

Andreas Tronsli
Albert Sunde Øhlschlägel
Sivert Leander Johansen

Optimalisering av brakkerigger med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet

Bacheloroppgave i Bygg - ingeniørfag
Veileder: Eskild Narum Bakken
Medveileder: Bjørn Ottar Torp, Moelven Byggmodul AS
Mai 2024

Andreas Tronsli
Albert Sunde Øhlschlägel
Sivert Leander Johansen

Optimalisering av brakkerigger med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet

Bacheloroppgave i Bygg - ingeniørfag
Veileder: Eskild Narum Bakken
Medveileder: Bjørn Ottar Torp, Moelven Byggmodul AS
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel:	Dato: 21.05.2024		
Optimalisering av brakkerigger med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet	Antall sider: 68		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Andreas Tronsli Albert Sunde Øhlschlägel Sivert Leander Johansen			
Veileder: Eskild Narum Bakken			
Ekstern faglig kontakt/veileder: Bjørn Ottar Torp, Moelven Byggmodul			

Sammendrag:

Bakgrunnen for denne bacheloroppgaven baserer seg på det økte fokuset på bærekraft og miljø i byggenæringen. Temaet stammer fra en utviklingsprosess der man leter etter å optimalisere bygg, slik at man bruker mindre energi og klimagassutslippene reduseres. Vi skal foreta oss en analyse av brakkerigger, og hvordan disse kan optimaliseres best mulig med tanke på energi, klima og økonomi. Hensikten med oppgaven baserer seg på å besvare følgende problemstilling:

Hvilke energitiltak på en gitt standardløsning av brakkerigg har størst gevinst med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet?

For å kunne besvare problemstillingen har vi tatt utgangspunkt i standardløsningen til Moelven Byggmoduls brakkerigger. Det er fremmet ulike scenarier som undersøkes, hvor hvert av scenarioene har et tilhørende energireducerende tiltak. Scenarioene sammenlignes med standardløsningen og vektet med hverandre for å gi grunnlaget for en optimalisert løsning. Verktøyet som er brukt for å beregne energibehov og levert energi er det digitale simuleringsprogrammet Simien. For å beregne klimagassutslippene og gjennomføre investeringsanalysene ble Excel brukt.

Det konkluderes med at det energitiltaket som har størst gevinst basert på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet er å installere balansert ventilasjon med varmegjenvinning som erstatning for mekanisk avtrekksventilasjon. Dette tiltaket reduserer det årlige energibehovet med 18 969 kWh, reduserer det totale klimagassutslippene på 8060 kgCO_{2e} og har en avkastning på 110 113 kr. Deretter følger energitiltaket som baserer seg på å halvere lekkasjetallet. Det tredje beste energitiltaket – og best av ekstraisoleringstiltakene – var å ekstraisolere ytterveggene. På plassen videre fulgte å bruke superisolerte 3-lags-vinduer som erstatning for ordinære 2-lags-vinduer. De dårligste energitiltakene var å ekstraisolere yttertaket på nest siste plass, og ekstraisolere gulvet på sisteplass.

De energitiltakene som anvendes i den optimaliserte løsningen er balansert ventilasjon, halvering av lekkasjetallet, ekstraisolering av ytterveggene og bruk av superisolerte 3-lags-vinduer. Den optimaliserte brakkeriggen reduserte energibehovet med 23 % og de årlige klimagassutslippene med 8,6 %, samtidig som den beregnede nettonåverdien for investeringene var på 198 268 kr.

Stikkord:

Brakkerigg
Optimalisering
Energibehov
Klimagassutslipp
Økonomisk lønnsomhet

Andreas Tronsli

(sign.)

Albert Øhrschlagel

(sign.)

Sivert L. Johansen

(sign.)

Forord

Denne oppgaven er avslutningen på vår bachelorgrad innenfor byggingeniør ved NTNU Gjøvik, med fordypning i bærekraftig bygging. Oppgaven er utarbeidet av Andreas Tronsli, Sivert Leander Johansen og Albert Sunde Øhlschlägel.

