handler om å legge til eller oppgradere eksisterende isolasjon for å forbedre bygningens varmeisoleringssevne [30].

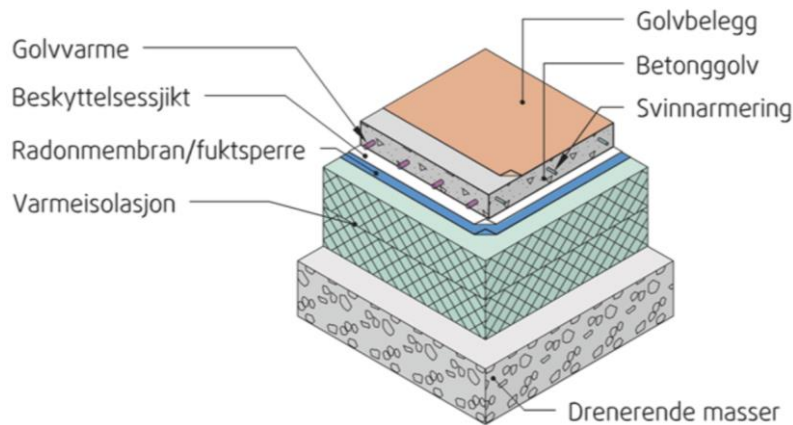
Isolasjonsmaterialer

Mineralull eller plastisolasjon er de to vanligste isolasjonstypene for etterisolering [30]. Mineralull er et isolasjonsmateriale som består av små fibre av stein eller glass. Plastisolasjon er en fellesbetegnelse for polystyren isolasjonsmaterialer (ekspandert og ekstrudert), polyuretan (PUR) og polyisocyanurat (PIR). Både mineralull og plastisolasjon har høy isoleringsevne, noe som bidrar til å redusere energitapet gjennom bygningsdeler. Mineralull har en varmeledningsevne på 0,034-0,040 W/mK, mens det i plastisolasjon kan oppnås varmeledningsevne helt nede på 0,022 W/mK [30]. Plastisolasjon har derfor en høyere isolasjonsevne enn mineralull, slik at ved etterisolering av gulv vil 100 mm tykk mineralull gi samme isolasjonsverdi som 50 mm tykk XPS isolasjon. Dersom det er begrenset med plass for etterisolering kan derfor plastisolasjon være et bedre alternativ. Derimot vil plastisolasjon ha en dårligere lydisolerende evne enn det mineralull har [30].

Etterisolering av gulv

Etterisolering av gulv fører til økt komfort og et lavere varmetap. TEK17 stiller krav til U-verdier for gulv mot grunn i oppvarmede bygninger. Dagens krav tilsier at gulv mot grunn og mot det fri må ha en gjennomsnittlig U-verdi på 0,18 W/m²K eller bedre for å oppnå tilstrekkelige energieffektivitet [20]. U-verdien vil variere avhengig av en rekke faktorer, som gulvets geometri, grunnforhold og utvendig oppfyllingshøyde. Den viktigste faktoren likevel vil være tykkelsen på isolasjonen [31].

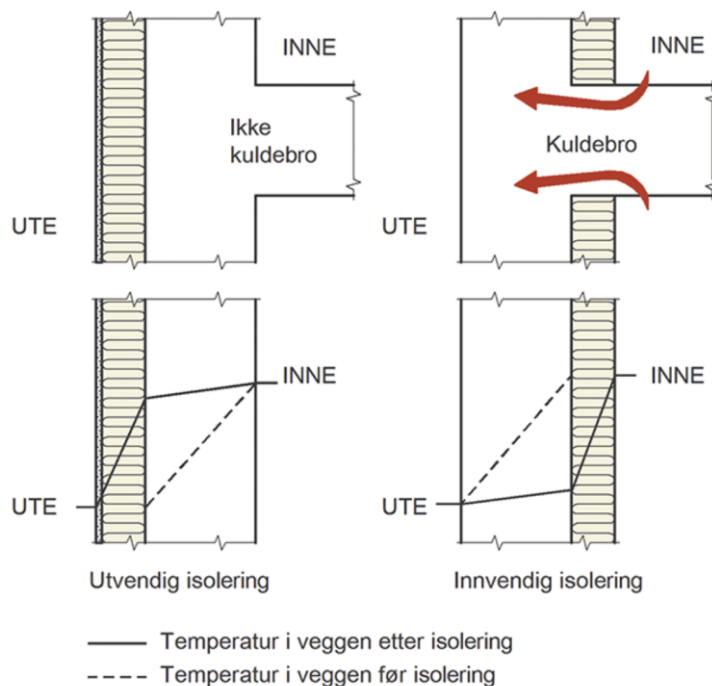
Avhengig av den eksisterende konstruksjonen, må det velges ulike etteriseringsmetoder. Figur 5 viser en vanlig oppbygning av et varmeisolert betonggulv mot grunn, altså at isolasjonen ligger under betonggulvet. For etterisolering i en eksisterende bygning med betonggulv medfører dette at eksisterende gulv må pigges opp før nytt gulv bygges opp. Ved å plassere isolasjonen under betonggulvet oppnås optimale fuktforhold i gulvet og samtidig gir det muligheten for å etablere en radonsperre dersom det er radonproblematikk i den eksisterende bygningen [31]. Isolasjonen kan også ligge over betonggulvet, men dette medfører at gulvet heves slik at romhøyden reduseres [21]. Dette kan være problematisk i eksisterende kontorbygninger da krav til romhøyde kan redusere nødvendig isolasjonsmengde.



Figur 5: Eksempel på oppbygning av varmeisolert betonggulv på grunn [31].

Etterisolering av betongvegger

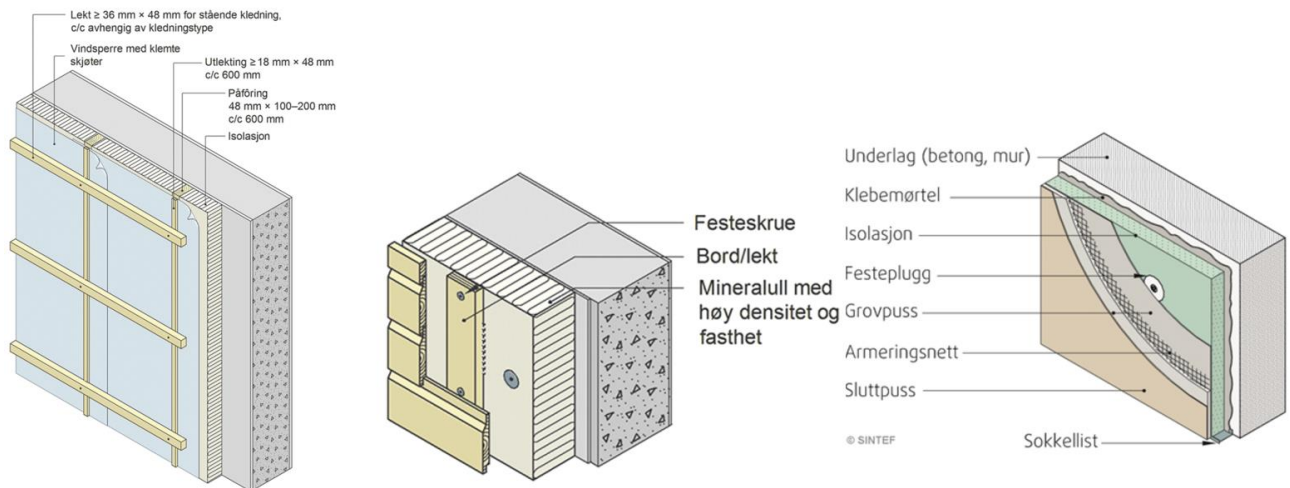
Eldre betongvegger kan ofte ha dårlig varmeisoleringssevne og store kuldebroer i dekkeforkanter og hjørner. For å redusere dette varmetapet bør ytterveggene etterisolerers som ett av flere mulige energibesparende tiltak i en bygning [32]. Isolasjonen plasseres enten på utsiden og/eller på innsiden av betongveggen. Utvendig isolering er den beste løsningen både med tanke på energibruk, fukt og plassproblematikk inne i bygningen. Dersom isolasjonen legges innvendig vil temperaturen i betongveggen synke lineært med utetemperaturer slik som illustrert i Figur 6, noe som fører til fare for kondens, dårlig uttørking og skader på betongen (frostskader, korrosjon og karbonatisering). I tillegg blir det et ekstra stort varmetap på grunn av kuldebroer ved skillevegger og bjelkelag [32].



Figur 6: Illustrasjon av temperaturvariasjonen ved henholdsvis utvendig og innvendig isolering [32].

Utvendig etterisolering av betongvegger blir enten gjort ved påføring med isolasjon, som kontinuerlig isolasjon eller som utvendig puss på isolasjon [32]. Metodene er illustrert i Figur 7. Ved påføring med isolasjon festes mineralullisolasjon til den eksisterende betongveggen ved hjelp av

lekter og stendere. Kledningen blir lektet ut slik at fuktighet som trenger gjennom kledningen kan renne av, og for å gi rom til vindsperran som er festet utenpå mineralullen. Ved kontinuerlig isolering blir utvendig kledning og isolasjonsplater festet til eksisterende betongvegg med lange festeskruer. Isolasjonen kan legges i store tykkelser før kledningen festes til vertikale lekter som presser isolasjonsplatene mot eksisterende betongvegg. Ved utvendig etterisolering med puss festes fasadeplatene til den eksisterende betong med festeplugger eller klebemørtel før isolasjonen blir dekt med puss som beskytter veggen mot fuktinntrenging [32].



Figur 7: Illustrasjon av isolasjon i påføring (til høyre), kontinuerlig isolasjon (i midten) og isolering med puss (til høyre) [32].

En annen måte å etterisolere på er å plassere prefabrikerte elementer utenpå den eksisterende fasaden. Elementer som ofte blir brukt til dette er sandwichelementer som vist i Figur 8. Sandwichelementer kan brukes i både bærende og ikke-bærende fasader, og er mye brukt i fryse- og kjølerom, laboratorie-, lager- og tørkerom, men også i yttervegger, himlinger og tak i kontor-, lager- og industribygninger [33]. Elementene består av to plater av enten betong, stål, glassfiberarmert plast eller andre materialer og en kjerne av plastisolasjon eller mineralull [33].



Figur 8: Sandwichelement med stålplater og pur isolasjon.

Fordelene med sanwichelementer er at byggetiden reduseres samtidig som isoleringsevnen kan optimaliseres ved bruk av isolasjonsmaterialer med svært god varmemotstand, slik som Polyisocyanuratskum (PIR) [33]. Bygging med sandwichelementer gir mulighet for å oppnå en svært

lufttett bygning dersom skjøtene mellom elementene og eventuelle gjennomføringer tettes på riktig måte med hensyn til luft- og dampmotstand [33]. Det er også viktig at sandwichelementene festes helt utenfor eller helt innenfor vindtetning (klimaskillet) og på samme side i både tak og vegger for å oppnå et kontinuerlig luft- og dampetningsjikt. Dette fordi luft som trekker inn i elementene kan forårsake kondens og oppfukning av elementene[33].

3.2.2 Vinduer

Vinduer er ofte den dårligst isolerte delen av en vegg, og kan derfor sørge for et stort varmetap i bygninger [34]. Når en fasade skal oppgraderes, burde det derfor alltid vurderes en utskifting til vinduer med en bedre U-verdi. Eldre bygninger har ofte vinduer med høy U-verdi. Dersom en bygning med tolagsvinduer fra 80-tallet oppgraderes med 3-lags lavenergivinduer vil varmetapet fra vinduene halveres [34]. Ved utskifting av vinduer er det viktig å sørge for god lufttetthet. For vanlige åpningsvinduer gjøres dette ved å montere en tetteliste innerst i fugen mellom karm og ramme, og sørge for sammenføyinger i skjøter og hjørner er lufttette. Siden faste vinduer ikke kan åpnes, er det enklere å få disse tette [35].

Fordelen med å skifte ut vinduene samtidig som ytterveggen oppgraderes, er at plasseringen av vinduene kan bestemmes med tanke på varmetap, sollys, beskyttelse mot slagregn og opprinnelig utseende [36]. Dagens krav til vinduer i byggeteknisk forskrift er at U-verdien må være $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller lavere, inkludert karm [20]. For passivhusbygninger er dette kravet på $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, og det er kun 3-lags vinduer som vil kunne gi en så lav U-verdi i dag [20].

Et annet innovativt prinsipp som har blitt anvendt i norske bygninger de siste årene er ventilasjonsvinduer [37]. Prinsippet er illustrert i Figur 9 og ble blant annet brukt ved rehabiliteringen av FN-bygget i Arendal [38]. Ventilasjonsvinduer baseres på at frisk luft trekkes inn bunnen av et vindu bestående av to glasslag. Der blir den friske luften varmet opp ved at varme fra bygningen slippes ut gjennom vinduene, med et bidrag fra solen, varmer opp sjiktet mellom glassene. Luften ledes derfor oppover og inn i rommet. På varme dager kan frisk luft ledes direkte inn gjennom en ventil i toppen av vinduet, uten at den oppvarmede luften mellom glassene slippes inn i bygningen. Luftstrømmen mellom vinduene vil da kjøle ned vinduskonstruksjonen [37]. Prinsippet er forsket på ved forskningsinstituttet Fraunhofer- Gesellschaft og ved Universitetet i Aalborg. Forskningen til Universitetet i Aalborg konkluderte med at bruk av ventilasjonsvinduer kan redusere en bygnings energiforbruk opptil 20% [39].



Figur 9: Prinsipiell fremstilling av ventilasjonsvinduet i 3 scenarioer; ved nøytralt klima, ved oppvarming og ved kjøling [37].

3.2.3 Ventilasjonsanlegg

Et DCV-anlegg (Demand Controlled Ventilation) er et type ventilasjonssystem som styrer luftmengdene automatisk etter målt behov. Det har mange likheter med det tradisjonelle VAV (variable luftmengder) anlegget, men DCV-anlegget er et mer avansert system hvor luftmengdene kan justeres på romnivå ved hjelp av sensorer som registrerer for eksempel temperatur og CO₂-nivå i rommet. Ved å implementere et behovsstyrt anlegg i stedet for et anlegg med konstante luftmengder (CAV), kan energibehovet til ventilasjon reduseres med 50 prosent [40]. Dette fordi luftmengdene kan reduseres i de rommene som ikke blir brukt [40].

Det er kjent at en høy grad av varmegjenvinning har mye å si for varmetap i ventilasjonen, men sparemulighetene i forbindelse med energibruk til viftedrift er ofte ukjent for forvaltere og driftspersonale [41]. SFP faktor (Specific Fan Power) angir ventilasjonsanleggets energiforbruk til viftedrift i forhold til mengde transportert luft i systemet [41]. Moderne ventilasjonsanlegg kan oppnå en SFP faktor på rundt 0,5- 1,5, noe som kan føre til store reduksjoner i energibruken til bygningen. En ulempe med lav SFP-faktor er at lav SFP faktor krever større kanaldimensjoner, noe som kan øke nødvendig himlingshøyde og areal. Det er også viktig å merke seg at ventilasjonsanlegg med lavere SFP-verdier ofte har høyere investeringskostnader, men kan gi betydelige energisparende fordeler på lang sikt [41].

3.2.4 Solskjerming

De siste tiårene har kontorbygninger i større og større grad blitt designet med stort vindusareal, som fører til at mer sollys slippes inn i bygningen. Dette kan bli problematisk for den termiske og visuelle komforten til brukerne av bygget, i tillegg vil energiforbruket til kjøling og ventilasjon øke [42]. Solskjerming på fasader er en av flere strategier som blir brukt for å redusere disse konsekvensene. Fordelen med solskjerming er at det kan regulere solinnstrålingen slik at kjøle- og varmebehovet kan reduseres [43]. I tillegg vil solskjerming hindre blinding og refleks som vil øke den visuelle komforten i bygningen. Ulempen er at solskjerming kan øke energibehovet til belysning, og redusere den visuelle kontakten med utsiden betydelig [42].

Solskjerming kan deles inn i tre hovedtyper: utvendig solskjerming, mellomliggende solskjerming og utvendig solskjerming. Utvendig solskjerming vil hindre at varme kommer inn i rommet, mellomliggende solskjerming blir plassert mellom glassene vinduene, og innvendig solskjerming brukes for å regulere dagslys og blending [44]. I tillegg finnes integrerte løsninger hvor solskjermingen er integrert i vinduskonstruksjonen [43]. Nonneseterkvartalet i Bergen benytter et intelligent utvendig solskjermingsystem fra Schüco som måler solinnstråling og hever eller senker persiennene deretter [44].

Solinnstrålingen som kommer gjennom solskjermingen betegnes som solskjermingsfaktor. Hver type solskjerming har en fast oppgitt verdi, men i praksis vil denne verdien variere etter solens innfallsvinkel og være avhengig sted, årstid og solskjermingens innstilling. Solskjermingsfaktor er en viktig parameter ved energiberegninger, og kan regnes ut i programvarer som IDA ICE, Parasol eller andre leverandørprogrammer [43].

3.2.5 Lys og belysning

Belysning er en av de største energipostene i yrkesbygg, og står vanligvis for rundt 20% av energibruken [45]. De har ofte lysanlegg som er 20-30 år gamle, som ikke er særlig effektive eller tilpasset byggets størrelse. I tillegg er belysningen ofte i bruk når det ikke er mennesker til stede i bygningene. Imidlertid kan man oppnå energibesparelser på opptil 50 prosent ved å installere moderne belysningsutstyr og effektive styringssystemer [45].

Utnyttning av dagslys

Utnyttelse av dagslys reduserer behovet for elektrisk belysning. Det er også viktig for menneskers trivsel, og TEK stiller krav til at rom for varig opphold skal ha tilgang på dagslys [20]. Derimot vil dagslyset være avhengig av årstid, døgn, geografisk sted, værforhold og plassering av vindusåpninger i en bygning [46], noe som gjør dagslys til en ustabil lyskilde. Likevel er det viktig å foreta dagslysberegninger slik at unødvendig bruk av elektrisk belysning kan unngås [46]. Figur 10 viser hvordan prinsippet kan bli utført i praksis.



Figur 10: Illustrasjon av hvordan dagslys kan utnyttes i en bygning.

Det har vært en stor økning i bruk av effektiv belysning de siste 10 årene på grunn av effektive systemer og økt bruk av behovsstyring [47]. For å spare energi når den elektriske belysningen er i bruk burde det velges energieffektive lyskilder. Den vanligste lyskilden til bruk i dag er et effektivt belysningssystem basert på LED. Et slikt system kan redusere energibruket til belysning med 50% [23].

Styring av lys

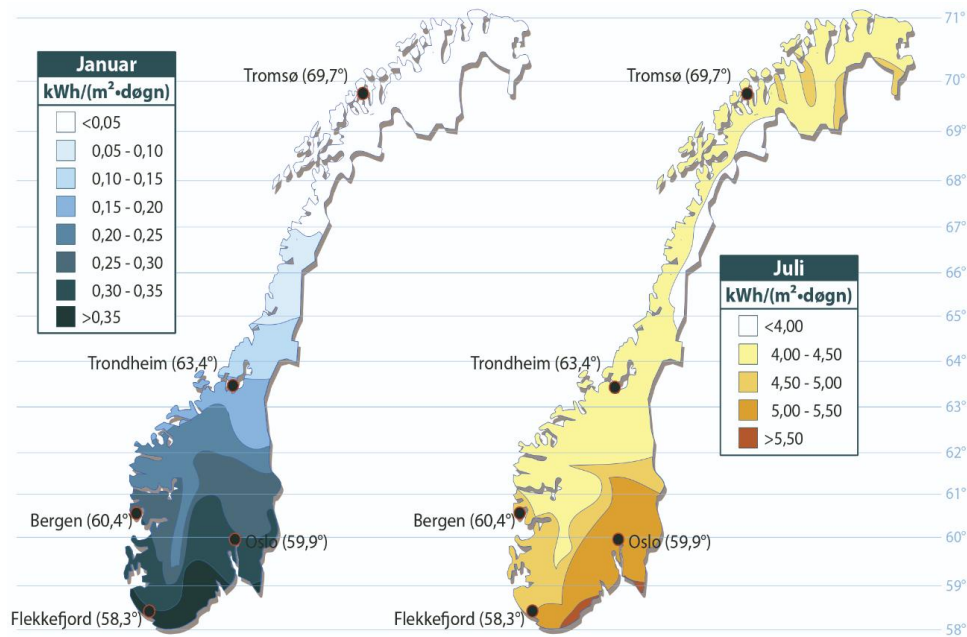
Behovsstyrt belysning er en type belysning som tilpasser seg behovet for lys i et rom, basert på faktorer som tilstedeværelse, dagslys og aktivitet. Systemet kan redusere energibruket til belysning med 10-30%, og kan for eksempel inneholde sensorer som registrerer bevegelse og lysnivå og justerer belysningen i tråd med dette [45].

3.2.6 El-utstyr

Ifølge en rapport fra NVE om formålsbasert energibruk i yrkesbygg, er energiforbruket til elektrisk utstyr i kontorbygg større enn energiforbruket til oppvarming av bygningen [48]. Med elektrisk utstyr menes datamaskiner, skrivere, kaffemaskiner og lignende. Strøm til ventilasjon og belysning kommer utenom. Det er derfor viktig å velge elektrisk utstyr som er energieffektivt. Det vil si utstyr som bruker lite energi og generer lite varme. Dette kan gjøres ved å velge utstyr som er energimerket med en høy karakter.

3.2.7 Solceller

Lokal produksjon av elektrisitet ved bruk av solcellepanel (PV) har hatt stor vekst de siste årene. Likevel ligger Norge langt bak andre europeiske land når det gjelder lokal energiproduksjon fra solceller. Norge hadde i 2015 en total installert kapasitet på 15 MW, i motsetning til 160 MW i Sverige og 790 MW i Danmark [49]. Norge har en solinnstråling på 700-1000 kWh/m² per år på horisontal flate, noe som er like mye som sentrale deler av Tyskland- det landet i Europa som produserer mest energi fra solceller [49]. Figur 11 viser den midlere solinnstrålingen i Norge i juli og januar. Som illustrert i figuren øker solinnstrålingen sårøver i Norge. Utfordringen er i å kunne optimalt utnytte og anvende denne energikilden.



Figur 11: Midlere solinnstråling for Norge i januar og juli [50].

Solcellepaneler består av plater dekket av seriekoblede solceller, som regel lagd av silisium. Solcellene produserer energi ved å omdanne sollys til elektrisitet ved hjelp av en fotovoltaisk prosess. Effektiviteten til strømproduksjonen avhenger av bygningens geografiske plassering, orientering i forhold til himmelretning, omliggende bygninger og terreng. Videre vil valg av solcelletype påvirke virkningsgraden, altså hvor stor andel av sollyset som blir omdannet til elektrisitet [51].

Plassering av solceller

For å optimalisere solstrømproduksjonen plasseres solcellepanelene på tak og/ eller fasader i retning sør, vest eller øst. For å produsere mest mulig strøm gjennom året vil et 30-45° sørvendt anlegg være ideelt. På flate tak plasseres solcellene mot øst og vest med en vinkling på 10°. Ved å vinkle de på denne måten vil strømproduksjonen fordeles jevnt utover dagen, i motsetning til sørvendte anlegg som produserer mest strøm midt på dagen [51]. Ved installasjon av solceller på et tak vil ikke hele takflaten være tilgjengelig for montering av solceller. Det er flere faktorer som kan påvirke tilgjengelig takareal, inkludert takets form, helning, skygge fra trær eller nærliggende bygninger og eventuelle installasjoner som ventilasjonsrør og skorsteiner [51]. Generelt kan man forvente at rundt 10-20% av det totale takarealet, avhengig av takets utforming og eventuelle hindringer, er utilgjengelig for solceller [51].

Solceller kan også integreres i vertikale bygningslementer, slik som fasader, vinduer, solskjerming og rekkverk mot sør, øst og vest, såkalte bygningsintegre solceller. Figur 12 illustrerer solceller integrert i fasaden til en skolebygning. Fordelen med bygningsintegre solceller er at strømproduksjonen ikke vil bli redusert på grunn av snødekke. I tillegg kan den totale materialbruken blir redusert ved at materialene produserer strøm i tillegg til å oppfylle de krav som bygningskomponenter vanligvis skal oppfylle.



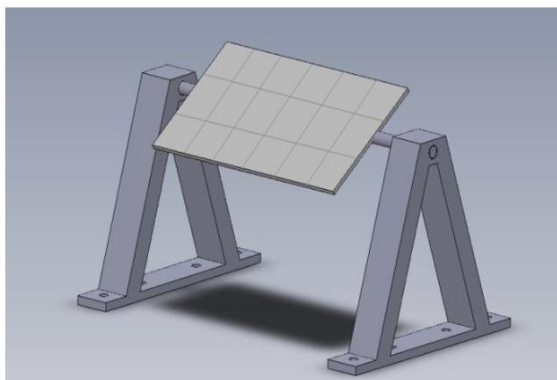
Figur 12: Bygningsintegreerte solceller på Brynseng skole i Oslo [52].

Virkningsgrader

De to vanligste solcelletypene i Norge er monokrystallinske og multikrystallinske [53]. Monokrystallinske og polykrystallinske har virkningsgrader på henholdsvis 17-22 % og 13-16 % [51]. I tillegg øker virkningsgraden til solceller når temperaturen synker, som vil si at solceller kan ha høy produksjon av elektrisitet selv på kaldere dager. Installering av solceller en spesielt stor fordel for større bygninger med et strømforbruk på mer enn 100 000 kWh per år, da disse må betale en effekttariff som måles etter maks strømforbruk hver måned [51].

Roterende solceller

Selv om roterende solcellepaneler er relativt nye på markedet, har de allerede vist seg å være en lovende teknologi med potensial til å øke effektiviteten og produktiviteten til solenergi. Dersom en bygning har lite tilgjengelig areal og/ eller mye skygge fra omliggende bygninger og terreng, kan installasjon av roterende solceller være aktuelt. Roterende solceller er montert på en eller to roterende akser som følger solens bevegelse gjennom dagen, og kan dermed generere mer elektrisitet enn statiske solcellepaneler. Avhengig av hvor mange akser solcellepanelene roterer om, så kan roterende solceller produsere opp mot 82% mer enn det de tradisjonelle, fastmonterte solcellene. Figur 13 illustrerer roterende solceller, henholdsvis en-akset og to-akset. En-akset og to-akset solcellepanel er henholdsvis 69% og 82% mer effektivt enn et fastmontert solcellepanel [54].



Figur 13: En-akset (til venstre) og to-akset (til høyre) solcellepanel [54].

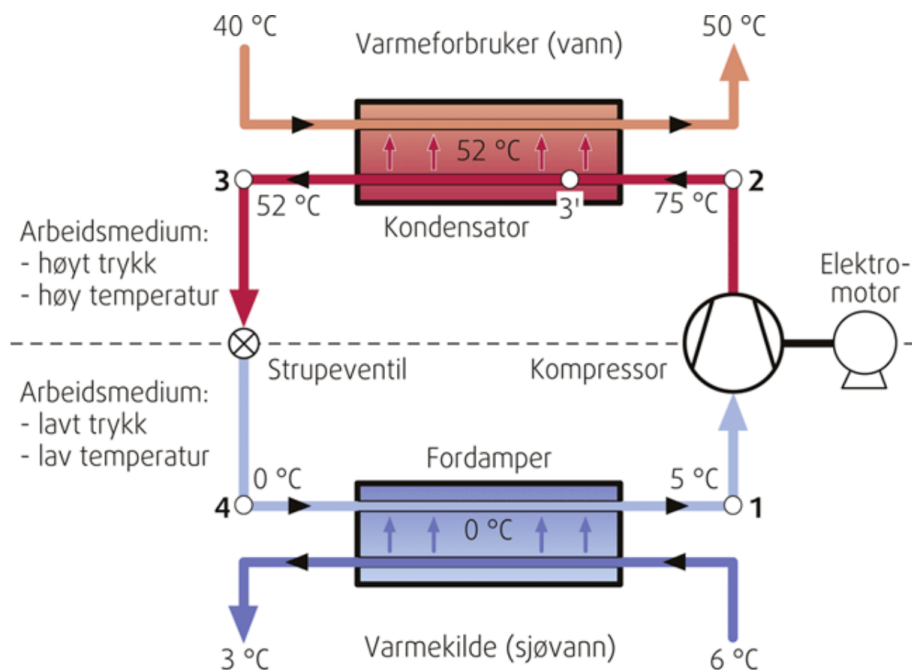
3.3 Fornybar oppvarming og kjøling

Ifølge NVE sin rapport om formålsdelt energibruk i yrkesbygg fra 2016, går omtrent 31% av den årlige energibruken i kontorbygninger til romoppvarming, og om lag 8% går til kjøleformål [48]. En viktig forutsetning for energieffektivisering av bygninger er derfor at mindre energi brukes til oppvarming og kjøling av bygninger. Videre er det viktig at energien som blir brukt kommer fra fornybare energikilder. Valg av oppvarming- og kjølesystem avhenger av bygningens størrelse, tilgang til energikilder, klimaforhold og individuelle preferanser for innklimaet [3]. Dette kapittelet tar sikte på å presentere teorien bak utvalgte fornybare oppvarmings- og kjøleløsninger som er relevante for å oppnå energieffektive bygninger som nullenergibygging og plusshus.

3.3.1 Varmepumpe

En varmepumpe er en maskin som transporterer varme fra en fritt tilgjengelig varmekilde med relativt lav temperatur, og leverer varme med høy temperatur til en varmekonsumer ved hjelp av elektrisk drivenergi. En varmepumpe kan benyttes til ulike typer oppvarmingsformål, både oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann og til kjøling av ventilasjonsluft, prosessorer og lokal kjøling via kjøleblåser og /eller kjøletak [55]. Energiforbruket til oppvarming kan reduseres med 50-80% ved bruk av varmepumper sammenlignet med elektrisitet, olje og gass, og Energikommisjonen har vurdert at bruken av varmepumper som utnytter omgivelsesvarme vil øke med en estimert størrelsesorden på 6-11 TWh innen 2030 [3].

Figur 14 viser en prinsipiell skisse av komponentene i en varmepumpe. En varmepumpe består av fire hovedkomponenter: fordampere, kompressor, kondensator og strupeventil. Disse er koblet sammen i et lukket rørsystem hvor det sirkulerer et arbeidsmedium som tar opp varme fra varmekilden på den kalde siden som overføres til varmekonsumer på den varme siden [55]. Dette skjer ved at fordampere tar opp varme fra varmekilden, som kan være luft (ventilasjonsavtrekk eller uteluft), vann (sjø, elv, innsjø) eller grunn (berg, jord eller grunnvann). Denne varmen strømmer gjennom fordampere, som får arbeidsmediet til å fordampe. Gassen komprimeres deretter i kompressoren drevet av en elektromotor slik at trykket og temperaturen øker. Kondensatoren overfører varmen fra arbeidsmediet til varmekonsumer slik at ved at gassen kondenserer og blir til væske. Væsken strømmer deretter til strupeventilen hvor trykket og temperaturen på vannet senkes. Til slutt overføres væska, og ofte litt gass, ført gjennom fordampere igjen [56].



Figur 14: Prinsipiell skisse av en varmepumpe [56].

Varmepumper kan være en svært energieffektiv oppvarmingsløsning sammenlignet med tradisjonelle oppvarmingskilder basert på elektrisitet, olje og gass. Fordi varmepumper utnytter energien fra omgivelsene, kan den gi høyere effektivitet, også kjent som COP (Coefficient of Performance) enn andre oppvarmingsløsninger [56]. Jo høyere COP en varmepumpe har, jo høyere energisparing er det mulig å få til. COP avhenger av faktorer som temperatur i bakken og hvor høy temperatur som leveres til varmeanlegget, og det er vanlig å anta at COP avtar med rundt 2-3% for hver $^{\circ}\text{C}$ kondensatortemperaturen øker eller fordampertemperaturen synker [55].

Grunnvarmepumpe

Varmepumper i større bygninger og fjernvarme- og fjernkjøleanlegg bruker vanligvis sjøvann, grunnvann og fjell som varmekilder [56]. For å utnytte disse varmekildene kreves en grunnvarmepumpe, også kalt vann-til-vann-varmepumpe. Denne varmepumpen utnytter varmen i grunnen og avgir varme til et vannbårent oppvarmingssystem, for eksempel gulvvarme eller radiatorer. Varmepumpen kan dekke 85 til 95% av en bygningens varmebehov, har en effektivitet på omtrent 3,5, noe som gjør den til en svært energieffektiv oppvarmingskilde [57].

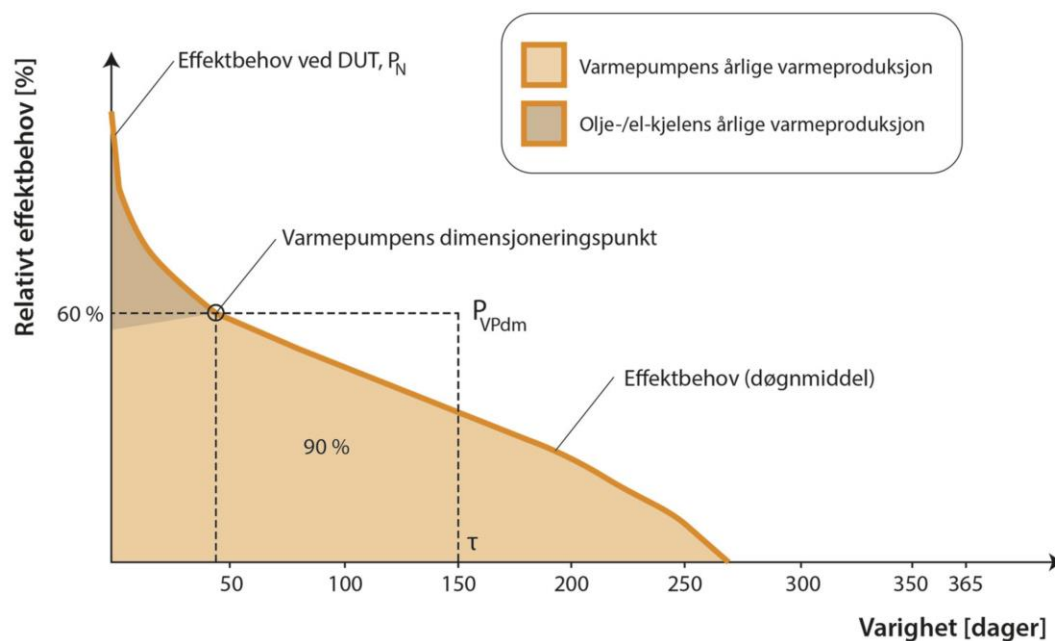
Den stabile temperaturen i grunnen gir gode driftsforhold for varmepumpen, i motsetning til varmepumper som henter energi fra luft med svært varierende temperaturer [58]. I tillegg muliggjør den stabile og moderate temperaturen i jorden bruk av varmepumpen til passiv kjøling, også kalt frikjøling, som kan dekke deler av eller hele kjølebehovet til bygningen [59]. Dette er en energieffektiv kjøleløsning ettersom den kun krever energi til pumpen som driver systemet [59]. Imidlertid er det flere vurderingskriterier som påvirker muligheten for å implementere en grunnvarmepumpe, blant annet tilgjengelighet, varmekapasitet og varmeoverføringsegenskaper i grunnen [59].