Vi har valgt å skrive oppgave om optimalisering av brakkerigger med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet. Valg av tema baserer seg på interesse, samt relevans for mulig fremtidig arbeid. Et ønske med oppgaven er å kunne bidra til et mer fokus på bærekraft i byggebransjen ved å optimalisere slike brakkerigger. Det har vært et veldig spennende og lærerikt prosjekt.

Vi vil rette en stor takk til Moelven Byggmodul AS, og ekstern veileder Bjørn Ottar Torp for god veiledning og tilbakemeldinger gjennom hele prosjektet. Samarbeidet med ekstern bedrift har gått utmerket, og vi har fått god veiledning med deres synspunkter og tanker for oppgaven.

En stor takk vil vi også rette til veileder ved NTNU Gjøvik, Eskild Narum Bakken for grundige tilbakemeldinger. Intern veileder har kommet med nyttige kommentarer rundt tema, metodikk og struktur.

Abstract

The background for this bachelor thesis is based on the increased focus on sustainability and the environment in the construction industry. The topic originates from a development process aimed at optimizing buildings to use less energy and reduce greenhouse gas emissions. We will analyze barrack rigs and how they can be optimized in terms of energy, climate, and economy. The purpose of the assignment is to answer the following question:

Which energy measures on a given standard solution of a barrack rig provide the greatest benefits in terms of energy demand, greenhouse gas emissions and economic profitability?

To answer this question, we have based our analysis on the standard solution of Moelven Byggmodul's barrack rig. Various scenarios have been proposed and examined, each featuring an energy-reducing measure. The scenarios are compared with the standard solution and evaluated against each other to form the basis for an optimized solution. The tool used to calculate energy demand and delivered energy is the digital simulation program Simien. Excel was used to calculate greenhouse gas emissions and investment analysis.

It is concluded that the energy measure with the greatest benefit, based on energy demand, greenhouse gas emissions and economic profitability, is installing balanced ventilation with heat recovery to replace mechanical exhaust ventilation. This measure reduces the annual energy demand by 18 969 kWh, reduces the total greenhouse gas emissions by 8060 kg CO_{2e}, and has a return on investment of 110 113 NOK. Next is the energy measure based on halving the leakage rate. The third best energy measure – and the best of the extra insulation measures – was adding extra insulation to exterior walls. Following this was using super-insulated triple-glazed windows instead of ordinary double-glazed windows. The least effective energy measures were adding extra insulation to the roof, ranking second to last, and to the floor, ranking last.

The energy measures included in the optimized solution are balanced ventilation, halving the leakage rate, extra insulation to exterior walls, and using triple-glazed windows. The optimized barrack rig reduced the energy demand by 23 % and annual greenhouse gas emissions by 8,6 %, while the calculated net present value for the investments was 198 268 NOK.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	viii
Tabelliste	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Hensikt og problemstilling	2
1.3 Målsetninger.....	2
1.4 Rammer	3
1.5 Oppgavens oppbygning.....	3
2 Teori	5
2.1 Brakkerigger.....	5
2.1.1 Modulbygg	5
2.1.2 Midlertidige bygg og lovverk.....	6
2.1.3 Retningslinjer for energi-, LCA- og LCC-analysering av brakkerigger	7
2.2 Energi i bygninger.....	8
2.2.1 Lovverk	8
2.2.2 Bygningers energiflyt.....	10
2.2.3 Varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) og varmetap.....	11
2.2.4 Ventilasjon	13
2.2.5 Energireducerende tiltak.....	15
2.2.6 NS 3031: Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data	16
2.3 Bygg og klimagassutslipp	17
2.3.1 Life Cycle Analysis (LCA)	17
2.3.2 Environmental Product Declaration (EPD).....	19
2.3.3 NS 3720: Standard for klimagassberegninger for bygg.....	20
2.4 Investeringsanalyse	22
2.4.1 Nytte-kostnad-analyse.....	22
2.4.2 Netto-nåverdimetoden	22

2.4.3	NS-EN 16627: Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon	23
3	Case	26
3.1	Brakkerigg fra Moelven Byggmodul	26
3.1.1	Planløsning og fasader	26
3.1.2	Oppbygning av klimaskjerm	28
3.1.3	Ventilasjonssystem.....	31
3.2	Energiltak og scenarioer.....	32
4	Metode.....	34
4.1	Litteratursøk	34
4.2	Programvare	35
4.2.1	Excel.....	35
4.2.2	Simien.....	35
4.2.3	Norsk Prisbok.....	36
4.3	Metodikk for energisimuleringer	36
4.4	Metodikk for klimagassberegninger.....	37
4.5	Metodikk for investeringsanalyse	39
5	Resultater.....	42
5.1	Energisimuleringer	42
5.1.1	Varmetapsbudsjett basescenario.....	42
5.1.2	Energibehov og spesifikt energibehov	43
5.1.3	Levert energi	45
5.1.4	Sammenstilling.....	46
5.2	Klimagassberegninger.....	47
5.2.1	Samlet klimagassutslipp.....	48
5.2.2	Sammenstilling med reduksjon/økning i utslipp.....	49
5.3	Investeringsanalyse	50
5.3.1	Netto-nåverdier for energireducerende tiltak (scenario A-F).....	50
5.3.2	Sammenstilling.....	51
6	Diskusjon og analyse.....	53
6.1	Energisimuleringer	53
6.2	Klimagassberegninger.....	55
6.3	Investeringsanalyse	58
6.4	Sammenstilling.....	61

6.5	Optimalisert løsning	64
7	Konklusjon	67
7.1	Videre arbeid	68
	Litteraturliste	69
	Vedlegg	76
	Vedlegg 1: Tegninger av brakkerigg.....	76
	Vedlegg 2: Datablad ventilasjon	78
	Vedlegg 3: EPD-filer.....	80
	Vedlegg 4: Energisimuleringer i Simien.....	81
	Vedlegg 5: Klimagassberegninger i Excel	93
	Vedlegg 6: Investeringsanalyser (NNV) i Excel.....	97
	Vedlegg 7: KI-deklarasjon	100

Figurliste

Figur 1: 3-delt produksjonsprosess av modulbygg – Produksjon, levering og montering.....	6
Figur 2: Eksempler på midlertidige modulbygg	6
Figur 3: Bygningers energiflyt	11
Figur 4: Naturlig ventilasjon (a) og mekanisk avtrekksventilasjon (b).....	14
Figur 5: Balansert ventilasjon	15
Figur 6: Kyoto-pyramiden.....	16
Figur 7: LCA: Fremstilling av et livsløp for et produkt	18
Figur 8: Moduler og stadier i bygningers livsløp (LCA)	21
Figur 9: Netto-nåverdi som kalkulasjonsmetode	23
Figur 10: Livsløpskostnad som kalkulasjonsmetode	24
Figur 11: Moduler i vurdering av bygningers økonomiske prestasjon (LCC).....	25
Figur 12: Brakkerigg - planløsning plan 1	26
Figur 13: Brakkerigg - planløsning plan 2	27
Figur 14: Brakkerigg - fasade sør.....	27
Figur 15: Brakkerigg - fasade nord	27
Figur 16: Brakkerigg - fasade øst (a) og fasade vest (b)	27
Figur 17: Brakkerigg - oppbygning yttervegg.....	29
Figur 18: Brakkerigg – oppbygning tak	29
Figur 19: Brakkerigg – oppbygning gulv	30
Figur 20: Moduler anvendt i investeringsanalysen	39
Figur 21: Basescenario (scenario 0) – Varmetapsbudsjett	43
Figur 22: Sammenstilling netto energibehov	47
Figur 23: Sammenstilling netto spesifikt energibehov	47
Figur 24: Samlet klimagassutslipp	49
Figur 25: Klimagassutslipp spart for scenario A-F	50
Figur 26: Sammenstilling av netto-nåverdier for alle scenarioer	52
Figur 27: Sammenstilling alle analyser og scenarioer	62