Luft-til-vann-varmepumpe

Dersom det ikke kan benyttes en grunnvarmepumpe, kan en luft-til-vann varmepumpe være en passende alternativ løsning. En luft-til-vann-varmepumpe er en type varmepumpe som kan brukes til å varme opp et bygg ved å hente varme fra uteluften og overføre den til vann som sirkulerer i et lukket system inne i bygningen [55]. Den kan også brukes til aktiv kjøling av bygningen, ved at prosessen i varmepumpen reverseres [59]. Varmepumpen har effektfaktor på omtrent 2,5, og kan dekke 65 til 80% av varmebehovet til et bygg [55]. Derimot reduseres effektiviteten til varmepumpen når det er kaldt ute, altså når bygninger har størst varmebehov. En annen ulempe med denne varmepumpen den kan generere støy til omgivelsene, noe som fører til at den burde bli plassert strategisk slik at den ikke er til bry for brukerne av bygget [55].

Dimensjonering av varmepumper

Dimensjonering av varmepumpen varierer avhengig av faktorer som bygningstype, klimasone og byggestandard [55]. En varmepumpe kan ikke dekke hele oppvarmingsbehovet, derfor dekkes det resterende oppvarmingsbehovet av en spisslast. For kontorbygninger og andre store bygninger brukes gasskjel, oljekjel og/eller elektrokjel [56]. En varmepumpe dimensjoneres som regel til å dekke mellom 40% og 60% av maksimalt netto varmeeffektbehov ved dimensjonerende utetemperatur [55]. Figur 15 viser et eksempel på en effekt- varighetskurve som viser varmeeffektbehovet i oppvarmingsseasonen, rangert fra høyeste til laveste behov. Som illustrert i kurven, er det kun et begrenset antall dager i oppvarmingsseasonen der høye effektbehov fremkommer [55].



Figur 15: Prinsipiell fremstilling av en effekt- varighetskurve for klimaavhengige varmebehov for en bygning. Maksimalt netto varmeeffektbehov (P_N) ved dimensjonerende utetemperatur (DUT). I dette eksempelet trenger bygget oppvarming i omtrent 270 dager [55].

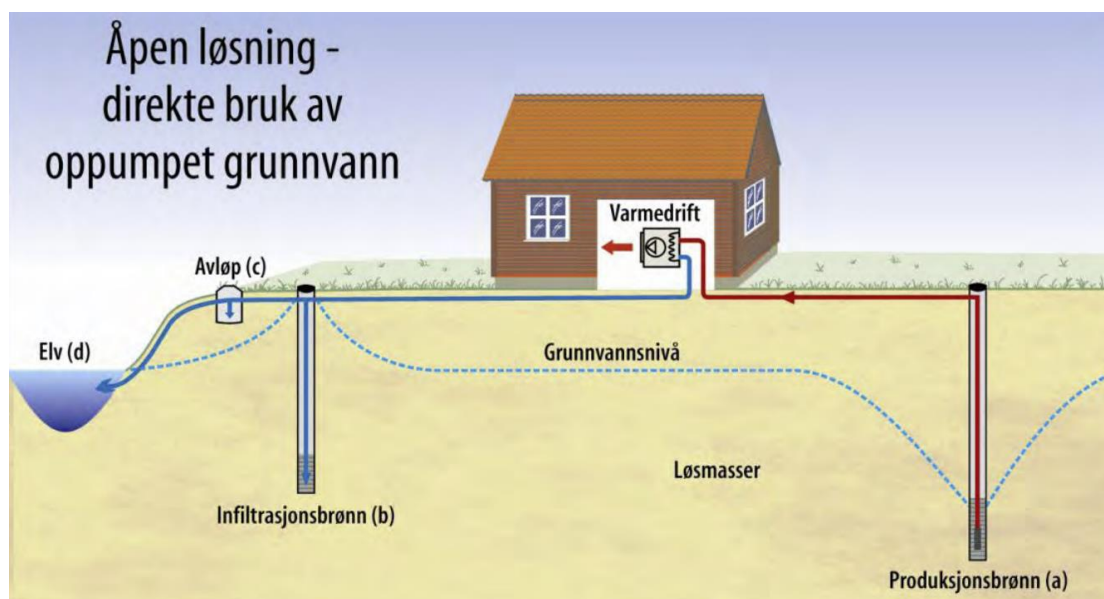
3.3.2 Grunnvarme

Regjeringen har satt som mål å øke den fornybare energiproduksjonen frem mot 2030 [58]. Ved siden av vannkraft, vindkraft og bioenergi kan grunnvarme ha en betydelig innvirkning på å oppnå dette målet. Norges vassdrags- og energidirektorat har anslått at omlegging til denne energiløsningen kommer til å øke med 70% innen 2030 [60].

Grunnvarme er energi i form av varme som er lagret i fjell, jord eller grunnvann i de øverste 300 meterne av grunnen. Energien kommer hovedsakelig fra solvarme som er lagret i grunnen med et lite bidrag fra jordens indre. De to vanligste grunnvarmeløsningene i Norge er borehull i fjell og grunnvann. Før etablering av et nytt varmeanlegg basert på grunnvarme må geologiske undersøkelser bli gjennomført på det aktuelle området for å bekrefte grunnforholdene, da energien hentes opp på ulike måter basert på grunnforholdene.

Grunnvann- åpent system

Dersom det er grunnvannspotensiale på tomten hvor det skal etableres et varmeanlegg, kan det med fordel benyttes grunnvannsbrønner, også kalt produksjonsbrønner. Da etableres et åpent system hvor energi i grunnvannet blir hentet ut ved å pumpe opp grunnvann fra en eller flere produksjonsbrønner til et varmepumpeanlegg hvor energien overføres fra vannet. Returvannet ledes deretter til en eller flere infiltrasjonsbrønner, i avløpskummer eller i et nærliggende vann eller elv. Grunnvannsbrønnene mellom 10 og 40 meter dype og 15-35 cm i diameter. Prinsippet for grunnvannsbrønner er illustrert i Figur 16.

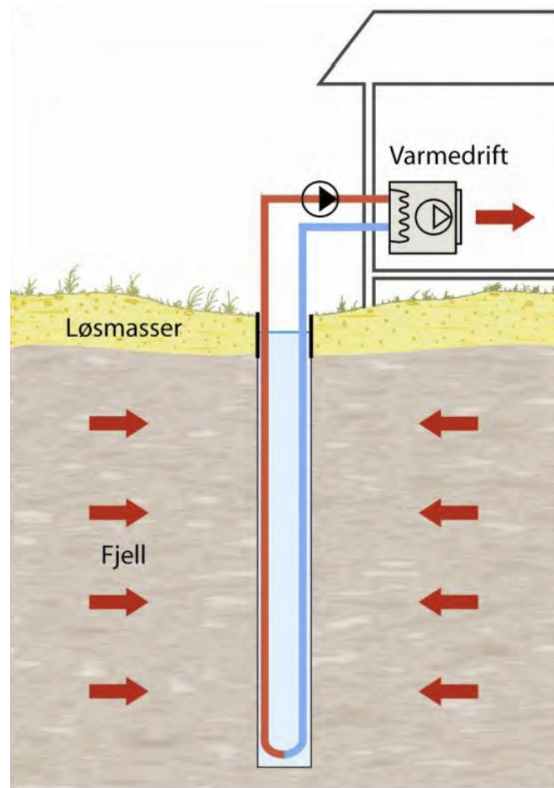


Figur 16: Åpent system. Opphenting av grunnvann fra produksjonsbrønn (a) som utnyttes i bygning for å deretter bli ledet tilbake til grunnen eller til nærliggende vann [58].

Fjell- lukket system

Dersom grunnforholdene på tomten består av fjell, borres det 150-250 meter dype og omtrent 14 cm brede energibrønner [61]. For å hente opp energien blir kollektorslanger av plast med frostsikker væske plassert ned i brønnene slik at energi hentes opp. Deretter oppgraderes energien til nødvendig temperatur før den distribueres rundt i bygningen via et varmebåret distribusjonsanlegg. Det vil være gunstig å tilbakeføre så mye overskuddsenergi som mulig til energibrønnene i løpet av

sommermånedene. Hvis brønnene blir effektivt ladet opp, kan energien som samles opp om sommeren, bli lagret i fjellet og brukes når fyringssesongen starter på nytt. Denne løsningen for energibrønner kalles også for et "lukket system", og illustreres i Figur 17 [58].



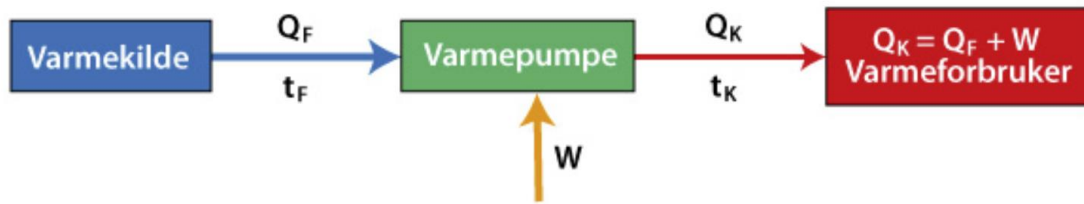
Figur 17: Lukket system hvor energibrønner er boret ned i fjell og løsmasser [58].

Dersom grunnforholdene består av løsmasser, slik som sand, leire eller grus, kan området være mindre egnet for energibrønner i fjell. Avhengig av hvor tykt laget med løsmasser er, kan investeringskostnadene for å bore energibrønner i løsmasser være fire ganger så høye som å bore i fast fjell [58]. Dette er fordi det må settes ned foringsrør i stål for å stabilisere løsmassene før de treffer fjell. Ofte er dekkene av løsmasser i Norge tynne slik at det har lite betydning for kostnadene, men dette må bekreftes før løsning velges [58].

Dimensjonering av energibrønner i fjell

Det er flere faktorer som er viktige når en energibrønnpark skal dimensjoneres [62]. Noe av det første som må avklares er om det er plass til boring av antall nødvendige energibrønner på tomten. En energibrønn er omtrent 14 cm i diameter, og det må være 15-20 meter mellom hver brønn for å unngå termisk påvirkning mellom brønnene [55]. Dersom det er plassbegrensninger, kan brønnene graves dypere og på skrå. I nye bygg med garasjekjeller kan brønnene etableres under dekket i garasjekjeller før ombygging [62].

Prinsippet for energi tilført fra energibrønner (Q_F) og fra varmepumpen (W) til varmekonsumer, uten hensyn til varmetap, er illustrert i Figur 18:

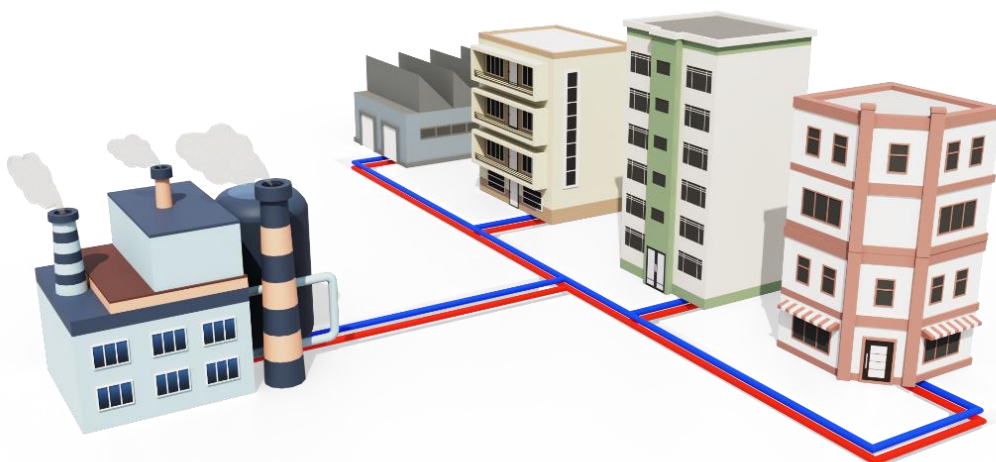


Figur 18: Prinsipiell framstilling av energibalansen for et varmepumpeanlegg, hvor Q_F er den energien som må hentes opp fra grunnen [55].

For mindre prosjekter og for tidligfase estimerer av større prosjekter kan tommelfingerregler for dimensjonering av energibrønner brukes. For innledende estimerer er det vanlig å anta at det kan hentes ut 25-35 W per effektiv brønnermeter (Q_F) [62]. Dette må gjøres med varsomhet da disse reglene ikke tar hensyn til blant annet energiuttak fra fjellet over tid, bergart, plassering og geometri og påvirkning som følge av lading/kjøleenergi [62]. Bruk av slike estimerer kan føre til feildimensjonerte anlegg, slik at anlegget er for lite til å hente opp planlagt energi. Dette kan løses ved å bore en testbrønn på det aktuelle området og teste over tid hvor mye energi brønnen faktisk å hente klarer ut. En annen aktuell løsning kan være å bore en ekstra brønn for å forsikre seg om at nok energi kan hentes opp fra grunnen ved drift av bygningen [62].

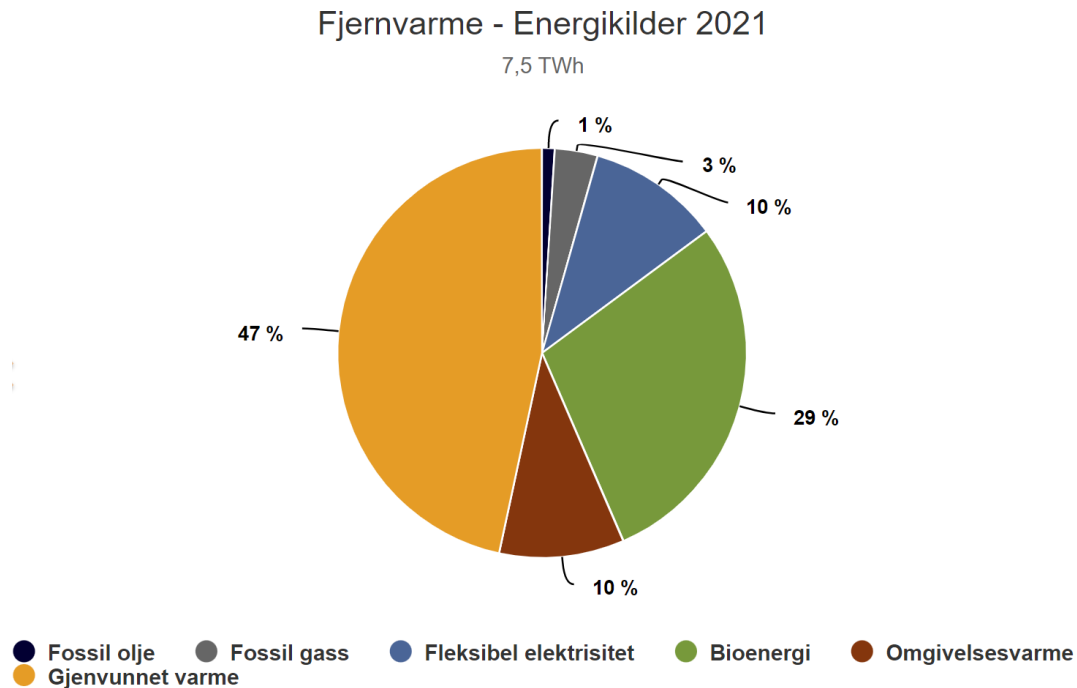
3.3.3 Fjernvarme og fjernkjøling

Fjernvarme er et energifleksibelt og vannbårent energisystem som utnytter fornybare energikilder som biobrensel, varmepumper og spillvarme fra industri og avfallsforbrenning [63]. Energien brukes til å forsyne bygninger eller bydeler med varme til romoppvarming og tappevann, gjennom et varmedistribusjonsnettverk av isolerte rør, slik som illustrert i Figur 19. Varmen distribueres deretter i bygninger ved bruk av radiatorer, gulvvarme eller ventilasjonsluft. Nærmere 100% av varmebehovet for romoppvarming- og varmtvann kan dekket av fjernvarme [23]. Når varmen er utnyttet i bygningene, blir vannet returnert til fjernvarmeanlegget slik at det kan varmes opp og benyttes på nytt [64].



Figur 19: Fjernvarme illustrasjon. Varmt (og eventuelt kaldt) vann distribueres i rør ut til bygninger og tilbake [63].

Avhengig av type og størrelse på fjernvarmeanlegget består fjernvarme av forskjellige energikilder. Som illustrert i Figur 20 er den største kategorien av energikilder gjenvunnet varme, altså spillvarme fra industri og avfallshåndtering. Det vil si at varme som ellers hadde gått til spille blir gjenbrukt. I tiden fremover forventes det at hele denne andelen blir fornybar [65]. Bruk av fjernvarme har derfor en positiv innvirkning på reduksjonen av klimagassutslipp, samtidig som det bidrar til å avlaste strømnettet [66]. Energikommisjonen anslår at en økning på om lag 2-4 TWh fjernvarme innen 2030 er realistisk, og det er også realistisk å doble dette potensialet innen 2040 [3].



Figur 20: Energikilder for norsk fjernvarme i 2021 [66].

Kommunen kan innføre tilknytningsplikt i plan- og byggesaker innenfor konsesjonsområdet til fjernvarmenettet ved bygging nye bygg eller helombygging av eksisterende bygg. Dette vil si at utbygger kan være rettslig forpliktet til å tilknyttes fjernvarmenettet i et område. Denne tilknytningsplikten utløses ved bygging av nye bygg og ved hovedombygging av eksisterende bygg. Tilknytningsplikten gir ikke noen bruksplikt, slik at en bygning kan være tilknyttet et fjernvarmeanlegg uten å ta det i bruk. Derimot må abonnenten betale tilknytningsavgift og fast årlig avgift uavhengig om fjernvarmen tas i bruk eller ikke [67].

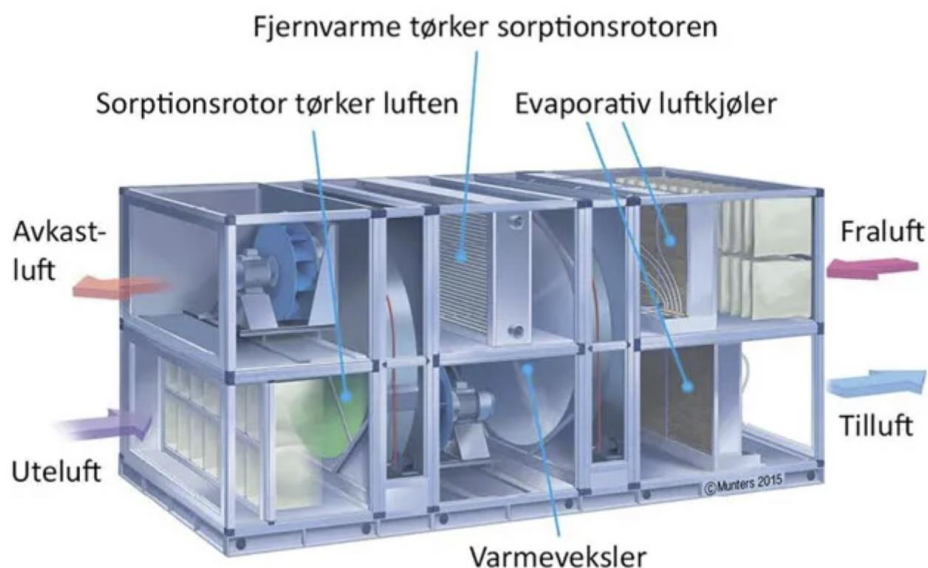
Fjernvarme kan også brukes som innsatsfaktor for kjøling i bygninger. Siden fjernvarme hovedsakelig består av fornybare energikilder, vil dette være en miljøvennlig og effektiv måte å kjøle ned bygninger på [68]. Dette kan gjøres på flere måter:

Fjernkjølenett

Dersom det er etablert et fjernkjølenett med overskuddskapasitet i området kan dette benyttes til å kjøle ned bygninger via kaldt vann som blir distribuert gjennom rør i grunnen. Kilder til fjernkjølingen er absorpsjonskjøling, kompressorkjøling, frikjøling, varmepumper og kjølemaskiner. Fjernkjøling kan dekke både komfortkjøling og prosesskjøling (data- og serverrom) [68].

Sorptiv kjøling

Sorptiv kjøling benytter fjernvarme til å senke tilluftstemperaturen i ventilasjonen, som illustrert i Figur 21. Dette gjøres ved at uteluft blir tørket ved hjelp av fjernvarme i en tørkerotor, for å deretter bli fuktet med vann slik at luften kjøles ned. Løsningen kan avgi rundt 30 W/m² og er godt egnet i næringsbygg der kjølebehovet kan dekkes av ventilasjonsanlegget der det er planlagt med relativt få aggregater. Bruk av sorptiv kjøling kan vanligvis gi 20-40% lavere driftskostnader i forhold til bruk av kjølemaskiner, noe som er vanlig å bruke i næringsbygg [68]. Videre fungerer tørkerotoren i aggregatet som en ekstra varmegjenvinner, noe som fører til et slikt anlegg kan oppnå en høyere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner enn i et tradisjonelle ventilasjonsaggregat. I tillegg gir sorptiv god kontroll på luftfuktighet, slik at et godt inn klima kan oppnås. Derimot krever hvert aggregat noe mer plass enn et tradisjonelt ventilasjonsaggregat noe som vil kreve større grad av tilpasning ved bruk i eksisterende og nye bygninger [68].



Figur 21: Prinsipiell illustrasjon av et ventilasjonsaggregat som bruker fjernvarme som innsatsfaktor [68].

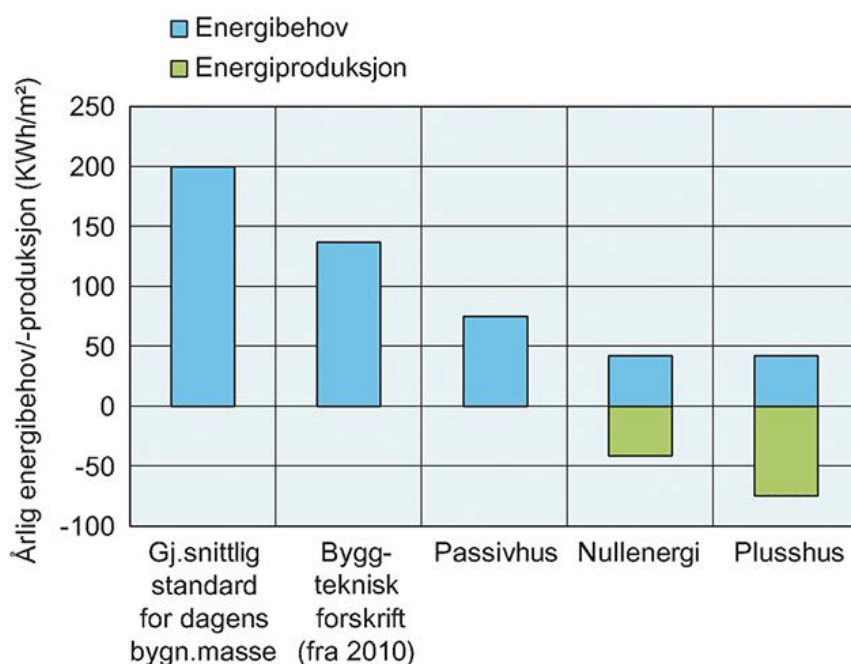
Absorpsjonskjøling

Prinsippet for absorpsjonskjøling fungerer litt på samme måte som en tradisjonell kjølemaskin, men i stedet for å benytte en elektrisk drevet kjølekompressor til å produsere isvann, benytter absorpsjonskjøling fjernvarme som innsatsfaktor for å produsere isvann som leveres til ulike kjøleavgivere [68]. Det positive med absorpsjonskjøling er at den benytter overskuddsenergi som ellers ville gått til spille, spesielt på sommeren da oppvarmingsbehovet til bygninger er lavt. Imidlertid krever absorpsjonskjølemaskinene høye temperaturer for å oppnå en god virkningsgrad. Ved stigende utetemperaturer vil temperaturen i varmeanlegget synke, slik at virkningsgraden til anlegget synker om sommeren, da kjølebehovet i bygninger oppstår [68].

3.4 Ambisiøse ambisjonsnivåer for energieffektive bygninger

Det er viktig å ha et ambisjonsnivå før igangsetting av energieffektiviseringen. Ved å fastsette et ambisjonsnivå i tidlig fase av et prosjekt, oppnås en klar retning og målsetning for energieffektiviseringen av bygningen. Dette etablerer også et felles referansepunkt for de involverte interessentene i prosjektet og gjør det mulig å prioritere tiltakene som er nødvendige for å oppnå det fastsatte ambisjonsnivået.

Ambisjonsnivået kan variere fra å oppgradere en bygning for å oppfylle gjeldende standarder og forskrifter, til mer ambisiøse nivåer av energieffektivisering. Figur 22 viser en illustrasjon av forholdet mellom beregnet energibehov og fornybar energiproduksjon for en standard enebolig, og fire forskjellige ambisjonsnivåer for energieffektivitet. Det er tydelig at ambisjonsnivåene for passivhus, nullenergibygninger og plusshus har et betydelig lavere energibehov og høyere energiproduksjon sammenlignet med både gjennomsnittlige bygninger og bygninger som er konstruert i samsvar med Byggteknisk forskrift. I dette kapittelet vil det derfor bli presentert teori knyttet til disse ambisjonsnivåene.



Figur 22: Illustrasjon av forholdet mellom beregnet energibehov og fornybar energiproduksjon for ulike typer energieffektive eneboliger [69].

3.4.1 Nullenergibygninger

Det finnes ingen standardisert definisjon av nullenergibygninger, men begrepet brukes vanligvis for å beskrive bygninger som produserer tilstrekkelig fornybar energi til å balansere eller overgå bygningens netto årlige energibehov [69]. Begrepet inkluderer både nesten nullenergibygninger (nZEB på engelsk) og netto nullenergibygninger (NZEB på engelsk) [69]. Nesten nullenergibygninger er definert av Europakommisjonen som bygninger med svært høy energiytelse, der den svært begrensede energimengden som kreves i stor grad skal være dekket av fornybare kilder, produsert enten på tomten eller fra fornybare kilder i nærhet av tomten [70]. Netto nullenergibygninger er definert som bygninger der det totale behovet for energi kan bli dekket av egenprodusert fornybar energi [69].

I forbindelse med innføringen av EU-taksonomien i Norge, presenterte Kommunal- og distriktsdepartementet en norsk definisjon av begrepet "nesten nullenergibygning" den 1. februar 2023 [71]. Bakgrunnen for dette er at EU-taksonomen sier at energiforbruket i nybygg må ligge 10% lavere enn den nasjonale nZEB definisjonen [72]. Kriteriene i taksonomien er knyttet opp mot primærenergi behovet, altså den vektete leverte energien. I motsetning til Danmark og Sverige skal det i Norge benyttes en vektingsfaktor på 1 for alle energibærere, siden energibruken i Norge hovedsakelig kommer fra fornybare energikilder [71]. Denne faktoren skal multipliseres med den beregnede leverte energien, slik at primærenergi behovet til bygningen blir beregnet. I denne definisjonen utelates energibehov til teknisk utstyr for alle bygninger, og belysning i småhus og boligblokker [71].

FutureBuilt er et norsk samarbeidsprogram som jobber med innovasjon og utvikling av forbildeprosjekter som overoppfyller FNs bærekraftsmål og Parisavtalen [73]. De har sin egen definisjon av nesten nullenergibygninger, som også baseres på maksimalt tillatt vektet levert energi (primærenergi behov). FutureBuilt har i motsetning til den nasjonale definisjonen tillatt å bruke vektingsfaktorer for å godskrive bruk av fjernvarme og biovarme, med vektingsfaktorer på henholdsvis 0,43 og 0,37 [73]. I tillegg skal alle energiposter i SN-NSPEK 3031 inkluderes i energiregnskapet. Kravsnivået til den nasjonale definisjonen og FutureBuilt sin definisjon av nesten nullenergibygninger er listet i Tabell 1.

Tabell 1: Kravsnivå til vektet levert energi i nesten nullenergibygninger, etter [71] og [73].

Bygningskategori	Nasjonal nZEB- Vektet levert energi i kWh/(m ² ·år)	FutureBuilt nZEB- Vektet levert energi i kWh/(m ² ·år)
Småhus	86 + 1600/m ² oppvarmet BRA	40
Boligblokk	67	40
Barnehage	129	35
Skole	91	35
Kontorbygg	76	40
Universitet/høyskole	84	40
Sykehus	165	120
Sykehjem	163	85
Hotellbygning	159	60
Idrettsbygning	142	25
Forretningsbygning	162	50
Kulturbygning	123	40
Lett industri/verksted	113	30

3.4.2 Plussenergibygging og Powerhouse

Et annet konsept er plussenergibygninger, også kjent som plusshus. Det finnes i dag ingen europeisk eller norsk standardisert definisjon for plussenergibygninger, men som navnet tilsier refererer det til bygninger som er på plussiden i forholdet mellom forbruk og produksjon av energi. Det finnes ulike definisjoner på hvilket tidsperspektiv som skal inkluderes i energiregnskapet. Noen definisjoner tar hensyn til hele livssyklusen til bygningen, som inkluderer både bygging, drift og avhending. Andre

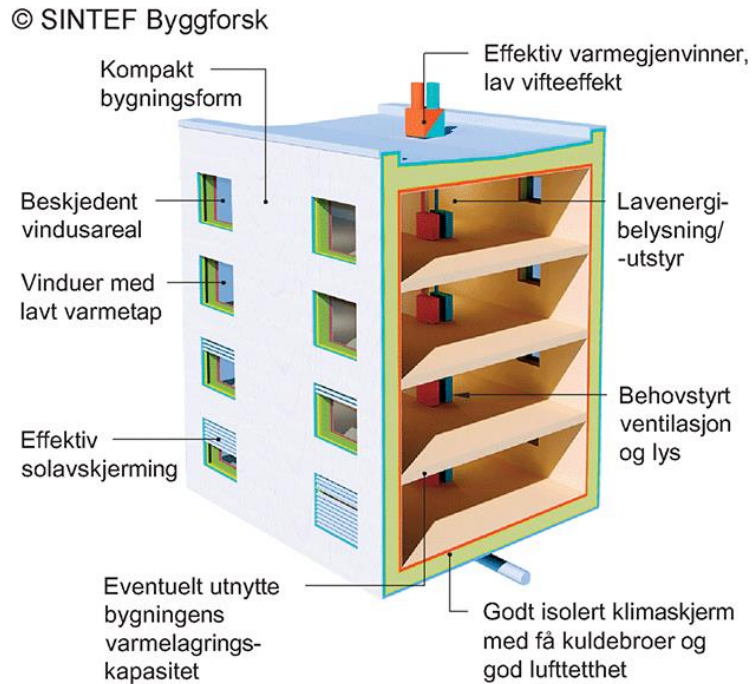
definisjoner fokuserer kun på driftsfasen, som omhandler den operative perioden der bygningen brukes. I tillegg finnes det ulike definisjoner på hvilke energiposter som inngår i energiregnskapet [69].

Powerhouse ble startet som et samarbeid mellom flere aktører om utviklingen og byggingen av plusshus i Norge [74]. Powerhouse er ikke en sertifisering, men en prosess med et tydelig og ufravikelig mål om å bygge i tråd med Paris-avtalens krav til klimagassreduksjon. Kravene til prosjektene er basert på IPCC-rapporten som legges til grunn for Paris-avtalen, og som angir behovet for å redusere klimagassutslippene fra 2010-nivå for å oppnå målet om å begrense oppvarmingen til 1,5 grader [74]. Klimagassutslipp fra hele livsløpet til bygningen skal medregnes i klimagassbudsjettet, i tillegg skal bygningene prosjekteres som plussenergibygg [74].

Både FutureBuilt og Powerhouse inkluderer kun energibruk i driftsfasen i sine definisjoner av plussenergibygg. I FutureBuilt sin definisjon må energibruk relatert til drift av bygningen kompenseres gjennom en overskuddsproduksjon av energi på 2 kWh/m² BRA per år, medregnet alle energiposter gitt i NSPEK 2021 [75]. Med dagens teknologi vil det være tilnærmet umulig å oppnå denne plussenergi-definisjonen for rehabiliterte bygninger og bygninger med over 4-5 etasjer. Derfor har Powerhouse sin definisjon lagt til grunn at rehabiliterte bygninger kan få et "fritak" på 10 kWh/m². I tillegg kan bygninger på over 4 etasjer få et fritak på 2 kWh per etasje, begge med utgangspunkt i FutureBuilt sitt krav på 2 kWh overskuddsproduksjon av energi. Dette vil si at et nytt bygg på 9 etasjer får et energikrav på 8 kWh/m², mens et rehabilitert bygg på 5 etasjer vil få et krav på totalt 10 kWh/m² etter energiproduksjonen er trukket fra [74].

3.4.3 Passivhus og passivhusrehabilitering

Når det bygges plusshus har det tradisjonelt sett vært vanlig bygge etter passivhusstandarden eller benytte seg av passivhuskomponenter i bygningens design, for å deretter supplere med lokal fornybar overskuddsproduksjon. Passivhus kjennetegnes av bygninger med svært lavt energibehov og godt inn klima, og som bruker passive tiltak for å redusere energibehovet. For å oppnå passivhusnivå legges NS 3700 til grunn for boligbygninger og NS 3701 for yrkesbygninger. Det vises til disse standardene for krav til energibehov, bygningsdeler og komponenter [26]. Figur 23 viser de viktigste prinsippene for å oppnå passivhusstandard ved bygging og oppgradering av eksisterende bygninger.



Figur 23: Illustrasjon av de viktigste prinsippene for å oppnå passivhusstandarden [76].

Ved rehabilitering setter den eksisterende bygningsmassen begrensninger for hva som kan oppnås innenfor rimelige kostnader. Det kan derfor i mange tilfeller være vanskelig å oppnå passivhusstandard. Likevel kan noen av prinsippene og komponentene til konseptet brukes ved rehabilitering av eksisterende bygg. Det kalles passivhusrehabilitering, og vil redusere energibehovet til bygningen og forbedre innklimaet selv om ikke bygningen kan defineres som et passivhus [76].

3.5 Gjennomgang av tidligere oppgraderingsprosjekter

Når en skal vurdere energieffektiviseringstiltak er det viktig med kunnskap og erfaring fra lignende prosjekter. Det finnes flere studier som handler om vurdering av energieffektiviseringstiltak i bygninger. Det skal i dette kapitlet presenteres tidligere gjennomførte oppgraderingsprosjekter i Norge. De presenterte prosjektene deler flere likheter med casen som blir undersøkt i denne masteroppgaven, og dermed kan de potensielt ha en betydelig overføringsverdi til kontorbygningen i Banehaven 4A.

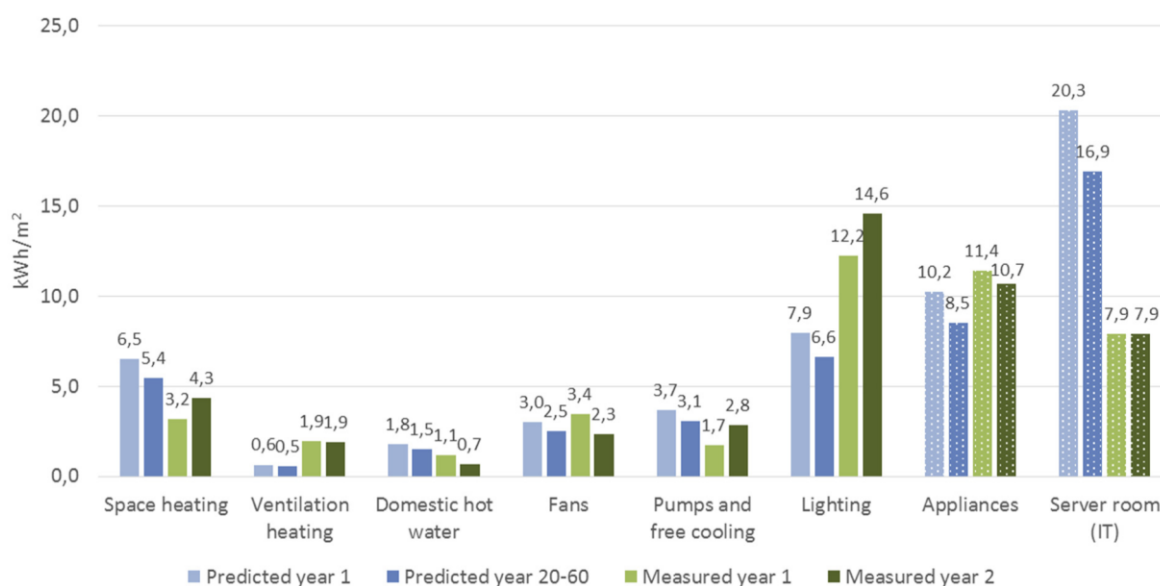
3.5.1 Powerhouse Kjørbo, Sandvika

Powerhouse Kjørbo er verdens første rehabiliterte kontorbygg som produserer mer energi enn det forbruker, og er med det også et av FutureBuilt sine forbilde prosjekter. Bygget er lokalisert i Sandvika, og består av to 4 og 5- etasjers kontorbygninger på totalt 5180 m². Bygningene ble bygd på 1980-tallet, men ble oppgradert i perioden mars 2013- februar 2024 til energieffektive og moderne kontorer, som vist på bildene før- og etterbildene i Figur 24. Før oppgraderingen hadde bygningene et energiforbruk på 240 kWh/m², fordelt på elektrisitet, fjernvarme og fjernkjøling. Den ambisiøse oppgraderingen førte til et målt energiforbruk på 221 654 kWh (42,9 kWh/m²) inklusiv brukerutstyr, og en elektrisitetsproduksjon på 43,1 kWh/m² BRA [6].



Figur 24: Powerhouse Kjørbo før og etter renovering [77].

Det beregnede energiforbruket stemte overraskende høyt med det målte forbruket totalt sett. Imidlertid var det noen avvik, blant annet for energipostene ventilasjon og belysning, hvor det målte energiforbruket var nesten dobbelt så høyt som det beregnede forbruket det andre året i drift, slik som vist i Figur 25 [77]. For ventilasjonen skyldtes avviket sannsynligvis en lavere virkningsgrad for temperaturvirkningsgraden for varmegjenvinneren enn forventet. For belysning skyldtes dette at 40% av energibruken til belysning skjedde utenfor kontortidene, fordi lysene ble aktivert når det kun var noen få personer på kontoret. For å redusere denne energibruken ble det derfor innført en spesifikk belysningsmodus for tilstedeværelse i kontorområdet etter arbeidstid.



Figur 25: Levert energi til Powerhouse Kjørbo, delt på ulike energiposter [77]. Figuren viser forventede verdier for år 1 og år 20-60, i tillegg til målte verdier for det første og andre året i drift.

For å klare å oppnå Powerhouse- målsetningen ble tiltakene i Tabell 2 implementert ved rehabiliteringen av det eksisterende kontorbygget [77].

Tabell 2: Oppgraderingstiltak gjennomført på Powerhouse Kjørbo, etter [77].

Kategori	Tiltak
Ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - Overløp utnyttes for å redusere ventilasjonsbehovet og dermed energiforbruket gjennom gulvplanene - Trappene brukes som hovedavtrekkskanal - Fortrengningsventilasjon - Lavtrykkdesign for å minimere vifteenergi - Forventet temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinning på 87%, målt verdi var 76% (pga lav varmegjenvinning når frontlufthastigheten er under 1 m/s gjennom det roterende hjulet) - Gjennomsnittlig luftmengde på 3 m³/m²h - Maksimal lufthastighet på ca. 6 m³/m²h - Spesifikk vifteeffekt varierer mellom 0,5 og 0,8 kW/m³/s i driftstimer. - VAV ventiler - Ventilasjonsanlegget bruker 90% mindre energi enn det et vanlig kontorbygg gjør
Design	<ul style="list-style-type: none"> - Cellekontor plassert på nord- og vestsiden av bygget for å unngå høye temperaturer - Store, åpne områder plassert på sørsiden for å gjøre innendørsklimaet mer robust mot overoppheting - Åpne dører til cellekontorene som en del av ventilasjonsstrategien, åpne dører når cellekontorene ikke er i bruk - Kontorlandskap plassert på de mest attraktive områdene for å øke den estetiske kvaliteten (dagslys og utsikt)
Materialvalg	<ul style="list-style-type: none"> - Alt av eksisterende armeringsstål og betongkonstruksjoner gjenbrukt i det oppussede bygget - Eksisterende glassfasader ble gjenbrukt som innvendig kontorfronter i det oppussede bygget

	<ul style="list-style-type: none"> - Lavt emitterende materialer tatt i bruk for å redusere ventilasjonsbehovet <p><i>Fasader:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 30 cm tykk isolert treramme konstruksjon - Utvendig solskjerming montert bak trekledning - Forkullet tre ble brukt som fasadekledning på grunn av materialets lange levetid, lave vedlikeholdsbehov og lite energi knyttet til produksjon <p><i>Vinduer:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Forstørret for å slippe mer dagslys inn i bygningen - Solskjerming - Majoriteten av vinduene er funksjonelle for åpning, men enkelte vinduer kan ikke åpnes på grunn av en uforenlighet mellom ventilasjonssystemet og solskjermingen - I fellestrappen er det vinduer som åpnes og lukkes automatisk. Viktig for ventilasjonen <p><i>Tak:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 40 cm mineralullisolasjon <p><i>Kjellerelement:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vegger ble etterisolert fra utsiden, var ikke mulig fra innsiden
Energikonsept	<ul style="list-style-type: none"> - Bruker betong som termisk masse som regulerer innnetemperaturen og for å redusere kjølebehovet - Fjernvarme dekker spisslastene <p><i>Vann- til-vann- varmepumpe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Varmepumpesystem med 10 energibrønner, hver ca. 200 meter dyp - Varme sirkulerer i bygget ved å ha dørene åpne når rommene ikke er i bruk - Radiatorer på kontorene - Forvarmer tilluften i ventilasjonen og varmtvann - Frikjøling benyttes <p><i>Solceller:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 1556 m² med solcellepane på tak - Maks effekt på 312 kW_p
Belysning	<ul style="list-style-type: none"> - T8 lysrør i kontorområdene - LED- lys i fellesarealene og korridorene - 300 lux - Behovsstyrt etter bruk og dagslysnivå
Akustikk	<ul style="list-style-type: none"> - De eksponerte betongflatene hindrer mulighetene for tradisjonelle akustikkhimlinger - Gjennomtenkt valg av lyddempende materialer og soneinndeling - Lydisolerende bafler i tak og vegger

Tabell 3 viser U-verdiene for de ulike bygningsdelene, kuldebroverdier og luftlekkasjetall både før og etter renoveringen.

Tabell 3: Termiske egenskaper Powerhouse Kjørbo [36].

Egenskap	Før renovering	Etter renovering
U-verdi yttervegger	0,29 W/m ² K	0,13 W/m ² K
U-verdi tak	0,16 W/m ² K	0,08 W/m ² K
U-verdi gulv på grunn	0,16 W/m ² K	0,12 W/m ² K
U-verdi vinduer og dører	2,8 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Normalisert kuldebroverdi (per m ² oppvarmet gulvareal)	0,11 W/m ² K	0,02 W/m ² K
Luftlekkasjetall (ved 50 Pa)	2,0 1/h	0,24 1/h

3.5.2 Solbråveien 23, Asker

Kontorbygningen i Solbråveien 23 i Asker ble oppført på begynnelsen av 80-tallet, og ble i 2013 renoveret til å bli et moderne og miljøeffektivt kontorbygg [29]. Prosjektet er antatt å være representativ for flere bygninger som skal rehabiliteres i fremtiden. Eier ønsket å renovere bygningen til å få en "så god som mulig" standard, i praksis energiklasse B og Enovas krav til lavenergibygning. Resultatet av renoveringen viste at energibruken til bygningen ble redusert fra 250 kWh/m² til 80 kWh/m² ved renovering [29]. Figur 26 viser Solbråveien 23 før og etter oppgradering.



Figur 26: Solbråveien 23 før og etter oppgradering [29].

Flere tiltak ble gjort ved renoveringen. I hovedsak ble yttervegger og tak etterisolert, vinduer byttet ut og nytt behovsstyrt ventilasjonsanlegg installert. En luft-til-vann-varmepumpe ble installert for å dekke oppvarmingsbehovet [29]. Tabell 4 beskriver de tiltak som er gjennomført.

Tabell 4 : Oppgraderingstiltak gjennomført på kontorbygget i Solbråveien 23, etter [29].

Kategori	Tiltak
Bygningskropp	<p>Yttervegger:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En ny energieffektiv rehabiliteringsfasade av type Schüco ble hengt på eksisterende yttervegger. <p>Tak:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oppforet tretak rives og betongdekket etterisoleres med i gjennomsnitt 300 mm mineralull. <p>Vinduer:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nye vinduer med en U-verdi på 0,8 W/m²K installeres (passivhusnivå)
Termiske egenskaper	<ul style="list-style-type: none"> - Lekkasjetallet ble redusert fra 2,5 1/h til 1,5 1/h
Ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - 90-95 prosent av det eksisterende kanalnettet rengjort og beholdt - Nytt aggregat og behovsstyrt ventilasjon med intelligente og aktive tilluftsventiler - SFP redusert fra 3,5 til 1,8 kW/m³/s - Temperaturvirkningsgrad økt fra 70% til 85%
Energiforsyning	<ul style="list-style-type: none"> - Installasjon av luft- til- vann varmepumpe dimensjonert til å dekke 70-75% av oppvarmingen av bygget og 90-95% av nødvendig ettervarme i ventilasjonsaggregatet - På vinteren fungerer ventilasjonssystemet som varmluftoppvarmingssystem, med elektriske ovner som spisslast.

3.5.3 Fredrik Selmers vei 4, Oslo

Figur 27 viser Fredrik Selmers vei 4 som ble bygget i 1980. Kontorbygningene består av fem kontorblokker som er mellom 7 og 11 etasjer høye, med et oppvarmet areal på totalt 34 832 kvadratmeter [38]. Kontorbygningene ble i 2013 totalrenoverert til passivhusstandard og energiklasse A. Det beregnede netto energibehovet til bygningen ble redusert fra 174 kWh/m² til 88 kWh/m², og den beregnede leverte energien ble redusert fra 170 kWh/m² til 69 kWh/m² [38].



Figur 27: Fredrik Selmers vei 4 før og etter renovering [61].

Tiltakene som ble gjort på bygningskropp og tekniske installasjoner er listet i Tabell 5. Yttervegger og tak ble etterisolert, nye vinduer, nytt VAV-aggregat med lav SFP og høy virkningsgrad for varmegjenvinner.

Tabell 5: Oppgraderingstiltak gjennomført på kontorbygget i Fredrik Selmers vei 4, Oslo, etter [38].

Kategori	Tiltak
Bygningskropp	<p><i>Yttervegger:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - De opprinnelige fasadene bestående av tegl og aluminiumsplater ble revet, fasadeelementer bestående av 250 mm isolerte limtrestendere med 100 mm påforet mineralull ble montert utenpå bæresystemet av betong <p><i>Tak:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Taket ble etterisolert <p><i>Vinduer:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Nye vinduer med en U-verdi på 0,8 W/m²K installeres (passivhusnivå)
Ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - To nye VAV- ventilasjonsaggregat med styring etter temperatur og CO₂-nivå installert - SFP- faktor på 1,5 kW/(m³/s). - Virkningsgrad på varmegjenvinner 85%
Energiforsyning	<ul style="list-style-type: none"> - Lagt om fra direkte elektrisk til vannbårent varmesystem - 30% av romoppvarmingssystemet dekkes av fjernvarme, og 70% dekkes av luft-til-luft-varmepumpe - Bygget er forsynt med varme, kjøling og varmtvann fra den lokale energisentralen

Reduksjoner i U-verdier som følge av renoveringen er listet i Tabell 6.

Tabell 6: U-verdier før og etter renovering av Fredrik Selmers vei 4, etter [38].

Egenskap	Før renovering	Etter renovering
U-verdi yttervegger	0,2-0,4 W/m ² K	0,16 W/m ² K
U-verdi tak	0,20-1,0 W/m ² K	0,12 W/m ² K
U-verdi gulv på grunn	0,10 W/m ² K	0,07 W/m ² K
U-verdi vinduer og dører	1,8 W/m ² K	0,80 W/m ² K

3.6 Dynamisk beregningsmetode

Energisimuleringsprogram gjør det mulig å gjennomføre dynamiske energiberegninger for alle typer bygninger. Det skal i dette kapittelet introduseres teori knyttet til noen av de mest brukte programvarene for energisimuleringer i Norge i dag.

3.6.1 Simien

Simien ble lansert i 2008 av Programbyggerne ANS og Energiportalen AS, og er Norges mest brukte energisimuleringsverktøy [78]. Programvaren bygger på den dynamiske beregningsmetoden i NS 3031: 2014 og kan brukes for å gjennomføre energianalyser, evalueringer mot forskrift og lavenergi/passivhuskriterier og energimerking av bygg. I tillegg kan programvaren brukes til å dimensjonere oppvarming, kjøling og ventilasjon ved å kjøre ulike simuleringer knyttet til inneklimate og termisk komfort [78].

Simien bruker standardverdier fra NS 3031:2014 knyttet til bygningskategori, men for å få et nøyaktig resultat må brukeren legge inn reelle inndata knyttet til utforming, komponenter, teknisk utstyr og bruksmønster. Dersom ulike soner av bygningen har flere funksjoner, ulike tekniske installasjoner og ulikt soltilskudd skal bygningen, ifølge NS 3031, deles opp i soner. I tillegg skal bygget deles inn i soner dersom produktet av arealandel vinduer/dører/glassfelt og total solfaktor overskrider 5 %. Dette kan være for eksempel rom, etasjer eller hele bygningen. I tillegg forutsetter det at det ikke skjer noen varmestrøm eller luftbevegelser gjennom sonene.

Bygningskategori og klimasted har mye å si for resultatet av simuleringer i Simien. En del verdier, slik som gjennomsnittlig effektbehov og varmetilskudd, driftstider, settpunkttemperaturer og luftmengder avhenger av valgt bygningskategori. Dimensjonerende utetemperatur og årsmiddeltemperatur avhenger av valgt klimasted [28]. Det er derfor viktig at korrekt bygningskategori og klimasted blir valgt ved energisimuleringer i Simien.

Simien er et brukervennlig program som gir oversiktlig dokumentasjon av data. Derimot benytter Simien seg av forenklede modeller for å representere virkelige systemer og fenomener. Programmet har derfor begrensninger i modellering av komplekse systemløsninger slik som styring av ventilasjon, IT-kjøling, lys og dagslys [78].

3.6.2 IDA ICE

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) er et dynamisk energisimuleringsprogram utviklet av svenske EQUA Simulation AB [79]. Programvaren baseres på et likningsbasert modelleringssystem, har mulighet for avanserte simuleringer av termisk inneklimate samt energiforbruket til bygninger. I stedet for å manuelt bygge opp modellen i programmet kan brukeren importere 2D- og 3D CAD filer og IFC slik at arbeidet blir transparent og effektivt. IDA ICE er mer komplisert enn Simien, men gir resultater som sammenligner godt med målte data. I tillegg støtter programmet tilleggsverktøy, slik at for eksempel energioptimaliseringsverktøyet GenOpt kan brukes i kombinasjon med IDA ICE [79].

4 Forskerspørsmål

Formålet med denne rapporten er å utforske energieffektiviserende strategier og tiltak for oppgradering av eksisterende kontorbygninger. Rapporten undersøker muligheten for å oppgradere et eksisterende kontorbygg til å minst oppfylle gjeldende energieffektivitetsstandarder, samtidig som den utforsker potensialet for å oppnå mer ambisiøse målsetninger som nesten nullenergi- og plussenergibygning.

Forskerspørsmålet er som følgende:

Hvordan kan energibruken i en eksisterende kontorbygning reduseres ved implementering av energieffektiviserende oppgraderingstiltak?

For å bryte ned hovedforskerspørsmålet i mindre deler og for å utforske flere aspekter av problemstillingen ble det også formulert tre underspørsmål som skal svares på:

Med utgangspunkt i det eksisterende kontorbygget i Banehaven 4A;

- *Hvilke bygningsmessige tiltak, energikonsept og tekniske løsninger må legges til grunn for at kontorbygningen skal oppfylle dagens krav til energieffektivitet?*
- *Hvordan kan ambisjonsnivåene nesten nullenergibygning og plussenergibygning realiseres?*
- *Hvor stort er potensialet for energisparing ved implementering av energieffektiviserende oppgraderingstiltak på den eksisterende kontorbygningen?*

4.1 Avgrensning

For å sikre at en oppgradering er bærekraftig, må det tas hensyn til de tre aspektene av bærekraft: det sosiale, det økonomiske og det miljømessige. På grunn av omfanget til masteroppgaven, som utgjør 30 studiepoeng, er det økonomiske og sosiale aspektet av bærekraftperspektivet ikke hensyntatt. Det er derfor ikke gjennomført analyser med fokus på økonomisk lønnsomhet eller på inneklimate og brukerkomfort. Estetisk uttrykk og innvendige oppgraderinger slik som endring av romløsninger er heller ikke inkludert i denne rapporten.

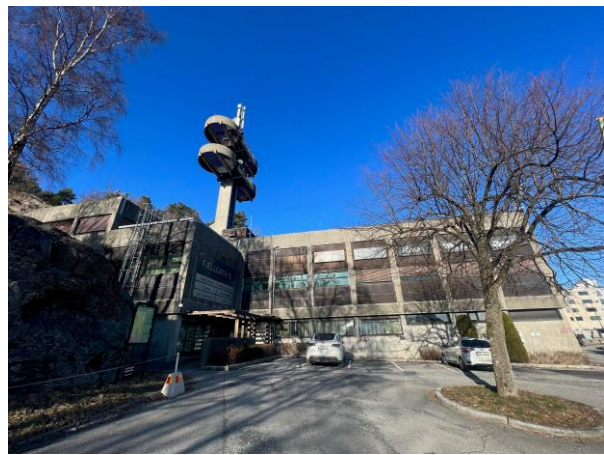
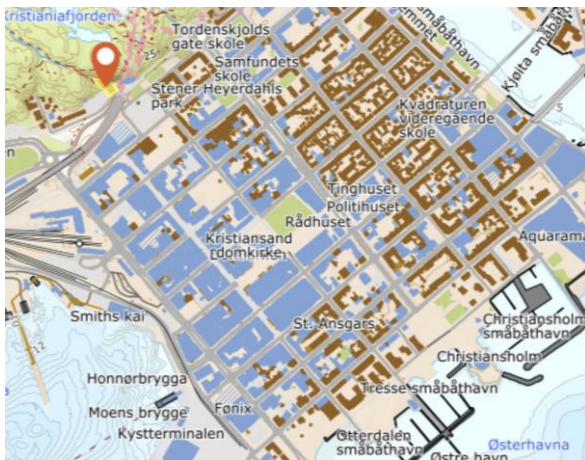
I dette prosjektet er det planlagt å generere egen elektrisitet. Selv om det finnes flere metoder å oppnå dette på, som småskala vind- og vannkraft, ble disse alternativene ikke vurdert i denne rapporten. Dette skyldes solcellenes store potensial og utbredelse, forholdene på tomten og studiens omfang. Ambisjonsnivået knyttet til miljøsertifiseringssystemer som BREEAM og Svanemerking er ikke inkludert i denne studien. Fokuset i studien ligger primært på energiaspektet, og direkte klimagassutslipp er ikke en direkte del av studiens omfang.

5 Case

Det skal i dette kapittelet introduseres informasjon om casen i dette prosjektet; det eksisterende kontorbygget i Banehaven 4A. Informasjon knyttet til bygningskroppen, tekniske systemer, energiforsyningen, målt energiforbruk og sol- og grunnforhold skal presenteres.

5.1 Banehaven 4A

Banehaven 4A (tidligere Fjellgata 10) ligger nedenfor Baneheia i Kristiansand, vest for krysningspunktet mellom Vesterbrua og Baneheiatunnelen på E18 som vist i Figur 28. Bygget ble opprinnelig bygget som en tandemsentral for Televerket i 1976, og har derfor et signaltårn på taket av bygget. I dag blir bygningen benyttet som kontorlokaler, og har et totalt bruksareal på 1600 m² over tre etasjer. De neste årene skal kontorbygningen totalrenoveres og utvides med to etasjer.

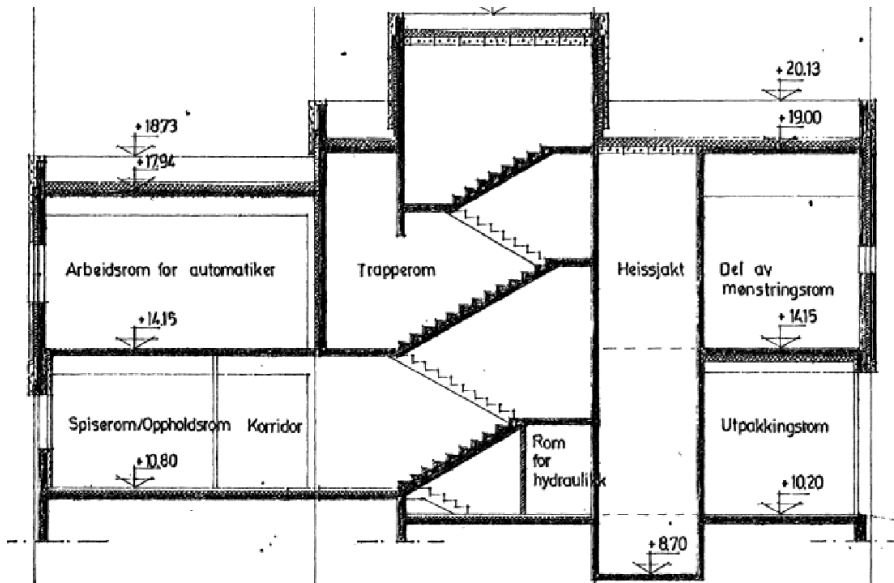


Figur 28: Posisjonen til bygningen til venstre [80], og bilde av fremsiden til bygget til høyre.

5.1.1 Bygningskroppen

Bæresystem, tak og gulv på grunn

Bæresystemet til bygningen består søyler, dragere og dekker i betong. Taket i 2. etasje består av et betongdekke med isolasjon av isopor av ukjent tykkelse. Taket i 3. etasje er isolert med 10+5 cm Rockwool isolasjon og et dekke av betong. Gulvet i bygningen består av et 10 cm betongdekke på kult med 5 cm isopor og gulvbelegg. Figur 29 viser en snittegning av bygningen slik den ble bygget i 1976.



Figur 29: Snittegning av kontorbygningen fra 1975. Utarbeidet av Sannes og Steen's arkitektkontor.

Yttervegger og vinduer

Figur 30 viser bilder av fasadene til bygget. Ytterveggene består av prestøpte betongelementer med 15 cm betong, et lag med diffusjonstett papp, 10 cm isolasjon, 1 lag med forhudningspapp til vindtetting, 3 mm internit vindsperreplater og kledning i aluminiumsplater. Vinduene i bygningen er av typen 2-lags, og som solskjerming er det installert utvendige persiener på den solutsatte fasaden mot sørvest.



Figur 30: Bilder av ytterveggene til kontorbygningen i Banehaven 4A.

5.1.2 Tekniske system og energiforsyning

Oppvarming og kjøling

Bygningen bruker i dag hovedsakelig strøm til oppvarming, med unntak av en liten del av 1. etasje som har installert en varmepumpe. Det elektriske oppvarmingssystemet består av elektriske panelovner og varme fra ventilasjonsluft. Kjølebehovet blir dekket av kjølemaskiner som avgir kjøling til ventilasjonsluften.

Bygningen ligger innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme i Kristiansand. Dette vil si at ved en hovedombygging vil tilkoblingsplikten normalt sett tre i kraft. Etter å ha diskutert problemstillingen

med en tidligere prosjektleder i Agder Energi Varme AS, som er selskapet som leverer fjernvarme i området, kom det frem at det er usikkert om bygningen faktisk kobles til ved en hovedombygging grunnet kostnadsbildet med å fremføre rør til dette området. Det kom også frem at det i dag er lite overskuddsenergi til fjernkjøling i området, slik at dette er en lite aktuell løsning for bygningen.

Belysning

Belysningssystemet i bygningen består hovedsakelig av LED med et effektforbruk på rundt 6 W/m².

Ventilasjon

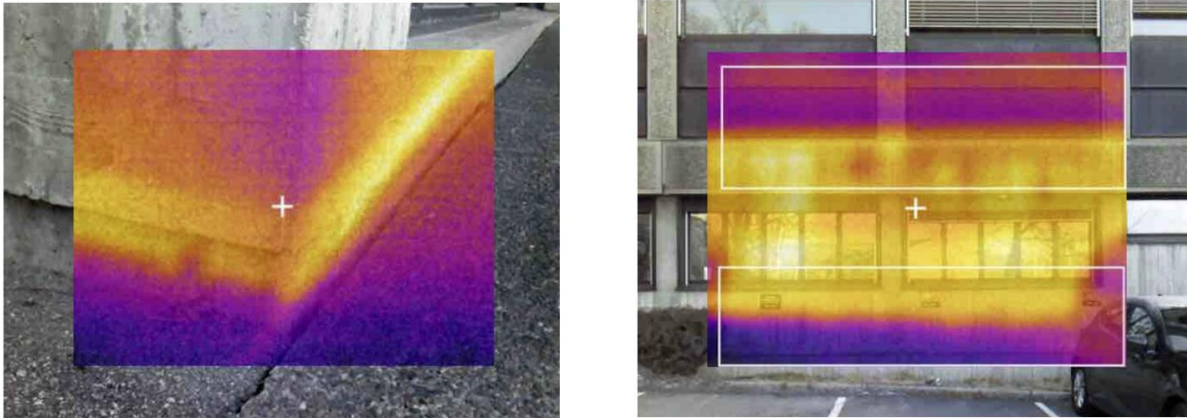
Figur 31 viser bilde av ventilasjonsaggregatet i 2. etasje og på taket. Ventilasjonsanlegget i bygget er et balansert ventilasjonssystem med en roterende varmegjenvinner og et kjøle- og varmebatteri. Det er forventet at aggregatet i 1. og 2. etasje har en temperaturvirkningsgrad på 70% og en SFP-faktor på 2,5 kW/(m³/s). Aggregatet på taket til 3. etasje er fra 2018, og forventes å ha en temperaturvirkningsgrad på omtrent 80% og en SFP på 2 kW/(m³/s).



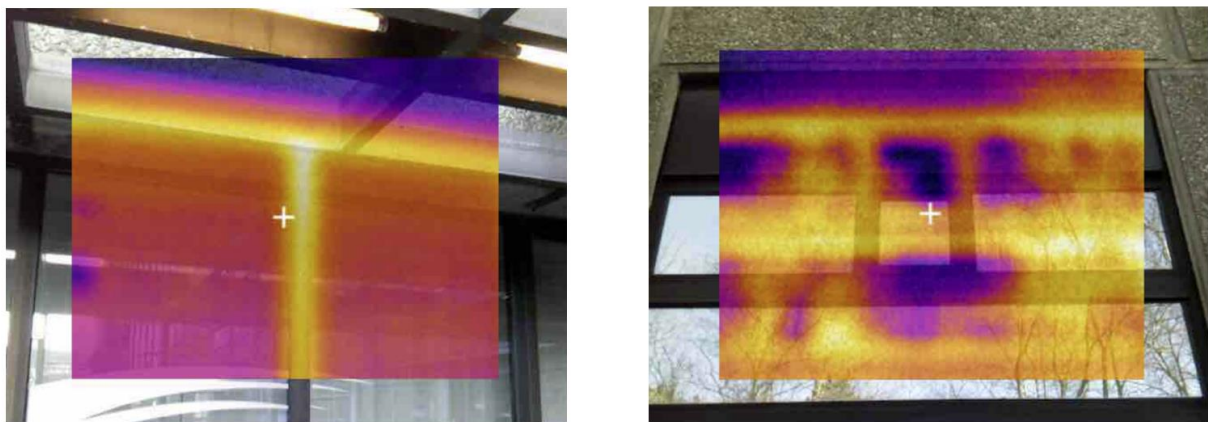
Figur 31: Ventilasjonsaggregatene i Banehaven 4A. Det til venstre er plassert i 2. etasje og det til høyre står på taket til 3. etasje.

5.1.3 Bygningsteknisk tiltand

Det har blitt utført termografering av bygningen. Resultatet av termograferingen viser at det er store varmetap i hjørner, overganger og ved vinduene som vist i Figur 32 og Figur 33. Rapporten fra termograferingen ligger i vedlegg E.

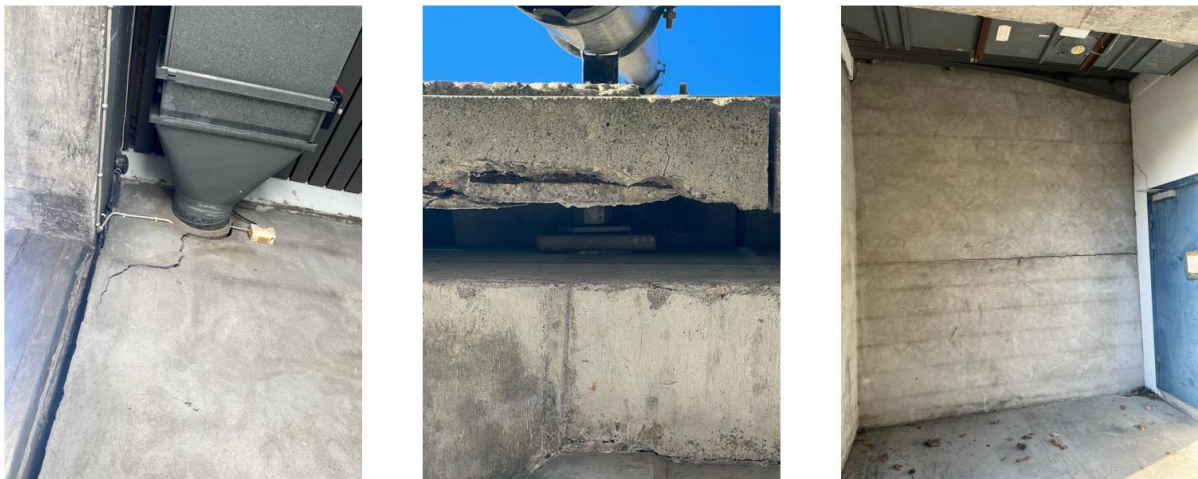


Figur 32: Varmetap langs grunnmur (til venstre) og i fasaden (til høyre).



Figur 33: Varmetap i vinduer i inngangsparti (til venstre) og i vinduer i fasaden (til høyre).