Tabelliste

Tabell 1: Byggteknisk forskrifts (TEK 17) anvendelser for midlertidige bygninger.....	7
Tabell 2: Energirammer i TEK 17 § 14-2 punkt 1	9
Tabell 3: Minimumsnivå for U-verdier og lekkasjetall.....	10
Tabell 4: Brakkerigg - størrelser og mengder	27
Tabell 5: Isolasjonstykkelse og U-verdier for bygningsmoduler fra Moelven Byggmodul.....	30
Tabell 6: Brakkerigg - ventilasjonssystemer	31
Tabell 7: Scenarioer og beskrivelse av energireducerende tiltak	33
Tabell 8: Beregningsparametere for energisimuleringer i Simien	37
Tabell 9: Beregningsparametere for investeringsanalyse.....	40
Tabell 10: Enhetspriser fra Norsk Prisbok	41
Tabell 11: Energibehov og spesifikt energibehov for basescenario scenario A-F.....	45
Tabell 12: Levert energi for basescenario scenario A-F	46
Tabell 13: Samlet klimagassutslipp.....	48
Tabell 14: Investeringsanalyse for energireducerende tiltak (scenario A-F)	51
Tabell 15: Rangering av scenarioer.....	62
Tabell 16: Energisimulering, klimagassberegning og investeringsanalyse for optimalisert løsning	66

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Byggebransjen kalles ofte for 40 %-næringen, hvor sektoren bidrar til 40 % av globalt klimagassutslipp, energibruk og materialbruk (Grønn byggallianse, u.å.). Den norske situasjonen er annerledes med lavt klimagassutslipp fra direkte energibruk i bygninger som følge av stor tilgang på fornybare energikilder (Klima-, energi- og miljøutvalget i EBA, u.å.). En analyse av den norske byggebransjen viser at 15 % av totalt nasjonalt klimagassutslipp er bygg-, eiendom- og anleggssektoren ansvarlig for (Klima-, energi- og miljøutvalget i EBA, u.å.). Omtrentlig halvparten av dette stammer fra produksjon av byggevarer (NHO byggenæringen, u.å.). Dagens og fremtidens byggenæring er sterkt påvirket av global og nasjonal klimapolitikk med tanke på energieffektivisering og reduisering av klimagassutslipp. FNs bærekraftsmål er en viktig del av global klimapolitikk bestående av 17 mål som skal fungere som en felles global retning for land, næringsliv og sivilsamfunn (FN, 2024). Norge har fremmet egne nasjonale klimamål basert på FNs bærekraftsmål og Paris-avtalen. De nasjonale klimamålene er å redusere klimagassutslippene med 55 % innen 2030 og 90-95 % innen 2050 sammenlignet med 1990 (Klima- og miljødepartementet, 2023).

Denne oppgaven skal studere midlertidige brakkerigger (boligbrakker) som anvendes som innkvartering på byggeplasser. Midlertidige bygninger er fratatt flere byggregler i Byggeteknisk forskrift (TEK 17). Det er blant annet ikke like strenge krav til energieffektivitet i midlertidige bygninger som permanente bygninger (TEK17 § 1-2-, 2017). Det er heller ikke krav til klimagassregnskap for midlertidige bygg slik det er for permanente bygg (TEK17 § 1-2, 2017). Dette har ført til at brakkerigger kan prosjekteres med dårlig isolasjon og materialvalg med tanke på energiforbruk og klimagassutslipp (Klima-, energi- og miljøutvalget i EBA, u.å.). På grunn av dette er brakkerigger og midlertidige bygninger en bygningstype med stort forbedringspotensial for energieffektivisering. En halvering av energiforbruket for brakkerigger tilsvarer energiforbruket i cirka 15 000 eneboliger (Klima-, energi- og miljøutvalget i EBA, u.å.)