Det ble det gjort en vurdering av synlige skader på konstruksjonen. Det ble avdekket sprekker i betongen flere steder som vist i Figur 34. Noen av sprekkeene gikk helt inn til armeringsjernene, noe som kan føre til fuktskader og korrosjon i jernene.



Figur 34: Bilder av skader og sprekker i noen av betongveggene i Banehaven 4A.

Videre viser Figur 35 at det visuelle uttrykket til bygningen bærer preg av slitasje. Den sørøstvendte vegg mot E18 har blitt utsatt for tagging, og aluminiumsplatene på alle fasadene er falmet. Det er

tydelig at bygningen er moden for en oppgradering som også forbedrer det visuelle uttrykket til bygningen.



Figur 35: Bilder av det visuelle uttrykket til kontorbygningen i Banehaven 4A. Det er tydelig at bygningen er moden for en oppgradering.

5.1.4 Historikk

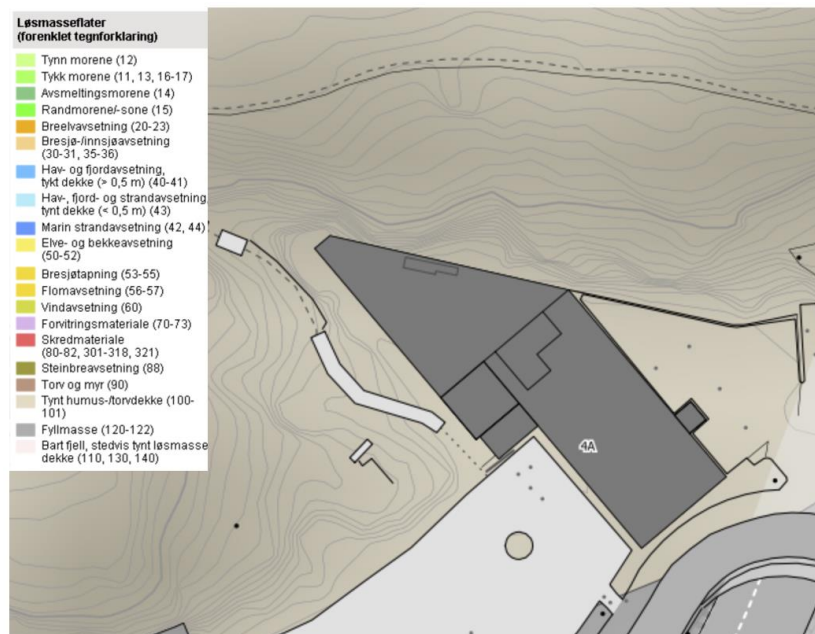
Det har blitt gjennomført flere større endringer i Banehaven 4A siden byggeåret, og dermed avviker dagens konstruksjon fra de opprinnelige byggetegningene. De dokumenterte endringene i bygget er presentert nedenfor:

- 1977: Signaltårnet ble bygd
- 1981: Ny etasje nord for signaltårnet ble bygd (3. etasje)
- 1986: Carportene øst i 1. etasje ble omgjort til kontorlokaler

Det antas at bygningens bærestruktur og fasader ikke har blitt endret ytterligere fordi slike endringer ville ha krevd en søknadsprosess og dokumentasjon. Imidlertid har det blitt observert at planløsningene i de forskjellige lokalene avviker fra de opprinnelige tegningene, og at ulike leietakere har tilpasset rommene til sine behov. Dette gjelder blant annet den opprinnelige utstyrssalen i 2. etasje, som i dag er delt inn i kontorer og møterom.

5.1.5 Grunnforhold

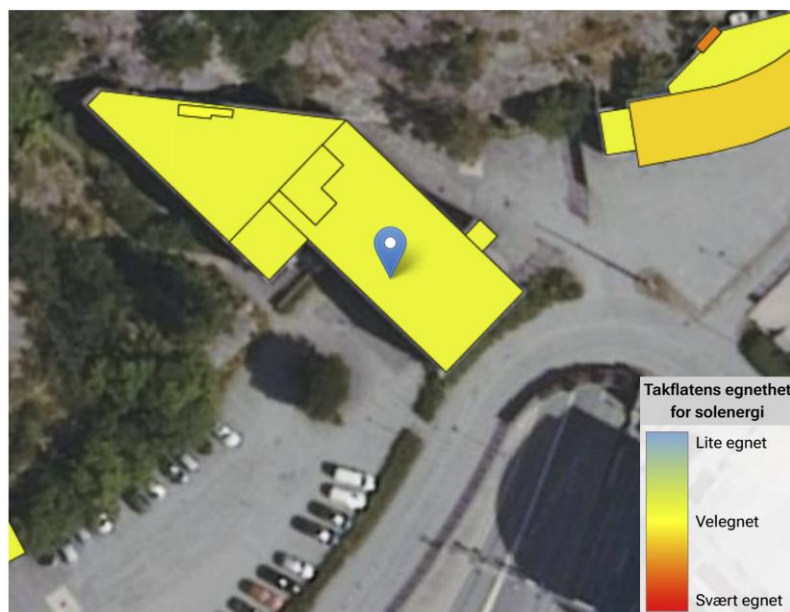
Ifølge Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) består grunnforholdene på tomten av et tynt dekke av organisk materiale over berggrunn, som illustrert i Figur 36. Slike grunnforhold gjør at tomten kan være egnet for fjellbrønner. Det bør utføres geologiske undersøkelser på området for å fastslå disse grunnforholdene.



Figur 36: Figur som viser estimerte grunnforhold i Banehaven 4A. Figuren er et skjermbilde hentet fra ngu.no [81].

5.1.6 Solforhold

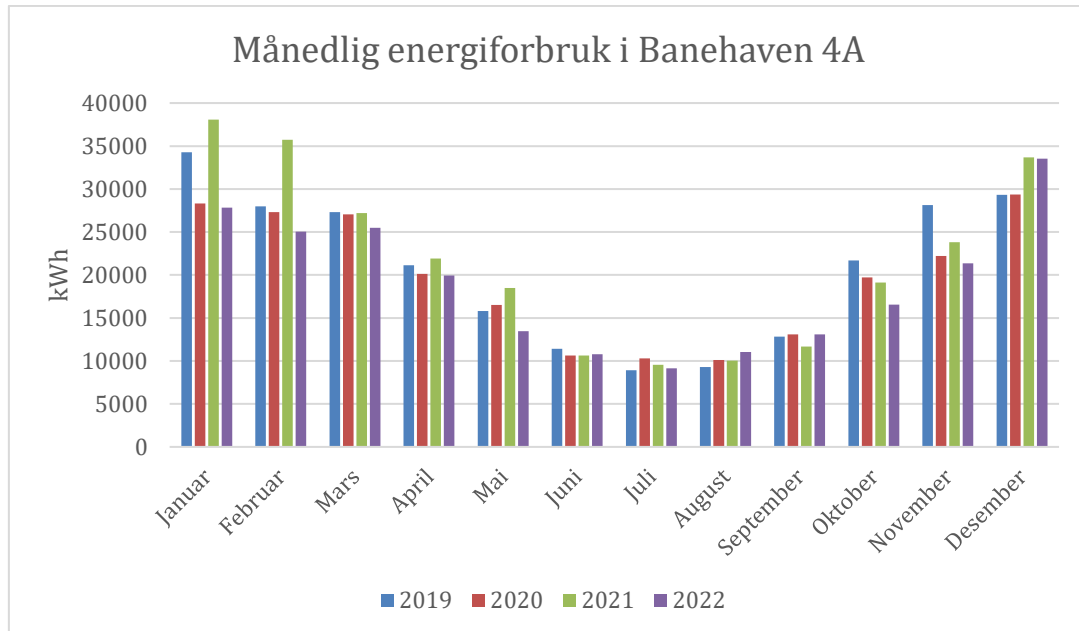
Figur 37 viser et estimat av hvor egnet takflatene er til solenergiproduksjon. Takflatene er i følge solkart.no velegnet for velegnet for solcelleinstallasjon. Derimot tar dette estimatet ikke hensyn til lokale skyggeforhold på tomten, noe som kan påvirke solinnstrålingen og produksjonen av strøm. Baneheia, som befinner seg nord for kontorbygningen, vil skape skygge og ha innvirkning på solinnstrålingen på ettermiddagen. I tillegg vil treet som står på parkeringsplassen vest for bygningen skygge for den sørvestvendte fasaden, og burde felles dersom det skal installeres solceller i denne fasaden.



Figur 37: Estimerte solforhold på tomten til Banehaven 4A. Figuren er et skjermbilde hentet fra solkart.no [82].

5.1.7 Målt energiforbruk

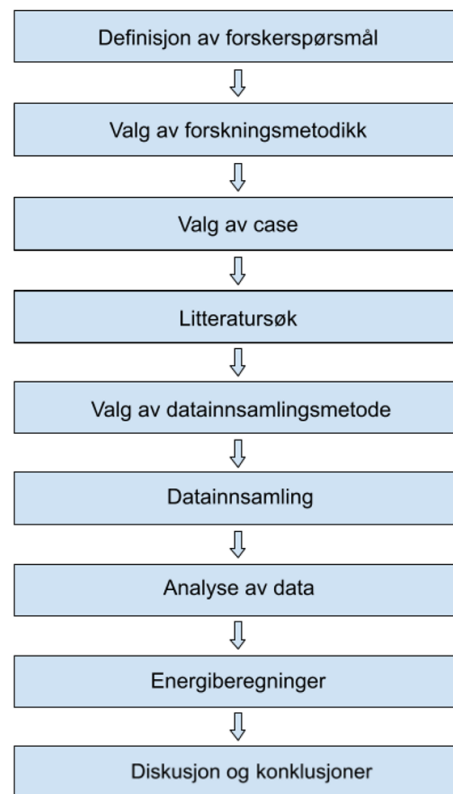
Figur 38 viser den reelle månedlige energibruken for kontorbygningen i Banehaven 4A. I 2022 hadde bygningen et totalt energiforbruk på 227 191 kWh, noe som vil si 142,1 kWh/m². Dette forbruket henger tett sammen med gjennomsnittlig månedlig utetemperatur, og vil variere fra måned til måned og fra år til år.



Figur 38: Målt strømforbruk i Banehaven 4A de siste 4 årene.

6 Metode

Problemstillingen i denne oppgaven handler om energieffektivisering av eksisterende kontorbygninger. Det finnes flere måter å angripe denne problemstillingen på, men det ble i denne oppgaven besluttet å gjennomføre et casestudie av en eksisterende kontorbygning. Den metodiske tilnærmingen for denne oppgaven er illustrert i Figur 39, og vil bli beskrevet i de påfølgende underkapitlene.



Figur 39: Den metodiske tilnærmingen som ble benyttet i dette prosjektet.

6.1 Litteratursøk

Et litteratursøk ble gjennomført for å kartlegge forskningsstatusen på feltet, fange opp relevant litteratur og for skape et forsknings- og erfaringsbasert grunnlag for å kunne svare på problemstillingen. Det ble fokusert på å bruke troverdig og kvalitetssikker faglitteratur skrevet av anerkjente og kompetente fagfolk som grunnlag for oppgaven. For å finne slik litteratur ble blant annet Oria, ScienceDirect og Byggforskserien brukt.

Oria er en søkeplattform som gir tilgang til søk etter materiale som er tilgjengelig i de fleste norske fag- og forskningsbibliotekene. ScienceDirect åpner opp for et større søkeområde da denne søkemotoren gir tilgang til Elsevier, som er verdens største forlag for medisinsk og vitenskapelig litteratur [83]. Søket på både Oria og ScienceDirect kan avgrenses til utgivelsesår, materialtype, språk, og søkeord. Siden fokuset og forskningen på energieffektivitet i bygninger har økt kraftig de siste årene, ble det fokusert på å velge litteratur av nyere opprinnelse, slik som de siste fem årene. For språk ble søket avgrenset til norsk og engelsk, og som materialtype ble bøker, artikler og avhandlinger hovedsakelig brukt.

Søkeord ble valgt ut fra relevans til problemstillingen i denne oppgaven. Siden problemstillingen i denne oppgaven er omfattende og inneholder flere fagområder, ble søkeordene kombinert på ulike måter. Dette gjøres med noe som kalles boolske operatører. I de tilfeller det var ønskelig med treff på litteratur hvor to fagområder ble kombinert i en og samme artikkel, ble OG/AND brukt. Dette førte til at antall treff ble redusert. I de tilfeller hvor det fantes flere synonymer for ett og samme ord, ble var ELLER/OR brukt, noe som resulterte i flere treff.

Et eksempel på dette er betegnelsen "solar panels", som også kan betegnes som "photovoltaic panels". I tilfellet det hvor det var ønskelig å finne litteratur knyttet til bygningsintegreerte solceller for kontorbygninger i Norge, ble søket spesifisert til "Solar panels OR Photovoltaic Panels AND Building Integrated AND Norway AND Office building". For å konkretisere søket ytterligere, ble det huket av for "Open access", og "Research articles" slik at det kun var tilgjengelige forskningsartikler igjen.

6.2 Casestudie som forskningsmetodikk

For å få konkret og kontekstuell dybdekunnskap om den valgte problemstillingen ble det besluttet å bruke en casestudie som forskningsmetodikk for prosjektet. Ordet case stammer fra det latinske ordet "kasus", som betyr tilfelle. En casestudie dreier seg om en eller noen få tilfeller som gjøres om til gjenstand for inngående studier, og hvordan ny kunnskap kan knyttes til det man allerede vet på et område. Formålet til en casestudie er å [84]:

- beskrive en spesifikk case/caser;
- identifisere utfordringer og definere en problemstilling knyttet casen/casene;
- analysere casen/casene ved å bruke relevante teoretiske konsepter;
- anbefale et handlingsforløp eller løsning for den aktuelle casen. Dette gjelder spesielt for problemløsende casestudier.

I dette tilfellet dreier casestudiet seg om en bygning, altså et tilfelle. Gjennomføring av et casestudie kan i tillegg til å øke forståelsen for det enkelte tilfellet eller tilfellene, føre til resultater som kan generaliseres. Det vil si at resultatene fra dette studiet kan generaliseres og implementeres til andre prosjekter. Selv om alle byggeprosjekter er unike, kan overføringsverdien fra et prosjekt til et annet prosjekt være stor dersom resultatet vurderes som pålitelig og relevant [84].

6.2.1 Valg av case

Formålet til en casestudie er besvare en problemstilling ved å studere en enkeltcase eller flere caser. Hvilken case som blir valgt kan derfor ha mye å si for forskerprosessen og resultatene. Noen ganger blir en case gitt til forskeren, for å studere en enkel case uten å tenke på overføringsverdien til andre prosjekter. Dette kalles det en intrinsic/iboende case study. Andre ganger blir en case valgt for å besvare en problemstilling og øke den generelle forståelsen innenfor temaet. Dette kalles en instrumentell case studie [85].

For å gjøre valg av case til en enklere prosess for denne masteroppgaven, ble det satt noen kriterier :

- Er det enkel tilgang til nødvendige dokumenter og materiell?
- Kan casen føre til økt forståelse innenfor den problemstillingen som skal studeres?
- Er casen representativ for andre prosjekter? Kan resultatene generaliseres?

- Er casen interessant og spennende, slik at opprettholdelse av motivasjon er mulig?
- Har bygningen et klart forbedringspotensial?

De ulike alternativene som ble presentert i forkant av masterprosjekt ble derfor evaluert ut ifra disse kriteriene. Kontorbygningen i Banehaven 4A oppfylte alle de listede kriteriene. I tillegg var det en ekstra motivasjon at min nåværende og fremtidige arbeidsplass er lokalisert i dette bygget.

6.2.2 Datainnsamling og analyse av data

Etter at casen for studiet ble bestemt, ble data og informasjon som var nødvendig for å kunne besvare forskerspørsmålet innhentet. I denne oppgaven skal det foreslås energioptimaliserende oppgraderingsstiltak for et spesifikt bygg. Et oppgraderingsstiltak er kun nødvendig dersom det fører til en forbedring av bygget. Derfor er det helt nødvendig å kartlegge bygningens nåværende tilstand. Dette ble gjort ved å dra på flere befaringer på bygget og ved å samle inn dokumentasjon som eksisterende tegningsgrunnlag og målt energiforbruk.

På befaringen ble det gjort observasjoner av bygningen og tekniske installasjoner som ventilasjon, belysning og oppvarming. Det ble tatt bilder, og Løyning sine ansatte var behjelpelige med å vurdere ventilasjonssystem, belysning og andre verdier som ble brukt som inndata i energiberegningene. Det ble blant også gjennomført en termografering som avdekket varmetap i bygget. Løyning sitt termograferingskamera "Fluke TiS55" ble brukt, og termograferingen ble gjort sammen med en av Løyning sine ansatte som hadde kjennskap til instrumentet og utførelsesmetode.

Eksisterende tegningsgrunnlag ble tildelt av en gruppe som skrev masteroppgave om den samme bygningen for Dagifin Skaar AS i 2022. Dette tegningsgrunnlaget inneholdt snitt- og plantegninger, fasadetegninger og armeringstegninger. Tegningene ble analysert med hensyn på dimensjoner og isolasjonstykkelse, og viktige inndata ble hentet ut slik at de kunne brukes i energisimuleringer av det eksisterende bygget. Foreløpig tegningsgrunnlag (forslag til snitt- og plan- og fasadetegninger) for den oppgraderte bygningen ble tildelt av Løyning i oppstarten av masterprosjektet. Den eksisterende bygningens strømforbruk ble oppgitt av drift- og forvaltningsansvarlige på bygget.

6.3 Energiberegninger

Simien, versjon 6.017 ble benyttet som programvare for energiberegninger i denne oppgaven. Teori om programvaren er presentert i kapittel 3.6.1 Grunnen til at Simien og ikke andre energisimuleringsverktøy som eksempelvis IDA ICE ble valgt, er fordi Simien på en brukervennlig måte kan bidra til å oppfylle hensikten i denne oppgaven som er å teste ulike kombinasjoner av oppgraderingstiltak for å gjøre eksisterende bygninger mer energieffektive. Simien kan evaluere bygninger mot forskriften, og i tillegg gjorde tidligere kjennskap til programvaren og dens store utbredelse i bransjen valget enkelt.

Det skal i dette kapittelet bli presentert en oversikt over de sentrale inndataene som er brukt i de ulike simuleringene og energiberegningene i oppgaven. Fremgangsmetoden til simuleringene vil ikke bli beskrevet i detalj, da alle inndata for hver simulering er lagt ved som vedlegg slik at simuleringene er repliserbare. En mer detaljert beskrivelse og drøfting av hvert konsept blir presentert i kapittel 8.1.

6.3.1 Felles inndata simuleringer i Simien

Casen i dette prosjektet er kontorbygningen i Banehaven 4A i Kristiansand by. Derfor ble kontorbygning valgt som bygningskategori og Kristiansand som klimasted i alle simuleringene. Selv om bygningen ikke har flere funksjoner, ulike tekniske installasjoner og ulikt soltilskudd i dag, ble bygningen delt inn i soner etter etasjer i simuleringene av både eksisterende situasjon og de ulike oppgraderingskonseptene. Siden bygningen skal oppgraderes og det skal bygges to nye etasjer på det eksisterende bygget, vil det å dele bygningen opp etter etasjer muliggjøre endringer av parametere i deler av bygningen.

Som dokumentasjon for verdier knyttet til eksempelvis bygningsdeler, internlaster, energiforsyning og tekniske systemer ble Byggforskserien, NSPEK 3031:2021, NS 3701, standardverdi i Simien og andre referanseprosjekter hovedsakelig brukt. Der det var vanskelig eller ikke mulig å finne en realistisk U-verdi i oppslagsverk, ble U-verdien beregnet ved å bruke formel 1 i kapittel 3.1.2. Beregninger for U-verdier er vedlagt i vedlegg D.

6.3.2 Inndata energisimulering eksisterende situasjon

For den eksisterende situasjonen ble tegningsgrunnlag vedlagt i vedlegg A lagt til grunn for inndata. Alle inndata brukt i simuleringen av det eksisterende bygget, inkludert inndata knyttet til dimensjoner, bygningsdeler og komponenter, tekniske systemer, internlaster og energiforsyning er vedlagt i vedlegg C.

Tabell 7 viser de U-verdier og konstruksjoner som ble brukt i simuleringen av den eksisterende kontorbygningen i Banehaven 4A.

Tabell 7: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simuleringen av eksisterende bygning.

Bygningsdel	U-verdi [W/(m ² K)]	Konstruksjon/ isolasjonstykkelse	Dokumentasjon
Yttervegger	0,34	10 cm mineralull og 15 cm betong	Isolasjonstykkelse hentet fra byggetegninger. U-verdi beregnet i vedlegg D.
Tak 2. etasje	0,6	Ikke oppgitt i byggetegninger	U-verdi hentet fra tabell B.1 i NSPEK 3031:2021.
Tak 3. etasje	0,23	10+5 cm Rockwool isolasjon	Isolasjonstykkelse hentet fra byggetegninger. U-verdi hentet fra Byggdetaljblad 471.013, tabell 52 [86].
Gulv mot grunn	0,68 (0,34)	10 cm betongdekke med 5 cm EPS isolasjon	Isolasjonstykkelse hentet fra byggetegninger. U-verdi beregnet i vedlegg D. Tallet i parentes er den ekvivalente verdien.
Vinduer og dører	2	2 lags energiglass i treramme.	U-verdi hentet fra tabell B.2 i NSPEK 3031:2021.

Tabell 8 viser de verdier som ble brukt for komponenter og lekkasjetall i simuleringen av den eksisterende kontorbygningen.

Tabell 8: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av den eksisterende bygningen.

Egenskap	Verdi	Dokumentasjon
Normalisert kuldebroverdi [W/(m ² K)]	0,13	Verdi hentet fra tabell B.3 i NSPEK 3031:2021.
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	70/ 80	1.- og 2. etasje/3. etasje. Aggregatet som forsyner 3. etasje ble installert i 2018, har en bedre virkningsgrad enn det i 2. etasje
SFP-faktor ventilasjonsanlegg [kW/(m ³ /s)]	2,5 (2)	Verdi hentet fra tabell B.7 i NSPEK 3031:2021. Verdien i parentes er utenfor driftstid.
Lekkasjetall n ₅₀ [h ⁻¹]	3	Verdi hentet fra tabell B.4 i NSPEK 3031:2021.
Belysning [W/m ²]	6	Befaring på eksisterende bygg
Teknisk utstyr [W/m ²]	8	Befaring på eksisterende bygg

6.3.3 Dimensjonering av energibrønner

I konsept 2 og 3 er det tiltenkt å benytte en varmepumpe som henter energi fra energibrønner. For å være sikker på at dette var mulig med den tilgjengelige plassen på tomten, ble det nødvendige antallet energibrønner beregnet. Dette ble gjort ved å bruke formel 4 [59]:

$$Q_K = Q_F \times \frac{COP}{COP + \varepsilon - 1} \quad [kW] \quad (4)$$

Der:

Q_F er summen av overført varmeeffekt i fordampere [kW],

Q_K er avgitt varmeeffekt fra kondensatoren i varmepumpen [kW],

COP er varmepumpens effektfaktor,

ε er relativt varmetap fra kompressoren = 0,10

Nødvendig overført varmeeffekt i fordampere (Q_F – energien som må hentes ut av brønnene) blir derfor:

$$Q_F = \frac{Q_K}{\left(\frac{COP}{COP + \varepsilon - 1}\right)} \quad [kW]$$

Det er i denne oppgaven tatt utgangspunkt i en væske-til-vann-varmepumpe med en effektfaktor (COP) på 3,5, og et varmetap fra kompressoren på 10%. Q_F blir da:

$$Q_F = \frac{Q_K}{\left(\frac{3,5}{3,5 + 0,1 - 1}\right)} = \frac{Q_K}{1,35}$$

Dimensjonering av nødvendig antall energibrønner ble dimensjonert ut fra en effektiv lengde på 250 m per brønn og et effektuttak på 35 W/m pr. effektive løpemeter, etter [55]. Nødvendig dybde borehull (D_B), med et estimert effektuttak på 35 W/m pr. effektive løpemeter blir (formel 5):

$$D_B = \frac{Q_F}{35 \frac{W}{m}}$$

Nødvendig antall borehull (n_B), med en estimert lengde på 250 m per brønn blir (formel 6):

$$n_B = \frac{D_B}{250 \text{ m}}$$

6.4 Konsept 1

Hensikten til konsept 1 er å oppgradere bygningen til å følge dagens energistandard, noe som er et krav ved hovedombygging av bygninger. Dette ble gjort ved å implementere tiltak på både bygningskropp, tekniske systemer og energiforsyning. Som passive tiltak på bygningskroppen ble gulv mot grunn og vegger etterisolert. Som aktivt tiltak ble eksisterende ventilasjonsaggregat byttet ut med et nytt og energieffektivt CAV anlegg. Siden denne bygningen ligger innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme, og tilkoblingsplikten normalt sett utløses ved en hovedombygging, er det i dette konseptet tatt utgangspunkt i bruk av fjernvarme til både oppvarming og kjøling av bygningen.

I dette kapittelet vil det komme en beskrivelse av tiltakene på bygningskropp, tekniske systemer og energiforsyning. Videre vil viktige inndata brukt i energisimuleringen av konseptet bli listet, slik at simuleringen er repliserbar. Resultatet av implementering av disse tiltakene kommer i kapittel 7.2 før en evaluering av styrker og svakheter ved tiltakene bli presentert i kapittel 8.1.

6.4.1 Tiltak på bygningskropp

Etterisolering av yttervegger

Det er i konsept 1 tiltenkt å strippe bygningen ned til betongen, etterisolere utvendig og bygge opp nye fasader. De nye ytterveggene må oppnå en U-verdi på $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller bedre for å nå energirammen i forskriften. Dette kan gjøres på flere måter, men kravet vil bli nådd ved å etterisolere med 200 mm utvendig kontinuerlig isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet på $0,034 \text{ W/(mK)}$.

Etterisolering av gulv mot grunn

For å nå minstekravet til U-verdi for gulv mot grunn er det nødvendig å etterisolere eksisterende gulv mot grunn. Det er i konsept 1 tiltenkt å etterisolere oppå eksisterende betonggulv med isolasjonstypen polystyren (EPS). EPS-plater med en tykkelse på 150 mm vil kunne gi en U-verdi på $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, som tilfredsstiller minstekravet i forskriften.

Isolering av tak

Siden det ved oppgradering av bygningen skal bygges på to nye etasjer skal det bygges nytt tak i dette konseptet. I følge Byggforskserien 471.013 vil et kompakt tak med dekke av betong, og en isolasjonstykkelse på 350 mm med en varmekonduktivitet på $0,037 \text{ W/(mK)}$ gi en U-verdi på $0,10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ [86]. Denne U-verdien er tilstrekkelig for å nå forskriftskravet. Denne varmekonduktiviteten kan oppnås både med mineralull, XPS og EPS.

Utskifting av vinduer

Det er i dette konseptet er det tatt utgangspunkt i å bytte de eksisterende vinduene ut med nye vinduer med en U-verdi på $1 \text{ W/m}^2\text{K}$, noe som er et realistisk mål på dagens vinduer. Ved å velge et vanlig åpningsvindu med en ramme med to-, tre- eller frelags isolerrute med en glassprosent på 71%, vil en U-verdi på $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ bli oppnådd [36].

Solskjerming

Det er i konsept 1 tiltenkt å installere utvendige screens på solutsatte fasader (mot sørvest og sørøst) for å redusere kjølebehovet på varme og solfylte dager. På lite solutsatte fasader (mot nord) er det tiltenkt innvendige persienner for å kunne regulere dagslys og blending.

6.4.2 Tiltak på tekniske systemer

Nytt ventilasjonssystem

Det er i dette konseptet tiltenkt et ventilasjonsanlegg med konstante luftmengder (CAV-anlegg). For at konseptet skal tilfredsstille energirammen i TEK17, er det nødvendig med en SFP på 1,5 kW/(m³/s) og en temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner på 80%.

Belysning

Belysningen i kontorbygningen i dag har et effektforbruk på 6 W/m², noe som er bedre enn standardisert verdi for kontorbygninger. Det er derfor valgt å bevare dagens belysning i konsept 1, forutsatt at tilstrekkelig lysnivå opprettholdes ved endringer på bygningskroppen.

6.4.3 Tiltak på energiforsyning

Det er tiltenkt å benytte fjernvarme til å dekke 100% av oppvarmingsbehovet og kjølebehovet til bygningen, da bygningen ligger innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme i Kristiansand. Det er også tiltenkt å benytte et sorptivt kjølesystem med fjernvarme som innsatsfaktor for å dekke kjølebehovet til bygningen. På denne måten kan bygningen ta i bruk overskuddsenergien som ellers går til spille om sommeren, og frigjøre elektrisk kapasitet på elkraftnettet.

6.4.4 Inndata for energisimulering

Den foreløpige arkitektmodellen i vedlegg B ble lagt til grunn for inndata knyttet til utformingen av bygningen (gulv-, tak-, fasade-, vindu- og dør areal, høyder og volum) i konseptet. Alle inndata brukt i simuleringen av konsept 1, inkludert inndata knyttet til dimensjoner, bygningsdeler og komponenter, tekniske systemer, internlaste og energiforsyning er vedlagt i vedlegg C.

U-verdier for de ulike bygningsdelene brukt i simuleringen av konsept 1 er listet i Tabell 9.

Tabell 9: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simulering av konsept 1.

Bygningsdel	U-verdi [W/(m ² K)]	Konstruksjon/ isolasjonstykkelse	Dokumentasjon
Yttervegger	0,16	Rive eksisterende kledning. 200 mm utvendig kontinuerlig isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,034$ W/(mK).	Hentet fra byggdetaljblad 471.451 [87].
Tak	0,10	Nytt kompakttak med 350 mm isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,034$ W/(mK).	Hentet fra byggdetaljblad 471.013 [86].
Gulv mot grunn	0,17 (0,14)	Etterisolert med 200 mm EPS.	Standardverdi i Simien. Tallet i parentes er den ekvivalente verdien.
Vinduer og dører	1,0	Vanlig åpningsvindu med en ramme med to-, tre- eller firelags isolerrute, A_g , 71 %.	Hentet fra byggdetaljblad 533.102 [35].

Tabell 10 viser de verdier som ble brukt for komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 1.

Tabell 10: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 1.

Egenskap	Verdi	Dokumentasjon
Normalisert kuldebroverdi [W/(m ² K)]	0,06	Utvendig etterisolering av fasader reduserer kuldebroverdien. Estimert kuldebroverdi.
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	80	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
SFP-faktor ventilasjonsanlegg [kW/(m ³ /s)]	1,5(1,2)	Estimert verdi basert på referanseprosjekter. Verdien i parentes er utenfor driftstid.
Lekkasjetall n_{50} [h ⁻¹]	0,60	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
Belysning [W/m ²]	6	Bevaring av eksisterende belysning.
Teknisk utstyr [W/m ²]	8	Befaring på eksisterende bygg.

6.5 Konsept 2

Utgangspunktet for konsept 2 var å minimum klare ambisjonsnivået nesten nullenergibygning, og innebærer ambisiøse tiltak på bygningskroppen, tekniske systemer og energiforsyning. Det er tiltenkt installasjon av nytt behovsstyrt (DCV) ventilasjonssystem. I tillegg skal det produseres elektrisitet på tomten, ved å installere solceller på taket av bygningen. Videre er det tatt utgangspunkt i at tilkobling til og bruk av fjernvarme ikke er aktuelt i konseptet. Som energiforsyning er det derfor tiltenkt at utvinning av energi fra energibrønner i kombinasjon med en vann-til-vann-varmepumpe skal dekke grunnlastene, og en elektrokjel som skal dekke spisslastene.

I dette kapitlet vil det komme en beskrivelse av tiltakene på bygningskropp, tekniske systemer og energiforsyning. Videre vil viktige inndata brukt i energisimuleringen av konseptet bli listet, slik at simuleringen er repliserbar. Resultatet av implementering av disse tiltakene kommer i kapittel 7.3, før en evaluering av styrker og svakheter ved tiltakene bli presentert i kapittel 8.1.

6.5.1 Tiltak på bygningskroppen

Etterisolering av yttervegger

Det er som i konsept 1 tiltenkt å strippe bygningen ned til betongen, etterisolere utvendig og bygge opp nye fasader. De nye ytterveggene må oppnå en U-verdi på $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller bedre. Dette kan gjøres på flere måter, men kravet vil bli nådd ved å etterisolere med 300 mm utvendig kontinuerlig isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet på $0,034 \text{ W/(mK)}$.

Etterisolering av gulv mot grunn

I konsept 2 er det tiltenkt å meisle opp det eksisterende betonggulvet legge ny isolasjon og nytt betonggulv. Ved å isolere med 300 mm trykkfast isolasjon (EPS), vil en U-verdi på $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ oppnås.

Isolering av tak

Siden det ved oppgradering av bygningen skal bygges på to nye etasjer skal det også i dette konseptet bygges nytt tak. Det er også i dette kapitlet tatt utgangspunkt i et kompakt tak med dekke av betong, og en isolasjonstykkelse på 350 mm med en varmekonduktivitet på $0,037 \text{ W/(mK)}$ gi en U-verdi på $0,10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ [86].

Utskifting av vinduer

Det er dette konseptet tiltenkt å bruke vinduer i fastkarm med en U-verdi på $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette kan oppnås ved å bruke med to-, tre- eller firelags isolerrute med en glassprosent på 86%.

Solskjerming

Det er også i dette konseptet å installere utvendige screens på solutsatte fasader (mot sørvest og sørøst) for å redusere kjølebehovet på varme og solfylte dager. På lite solutsatte fasader (mot nord) er det tiltenkt innvendige persienner for å kunne regulere dagslys og blanding.

6.5.2 Tiltak på tekniske systemer

Nytt ventilasjonssystem

For å redusere energibehovet betydelig er det i dette konseptet er det tiltenkt å installere et behovsstyrt ventilasjonssystem som styrer luftmengdene etter behov på romnivå. Det er simulert med høy temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren (85%), og en lav spesifikk vifteeffekt (1,2 kW/(m³/s)) for å redusere energibehovet ytterligere.

Belysning

Det er i dette konseptet valgt en estimert belysningseffekt på 4 W/m². Dette er lavere enn den nåværende installerte belysningseffekten i bygningen, og innenfor kravet i NS 3701- Kriterier for passivhus og lavenergibygninger- Yrkesbygninger.

Solceller

Siden det i dette konseptet skal produseres energi på egen tomt er det tiltenkt å installere 550 m² med solceller på taket. Det er tatt utgangspunkt i at 20% av takarealet ikke egner seg for solceller på grunn av skygge fra trær, nærliggende bygninger og eventuelle installasjoner. Det er i beregnet med monokrystallinske solceller med en virkningsgrad på 22%. Solcellene skal plasseres mot øst og vest med en helningsvinkel på 10°.

6.5.3 Tiltak på energiforsyning

Energibrønner og vann-til-vann-varmepumpe

Det er i dette konseptet tiltenkt å installere en vann-til-vann-varmepumpe som dekker oppvarmingsbehovet til bygningen. På ekstra kalde dager er det tiltenkt å bruke elektrokjel for å dekke spisslastene. Siden temperaturen i grunnen er lavest om sommeren når bygningen har behov for kjøling, er det tiltenkt at varmepumpen kan dekke 100% av kjølebehovet til bygningen. For å bekrefte at det er nok areal tilgjengelig på tomten for å dekke effektbehovet til oppvarming ble nødvendig antall energibrønner beregnet i vedlegg D.

6.5.4 Inndata for energisimulering

Den foreløpige arkitektmodellen i vedlegg B ble lagt til grunn for inndata knyttet til utformingen av bygningen (gulv-, tak-, fasade-, vindu- og dør areal, høyder og volum) i konseptet. All inndata brukt i simuleringen av konsept 2, inkludert inndata knyttet til dimensjoner, bygningsdeler og komponenter, tekniske systemer, internlast, solceller og energiforsyning er vedlagt i vedlegg C.

U-verdier for de ulike bygningsdelene brukt i simuleringen av konsept 2 er listet i Tabell 11.

Tabell 11: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelser benyttet til simulering av konsept 2.

Bygningsdel	U-verdi [W/(m ² K)]	Konstruksjon/ isolasjonstykkelse	Dokumentasjon
Yttervegger	0,11	Rive eksisterende kledning. 300 mm utvendig kontinuerlig isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,034$ W/(mK).	Hentet fra byggedetaljblad 471.451 [87].
Tak	0,10	Nytt kompakttak med 350 mm isolasjon med varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,031$ W/(mK)	Hentet fra byggedetaljblad 471.013 [86].
Gulv mot grunn	0,12 (0,10)	Eksisterende gulv rives opp, isolerer med 300 mm EPS.	Standardverdi Simien. Tallet i parentes er den ekvivalente U-verdien.
Vinduer og dører	0,80	Fastkarmvindu (uten åpningsramme) med to-, tre- eller firelags isolerrute, A_g , 86 %.	Hentet fra byggedetaljblad 533.102 [35].

Tabell 12 viser de verdier som ble brukt for komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 2.

Tabell 12: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 2.

Egenskap	Verdi	Dokumentasjon
Normalisert kuldebroverdi [W/(m ² K)]	0,02	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	85%	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
SFP-faktor ventilasjonsanlegg [kW/(m ³ /s)]	1,2 (1,0)	Estimert verdi basert på referanseprosjekter. Verdien i parentes er utenfor driftstid.
Lekkasjetall n_{50} [h ⁻¹]	0,24	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
Belysning [W/m ²]	4	Tabell 8 i NS 3701.
Teknisk utstyr [W/m ²]	6	Tabell A.4 i NS 3701.

Konsept 3

Hensikten bak konsept 3 var å nå ambisjonsnivået plussenergibygning. Konseptet har mange likheter med konsept 2, men vindusarealet i dette konseptet er redusert betraktelig for å oppnå ambisjonsnivået. I tillegg ble det installert solceller både på tak og i den sørvestvendte fasaden. Det er gått ut ifra at bygningen tilknyttes og tar i bruk fjernvarme for å dekke spisslastene i bygningen, mens grunnlastene blir dekket av energi fra energibrønner i kombinasjon med en vann-til-vann-varmepumpe.

I dette kapittelet vil det komme en beskrivelse av tiltakene på bygningskropp, tekniske systemer og energiforsyning. Videre vil viktige inndata brukt i energisimuleringen av konseptet bli listet slik at simuleringen er repliserbar. Resultatet av implementering av disse tiltakene kommer i kapittel 7.4, før en evaluering av styrker og svakheter ved tiltakene bli presentert i kapittel 8.1.

6.5.5 Tiltak på bygningskroppen

Etterisolering av yttervegger

Det er i konsept 3 tiltenkt å plassere prefabrikkerte sandwichelementer på de eksisterende ytterveggene, noe som kan gi en U-verdi på $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ ved bruk elementer med 150 mm PIR isolasjon der dimensjonerende varmekonduktivitet på $0,026 \text{ W/(mK)}$.

Etterisolering av gulv mot grunn

Det er som i konsept 2 også i dette konseptet tiltenkt å meisle opp det eksisterende betonggulvet legge ny isolasjon og nytt betonggulv. Ved å isolere med 300 mm trykkfast isolasjon (EPS), kan en U-verdi på $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ oppnås.

Isolering av tak

Siden det ved oppgradering av bygningen skal bygges på to nye etasjer skal det også i dette konseptet bygges nytt tak. Det er også i dette kapittelet tatt utgangspunkt i et kompakt tak med dekke av betong, og en isolasjonstykkelse på 400 mm med en varmekonduktivitet på $0,037 \text{ W/(mK)}$ gi en U-verdi på $0,09 \text{ (W/m}^2\text{K)}$.

Utskifting av vinduer

Det er som i konsept 2 også i dette konseptet tiltenkt å bruke vinduer i fastkarm med en U-verdi på $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette kan oppnås ved å bruke med to-, tre- eller firelags isolerrute med en glassprosent på 86%.

Solskjerming

Det er som i konsept 2 også i dette konseptet å installere utvendige screens på solutsatte fasader (mot sørvest og sørøst) for å redusere kjølebehovet på varme og solfylte dager. På lite solutsatte fasader (mot nord) er det tiltenkt innvendige persiener for å kunne regulere dagslys og blending.

6.5.6 Tiltak på tekniske systemer

Nytt ventilasjonssystem

For å redusere energibehovet betydelig er det i dette konseptet er det tiltenkt å installere et behovsstyrt (DCV) ventilasjonssystem som styrer luftmengdene etter behov på romnivå. Det er

simulert med høy temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren (92%), og en lav spesifikk vifteeffekt ($1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$), for å redusere energibehovet ytterligere.

Belysning

Det er også i dette konseptet estimert en belysningseffekt på $4 \text{ W}/\text{m}^2$, noe som er lavere enn det den nåværende installerte belysningseffekten i bygningen, og innenfor kravet i NS 3701- Kriterier for passivhus og lavenergibygninger- Yrkesbygninger.

Solceller

Siden det også i dette konseptet skal produseres energi på egen tomt er det tiltenkt å installere 560 m^2 solceller både på taket og 200 m^2 i den sørvestvendte fasaden. Det er i beregnet med monokrystallinske solceller med en virkningsgrad på 22%. Solcellene på taket skal plasseres mot øst og vest med en helningsvinkel på 10° , og det er tatt utgangspunkt i at 18 % av takarealet ikke egner seg for solceller på grunn av skygge fra trær, nærliggende bygninger og eventuelle installasjoner.

6.5.7 Tiltak på energiforsyning

Energibrønner og vann-til-vann-varmepumpe

Det er som i konsept 2 tiltenkt å installere en vann-til-vann-varmepumpe med energi fra energibrønner for å dekke grunnlastene til oppvarming og kjøling. På ekstra kalde dager er det tiltenkt å bruke fjernvarme for å dekke spisslastene. For å bekrefte at det er nok areal tilgjengelig på tomten for å dekke effektbehovet til oppvarming ble nødvendig antall energibrønner beregnet i vedlegg D.

6.5.8 Inndata for energisimulering

Den foreløpige arkitektmodellen i vedlegg B ble lagt til grunn for inndata knyttet til utformingen av bygningen (gulv-, tak-, fasade-, høyder og volum) i konseptet. I dette konseptet ble det valgt å beholde omtrent samme vindusandel som i den eksisterende bygningen (9,1%), da det ikke var mulig å nå ambisjonsnivået med den andelen av glassfasader, vinduer og dører som var lagt til grunn i den foreløpige arkitektmodellen. Inndata brukt i simuleringen av konsept 3, inkludert inndata knyttet til dimensjoner, bygningsdeler og komponenter, tekniske systemer, internlast, solceller og energiforsyning er vedlagt i C.

U-verdier for de ulike bygningsdelene brukt i simuleringen av konsept 3 er listet i Tabell 13.

Tabell 13: U-verdier og konstruksjoner/isolasjonstykkelse benyttet til simulering av konsept 3.

Bygningsdel	U-verdi [W/(m ² K)]	Konstruksjon/ isolasjonstykkelse	Dokumentasjon
Yttervegger eksisterende	0,11	Prefabrikkerte sandwichelementer med 150 mm PIR isolasjon der $\lambda_d = 0,026$ W/(mK) plasseres på eksisterende fasader.	U-verdi beregnet, se vedlegg D.
Nye yttervegger	0,11	Sandwichelementer med 200 mm PIR isolasjon med $\lambda_d = 0,022$ W/(mK)	Hentet fra byggdetaljblad 523.285. Tabell 23 [33]
Tak	0,09	Nytt kompakttak med 400 mm isolasjon med varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,031$ W/(mK)	Hentet fra byggdetaljblad 471.013 [86].
Gulv mot grunn	0,12 (0,10)	Eksisterende gulv rives opp, etterisolerer med 300 mm EPS.	Standardverdi Simien. Tallet i parentes er den ekvivalente U-verdien.
Vinduer og dører	0,80	Fastkarmvindu (uten åpningsramme) med to-, tre- eller firelags isolerrute, A_g , 86 %.	Hentet fra byggdetaljblad 533.102 [35].

Tabell 14 viser de verdier som ble brukt for komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 3.

Tabell 14: Inndata komponenter og lekkasjetall i simuleringen av konsept 3.

Egenskap	Verdi	Dokumentasjon
Normalisert kuldebroverdi [W/(m ² K)]	0,02	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	92 %	Covent AS hevder de kan levere aggregater med denne virkningsgraden.
SFP-faktor ventilasjonsanlegg [kW/(m ³ /s)]	1,0 (0,8)	Estimert verdi basert på referanseprosjekter. Verdien i parentes er utenfor driftstid.
Lekkasjetall n_{50} [h ⁻¹]	0,24	Estimert verdi basert på referanseprosjekter.
Belysning [W/m ²]	4	Tabell 8 i NS 3701.
Teknisk utstyr [W/m ²]	6	Tabell A.4 i NS 3701.

7 Resultat

Det skal i dette kapittelet presenteres resultater fra energisimuleringene utført i Simien for både den eksisterende situasjonen og de tre konseptene, som beskrevet i metodekapittelet. Dette inkluderer beregnet nødvendig energibehov og levert energi, varmetap og eventuell produksjon av elektrisitet. I tillegg blir konseptene evaluert mot forskriften (TEK17) og mot passivhusstandarden (NS 3701). Avslutningsvis kommer et forslag til plassering av energibrønnene har blitt beregnet som er en del av tiltakene i konsept 2 og 3.

7.1 Eksisterende situasjon

Under kommer resultatet av simuleringen av den eksisterende kontorbygningen i Banehaven 4A.

7.1.1 Netto energibehov

Tabell 15 viser det årlige beregnede netto energibehovet til Banehaven 4A i dag. Tabellen viser at bygningen har et energibehov på 294 955 kWh i året, som er 184,5 kWh/m².

Tabell 15: Netto energibudsjett i eksisterende bygning. Tabell hentet fra Simien.

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	119546 kWh	74,8 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	45965 kWh	28,7 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	8013 kWh	5,0 kWh/m ²	
3a Vifter	44899 kWh	28,1 kWh/m ²	
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
4 Belysning	30048 kWh	18,8 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	40065 kWh	25,1 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	6420 kWh	4,0 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	294955 kWh	184,5 kWh/m ²	

7.1.2 Levert energi

Tabell 16 viser den beregnede leverte energien som må tilføres bygningen i dag med direkte elektrisitet som hovedoppvarmingskilde. Bygningen har en beregnet levert energi på 292 671 kWh, som er 183 kWh/m².

Tabell 16: Beregnet levert energi til eksisterende bygning. Tabell hentet fra Simien.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	287792 kWh	180,0 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	4879 kWh	3,1 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	292671 kWh	183,0 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	292671 kWh	183,0 kWh/m ²

7.1.3 Evaluering mot forskriften

Tabell 17 viser evaluering av dagens situasjon mot forskriften (TEK17). Bygningen får underkjent på samlede evalueringen.

Tabell 17: Evaluering av eksisterende bygg mot TEK17. Tabell hentet fra Simien.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiramme	Bygningen tilfredsstillter ikke energirammen ihht. §14-2 (1)
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillter ikke minstekravene i §14-3
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillter minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillter ikke byggeforskriftenes energikrav

Tabell 18 viser resultatet av evalueringen av den eksisterende situasjonen mot energirammen i TEK17. Som tabellen viser, så har bygningen et samlet netto energibehov på 216,6 kWh/m² i evalueringen, da evalueringen bruker normerte verdier for internlast, driftstider og settpunkttemperatur. Energirammen blir ikke nådd slik bygningen fremstår i dag.

Tabell 18: Evaluering av eksisterende bygg mot energirammen i TEK17. Tabell hentet fra Simien.

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	79,5 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	36,5 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	5,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	28,1 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	0,0 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	25,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	8,0 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov	216,6 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	115,0 kWh/m ²

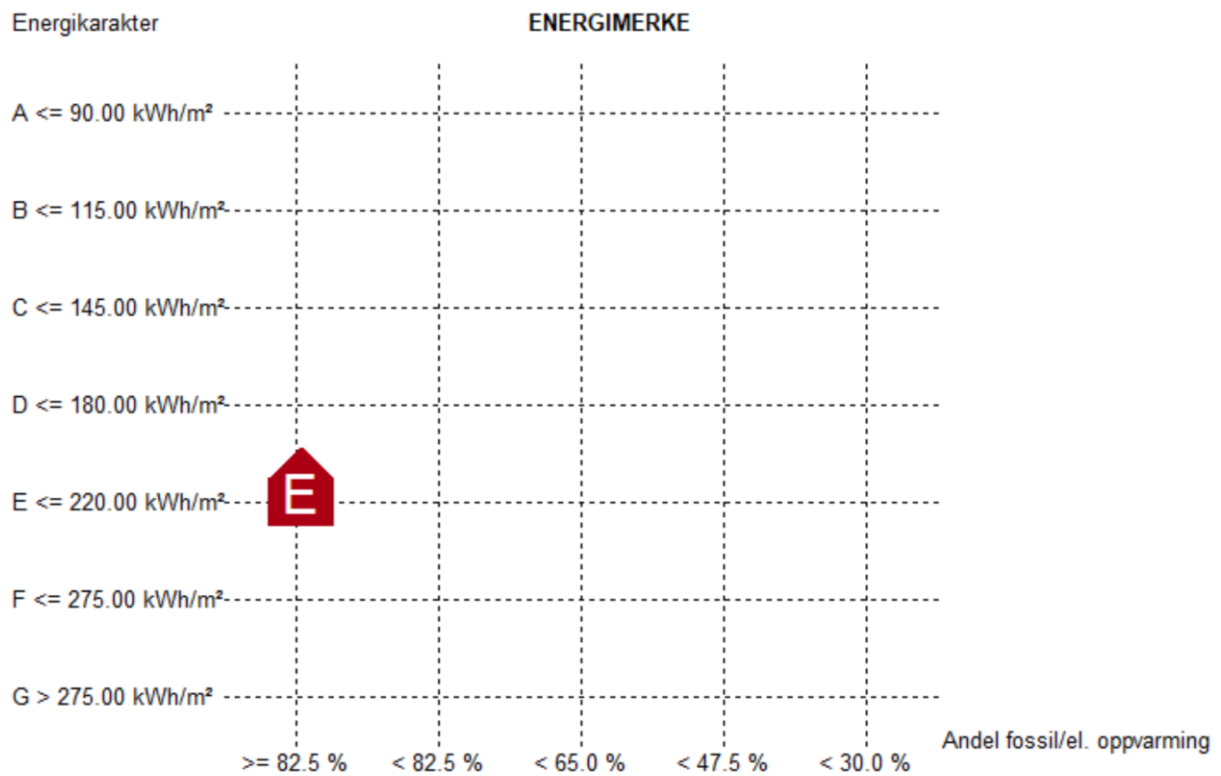
Tabell 19 viser evalueringen av den eksisterende situasjonen mot minstekravene i TEK17. Som tabellen viser, blir ingen av minstekravene nådd slik situasjonen er i dag.

Tabell 19: Evaluering av eksisterende bygning mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet fra Simien.

Minstekrav (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,34	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,44	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,34	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	2,0	1,2
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	3,0	1,5

7.1.4 Energimerke

Figur 40 viser energimerket bygningen får slik situasjonen er i dag. Bygningen vil få oppvarmingskarakter rød og energikarakter E som energimerke.

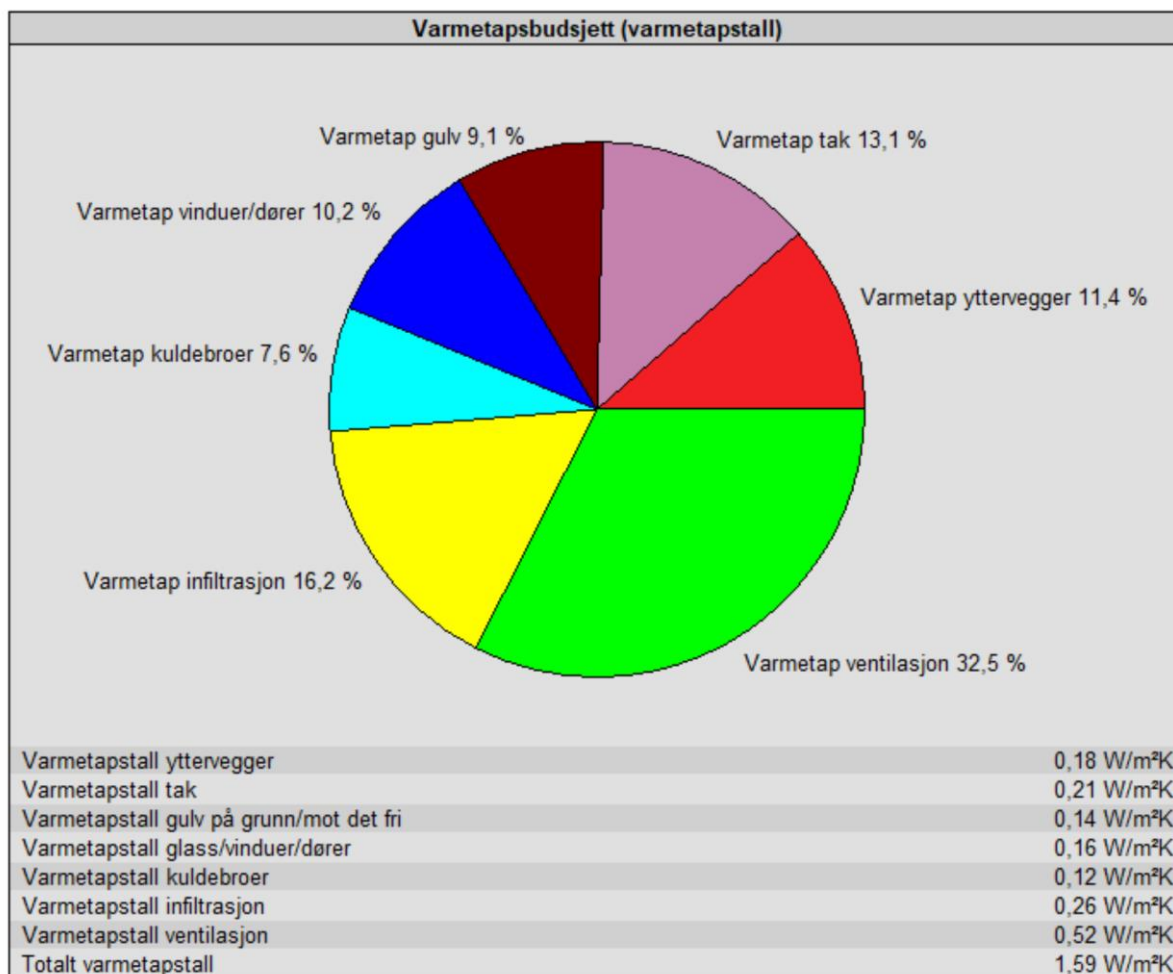


Beregnet levert energi normalisert klima: 213.34 kWh/m^2
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 96.1%

Figur 40: Energimerket til eksisterende bygning. Hentet fra Simien.

7.1.5 Varmetap

Figur 41 viser det beregnede varmetapsbudsjettet for kontorbygningen i Banehaven 4A i dag. Bygningen har i dag et beregnet totalt varmetapstall på $1,59 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 41: Varmetap i den eksisterende bygningen. Figur hentet i Simien.

7.2 Konsept 1

Resultatet av simuleringene for konsept 1, herunder energibehov, levert energi, evaluering mot forskriften og passivhusstandarden og energimerke, blir presentert under.

7.2.1 Netto energibehov

Tabell 20 viser det årlige netto energibehovet til kontorbygningen i Banehaven 4A ved gjennomføring av oppgraderingstiltakene i konsept 1. Tabellen viser at bygningen har et energibehov på 316 826 kWh, som er 105,4 kWh/m².

Tabell 20: Netto energibudsjett i konsept 1. Tabell hentet fra Simien.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	48569 kWh	16,2 kWh/m ²
1b Ventilasjonvarme (varmebatterier)	40678 kWh	13,5 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	15063 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter	56156 kWh	18,7 kWh/m ²
3b Pumper	3696 kWh	1,2 kWh/m ²
4 Belysning	56491 kWh	18,8 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	75322 kWh	25,1 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	20850 kWh	6,9 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	316826 kWh	105,4 kWh/m²

7.2.2 Levert energi

Tabell 21 viser den beregnede leverte energien til bygningen i konsept 1. Bygningen har en beregnet levert energi på 319 091 kWh, som er 106,1 kWh/m² per år.

Tabell 21: Beregnet levert til bygningen ved konsept 1. Tabell hentet fra Simien.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	191666 kWh	63,8 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	127425 kWh	42,4 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	319091 kWh	106,1 kWh/m²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	319091 kWh	106,1 kWh/m²

7.2.3 Evaluering mot forskriften

Tabell 22 viser evaluering av konsept 1 mot byggeforskriften (TEK17). Dersom tiltakene i konsept 1 blir implementert vil bygningen tilfredsstillere alle kravene i TEK17.

Tabell 22: Evaluering av konsept 1 mot TEK17. Tabell hentet i Simien.

Resultater av evalueringen		Beskrivelse
Evaluering av		
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller energirammen ihht. §14-2 (1)	
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekravene i §14-3	
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)	
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)	
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav	

Tabell 23 viser evalueringen av konsept 1 mot energirammen i byggeforskriften. Som tabellen viser, så har bygningen et samlet netto energibehov på 114,3 kWh/m² i evalueringen, da evalueringen bruker normerte verdier for internlast, driftstider og settpunkttemperatur. Energirammen blir nådd dersom tiltakene i konsept 1 blir implementert.

Tabell 23: Evaluering av konsept 1 mot energirammen i TEK17. Tabell hentet i Simien.

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)		Verdi
Beskrivelse		
1a Beregnet energibehov romoppvarming		11,7 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)		11,9 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)		5,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter		13,8 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper		1,4 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning		25,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr		34,5 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling		0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		10,9 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov		114,3 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov		115,0 kWh/m ²

Tabell 24 viser at konsept 1 vil tilfredsstille alle minstekravene i TEK17.

Tabell 24: Evaluering av konsept 1 mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet i Simien.

Minstekrav (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,16	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,14	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,0	1,2
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,6	1,5

7.2.4 Evaluering mot passivhusstandard

Tabell 25 viser evalueringen av konsept 1 mot passivhusstandarden (NS 3701). Bygningen får underkjent på samlede evalueringen mot forskriften ved implementering av tiltakene i konsept 1.

Tabell 25: Evaluering av konsept 1 mot passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Resultater av evalueringen		Beskrivelse
Evaluering mot NS 3701		
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstillter ikke kravet for varmetapstall	
Energiytelse	Bygningen tilfredsstillter ikke krav til energiytelse	
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillter ikke minstekrav til enkeltkomponenter	
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillter minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)	
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillter ikke alle krav til passivhus	

Tabell 26 viser evaluering av konsept 1 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Ingen av kravene til varmetapstall blir godkjent ved implementering av tiltakene i konsept 1.

Tabell 26: Evaluering av konsept 1 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Varmetapsbudsjett		Verdi
Beskrivelse		
Varmetapstall yttervegger		0,07
Varmetapstall tak		0,02
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri		0,03
Varmetapstall glass/vinduer/dører		0,23
Varmetapstall kuldebroer		0,06
Varmetapstall infiltrasjon		0,05
Totalt varmetapstall		0,47
Krav varmetapstall		0,40

Tabell 27 viser evaluering av konsept 1 mot kravene til energiytelse i passivhusstandarden. Som det fremkommer av tabellen vil kravet til kjølebehov og gjennomsnittlig belysning bli tilfredsstillt, mens kravet til oppvarmingsbehov blir underkjent.

Tabell 27: Evaluering av konsept 1 mot krav til energiytelse i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	27,4 kWh/m ²	20,0 kWh/m ²
Netto kjølebehov	5,9 kWh/m ²	6,3 kWh/m ²
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,0 W/m ²	4,0 W/m ²

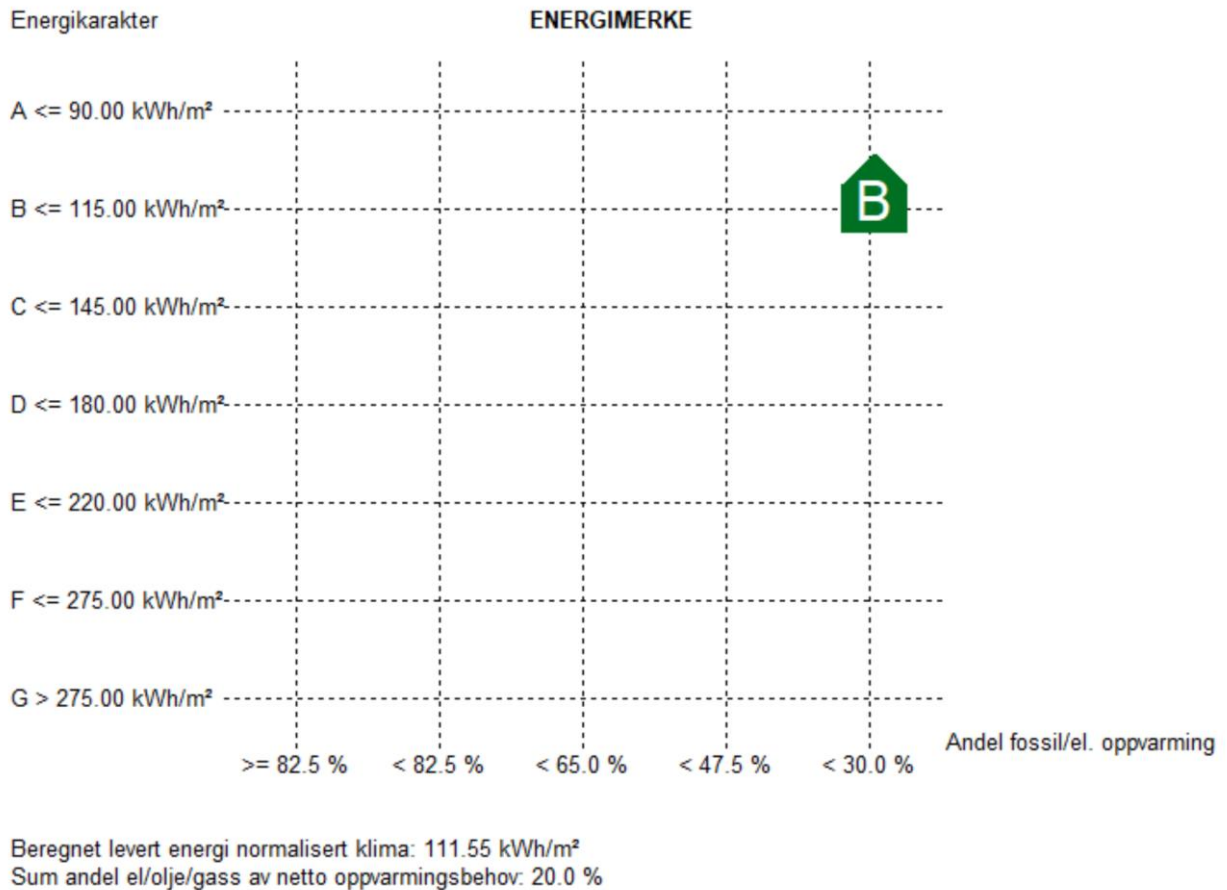
Tabell 28 viser evaluering av konsept 1 mot minstekravene til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Som det fremkommer i tabellen, blir kravet til temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren i ventilasjonen, SFP og lekkasjetall tilfredsstillt i henhold til standarden. Kravet til U-verdi for vinduer og dører eller kravet til normalisert kuldebro blir underkjent.

Tabell 28: Evaluering av konsept 1 mot minstekrav til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,00	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,06	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	80	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

7.2.5 Energimerke

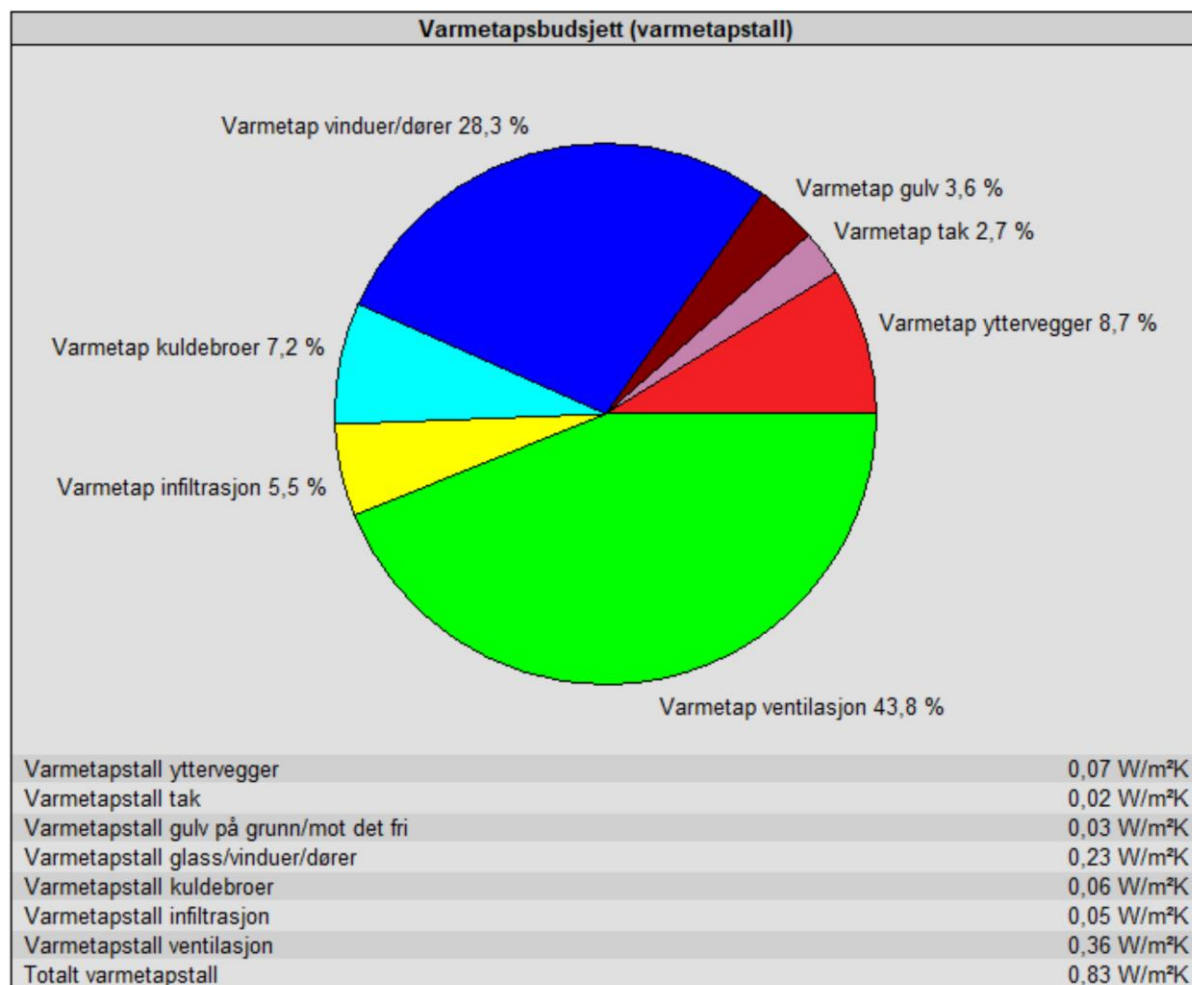
Figur 42 viser at dersom oppgraderingstiltakene i konsept 1 blir implementert vil bygningen få oppvarmingskarakter mørkegrønn og energikarakter B.



Figur 42: Energimerket til konsept 1. Hentet fra Simien.

7.2.6 Varmetap

Figur 43 viser det beregnede varmetapsbudsjettet for konsept 1. Bygningen får et totalt varmetapstall på 0,83 W/m²K.



Figur 43: Beregnet varmetapsbudsjett i konsept 1. Figur hentet i Simien.

7.3 Konsept 2

Resultatet av simuleringene for konsept 2, herunder energibehov, levert energi, evaluering mot forskriften og passivhusstandarden, energimerke og produsert energi blir presentert under.