1.2 Hensikt og problemstilling

Hensikten med dette bachelorprosjektet er å optimalisere klimaskjermen og ventilasjonssystemene for Moelven Byggmoduls brakkerigger. Analysen skal ses fra et energi-, miljø- og økonomiperspektiv hvor formålet er å skape den beste teoretiske løsningen av klimaskjerm og ventilasjonssystem for brakkerigger målt etter energibehov, klimagassutslipp og lønnsomhet. Parameteren energibehov skal simuleres av et digitalt beregningsverktøy. Klimagassutslippet skal analyseres ved å studere utslipp av CO₂-ekvivalenter for byggets livsløpsvurdering. Lønnsomhet skal beregnes ved å gjennomføre investeringsanalyse med bruk av nytte-kostnad-analyse hvor investeringskostnader og energikostnader undersøkes ved bruk av netto-nåverdimetoden. Basert på hensikten og formålet med oppgaven er det konkretisert følgende problemstilling:

Hvilke energitiltak på en gitt standardløsning av brakkerigg har størst gevinst med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet?

Problemstillingen innebærer energioptimalisering av midlertidige brakkerigger. Vi tar utgangspunkt i standard 44-manns brakkerigg fra Moelven Byggmodul, og fremmer ulike energireducerende tiltak for å optimalisere brakkeriggen. De ulike energitiltakene (scenarioene) skal analyseres og vektet basert på parameterne energiforbruk, klimagassavtrykk og lønnsomhet, beskrevet over. Det skal også analyseres hvor stor effekt en totalt optimalisert løsning av brakkeriggen har på simulert energiforbruk, klimagassavtrykk og lønnsomhet sammenlignet med standardløsningen. En totalt optimalisert løsning av brakkeriggen skal inneholde de energitiltakene med størst positiv effekt på energibehov, klimagassutslipp og lønnsomhet, implementert sammen.

1.3 Målsetninger

Ut fra problemstillingen og problemdefineringsen er det definert noen målsetninger med arbeidet av dette bachelorprosjektet, både i form av effektmål og resultatmål. Effektmålet for bachelorprosjektet er å bidra til utvikling av utformingen til brakkerigger med optimaliserte løsninger av klimaskjerm og ventilasjon som gir et lavt energibehov og klimagassutslipp med god lønnsomhet. Resultatmålene dreier seg om konkrete resultater som dette

bachelorprosjektet skal forsøke å levere. Det innebærer Moelven Byggmoduls bærekraftsmål om en årlig karboneffektiv forbedring på 5 % (Moelven, 2021), energikrav i Byggteknisk forskrift og optimaliserte løsninger av klimaskjerm og ventilasjon som gir et lavt energibehov og klimagassutslipp med god lønnsomhet. Den totalt optimaliserte løsningen av brakkeriggen skal forsøke å innfri følgende to målsetninger:

- Undersøke om Moelvens klimamål på 5% reduksjon i klimagassutslipp er et realistisk mål, samtidig som den økonomiske lønnsomheten er positiv
- Innfri energiramme kravet gitt i TEK 17 § 14-2 punkt 1 for aktuell bygningskategori (TEK17 § 14-2, 2017)

1.4 Rammer

For å kunne energioptimalisere den standardiserte brakkeriggen til Moelven Byggmodul på en ryddig og oversiktlig måte er det fastsatt enkelte rammer og avgrensninger, både for caset og metodikken. For caset er det kun oppbygning av klimaskjermen, herunder yttervegg, tak, gulv og vinduer, samt ventilasjonen for brakkeriggen som skal studeres i dette prosjektet. Andre parametere for caset som kunne blitt studert er for eksempel endret bygningsmasse, lokasjon og produksjonsprosess. For klimagassberegningene er enkelte bygningsdeler i henhold til bygningsdelstabellen i NS 3451 (Standard Norge, 2018, s. 8) ekskludert. Dette innebærer fundamentering og ytterdører. For gjennomføringen av investeringsanalysen og beregning av livsløpskostnader (LCC) i henhold til NS-EN 16627 (Standard Norge, 2023a) analyseres kun stadiene A1-A3 *produktstadiet*, A4-A5 *gjennomføringsstadiet* og B6 *driftsmessig energibruk*.