7.3.1 Netto energibehov

Tabell 29 viser det årlige netto energibehovet til kontorbygningen i Banehaven 4A ved gjennomføring av oppgraderingstiltakene i konsept 2. Tabellen viser at bygningen har et energibehov på 204 732 kWh, som er 68,1 kWh/m².

Tabell 29: Netto energibudsjett i konsept 2. Tabell hentet fra Simien.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	26700 kWh	8,9 kWh/m ²
1b Ventilasjonvarme (varmebatterier)	17561 kWh	5,8 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	15063 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter	38757 kWh	12,9 kWh/m ²
3b Pumper	3114 kWh	1,0 kWh/m ²
4 Belysning	37661 kWh	12,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	56491 kWh	18,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	9384 kWh	3,1 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	204732 kWh	68,1 kWh/m ²

7.3.2 Levert energi

Tabell 30 viser den leverte energien som må tilføres bygningen i konsept 2 med vann-til-vann-varmepumpe som oppvarmingskilde, og produksjon av elektrisitet fra solceller på 80% av takarealet. Elektrisitetsbehovet til konseptet er på 171 731, som er 56,2 kWh/m². Av dette er det mulig å trekke fra 62 901 kWh (20,9 kWh/m²). Dersom den eksporterte elektrisiteten blir medregnet, gir dette en totalt levert energi på 72 740 kWh, som er 24,2 kWh/m².

Tabell 30: Beregnet levert til bygningen ved konsept 2. Tabell hentet fra Simien.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	147464 kWh	49,1 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	21267 kWh	7,1 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-62901 kWh	-20,9 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	105831 kWh	35,2 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-33091 kWh	-11,0 kWh/m ²
Netto levert energi	72740 kWh	24,2 kWh/m ²

7.3.3 Evaluering mot forskriften

Tabell 31 viser evaluering av konsept 2 mot byggeforskriften. Dersom tiltakene i konsept 2 blir implementert vil bygningen tilfredsstillere alle kravene i TEK17.

Tabell 31: Evaluering av konsept 2 mot TEK17. Tabell hentet i Simien.

Resultater av evalueringen		Beskrivelse
Energiramme	Bygningen tilfredsstillere energirammen iht. §14-2 (1)	
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillere minstekravene i §14-3	
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillere minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)	
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)	
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillere byggeforskriftenes energikrav	

Tabell 32 viser evalueringen av konsept 2 mot energirammen i byggeforskriften. Som tabellen viser, så har bygningen et samlet netto energibehov på 96,7 kWh/m² i evalueringen, da evalueringen bruker normerte verdier for internlast, driftstider og settpunkttemperatur. Energirammen blir nådd dersom tiltakene i konsept 2 blir implementert.

Tabell 32: Evaluering av konsept 2 mot energirammen i TEK17. Tabell hentet i Simien.

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)		Verdi
Beskrivelse		
1a Beregnet energibehov romoppvarming		3,1 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)		7,4 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)		5,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter		13,5 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper		1,4 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning		25,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr		34,5 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling		0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		6,7 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov		96,7 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov		125,0 kWh/m ²

Tabell 33 viser at konsept 2 vil tilfredsstillere alle minstekravene i TEK17.

Tabell 33: Evaluering av konsept 2 mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet i Simien.

Minstekrav (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,11	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,10	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,8	1,2
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,2	1,5

7.3.4 Evaluering mot passivhusstandard

Tabell 34 viser evalueringen av konsept 2 mot passivhusstandard (NS 3701). Bygningen får godkjent på samlede evalueringen mot forskriften ved implementering av tiltakene i konsept 2.

Tabell 34: Evaluering av konsept 2 mot passivhusstandard. Tabell hentet i Simien.

Resultater av evalueringen	
Evaluerings mot NS 3701	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredsstiller krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller alle krav til passivhus

Tabell 35 viser evaluering av konsept 2 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Kravet til varmetapstall blir godkjent ved implementering av tiltakene i konsept 2.

Tabell 35: Evaluering av konsept 2 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,05
Varmetapstall tak	0,02
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,03
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,19
Varmetapstall kuldebroer	0,02
Varmetapstall infiltrasjon	0,02
Totalt varmetapstall	0,33
Krav varmetapstall	0,40

Tabell 36 viser evaluering av konsept 2 mot kravene til energiytelse i passivhusstandarden. Som det fremkommer av tabellen vil kravet til både oppvarmingsbehov, kjølebehov og gjennomsnittlig belysning bli tilfredsstilt.

Tabell 36: Evaluering av konsept 2 mot krav til energiytelse i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	14,7 kWh/m ²	20,0 kWh/m ²
Netto kjølebehov	3,1 kWh/m ²	6,3 kWh/m ²
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,0 W/m ²	4,0 W/m ²

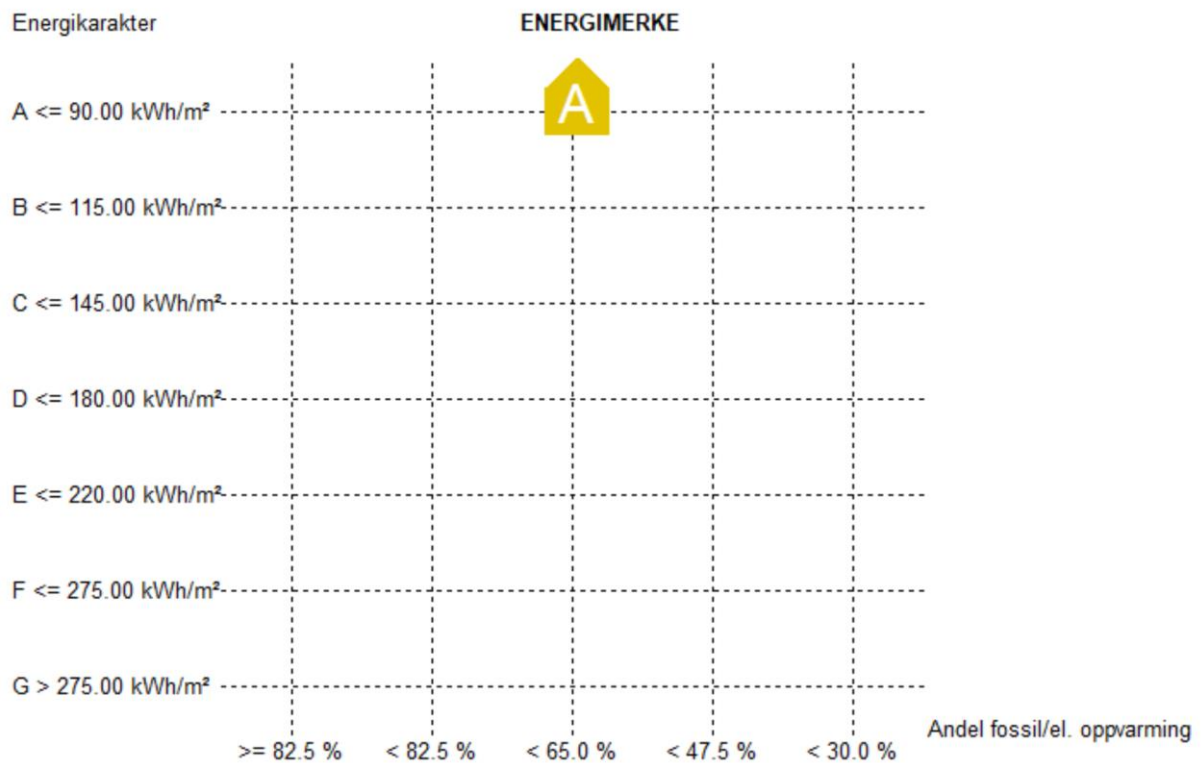
Tabell 37 viser evaluering av konsept 2 mot minstekravene til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Som det fremkommer i tabellen, blir krav tilfredsstilt i henhold til standarden.

Tabell 37: Evaluering av konsept 2 mot minstekrav til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,80	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,02	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	85	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,20	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,24	0,60

7.3.5 Energimerke

Figur 44 viser at dersom oppgraderingstiltakene i konsept 2 blir implementert vil bygningen få oppvarmingskarakter gul og energikarakter A som energimerke.

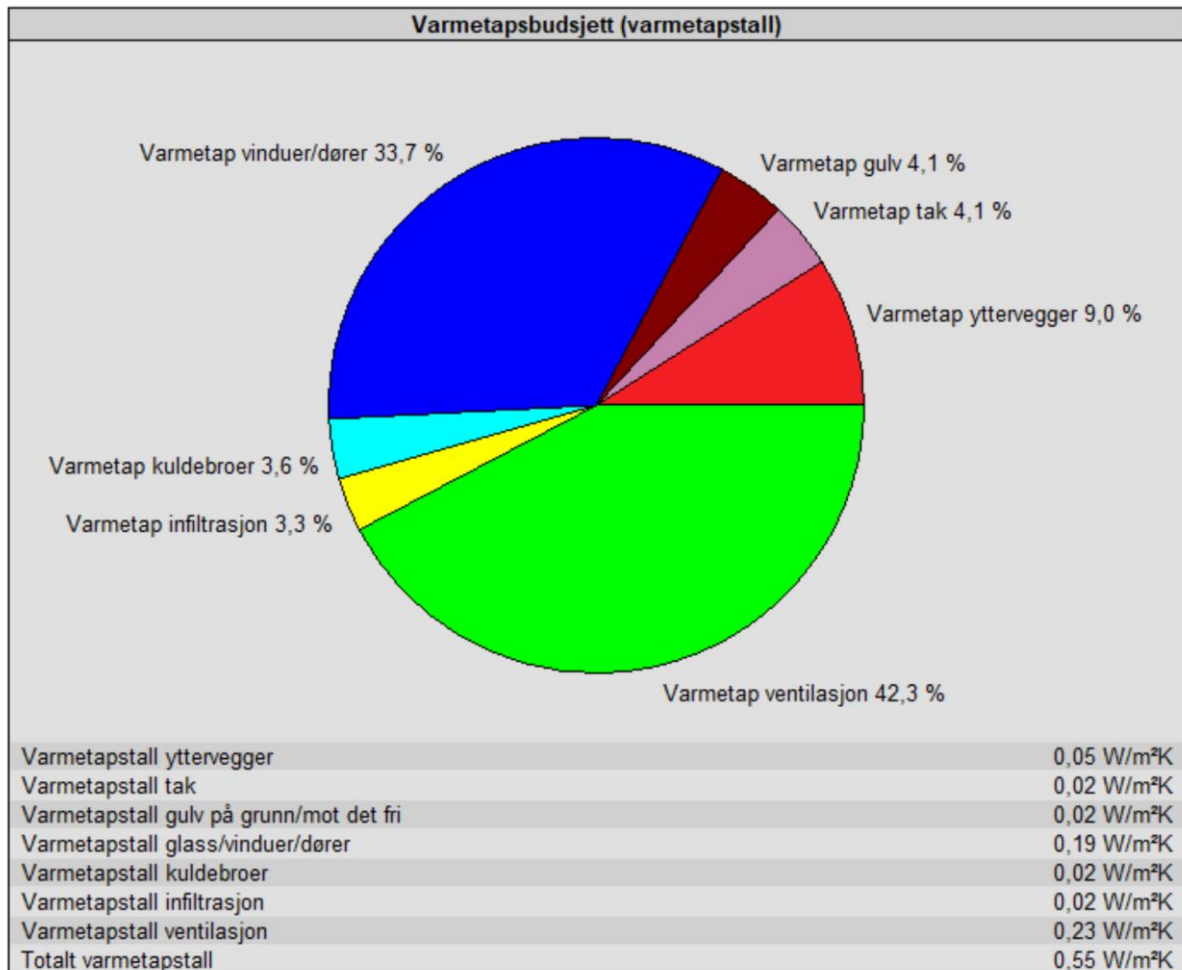


Beregnet levert energi normalisert klima: 60.52 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 49.3 %

Figur 44: Energimerket til konsept 2. Hentet fra Simien.

7.3.6 Varmetap

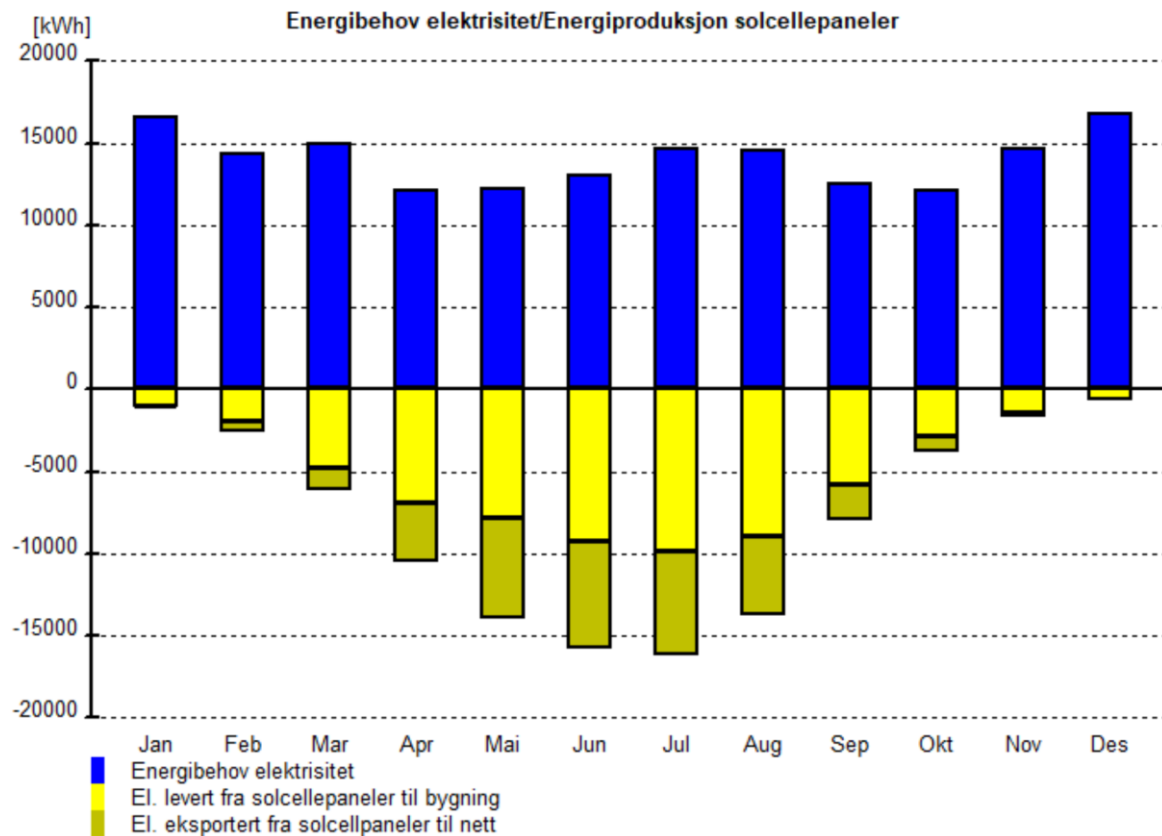
Figur 45 viser det beregnede varmetapsbudsjettet for konsept 2. Bygningen får et totalt varmetapstall på 0,55 W/m²K.



Figur 45: Beregnet varmetapsbudsjett i konsept 2. Figur hentet i Simien.

7.3.7 Produksjon av elektrisitet

Figur 46 viser bygningens energiproduksjon (gule stolper), mot energibehovet (blå stolper) ved installering av solcellepanel på tak. Total produsert mengde elektrisitet er da 95 991 kWh (31,9 kWh/m²).



Figur 46: Energibehov elektrisitet mot energiproduksjon ved solcellepaneler i konsept 2. Figur hentet i Simien.

7.4 Konsept 3

Resultatet av simuleringene for konsept 3, herunder energibehov, levert energi, evaluering mot forskriften og passivhusstandarden, energimerke og produsert energi blir presentert under.

7.4.1 Netto energibehov

Tabell 38 viser det årlige netto energibehovet til kontorbygningen i Banehaven 4A ved gjennomføring av oppgraderingstiltakene i konsept 3. Tabellen viser at bygningen har et energibehov på 167 503 kWh, som er 55,7 kWh/m².

Tabell 38: Netto energibudsjett i konsept 3. Tabell hentet fra Simien.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	15287 kWh	5,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	2590 kWh	0,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	15063 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter	29821 kWh	9,9 kWh/m ²
3b Pumper	2888 kWh	1,0 kWh/m ²
4 Belysning	37661 kWh	12,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	56491 kWh	18,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	7702 kWh	2,6 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	167503 kWh	55,7 kWh/m ²

7.4.2 Levert energi

Tabell 39 viser den leverte energien som må tilføres bygningen i konsept 3 med vann-til-vann-varmepumpe og fjernvarme som oppvarmingskilde. Behovet for elektrisitet og fjernvarme er på 147 217 kWh, som er 49,5 kWh/m². Av dette er det mulig å trekke fra 65 037 kWh (21,6 kWh/m²). Dersom den eksporterte elektrisiteten blir medregnet, gir dette en totalt levert energi på 26 722 kWh, som er 8,9 kWh/m².

Tabell 39: Beregnet levert til bygningen ved konsept 3. Tabell hentet fra Simien.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	126861 kWh	42,2 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	12078 kWh	4,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	8278 kWh	2,8 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-65037 kWh	-21,6 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	82180 kWh	27,3 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-55458 kWh	-18,4 kWh/m ²
Netto levert energi	26722 kWh	8,9 kWh/m ²

7.4.3 Evaluering mot forskriften

Tabell 40 viser evaluering av konsept 3 mot byggeforskriften. Dersom tiltakene i konsept 3 blir implementert vil bygningen tilfredsstillere alle kravene i TEK17.

Tabell 40: Evaluering av konsept 3 mot TEK17. Tabell hentet i Simien.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiramme	Bygningen tilfredsstillere energirammen ihht. §14-2 (1)
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillere minstekravene i §14-3
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillere minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillere byggeforskriftenes energikrav

Tabell 41 viser evalueringen av konsept 3 mot energirammen i byggeforskriften. Som tabellen viser, så har bygningen et samlet netto energibehov på 85,1 kWh/m² i evalueringen, da evalueringen bruker normerte verdier for internlast, driftstider og settpunkttemperatur. Energirammen blir nådd dersom tiltakene i konsept 3 blir implementert.

Tabell 41: Evaluering av konsept 3 mot energirammen i TEK17. Tabell hentet i Simien.

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	0,5 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1,4 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	5,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	10,9 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	1,2 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	25,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	6,5 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov	85,1 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	125,0 kWh/m ²

Tabell 42 viser at konsept 3 vil tilfredsstille alle minstekravene i TEK17.

Tabell 42: Evaluering av konsept 3 mot minstekravene i TEK17. Tabell hentet i Simien.

Minstekrav (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,11	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,09	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,10	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,8	1,2
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,2	1,5

7.4.4 Evaluering mot passivhusstandard

Tabell 43 viser evalueringen av konsept 3 mot passivhusstandarden (NS 3701). Bygningen får godkjent på samlede evalueringen mot forskriften ved implementering av tiltakene i konsept 3.

Tabell 43: Evaluering av konsept 3 mot passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot NS 3701	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredsstiller krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller alle krav til passivhus

Tabell 44 viser evaluering av konsept 3 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden (NS 3701). Kravet til varmetapstall blir godkjent ved implementering av tiltakene i konsept 3.

Tabell 44: Evaluering av konsept 3 mot varmetapsrammen i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,07
Varmetapstall tak	0,02
Varmetapstall golv på grunn/mot det fri	0,02
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,07
Varmetapstall kuldebroer	0,02
Varmetapstall infiltrasjon	0,02
Totalt varmetapstall	0,22
Krav varmetapstall	0,40

Tabell 45 viser evaluering av konsept 3 mot kravene til energiytelse i passivhusstandarden. Som det fremkommer av tabellen vil kravet til både oppvarmingsbehov, kjølebehov og gjennomsnittlig belysning bli tilfredsstilt.

Tabell 45: Evaluering av konsept 3 mot krav til energiytelse i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien.

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	5,9 kWh/m ²	20,0 kWh/m ²
Netto kjølebehov	2,6 kWh/m ²	6,3 kWh/m ²
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,0 W/m ²	4,0 W/m ²

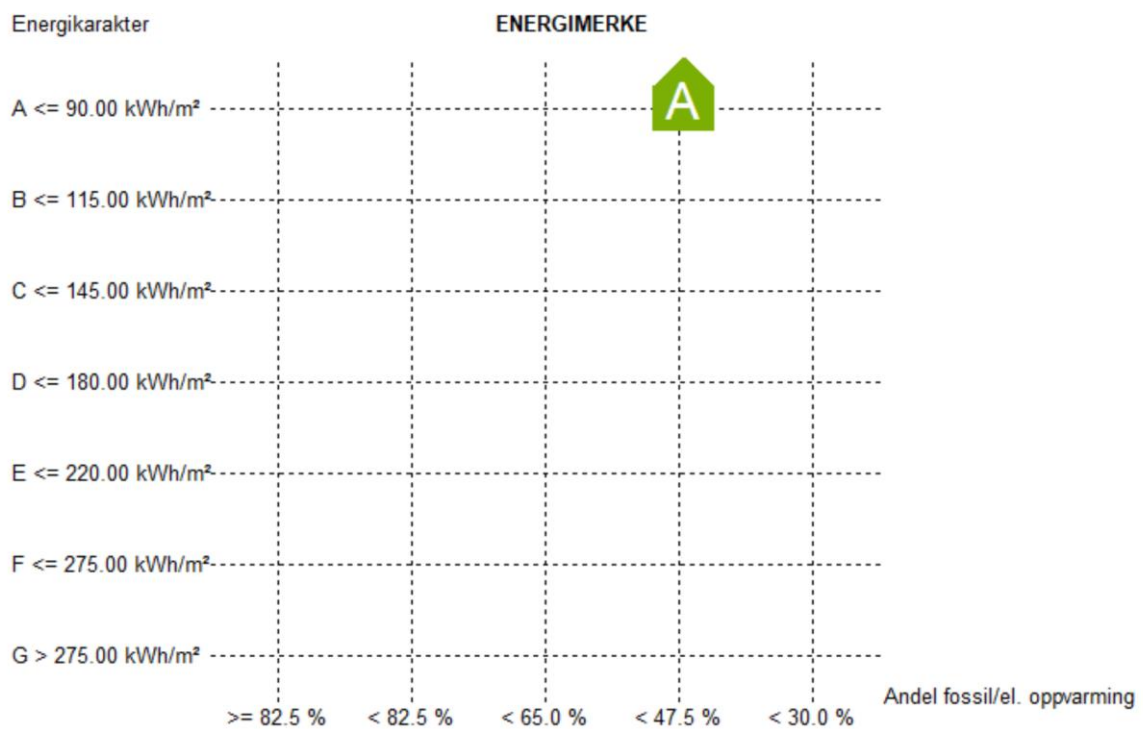
Tabell 46 viser evaluering av konsept 3 mot minstekravene til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Som det fremkommer i tabellen, blir krav tilfredsstilt i henhold til standarden.

Tabell 46: Evaluering av konsept 3 mot minstekrav til enkeltkomponenter i passivhusstandarden. Tabell hentet i Simien

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,80	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,02	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	92	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,00	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,24	0,60

7.4.5 Energimerke

Figur 47 viser at dersom oppgraderingstiltakene i konsept 3 blir implementert vil bygningen få oppvarmingskarakter lysegrønn og energikarakter A som energimerke.

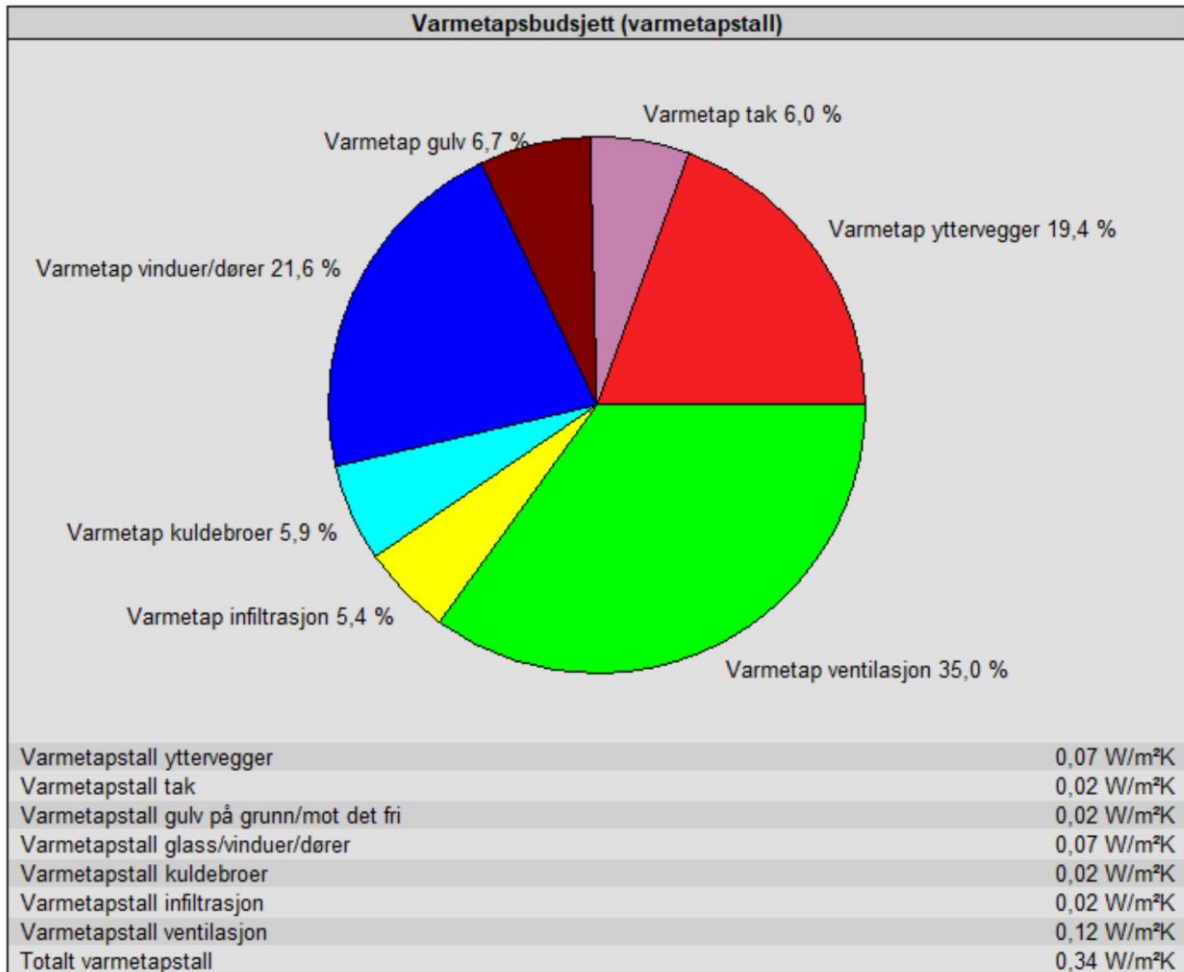


Beregnet levert energi normalisert klima: 49.94 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 32.1 %

Figur 47: Energimerket til konsept 3. Hentet fra Simien.

7.4.6 Varmetap

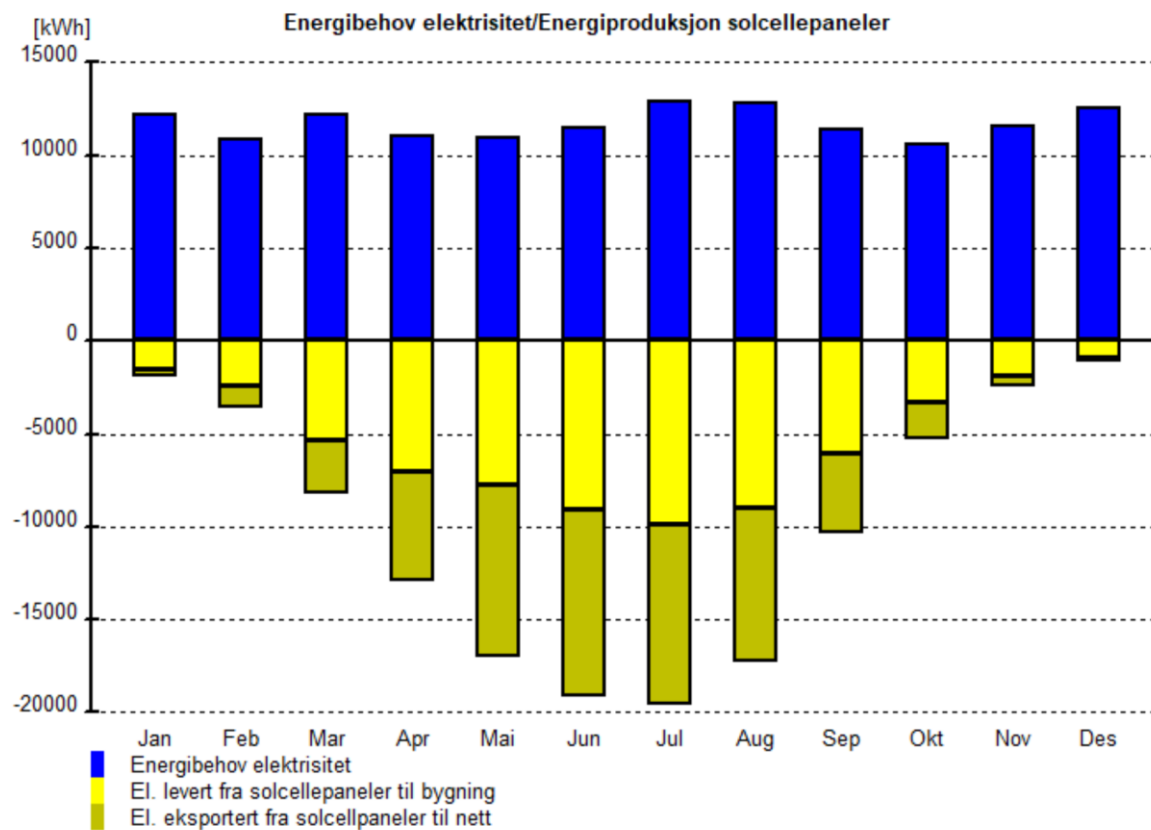
Figur 48 viser det beregnede varmetapsbudsjettet for konsept 3. Bygningen får et totalt varmetapstall på 0,34 W/m²K.



Figur 48: Beregnet varmetapsbudsjet i konsept 3. Figur hentet i Simien

7.4.7 Produksjon av elektrisitet

Figur 49 viser bygningens energiproduksjon (gule stolper), mot energibehovet (blå stolper) ved installering av solcellepanel på tak og i fasader. Total produsert mengde elektrisitet er da 120 494 kWh (40 kWh/m²).



Figur 49: Energibehov elektrisitet mot energiproduksjon ved solcellepaneler i konsept 3. Figur hentet i Simien.

7.5 Energibrønner

Figur 50 viser foreslått plassering av de fire energibrønnene som er nødvendig for å dekke oppvarmingsbehovet til bygningen ved bruk av en vann-til-vann-varmepumpe. Brønnene er plassert med en distanse på minst 15 meter i fra hverandre, og de er dimensjonert ut fra en effektiv lengde på 250 m per brønn og et effektuttak på 35 W/m pr. effektive løpemeter. Det er som illustrert i figuren nok plass til etablering av energibrønner på tomten.



Figur 50: Illustrasjon av foreslått plassering av energibrønner på tomten. Det er behov for 4 energibrønner for å dekke oppvarmingsbehovet. Figur hentet fra [80].

8 Diskusjon

I dette kapitlet skal de tre konseptene bli diskutert opp mot hverandre, mot eksisterende situasjon og mot tidligere studier slik at et av konseptene kan anbefales videre. Deretter blir svakheter med beregningene og avvik mellom beregnet og reell energibruk i bygninger diskutert. Til slutt kommer en generell refleksjon over muligheter og utfordringer med oppgraderinger av kontorbygg generelt, og for casen i denne studien.

8.1 Drøfting av oppgraderingstiltak

Tabell 47 viser en oversikt over de tiltenkte tiltakene i oppgraderingskonseptene. Under kommer en drøfting over fordeler og utfordringer med implementering av tiltakene.

Tabell 47: Oversikt over tiltakene i konsept 1, 2 og 3.

Tiltak	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3
Etterisolering av yttervegger	Bygge opp ny vegg med 200 mm utvendig kontinuerlig isolasjon	Bygge opp ny vegg 300 mm utvendig kontinuerlig isolasjon	Sandwichelementer med 150 mm PIR isolasjon plasseres på eksisterende vegg
Etterisolering gulv	Etterisolere med 200 mm EPS oppå eksisterende gulv	Meisle opp eksisterende gulv og legge 300 mm EPS isolasjon	Meisle opp eksisterende gulv og legge 300 mm EPS isolasjon
Nytt tak	Nytt kompakttak med 350 mm isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,034 \text{ W/(mK)}$.	Nytt kompakttak med 350 mm isolasjon med varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,031 \text{ W/(mK)}$	Nytt kompakttak med 400 mm isolasjon med varmekonduktivitet, $\lambda_d = 0,031 \text{ W/(mK)}$
Skifte vinduer	Vanlig åpningsvindu med U-verdi på $1 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fastkarmvindu med U-verdi på $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fastkarmvindu med U-verdi på $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Energiforsyning	Fjernvarme	Vann-til-vann-varmepumpe og elektrokjel	Vann-til-vann-varmepumpe og fjernvarme
Produksjon av elektrisitet	Ingen	550 m^2 monokrystallinske solceller på taket	560 m^2 monokrystallinske solceller på taket og 200 m^2 i sørvestvendt fasade
Ventilasjon	CAV SFP $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Temp. virkningsgrad 80%	DCV SFP $1,2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Temp. virkningsgrad 85%	DCV SFP $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Temp. virkningsgrad 92%
Belysning	Bevaring av eksisterende belysning	Et nytt effektivt, behovsstyrt belysningssystem basert på LED installeres	Et nytt effektivt, behovsstyrt belysningssystem basert på LED installeres

8.1.1 Tiltak på bygningskropp

Etterisolering av yttervegger

Det er i konsept 1 og 2 tiltenkt å rive de eksisterende ytterveggene og bygge opp nye vegger med utvendig isolasjon. Denne metoden har flere fordeler. Den eksisterende isolasjonen vil sannsynligvis være av dårligere kvalitet enn det som kan oppnås ved bruk av moderne isoleringsmaterialer. En utskiftning av isolasjonen vil derfor forbedre varmeisolasjonsevnen til ytterveggene og energieffektiviteten til bygningen. Ved å rive veggene vil det også være mulig å avdekke skjulte skader på konstruksjonen og hull i eksisterende vind- og dampspærre som fører til

stort varmetap. Fuktskader kan oppstå i isoleringsmaterialer over tid, noe som kan påvirke luftkvaliteten i bygningen negativt.

Ulemper med å rive eksisterende yttervegger og bygge opp nye er for det første at det kan være dyrt og tidkrevende. For det andre vil det være negativt i et bærekraftperspektiv, ved at store mengder avfall fra bygningen må bli håndtert. Dette kan bli spesielt problematisk i denne bygningen da internit vindsperreplatene i ytterveggene kan inneholde asbest som kan utgjøre en helsefare ved riving. Dersom dette er tilfelle må materialet håndteres på en måte som ikke er til fare for de utførende.

I konsept 3 er det tiltenkt å bevare eksisterende yttervegger og plassere prefabrikkerte sandwichelementer på eksisterende fasade. Fordelen med dette tiltaket er at prosjektets byggetid kan reduseres, noe som fører til reduserte arbeidskostnader. Ved at de eksisterende ytterveggene ikke rives, er det også mer tilrettelagt for at personer kan oppholde seg i bygningen mens renoveringsarbeidet pågår. Videre kan det oppnås høy varmeisolasjonsevne med tynnere isolasjonslag dersom sandwichelementene består av PUR- eller PIR-skum, som begge har svært en lav varmeledningsevne og dermed høy varmemotstand [30]. Det kan også oppnås svært lufttette bygninger ved bruk av sandwichelementer [33], noe som er en fordel da det er lagt til grunn et svært lavt lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi i konsept 3.

En ulempe med å plassere prefabrikkerte elementer på eksisterende fasader er risikoen for at eksisterende vegger er i en tilstand som kan føre til fukt og kondensproblemer. Det er i konsept 3 forutsatt at de eksisterende veggene kontrolleres og at de er i god fuktteknisk og byggeteknisk tilstand, men dette må kontrolleres før implementering av forslag. Det er også forutsatt at de prefabrikkerte elementene blir montert på riktig måte slik at det oppnås et kontinuerlig sperresjikt mellom elementene. Videre vil ytterveggene bli tykkere og ta opp mer utvendig plass, noe som kan være problematisk dersom andre bygninger ligger tett til den eksisterende bygningen. Etterisolering med prefabrikkerte elementer vil også potensielt påvirke den estetiske utformingen av bygget, da elementene hovedsakelig er standardiserte løsninger med lite fokus på estetikk.

Etterisolering av gulv

Det er i konsept 1 tiltenkt å etterisolere oppå det eksisterende betonggulvet, mens det i konsept 2 og 3 er tiltenkt å pigge opp eksisterende gulv og legge ny isolasjon. Ved å bevare det eksisterende gulvet vil arbeidet og kostnadene knyttet til oppmeisling av eksisterende gulv bli unngått, samtidig som varmeisolasjonsevnen til gulvet kan økes betraktelig. utfordringer med å etterisolere oppå eksisterende gulv er at gulvet blir hevet noe som vil redusere romhøyden i 1. etasje. Dette kan problematisk da det finnes krav til romhøyder i kontorbygninger. Installasjon av nytt ventilasjonssystem vil også kunne redusere romhøyden ytterligere, noe som må vurderes før implementering av tiltaket.

Videre vil heving av gulvet også føre til at heis og dører i 1. etasje ikke kan brukes. På den andre siden vil eier av bygningen slippe utgiftene og tiden knyttet alternativet som er å pigge opp eksisterende betonggulv og isolere på nytt. En annen ulempe med tiltaket er at kvaliteten på det eksisterende isolasjonsmaterialet er ukjent, noe som kan føre til at effekten av etterisoleringen blir dårligere enn antatt i denne oppgaven. Videre er det ukjent hvordan fukt fra grunnen påvirker gulvkonstruksjonen i dag. Tilkobling til fjernvarme vil også mest sannsynlig øke behovet for fuktsperre, da

fjernvarmeledningene under bygget fører til en økt oppadrettet varme- og fukttransport [31]. Det må derfor gjøres detaljerte beregninger for fukt før implementering av tiltaket.

Nytt tak

Det må i alle konseptene bygges et nytt tak da det skal bygges på to nye etasjer. Et kompakttak med tykkelse og varmekonduktivitet som i Tabell 47 vil kunne gi en tilstrekkelig U-verdi. Det forutsettes at dette taket blir bygd på en bygningsteknisk rett måte, både med hensyn til funksjonalitet, fukt og varmetap.

Utskifting av vinduer

Generelt sett vil det å bytte vinduer være et kostbart tiltak, men siden vinduer ofte er den delen av veggene som er dårligst isolert, vil det å skifte vinduer kunne medføre store energibesparelser og være en forutsetning for å oppnå et energiambisiøst bygg. Det er i konsept 1 tiltenkt å bytte vinduer til vanlige åpningsvinduer. Fordelen med åpningsvinduer er at brukerne av bygningen har mulighet til å tilpasse temperatur og frisklufttilførsel til individuelle preferanser, noe som ikke er mulig med faste vinduer. Ulempen er at åpningsvinduer ofte er vanskelig å få tette en faste vinduer, som er benyttet i konsept 2 og 3.

Tabell 48 gir en oversikt over U-verdiene for de beskrevne elementene som ble brukt som grunnlag i energisimuleringen av nåværende situasjon og de tre oppgraderingskonseptene.

Tabell 48: Oversikt over U-verdier for dagens situasjon og de tre konseptene.

Egenskap	Eksisterende	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,34	0,16	0,11	0,11
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,68 (0,34)	0,17 (0,14)	0,12 (0,10)	0,12 (0,10)
U-verdi tak [W/m ² K]	0,6 og 0,23	0,10	0,10	0,09
U-verdi vinduer [W/m ² K]	2	1	0,80	0,80

8.1.2 Tiltak tekniske systemer

Installering av nytt ventilasjonssystem ved oppgradering av bygninger er et aktivt energitiltak som er essensielt for å effektivisere energibruken i eksisterende kontorbygg [40]. Elementære faktorer for energisparing i ventilasjonssystemet er SFP-faktor og temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [27].

Det er i konsept 3 tiltenkt et behovsstyrt ventilasjonsaggregat med en SFP-faktor på 1 kW/(m³/s). En så lav SFP er mulig å få til basert på referanseprosjekter, men vil kunne kreve større dimensjoner på ventilasjonskanalene, noe som kan øke nødvendig himlingshøyde og areal. Dette kan bli et problem i eksisterende bygninger hvor det er begrensninger i tilgjengelig areal. I tillegg vil lavere SFP-verdier kunne føre til økte investeringskostnader [41], men tiltaket har vist seg kunne gi betydelige energisparende fordeler på lang sikt, og burde derfor vurderes ved oppgradering av en eksisterende bygning. For å finne den reelle SFP-faktoren i et ventilasjonsanlegg må faktorer som maksimal og

minimum nødvendig luftmengde være beregnet og kjent. Det i denne oppgaven brukt normerte luftmengder, og SFP-faktoren er derfor kun en estimert verdi. Ved implementering av konsept må det derfor foretas egne beregninger for ventilasjonsanlegget.

Det er i konseptene tiltenkt en temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner på 80, 85 og 92%. Det er mulig å få anlegg med temperaturvirkningsgrad på opptil 92% [27], og både Fredrik Selmersvei 4 og Solbråveien 23 klarte en temperaturvirkningsgrad på 85%. Derimot klarte ikke Powerhouse Kjørbo å opprettholde en temperaturvirkningsgrad på 87% i drift, derfor er det verdt å diskutere om en virkningsgrad på 92% er mulig å få til i de gitte omstendighetene i casen.

8.1.3 Tiltak på energiforsyning

Det er i konsept 2 og 3 tiltenkt installere en vann-til-vann-varmepumpe som henter energi fra energibrønner boret på egen tomt. En generell utfordring med dette tiltaket er plassbegrensning på tomten til den eksisterende bygningen. Det må være en distanse på 15-20 m mellom brønn [55], og antall brønner avhenger av bygningens effektbehov til oppvarming. Derfor vil det ved oppgradering av bygninger ikke alltid være mulig å basere oppvarming- og kjølebehovet på en vann-til-vann-varmepumpe.

Denne plassproblematikken gjelder også for installering av solceller. Det er ikke alltid nok tak- og fasadeareal til å dekke ønsket elektrisitetsproduksjon med solceller. I tillegg vil plassering av bygningen i forhold til skygge fra nærliggende bygninger og annen infrastruktur i tillegg til klimasted ha mye å si for mulig elektrisitetsproduksjon. Derfor vil det være en utfordring for både Banehaven 4A og andre kontorbygninger å installere nok solceller til å dekke energibehovet. Det er i konsept 2 og 3 tiltenkt å installere solceller på rundt 80% av taket. I konsept 3 er det i tillegg tiltenkt å installere solceller på 25% den sørvestvendte fasaden. Det burde foretas mer nøyaktige skyggeanalyser og beregninger før en fremtidig oppgradering for å stadfeste realistisk elektrisitetsproduksjon for solcellene. Dette kan gjøres i programvarer som er mer avanserte og spesialisert på solcelleproduksjon enn det Simien er.

I konsept 1 og 3 er det forutsatt at bygningen tilkobles og tar i bruk fjernvarme. Fordelene med fjernvarme er at det er en fornybar energikilde, det gir et behagelig inneklima og det er leveringssikkert [63]. I tillegg skal ikke prisen på fjernvarme overstige strømprisene. Utfordringene med fjernvarme er blant annet at det ikke tilbys over alt. I tillegg kan det i næringsbygg bli høye månedlige effektledd, noe som kan føre til høye kostnader når oppvarmingsbehovet er størst. Dette kan unngås dersom en energiforsyningen blir basert på en varmepumpe supplert med elektrisitetsproduksjon fra solceller.

På grunn av lite overskuddsenergi til fjernkjøling i området, og fordi effektiviteten til absorpsjonskjøling som regel synker ved stigende utetemperaturer, ble det i konsept 1 lagt til grunn sorptiv kjøling. Fordeler med sorptiv kjøling er lave driftskostnader, det er mulig å oppnå høyere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner, god kontroll på fuktighet [68]. I tillegg vil det ifølge beregningene i denne oppgaven være mulig å dekke hele kjølebehovet til bygningen. Derimot krever hvert aggregat noe mer plass enn et tradisjonelt ventilasjonsaggregat noe som vil kreve større grad av tilpasning ved bruk i eksisterende og nye bygninger [68]. Tilgjengelig plass til et slikt aggregat må derfor kartlegges nøyere før et slikt tiltak eventuelt implementeres.

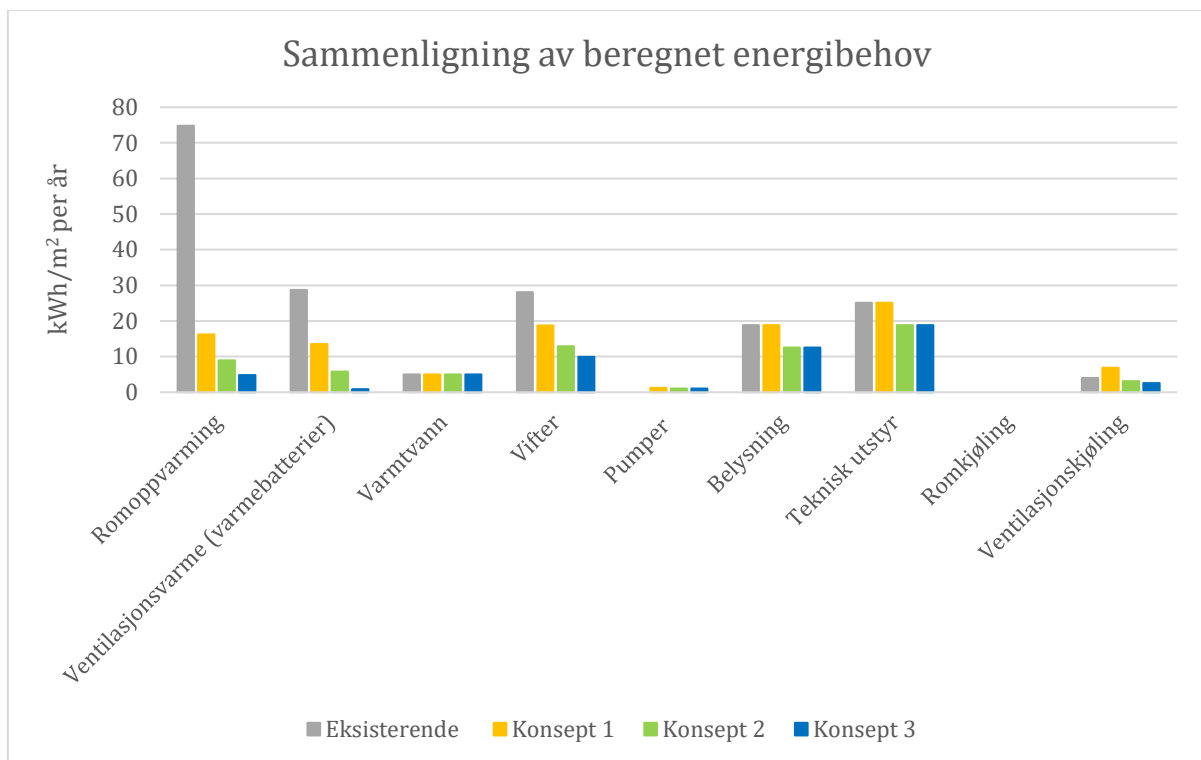
8.2 Sammenligning av oppgraderingskonsepter

Konseptene blir i dette kapitlet sammenlignet mot hverandre med tanke på energi (behov og levert energi), energimerke og varmetap. Deretter blir resultatene sett i lys av de ambisjonsnivåene og referanseprosjektene som ble presentert i kapitlet for kunnskapsbakgrunn.

8.2.1 Energibehov

Figur 51 viser en sammenligning av det spesifikke energibehovet til de ulike konseptene presentert i resultatkapitlet. Det spesifikke energibehovet vil si hvor mye energi bygningen er beregnet til å bruke fordelt på ulike energiposter. Belysning, teknisk utstyr og varmtvann vil være et direkte resultat av inndataene som ble brukt i simuleringen, og summeres over en ettårsperiode.

Romoppvarming og ventilasjonsvarme vil derimot være en simulering av den termiske tilstanden i bygningen over ett år.



Figur 51: Sammenligning av beregnet spesifikt energibehov for eksisterende situasjon mot konsepter.

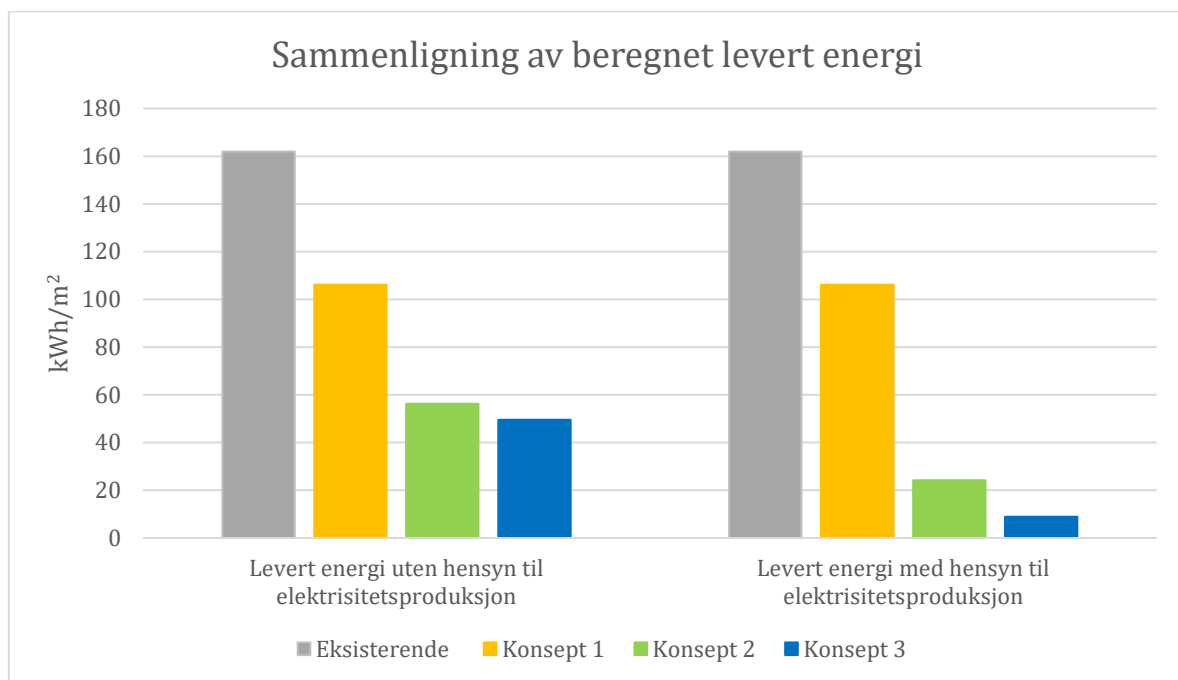
Som figuren viser, så har alle energipostene i konsept 1 utenom varmtvann et høyere spesifikt energibehov enn i konsept 2 og 3. Dette var forventet, da ambisjonsnivået til konsept 1 var å tilfredsstille energikravene i forskriften. Konsept 3 hadde det høyeste ambisjonsnivået i denne studien, noe som reflekteres i figuren.

NVE's rapporter om formålsdelt energibruk i ulike typer bygninger viste at drift av tekniske anlegg har stor betydning for kontorbygg [29], noe som også stemmer for Banehaven 4A. Som figuren viser, vil det å redusere SFP-faktoren fra 1,5 til 1 kW/(m³/s) nesten halvere energibehovet til vifter. Sammenligningen viser at det er et særlig potensiale for energisparing i postene romoppvarming og ventilasjonsvarme, og alle oppgraderingskonseptene vil medføre energieffektivisering av alle postene utenom belysning og teknisk utstyr. Dette fordi det i konsept 1 er tatt utgangspunkt i at dagens

Løsning for belysning og teknisk utstyr forblir det slik det er i dag. Videre er det tiltenkt en vann-til-vann-varmepumpe med en effektfaktor på 3,5 i konsept 2 og 3, noe som resulterer i lavere energibruk i postene romoppvarming, varmtvann, ventilasjonsvarme- og ventilasjonskjøling, da en slik varmepumpe avgir mer energi enn den får tilført [55].

8.2.2 Levert energi

Figur 52 viser en sammenligning av beregnet levert energi for de tre konseptene. Den leverte energien tar hensyn til systemvirkningsgraden til energiforsyningen, og er den energien som bygningen må få tilført utenfra (også kalt kjøpt energi). I konsept 1 er det lagt til grunn at fjernvarme dekker oppvarming- og kjølebehovet til bygningen. På grunn av tap i forbindelse med distribusjon og regulering av fjernvarmen, vil systemvirkningsgraden til være på fjernvarme rundt 0,83, noe øker mengde levert energi. I konsept 2 og 3 er det lagt til grunn en vann-til-vann-varmepumpe med en produksjonsvirkningsgrad på 3,5 og en systemvirkningsgrad på nærmere 3. Dette vil si at varmepumpen leverer mer energi enn den bruker. Som det kommer frem i figuren reduserer dette behovet for levert energi i bygningen betydelig. Videre vil produksjon av egen energi selvsagt redusere behovet for levert energi.



Figur 52: Sammenligning av beregnet levert energi til de ulike konseptene, uten og med hensyn til elektrisitetsproduksjon fra solceller.

Selv om det er energikilden som hovedsakelig bestemmer hvor mye energi en bygning trenger å få levert, vil en tett bygningskropp skape et mindre oppvarmingsbehov og dermed et mindre behov for levert energi. Konsept 2 og 3 består av mer ambisiøse tiltak på bygningskropp, inkludert bygningsdeler med lavere U-verdi enn i konsept 1, noe som resulterer i et mindre behov for levert energi.

Tabell 49 viser en oversikt over beregnet spesifikt energibehov og spesifikk levert energi for dagens situasjon og de tre konseptene. Resultatene viser at en oppgradering til konsept 1 vil medføre en reduksjon i spesifikt energibehov på 43% (80 kWh/m²). I konsept 2 og 3 vil det spesifikke

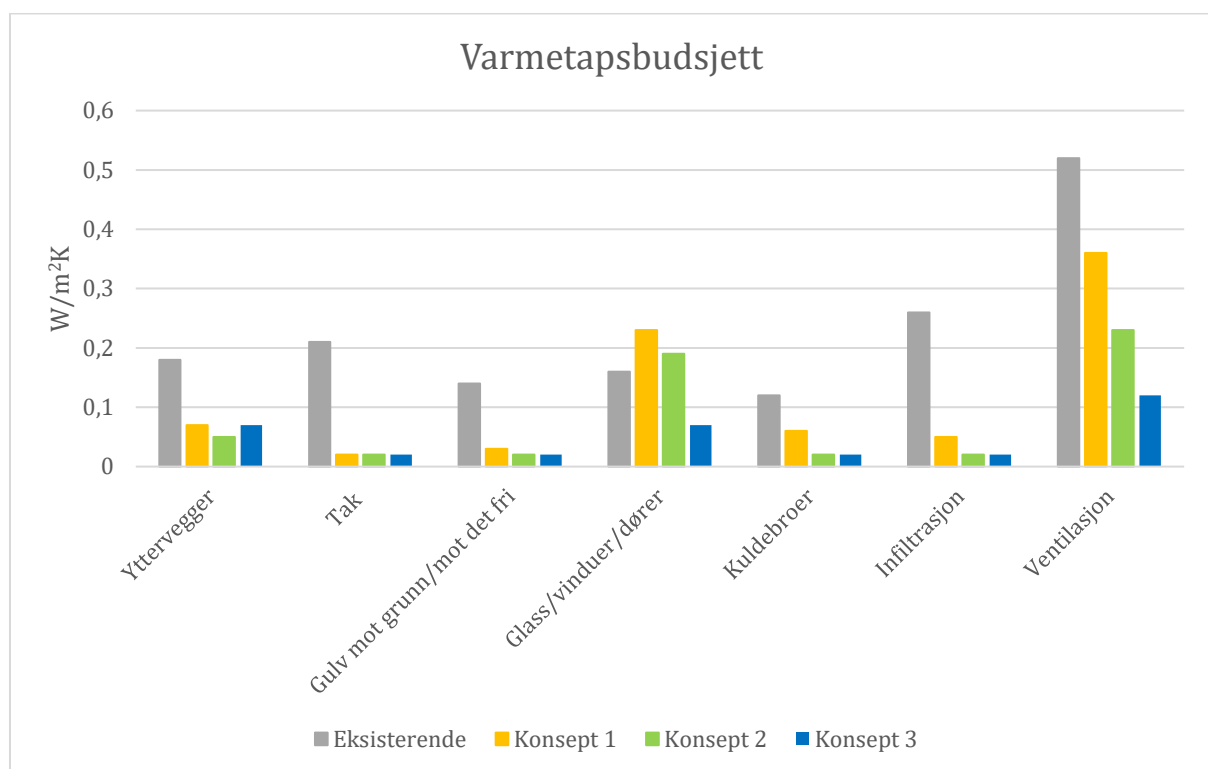
energibehovet reduseres med henholdsvis 63% (116,4 kWh/m²) og 70% (129,1 kWh/m²) i forhold til eksisterende situasjon. Den spesifikke leverte energien til bygningen kan reduseres med 95,1% (174,1 kWh/m²) dersom tiltakene i konsept 3 blir implementert. Konsept 2 vil føre til en reduksjon på i 86,8% (158,8 kWh/m²) og konsept 1 vil medføre en reduksjon på 42% (76,9 kWh/m²).

Tabell 49: Oversikt over spesifikt energibehov og spesifikk levert energi for dagens situasjon og de tre konseptene.

	Eksisterende	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3
Spesifikt energibehov [kWh/m ²]	184,5	105,4	68,1	55,7
Spesifikk levert energi [kWh/m ²]	183	106,1	24,2	8,9

8.2.3 Varmetap

Figur 53 viser en sammenligning av det spesifikke varmetapet for de ulike konseptene, fordelt på ulike varmetapsposter. Effekten av tiltak på bygningskroppen (etterisolering, utskifting av vinduer og tetting) og utskifting av ventilasjonssystem kommer tydelig frem i figuren. Figuren bekrefter også at det største varmetapet kommer også i denne kontorbygningen fra ventilasjonssystemet, noe som underbygger hvor viktig det er med et effektivt ventilasjonssystem med en høy temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner for å redusere energibruket i kontorbygninger.



Figur 53: Sammenligning av varmetap i konseptene.

Varmerapspostene for yttervegger og glass/vinduer/dører kan virke motsigende ifølge denne tabellen, da det i konsept 3 er lagt til grunn en langt bedre U-verdi for yttervegger og samme U-verdi for vinduer som i konsept 1. Grunnen til dette er at disse varmerapspostene er regnet ut etter formelen for transmisjonsvarmetap (Formel 2), derfor vil U-verdien og arealet til bygningsdelene avgjøre hvor stort varmetapet til bygningsdelen blir. I konsept 3 er det lagt til grunn et mindre vindusareal i ytterveggene, og dermed et større totalt areal for ytterveggene. Derfor vil det bli et tilnærmet likt varmetap per m² BRA i ytterveggene for konsept 1 og 3, selv om det i konsept 3 er lagt

til grunn en langt bedre U-verdi enn i konsept 1. Det samme gjelder som varmetapsposten glass/vinduer/dører, hvor det i den oppgraderte modellen er lagt til grunn et langt større vindusareal enn i den eksisterende situasjonen, og hvor det i konsept 3 er lagt til grunn langt færre vinduer enn i konsept 1.

8.2.4 Energimerke

Tabell 50 viser at det kun er konsept 2 og 3 som vil oppnå energikarakter A. Videre får konsept 1 den beste oppvarmingskarakteren, da det er tiltenkt at hele oppvarmingsbehovet skal bli dekket av fjernvarme, som regnes som en fornybar energikilde. Energiforsyningen i konsept 2 og 3 baseres hovedsakelig på vannbåren oppvarming med varmepumpe og energi fra energibrønner. Grunnen til at konsept 3 får bedre oppvarmingskarakter enn konsept 2 er fordi det i konsept 3 er beregnet at spisslastene dekkes av fjernvarme, mens de i konsept 2 dekkes av en elektrokjel.

Tabell 50: Oversikt av energimerke for de ulike konseptene.

Konsept	Energikarakter	Oppvarmingskarakter
Eksisterende	E	Rød
Konsept 1	B	Mørkegrønn
Konsept 2	A	Gul
Konsept 3	A	Lysegrønn

8.2.5 Ambisjonsnivåer

Det er i denne oppgaven valgt å presentere ambisjonsnivåer for energieffektive bygninger. Ambisiøse ambisjonsnivå for energieffektivisering er viktig for å klare klimamålene, men kan være utfordrende å oppnå i eksisterende bygninger. Det er i denne studien presentert tre konsepter med ulike ambisjonsnivå for energieffektivisering av kontorbygningen i Banehaven 4A. I konsept 1 ble det laveste ambisjonsnivået som er mulig ved en hovedombygging lagt til grunn, altså en oppgradering til dagens forskrift. I konsept 2 var ambisjonsnivået nesten nullenergibygning, og i konsept 3 var ambisjonsnivået å produsere overskuddsenergi på egen tomt.

Tabell 51 viser en evaluering av de tre oppgraderingskonseptene basert på den presenterte teorien om ambisjonsnivåer i kapittel 3.4. Alle konseptene oppnår minstekravet om oppgradering til dagens standard. Ved implementering av oppgraderingstiltakene i konsept 2 vil bygningen oppnå passivhusnivå og kunne klassifiseres som en nesten nullenergibygning. Konsept 3 vil i tillegg til å oppnå passivhusnivå og nesten nullenergibygning, bli klassifisert som et plusshus dersom Powerhouse sin beregningsmetodikk og regel om energifratrekk legges til grunn. Siden Banehaven 4A er et oppgraderingsprosjekt, får bygningen et energikrav på 10 kWh/m² ifølge Powerhouse sin plusshusdefinisjon. Konsept 3 har et beregnet levert energibehov på 8,9 kWh/m², noe som fører til at bygningen kan kalles en plussenergibygning dersom tiltakene i konsept 3 blir implementert [74].

Tabell 51: Potensial for oppnåelse av ambisjonsnivå for de ulike konseptene og eksisterende situasjon.

Ambisjonsnivå	Eksisterende	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3
TEK 17	Nei	Ja	Ja	Ja
Passivhus (NS 3701)	Nei	Nei	Ja	Ja
Nesten nullenergibygning (FutureBuilt og nasjonal definisjon)	Nei	Nei	Ja	Ja
Plusshus- FutureBuilt definisjon	Nei	Nei	Nei	Nei
Plusshus- Powerhouse definisjon	Nei	Nei	Nei	Ja

8.2.6 Sammenligning med referanseprosjekter

Powerhouse Kjørbo

Powerhouse Kjørbo viser at det er mulig å oppgradere et eksisterende kontorbygg med høyt energiforbruk til å bli et plusshus, ved å gjennomføre ambisiøse tiltak på bygningskroppen, tekniske systemer og energiforsyning. Kontorbygningene Banehaven 4A og Powerhouse Kjørbo har flere likheter: de er bygd på omtrent samme tid, begge har et bæresystem i betong og er modne for oppgradering.

Oppgradering av Powerhouse Kjørbo og konsept 3 i denne studien har mange likheter; både Kjørbo og konsept 3 er oppgradert til passivhusstandard med et oppvarmingssystem basert på varmepumper og energibrønner. I både Kjørbo og konsept 3 legges det til grunn lave U-verdier, kuldebroverdier og lekkasjetall. Powerhouse Kjørbo hadde etter rehabilitering et målt energiforbruk på 42,9 kWh/m² og en elektrisitetsproduksjon på 43,1 kWh/m² [6], ikke langt ifra konsept 3 som har et simulert energiforbruk 49,5 kWh/m² og en elektrisitetsproduksjon på 40,1 kWh/m². Selv om kontorbygningene har mange likheter, burde en sammenligning av de to kontorbygningene gjøres med forsiktighet, da faktorer som bygningsmasse, klimasted, driftsforhold, egnede forhold til solceller og brukervaner kan føre til store variasjoner i energibruken.

Solbråveien 23 og Fredrik Selmers vei 4

Kontorbygningene Solbråveien 23 og Fredrik Selmers vei 4 viser også at det er mulig å oppgradere utdaterte og energislukende bygninger fra 80-tallet til moderne, energieffektive kontorbygninger. I begge tilfellene bygningene ble yttervegger og tak etterisolert, vinduer ble byttet, ventilasjonssystemet ble byttet ut med et behovsstyrt ventilasjonssystem med gode virkningsgrader og lav spesifikk vifteeffekt og det ble lagt om til et vannbårent system basert på varmepumper og fjernvarme. Solbråveien 23 fikk redusert sitt energiforbruk fra 250 kWh/m² til 80 kWh/m² ved renovering [29]. Fredrik Selmers vei 4 hadde før oppgradering et energiforbruk på 170 kWh/m² [38], ikke langt unna Banehaven 4A sitt energiforbruk på 162 kWh/m². Etter oppgradering fikk bygningen et energiforbruk på 69kWh/m², ikke langt unna det beregnede energiforbruket i konsept 2.

8.3 Svakheter ved energiberegningene

Energisimuleringer i Simien kan ha noen svakheter som bør tas i betraktning. Det vil i dette kapittelet komme en drøfting av disse svakhetene. Videre vil det bli diskutert årsakene til eventuelle avvik mellom beregnet og faktisk energibruk.

8.3.1 Standardiserte verdier

I energisimuleringene av det eksisterende kontorbygget og de tre konseptene blir det benyttet standardiserte verdier for driftstider, luftmengder, og settpunkttemperaturer og interlaster som tappevann og varmetilskudd fra personer i Simien. Disse standardiserte verdiene er, som det ligger i ordet, standardiserte og ikke spesifikke for enhver bygning og dens reelle bruk. Siden denne oppgaven omhandler en kontorbygning, er driftstiden satt til å være 12 timer i døgnet, fem dager i uka hele året. I realiteten vil det sannsynligvis være dager og uker hvor det forekommer driftstimer både over og under denne standardiserte verdien.

Kontorbygninger har mellom 20- og 60% samtidig bruk av rom [29]. Imidlertid vil antall ansatte per m² variere fra kontorbygning til kontorbygning. Planløsning (cellekontor eller kontorlandskap) og graden av hjemmekontor er to faktorer som kan ha stor betydning for hvor mange mennesker som bruker bygningen. Denne variasjonen i tilstedeværelse fra bygning til bygning vil føre til at blant annet luftmengdebehovet og energibehov til interlaster vil variere fra bygning til bygning.

8.3.2 Estimater og antagelser

For å oppnå realistiske energisimuleringer er det avgjørende at inndataene som brukes er presise og nøyaktige. Tegningsgrunnlaget som benyttet for innsamling av data til simuleringen av den eksisterende bygningen er fra 1975, og bærer preg av dårlig kvalitet. Dette kan ha ført til feilavlesninger. I tillegg kan menneskelige feil, som feiltolkninger og unøyaktigheter ved manuell innlegging av data i simuleringen, ha ført til feil i beregningene. Videre er det gjort estimater for enkelte verdier som for eksempel U-verdien for taket i 2. etasje i den eksisterende bygningen. Dette kan føre til bruk av enten for høye eller for lave verdier, noe som kan påvirke resultatene. På grunn av utfordringer med å innhente FDV-dokumentasjonen for ventilasjonssystemet, ble det tatt beslutning om å benytte estimerte verdier for spesifikk vifteeffekt og temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren. Denne avgjørelsen ble tatt i samarbeid med fagpersoner, men det er likevel mulig at dette har påvirket energiberegningene.

8.3.3 Begrensninger i Simien

Simien er et brukervennlig program som gir oversiktlig dokumentasjon av data. Derimot benytter Simien seg av forenklete modeller for å representere virkelige systemer og fenomener. Dette kan føre til unøyaktigheter og avvik fra virkeligheten, selv om korrekt inndata er lagt inn i programvaren på riktig måte [78]. Det er eksempelvis ikke mulig å simulere et DCV- anlegg i Simien. Det ble derfor tatt kontakt med Programbyggerne som anbefalte å bruke et VAV-anlegg for simuleringer i Simien, men dette kan være en svakhet med beregningene.

8.3.4 Brukervaner

Energisimuleringer i Simien fokuserer primært på bygningstekniske aspekter og tar vanligvis ikke hensyn til menneskelig atferd og bruksmønstre. Brukervanene til de som bruker en bygning vil påvirke den reelle energibruken, og det er derfor viktig at en bygning er prosjektert til den tiltenkte bruken av bygningen, og at brukerne får opplæring om hvordan deres handlinger påvirker energibehovet til bygningen. Derimot er det viktig at målsetningen om energieffektivisering ikke går på bekostning av brukernes komfort og inneklima.

Det er i denne oppgaven tatt utgangspunkt i en settpunkttemperatur på 21 °C i driftstiden og 19 °C utenfor driftstiden. Foretrukket temperatur vil variere fra person til person, og de fleste ønsker å ha muligheten til å regulere temperaturen på arbeidsplassen sin manuelt. I konsept 2 er det planlagt vinduer i fastkarm, noe som vil si at brukerne ikke har mulighet til å regulere temperatur og luftmengde i form åpning og lukking av vinduene. Dette er noe som må tas i betraktning før implementering av tiltaket, da det kan være i strid med ønsket til brukerne av bygningen. Videre vil driftspersonell ha mye å si for effektiv drift av bygninger. Driftspersonellet i noen kontorbygninger kan ha implementert et effektivt energioppfølgingsystem som systematisk kartlegger og optimaliserer bygningens energibruk. Mens driftspersonellet i andre kontorbygninger kan ha fokus på andre prioriterte oppgaver og dermed ha mindre oppmerksomhet rettet mot energieffektivitet.

8.3.5 Avvik mellom prosjektert levert energi og faktisk forbruk

For å kunne avdekke graden av energieffektivisering ved implementering av oppgraderingstiltak i en bygning, er det helt sentralt å se på det nåværende energiforbruket. Dette gjøres for å sammenligne nåværende situasjon mot en fremtidig renovert bygning. Det nåværende energiforbruket kan enten hentes inn fra strømmålinger og faktura fra energileverandører eller beregnes i ulike programvarer.

Ved å innhente det målte energibruket til en bygning vil man få en god pekepinn på hva bygningen faktisk bruker ved at den er basert på den reelle bruken til bygningen. En ulempe ved å basere seg utelukkende på denne målte verdien, er at avvik for hva som faktisk blir målt kan oppstå da kontorbygninger ofte har flere strømmålere og leietakere, og dermed flere strømfakturaer. Dersom en eller flere fakturaer eller målere blir utelatt blir sammenligningsgrunnlaget feil. På den andre siden kan det å bruke den simulerte energibruken som eneste sammenligningsgrunnlag føre til avvik fra ved at den beregnede energibruken baseres på en rekke forutsetninger og standardverdier basert på valgt bygningskategori og klimasted. Powerhouse Kjørbo er et eksempel på en bygning hvor den forventede leverte energien under prosjektering var lavere enn den målte leverte energien de første to årene. I dette tilfellet var årsaken til avviket mellom beregnet og målt energibruk blant annet høyere energiforbruk enn beregnet i energipostene belysning og ventilasjon [77].

På bakgrunn faktorene nevnt over, ble energiforbruket til den eksisterende bygningen i denne oppgaven både innhentet fra strømmålinger de siste fire årene og beregnet ved energisimuleringer i Simien. Tabell 52 viser avviket mellom det simulerte og det målte energiforbruket for kontorbygningen i Banehaven 4A. Det målte forbruket er tatt fra år 2021, da det var i dette året bygningen hadde høyest sammenlagt energiforbruk i løpet av de siste fire årene. Tabellen viser at det simulerte energiforbruket er noe høyere enn det målte forbruket. Dette avviket vil sannsynligvis være et resultatet av bruk av standardiserte og estimerte verdier, brukervaner, beregnet U-verdi i

forhold til realistiske U-verdier, og avvik mellom de inndata som ble anvendt i energisimuleringen og faktiske verdier.

Tabell 52: Sammenligning av simulert og målt energiforbruk i kontorbygningen i Banehaven 4A. Verdier hentet fra case- og resultatkapittelet.

Energiforbruk	Simulert i Simien	Målt forbruk (i 2021)	Avvik
Totalt [kWh]	292 671	259 906	32 765
Spesifikt [kWh/m ²]	183	162	21

8.4 Overordnet refleksjon og anbefalt konsept

I dette kapittelet vil det bli presentert en helhetlig refleksjon over det utførte arbeidet i forbindelse med denne masteroppgaven. Videre vil det bli drøftet utfordringer som er identifisert gjennom analysen av energieffektiviseringspotensialet til en eksisterende kontorbygning. Til slutt vil det bli gitt en anbefaling av et konsept basert på de oppnådde resultatene og drøftingen som er gjennomført i diskusjonskapittelet.

8.4.1 Generelt

Energieffektivisering av eksisterende bygninger er avgjørende for å redusere energiforbruket og for å redusere den globale oppvarmingen. Det er i denne oppgaven blitt gjennomført et casestudie av en eksisterende kontorbygning for å se hvordan en oppgradering kan forbedre energieffektiviteten til bygningen. Resultatet av casestudiet underbygger hypotesen om at en oppgradering av en eksisterende kontorbygning kan føre til store reduksjoner i energibruk. Det viser også at det er teoretisk mulig at en eksisterende kontorbygning oppgraderes til passivhus, nesten nullenergibygninger og plussenergibygninger.

Det ble i denne oppgaven gjennomført simuleringer av tre ulike konsept for en mulig oppgradering av kontorbygningen i Banehaven 4A. Det ble i forkant av utviklingen av konseptene utført et systematisk litteratursøk for å kunne integrere forsknings- og erfaringsbasert kunnskap i utviklingen av konseptene. Oppgraderingstiltakene ble derfor ikke tatt ut av løse luften, men er basert på tidligere gjennomførte og vellykkede oppgraderingsprosjekter som for eksempel Powerhouse Kjørbo.

Konsept 1 viser hvordan en oppgradering til dagens standard kan gjennomføres, mens konsept 2 viser hvordan kontorbygningen kan oppgraderes til å bli en nesten nullenergibygning. Konsept 3 hadde plussenergibygning som ambisjonsnivå. Ved gjennomføringen av energisimuleringer viste det seg at dette ikke var mulig dersom vindusandelen i den foreløpige arkitektmodellen ble lagt til grunn. I og med at prosjektet fortsatt befinner seg i en tidligfase, og endringer er forventet å komme, ble det i konsept 3 lagt til grunn at vindusandelen reduseres betydelig i forhold til det som er foreslått i den foreløpige arkitektmodellen. Dette viser viktigheten av samarbeid mellom arkitekt, bygningsfysikere og energirådgivere i tidligfasen av et prosjekt dersom et så ambisiøst ambisjonsnivå som plussenerginivå skal oppnås.

8.4.2 Utfordringer med energieffektivisering av eksisterende kontorbygninger

Det har gjennom dette prosjektet blitt identifisert flere mulige utfordringer og hindringer med energieffektivisering av eksisterende kontorbygninger. Generelt for oppgradering av eksisterende bygninger er at den eksisterende bygningsmassen kan sette begrensninger for hva som kan oppnås innenfor rimelige grenser. Dette kan eksempelvis være tilgjengelig areal til tekniske installasjoner slik som nytt ventilasjonssystem og solceller. I tillegg vil etterisolering av bygningsdeler kunne skape plassproblematikk i den eksisterende bygningen. Videre vil muligheten for å utnytte fornybare og energieffektive energikilder avhenge av bygningens geografiske plassering, noe som vil si at ikke alle kontorbygninger har muligheten til å eksempelvis tilkobles fjernvarme eller utnytte seg av grunnvarme. Andre utfordringer, som økonomiske og juridiske barrierer, er ikke inkludert i denne rapporten, men det er viktig å erkjenne at disse faktorene i virkeligheten kan ha betydelig innvirkning på mulighetene og begrensningene for gjennomføring av energieffektiviseringstiltak.

8.4.3 Anbefalt konsept og overføringsverdi til andre prosjekter

På bakgrunn av resultatet av energisimuleringer og etter vurdering av tiltakene foreslått i de ulike konseptene vil det anbefales at tiltakene i konsept 3 implementeres i en fremtidig oppgradering av Banehaven 4A. Blant de presenterte konseptene i denne oppgaven, har dette konseptet det største teoretiske energisparingspotensialet. I tillegg er tiltakene i konseptet foreløpig vurdert som praktisk gjennomførbare. Imidlertid er det viktig å være oppmerksom på at dette kun er et teoretisk potensial. Derfor anbefales det at flere vurderinger gjennomføres før tiltakene i konseptet blir implementert. Dette vil sikre en grundigere og mer omfattende evaluering av potensielle resultater og effekter før beslutninger tas om implementering av tiltakene.

Masteroppgaven er avgrenset til å se på oppgraderingen av et spesifikt kontorbygg som er oppført i 1976, men flere av de foreslåtte oppgraderingstiltakene kan betraktes som relevante for andre kontorbygg. Kontorbygningen i Banehaven 4A representerer karakteristiske trekk fra sin tid, der praktiske hensyn har vært prioritert fremfor energieffektivitet. Som et resultat er det et betydelig potensial for energisparing, og overføringsverdien av disse tiltakene til andre lignende prosjekter kan også være betydelig.

9 Konklusjon

Analysen av den eksisterende kontorbygningen i Banehaven 4A og energisimuleringen av tre ulike oppgraderingskonsept for bygningen ga bakgrunn for å svare på forskerspørsmålet i denne masteroppgaven. Forskerspørsmålet skal besvares gjennom følgende underspørsmål:

Med utgangspunkt i det eksisterende kontorbygget i Banehaven 4A;

Hvilke bygningsmessige tiltak, energikonsept og tekniske løsninger må legges til grunn for at kontorbygningen skal oppfylle dagens krav til energieffektivitet?

- Samtlige av de presenterte oppgraderingskonseptene i denne rapporten vil føre til at bygningen oppfyller forskriftens krav til energieffektivitet.
- Konsept 1 består derimot av de minst ambisiøse tiltakene på bygningskropp, energiforsyning og tekniske systemer, og vil kun være tilstrekkelig dersom målet med oppgraderingen er å oppfylle energikravene i forskriften. De viktigste tiltakene i konsept 1 var etterisolering, utskifting til et effektivt CAV ventilasjonsanlegg og omlegging til fjernvarme.

Hvordan kan ambisjonsnivåene nesten nullenergibygning og plussenergibygning realiseres?

- Målsetningen om nesten nullenergibygning blir nådd i både konsept 2 og 3.
- Konsept 3 oppfyller kravene i Powerhouse sin definisjon av plussenergibygning, forutsatt en reduksjon av vindusareal i den foreløpige arkitektmodellen.
- De viktigste tiltakene i konsept 2 og 3 var etterisolering, utskifting til et effektivt DCV ventilasjonsanlegg, omlegging til vann-til-vann-varmepumpe med energibrønner og installering av solceller.

Hvor stort er potensialet for energisparing ved implementering av energieffektiviserende oppgraderingstiltak på den eksisterende kontorbygningen?

- En implementering av tiltakene presentert i konsept 1, 2 eller 3 kan redusere bygningens energiforbruk med henholdsvis 42, 86,8 og 95,1 %, basert på beregnet levert energi.

Det er nødvendig å betrakte de tre underspørsmålene i sammenheng for å besvare det overordnede forskerspørsmålet i denne oppgaven:

Hvordan kan energibruken i en eksisterende kontorbygning reduseres ved implementering av energieffektiviserende oppgraderingstiltak?

- Potensialet for energisparing avhenger av flere faktorer som geografisk plassering og begrensninger i den eksisterende bygningsmassen.
- De viktigste tiltakene for casen i masterprosjektet var etterisolering, utskifting til et effektivt DCV ventilasjonsanlegg, omlegging til vann-til-vann-varmepumpe med energibrønner og installering av solceller.
- Dersom casen oppgraderes til å oppfylle TEK17-standard kan en reduksjon i energiforbruk på 34,5% oppnås.
- Det er mulig å oppgradere eksisterende kontorbygninger til å oppfylle mer ambisiøse ambisjonsnivå som nær nullenergibygning og plussenergibygning.

- En oppgradering til ambisjonsnivået nær nullenergibygning vil kunne medføre en reduksjon i energiforbruk på 85,1%.
- En oppgradering til Powerhouse sin definisjon av plussenergibygning vil kunne medføre en reduksjon i energiforbruk på 94,5%.

10 Anbefalinger

Gitt omfanget av den undersøkte problemstillingen i denne masteroppgaven, avdekker analysen flere områder som krever ytterligere utforskning og undersøkelse. Det vil derfor avslutningsvis bli sett på to aspekter for anbefalinger til videre arbeid. Det første aspektet er anbefalinger til videre arbeid med casen i denne masteroppgaven. Det andre aspektet er anbefalinger generelt for energieffektiviserende oppgraderinger av kontorbygninger.

10.1 Anbefalinger for Banehaven 4A

Bygningsteknisk tilstand

Det burde foretas en mer omfattende analyse av den bygningstekniske tilstanden til kontorbygningen slik at eventuelle fuktskader og slitasje på bygningsdeler kan oppdages. Dette er spesielt viktig dersom prefabrikkerte veggelementer plasseres på den eksisterende veggen slik som beskrevet i konsept 3.

Varme- og fukttransport

Ved ombygging av bygninger kan temperatur- og fuktforholdene i konstruksjonen endres. Det anbefales derfor å foreta en varme- og fukttransport analyse for de foreslåtte konseptene. Videre anbefales det å gjennomføre en simulering av kuldebroer. Konseptene er gitt en lav normalisert kuldebroverdi på grunn av kontinuerlig isolasjon på utsiden av ytterveggene, som bidrar til en betydelig reduksjon av kuldebroene. I tillegg må en trykktest av bygningen verifisere at lekkasjetallet som er satt i konseptene oppfylles.

Lønnsomhetsanalyse

For å vurdere om tiltakene vil være økonomisk lønnsomme på lang sikt anbefales det å gjennomføre en lønnsomhetsanalyse som tar hensyn til investeringskostnader og langsiktige kostnadsbesparelser knyttet til energiforbruk, vedlikeholdskostnader og eventuelle kostnadsbesparelser.

Elektrisitetsproduksjon

Siden elektrisitetsproduksjon fra solceller avhenger av solinnstråling, burde det i forbindelse med solcelleinstallasjon foretas mer avanserte skyggeanalyser og beregninger for å avdekke hvor mye elektrisitet som er realistisk å produsere ved de gitte forhold. I tillegg burde det vurderes om innkjøp og installering av batteribank og roterende solceller er lønnsomt i dette prosjektet.

Ventilasjon

Ventilasjonsluftmengdene bør beregnes og tilpasses det faktiske behovet basert på brukerbelastning og utslipp fra materialer for å sikre tilfredsstillende luftkvalitet og energieffektivitet. Det anbefales å utføre nærmere undersøkelser med hensyn til potensialet for energisparing og muligheten for implementering av alternative ventilasjonsløsninger, slik som fortrenningsventilasjon og ventilasjonsvinduer.

Dagslys

I konsept 3 er vindusarealet i den foreløpige arkitektmodellen redusert til en vindusandel på 9,1%. Det er antatt at dette vindusarealet gir tilfredsstillende dagslys. Det anbefales å foreta en dagslysanalyse for Banehaven 4A for å finne det optimale vindusarealet og vindusplasseringen som

utnytter dagslyset på best mulig måte. Plassering og størrelse på vindusareal kan også ha en betydelig innvirkning på kjølebehovet til bygninger. Derfor er det viktig å gjennomføre analyser av inneklimate nøye for å sikre en behagelig temperatur som kan opprettholdes med det planlagte vindusarealet.

Energiforsyning

I forbindelse med boring av energibrønner må det gjøres grundige undersøkelser av grunnforholdene på tomten, da dette har mye å si for hvor mye energi som kan hentes ut av grunnen. En termisk responstest av tomten vil muliggjøre en nøyaktig beregning av antall energibrønner som kreves, og dimensjonering av disse brønnene kan gjøres med anvendelse av avanserte programvareverktøy.

Dersom det grunnet kostnadmessige begrensninger ikke er aktuelt med energibrønner kan det være hensiktsmessig å vurdere bruken av en luft-til-vann-varmepumpe som et alternativ til vann-til-vann-varmepumpen. Muligheten og lønnsomheten for installering av solfangere på bygningen er også noe som kan vurderes som et alternativ.

10.2 Anbefaling generelt for oppgradering av eksisterende kontorbygninger

Potensialet for energisparing ved de presenterte tiltakene i denne masteroppgaven kan variere betydelig avhengig av bygningens egenskaper og forutsetninger, slik som bygningsteknisk standard, verneverdi og geografisk plassering. Det burde derfor gjennomføres potensialstudier som definerer hvilke konkrete energitiltak som i det aktuelle tilfellet er mest lønnsomme med hensyn til å oppfylle regjeringens målsetning om å redusere energibruken med 10 TWh innen 2030.

11 Referanser

- [1] T. Keilman, «Bygger bedre kunnskap for en mer bærekraftig byggebransje», *Forskningsrådet*, 16. oktober 2020. <https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/hvem-kan-soke-om-finansiering/naringsliv/prosjekter-naringslivet/bygger-bedre-kunnskap-for-en-mer-barekraftig-byggebransje/> (åpnet 9. mai 2023).
- [2] FN-sambandet, «Klimaendringer», *FN-sambandet*, 21. mars 2023. <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer> (åpnet 9. mai 2023).
- [3] Olje- og energidepartementet, «NOU 2023: 3», *Regjeringen*, 1. februar 2023. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/?ch=1> (åpnet 9. mai 2023).
- [4] A. Grimen, «Energieffektivisering: Nødvendig for å nå bærekraftsmålene innen 2030», *Entro*, 27. januar 2023.
- [5] K. Nitter, «De mest bærekraftige byggene finnes allerede», *Sintef*, 7. desember 2020. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/de-mest-barekraftige-byggene-finnes-allerede/> (åpnet 9. mai 2023).
- [6] S. Mamo, F. Cecilie, og F. Christoffer Venås, *Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede*. 2020. [Online]. Tilgjengelig på: www.sintef.no/community
- [7] FN-sambandet, «FNs bærekraftsmål», *FN-sambandet*, 4. april 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (åpnet 11. mai 2023).
- [8] J. K. Tuset, «Varedeklarasjon for strømleverandører», *NVE*, 20. oktober 2022. <https://www.nve.no/energi/virkemidler/opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjon-for-stroemleverandoerer/varedeklarasjon-for-stroemleverandoerer/> (åpnet 17. april 2023).
- [9] A. Bjartnes, L. Ursin, L.-H. Paarup, og M. H. Skaugen, «Energieffektivisering som klimaløsning», feb. 2022.
- [10] FN-sambandet, «Ren energi til alle», *FN-sambandet*, 3. februar 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle> (åpnet 11. mai 2023).
- [11] FN-sambandet, «Bærekraftige byer og lokalsamfunn», *FN-sambandet*, 1. februar 2023.
- [12] FN-sambandet, «Stoppe klimaendringene», *FN-sambandet*, 2. februar 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene> (åpnet 11. mai 2023).
- [13] FN-sambandet, «Industri, innovasjon og infrastruktur», *FN-sambandet*, 31. januar 2023. FN-sambandet (åpnet 12. mai 2023).
- [14] FN-sambandet, «Livet i havet», *FN-sambandet*, 2. februar 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/livet-i-havet> (åpnet 11. mai 2023).
- [15] FN-sambandet, «Livet på land», *FN-sambandet*, 2. februar 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/livet-paa-land> (åpnet 12. mai 2023).
- [16] FN-sambandet, «Anstendig arbeid og økonomisk vekst», *FN-sambandet*, 3. februar 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/anstendig-arbeid-og-oekonomisk-vekst> (åpnet 12. mai 2023).
- [17] H. E. Helgerud, «Energiledelse og FNs bærekraftsmål», Trondheim, jan. 2020.
- [18] FN-sambandet, «Samarbeid for å nå målene», *FN-sambandet*, 2. februar 2023. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/samarbeid-for-aa-naa-maalene> (åpnet 12. mai 2023).
- [19] K. J. Espedal, *Bygningsfysikk*, 6. utg., bd. 6. Byggenæringens Forlag, 2017.

- [20] Direktoratet for Byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning», *Direktoratet for Byggkvalitet*. 1. oktober 2022. Åpnet: 7. februar 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- [21] B. Å. Petersson, *Tillämpad Byggnadsfysik*, 5. utg. Lund: Studentlitteratur, 2017.
- [22] Byggforsk, «Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi», *Byggdetaljblad 472.001. SINTEF Byggforsk*. oktober 2019. Åpnet: 24. februar 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi
- [23] Standard Norge, «SN-NSPEK 3031:2021- Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning», des. 2021.
- [24] I. Uriarte, A. Erkoreka, A. Legorburu, K. Martin-Escudero, C. Giraldo-Soto, og M. Odriozola-Maritorea, «Decoupling the heat loss coefficient of an in-use office building into its transmission and infiltration heat loss coefficients», *Journal of Building Engineering*, bd. 43, nov. 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102591.
- [25] P. Blom og S. Uvsløkk, *Bygg tett! Prosjektrapport 98*. Oslo: Sintef Byggforsk, 2012. [Online]. Tilgjengelig på: www.sintef.no/byggforsk
- [26] Standard Norge, «Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger», sep. 2012. [Online]. Tilgjengelig på: www.standard.no
- [27] Covent, «Ny generasjon høyeffektive ventilasjons-aggregater», Bjerkreim, 2017.
- [28] Norconsult, «Praktisk veileder for energimerking», Oslo, 2013.
- [29] G. Grini og I. Oksvold, «Kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygg», 2018.
- [30] Byggforsk, «Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper», *Byggdetaljblad 573.344. SINTEF Byggforsk*. september 2020. Åpnet: 13. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer_typer_og_egenskaper
- [31] Byggforsk, «Golv på grunnen med ringmur. Utførelse», *Byggdetaljblad 521.111. SINTEF Byggforsk*. juni 2012. Åpnet: 16. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/328/golv_paa_grunnen_med_ringmur_utfoerelse
- [32] Byggforsk, «Etterisolering av betongvegger», *Byggdetaljblad 723.312. SINTEF Byggforsk*. desember 2014. Åpnet: 13. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/678/etterisolering_av_betongvegger
- [33] Byggforsk, «Lette sandwichelementer i yttervegger og tak», *SINTEF Byggforsk*. august 2007.
- [34] Enova, «Hjelp til deg som skal kjøpe energieffektive vinduer», Trondheim, 2017. Åpnet: 13. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.enova.no/upload_images/CB2B889C445B43E8A55E2E7C9C653518.pdf
- [35] Byggforsk, «Vinduer. Typer og funksjoner», *Byggdetaljblad 533.102. SINTEF Byggforsk*. september 2018. Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/437/vinduer_typer_og_funksjoner#
- [36] Byggforsk, «Utskifting av vinduer», *Byggdetaljblad 723.638. SINTEF Byggforsk*. Oslo, mars 2018. Åpnet: 13. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/680/utskifting_av_vinduer
- [37] A. Førland-Larsen og I. D. Halderaker, «Avanserte versus enkle tekniske systemer», mar. 2016.
- [38] A. Svensson, A.-J. Almås, P. Blom, og M. Mysen, *Syv energiambisiøse oppgraderinger av yrkesbygg*. Oslo: Sintef, 2013. [Online]. Tilgjengelig på: www.sintefbok.no
- [39] P. Heiselberg, «CLIMAWIN Technical Summary Report», Aalborg, aug. 2013.

- [40] Lavenergiprogrammet, «Behovsstyrt ventilasjon», *Tekna*, 10. januar 2021.
<https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/behovsstyrt-ventilasjon/>
(åpnet 13. mars 2023).
- [41] K. Polak, «Energieffektiv luftdistribusjon», *Kompetansebiblioteket*, 2002.
http://kompetansebiblioteket.no/Ventok/Funksjonskrav/7_3_Energieffektiv_luftdistribusjon.aspx?searchStr=rehabilitering (åpnet 13. mars 2023).
- [42] G. Flamant, W. Bustamante, A. Tzempelikos, og S. Vera, «Evaluation of view clarity through solar shading fabrics», *Build Environ*, bd. 212, nr. 108750, s. 0360–1323, 2022.
- [43] Byggforsk, «Solskjerming. Typer og hensyn ved valg», *Byggdetaljblad 533.163. SINTEF Byggforsk*. juni 2017. Åpnet: 14. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/2930/solskjerming_typer_og_hensyn_ved_valg
- [44] Schüco, «Partner kundemagasin», 2017. Åpnet: 20. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
https://www.schueco.com/resource/blob/922438/70455314a7439424c6027ea8fa8dd87c/partnermagasin_02_16.pdf?domain=no
- [45] A. Birkeland og G. Bruun, «Energieffektiv belysning i yrkesbygg», *Enova*. 2017.
- [46] Byggforsk, «Dagslysinnfall og sparepotensial for belysningsenergi», *Byggdetaljblad 421.635. SINTEF Byggforsk*. oktober 2004. Åpnet: 18. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/3005/dagslysinnfall_og_sparepotensial_for_belysningsenergi
- [47] THEMA Consulting Group, «Energibruk i kontorbygg», Oslo, feb. 2013. Åpnet: 20. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_09.pdf
- [48] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Analyse av energibruk i yrkesbygg», Oslo, feb. 2016. [Online]. Tilgjengelig på: www.nve.no
- [49] T. H. J. Inderberg, K. Tews, og B. Turner, «Is there a Prosumer Pathway? Exploring household solar energy development in Germany, Norway, and the United Kingdom», *Energy Res Soc Sci*, bd. 42, s. 258–269, aug. 2018, doi: 10.1016/j.erss.2018.04.006.
- [50] D. Zijdemans, «Solvarme», *Prenøk- Prosjektering av energianlegg*. Kompetansebiblioteket, 2013. Åpnet: 17. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/Distribusjonsnett/3_5_Solvarme.aspx
- [51] Byggforsk, «Prosjektering av solcelleanlegg på bygninger», *Byggdetaljblad 321.231. SINTEF Byggforsk*. juni 2021. Åpnet: 20. februar 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/5220/prosjektering_av_solcelleanlegg_paa_bygninger
- [52] Enova, «Brynseng skole produserer sin egen energi», *Enova*, 2023.
<https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/historier/brynseng-skole-produserer-sin-egen-energi/> (åpnet 20. mai 2023).
- [53] N. Schjøth, B. Berit, L. Gullbrekken, S. Grynning, og T. Kvande, *Bruk av bygningsintegreerte solceller (BIPV) i Norge*. Trondheim: Sintef, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: www.ntnu.no
- [54] S. Racharla og K. Rajan, «Solar tracking system—a review», *International Journal of Sustainable Engineering*, bd. 10, nr. 2. Taylor and Francis Ltd., s. 72–81, 4. mars 2017. doi: 10.1080/19397038.2016.1267816.
- [55] J. Stene, «Varmepumper - Grunnlag», *Prenøk- prosjektering av energianlegg*. Kompetansebiblioteket, 2016. Åpnet: 17. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/Energisentralen_Kjeler_varmepumper_varmeveksler_undersentral/4_7_Varmepumper_Grunnlag.aspx?searchStr=energibr%C3%B8nn

- [56] Byggforsk, «Varmepumper i bygninger. Funksjonsbeskrivelse», *Byggdetaljblad 552.403 SINTEF Byggforsk*. november 2009. Åpnet: 16. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/541/varmepumper_i_bygninger_funksjonsbeskrivelse
- [57] A. S. Anifantis, S. Pascuzzi, og G. Scarascia-Mugnozza, «Geothermal source heat pump performance for a greenhouse heating system: An experimental study», *Journal of Agricultural Engineering*, bd. 47, nr. 3, s. 164–170, 2016, doi: 10.4081/jae.2016.544.
- [58] R. K. Ramstad, «Rapport nr 5/2011. Grunnvarme i Norge - kartlegging av økonomisk potensial», *Norges vassdrags- og energidirektorat*. 2011.
- [59] J. Stene, «Kombinert oppvarming og kjøling». SINTEF, 2009.
- [60] G. Grini og I. Oksvold, «Potensial for varmepumper i eksisterende bygningsmasse», *Norsk Varmepumpeforening*. 14. juni 2019.
- [61] A. Randi og K. Ramstad, «Energibrønner som varmekilde for varmepumper-Har kuldebransjen noe å lære her?», okt. 2017.
- [62] B. Gleditsch Borgnes og Geoenergi AS, «Energibrønner i fjell», *Prenøk- Prosjektering av energianlegg*. Kompetansebiblioteket, 2011. Åpnet: 17. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/Distribusjonsnett/3_6_Energibrønner_i_fjell.aspx?searchStr=avstand%20mellom%20br%C3%B8nnene
- [63] Kompa AS, «Hvordan fungerer fjernvarme?», 2021. <https://www.kompa.no/tjenester/vannbehandlingskontroll/fjernvarme> (åpnet 21. februar 2023).
- [64] S. Werner, «International review of district heating and cooling», *Energy*, bd. 137. Elsevier Ltd, s. 617–631, 15. oktober 2017. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.045.
- [65] A. Førland-Larsen, K. Th Bramslev, og E. A. Hammer, «Nullutslippsbygg-er det mulig? Rapport 01/13», *Grønn Byggallianse*. september 2013.
- [66] Norsk Fjernvarme, «Energikilder», *Norsk Fjernvarme*, 2021. <https://www.fjernvarme.no/fakta/energikilder> (åpnet 21. februar 2023).
- [67] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Konsesjonsbehandling av fjernvarme», *Norges vassdrags- og energidirektorat*, 11. juni 2015. <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-fjernvarme/> (åpnet 24. februar 2023).
- [68] Statkraft Varme AS, «Kjøling i kombinasjon med fjernvarme- Veileder». 2. april 2020.
- [69] Byggforsk, «Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner», *Byggdetaljblad 473.003 SINTEF Byggforsk*. desember 2015. Åpnet: 19. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/4153/energieffektive_bygninger_begreper_og_definisjoner
- [70] Europakommisjonen, «Nearly zero-energy buildings», *Europakommisjonen*, 12. mai 2022. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en (åpnet 6. februar 2023).
- [71] Kommunal- og distriktsdepartementet, «Veiledning om beregning av primaerenergibehov i bygninger og energirammer for nesten nullenergibygninger», jan. 2023. Åpnet: 9. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
- [72] Grønn Byggallianse, «EUs taksonomi – nye rammebetingelser for bærekraft», *Grønn Byggallianse*, 22. februar 2023.
- [73] I. Andresen, T. H. Dokka, og N. Lassen, «Kriterier for NZEB for FutureBuilt- prosjekter. Notat», *NTNU- Institutt for arkitektur og teknologi*. Trondheim, 19. august 2022.

- [74] R. Stene, «Personlig kommunikasjon, Daglig leder i Powerhouse». 31. januar 2023.
- [75] T. H. Dokka, I. Andresen, og N. Lassen, «Kriterier for Futurebuilt Plusshus - Revisjon Mai-2021», Trondheim, mai 2021.
- [76] Byggforsk, «Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser», *Byggdetaljblad 473.010. SINTEF Byggforsk*. desember 2013. Åpnet: 17. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser
- [77] Å. L. Sørensen mfl., «ZEB Project report 35– 2017. Pilot Building Powerhouse Kjørbo As Built Report», *SINTEF Academic Press*. 2017. [Online]. Tilgjengelig på: www.ntnu.no
- [78] Simienergi, «Beregning av energibruk og inneklime», *Simienergi AS*, 2021.
- [79] K. Hilliaho, J. Lahdensivu, og J. Vinha, «Glazed space thermal simulation with IDA-ICE 4.61 software - Suitability analysis with case study», *Energy Build*, bd. 89, s. 132–141, feb. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.12.041.
- [80] Kartverket, «BANEHAVEN 4A 4612 KRISTIANSAND S», *Kartverket*. <https://seeiendom.kartverket.no/eiendom/4204/150/291/0/0> (åpnet 13. mai 2023).
- [81] NGU, «Løsmasser- Nasjonal løsmassedatabase», *NGU*. Åpnet: 21. mars 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- [82] Norkart AS, «Solkart», *Solcellespesialisten AS*. <https://solkart.no/> (åpnet 23. mars 2023).
- [83] Elsevier BV, «Elsevier at a glance», *Elsevier BV*. 2023.
- [84] S. S. Andersen, *Case-studier og generalisering*. Fagbokforlaget, 1997.
- [85] R. E. Stake, *The Art Of Case Study Research*. SAGE Publications, 1995.
- [86] Byggforsk, «U-verdier. Tak», *Byggdetaljblad 471.013. Sintef Byggforsk*. Oslo, oktober 2003. Åpnet: 11. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/212/u-verdier_tak
- [87] Byggforsk, «Byggdetaljblad 471.451. U-verdier. Vegger over terreng – betong», *SINTEF Byggforsk*. desember 2013.

12 Vedlegg

- Vedlegg A: Tegningsgrunnlag eksisterende situasjon i Banehaven 4A
- Vedlegg B: Tegningsgrunnlag oppgradering av Banehaven 4A
- Vedlegg C: Inndata Simien
- Vedlegg D: Håndberegninger
- Vedlegg E: Termografering av Banehaven 4A
- Vedlegg F: A3- poster