1.5 Oppgavens oppbygning

Denne oppgaven følger en IMRaD-struktur med enkelte tilpasninger. Første delen av oppgaven består av innledning til temaet med problemdefinering, problemstilling og målsetninger for oppgaven. Deretter følger et kapittel som består av teoretisk grunnlag for oppgaven. Formålet med dette kapittelet er å presentere relevant bakgrunnsstoff for å besvare problemstilling. I det tredje og fjerde kapitlet blir caset og metoden for gjennomføringen av prosjektet beskrevet, hvor relevant data for caset og metodikk for analyseringen blir

presentert. Deretter følger resultatdelen hvor resultatene av energisimuleringer, klimagassberegninger og investeringsanalyse blir fremstilt. Neste kapittel, *diskusjon og analyse*, diskuterer, drøfter og sammenstiller resultatene. Her blir også den optimaliserte løsningen presentert og analysert. Til slutt oppsummeres oppgaven med en konklusjon hvor svar på problemstilling og målsetninger gjennomgås.

2 Teori

I dette kapitlet skal all teori og bakgrunnsstoff relevant for å besvare problemdefinerings og problemstillingen presenteres. Det skal henholdsvis beskrives brakkerigger, energi i bygninger, klimagassutslipp for bygg og investeringsanalyse.

2.1 Brakkerigger

I dette delkapitlet skal det presenteres teori og bakgrunnsstoff om brakkerigger. Det skal redegjøres for brakkerigger generelt, modulbygg, lovverk for midlertidige modulbygg og ulike retningslinjer i beregninger av energibehov, klimagassutslipp og lønnsomhet for brakkerigger.

2.1.1 Modulbygg

Brakkerigger er såkalte modulbygg, som består av prefabrikkerte bygningselementer som settes sammen av enkeltmoduler i bredde og høyde slik at de til sammen danner en bygning (Byggforsk, 2010). Byggeprosjekter av modulbygg består i hovedsak av en 3-delt produksjonsprosess, fremstilt i figur 1 nedenfor. Enkeltmodulene produseres i modulfabrikker, før de transporteres til byggeplass og settes sammen til en fullstendig bygning. Modulproduksjonen i modulfabrikker er styrt av automatiserte prosesser hvor roboter klargjør materialer, og arbeidere produserer moduler (Moelven, u.å.-b). Logistikk og transport av moduler til byggeplass er en avgjørende fase i et modulbyggeprosjekt, hvor systematikk på mengder, modultyper, tid og sted kreves for å levere effektive byggeprosjekter (Moelven, u.å.-b). På byggeplassen vil arbeidet i hovedsak dreie seg om fundamentering, montering av modulene og sluttarbeider i form av kompletterende tak-, trapp- og inngangskonstruksjoner.



Figur 1: 3-delt produksjonsprosess av modulbygg – Produksjon, levering og montering (Moelven, u.å.-a) (Jakobsen Transport, u.å.) (Kunøe, 2016)

2.1.2 Midlertidige bygg og lovverk

Det skilles mellom to kategorier av modulbygninger; permanente modulbygg og midlertidige modulbygg. Permanente modulbygg blir bygd for lang levetid og permanent fysisk tilstedeværelse, på lik linje som plassbygde byggeprosjekt. For permanente modulbygg gjelder samme lovverk som vanlige bygninger. Midlertidige modulbygg er prosjektert for gjenbruk og transport til forskjellige byggeplasser i løpet av dets levetid, hvor rask levering og mulighet for flytting er nødvendig (Modular Building Institute, u.å.). Slike bygg har en smalere bruksfunksjon, og kan benyttes som skoler og medisinske klinikker, samt kontorer og innlosjering på byggeplasser (Modular Building Institute, u.å.). Eksempler på midlertidige modulbygg kan ses i figur 2. Bygget til venstre er en midlertidig innlosjering på byggeplass, og bygget til høyre er en midlertidig skole.



Figur 2: Eksempler på midlertidige modulbygg (Ny brakkerigg til Aker Solutions, 2023) (Hafver, 2024)

For midlertidige bygg er det noen konkrete krav og føringer til energi og klimagassavtrykk, utover permanente bygg. Byggteknisk forskrift (TEK 17) gir tekniske minimumskrav til byggverk med funksjonskrav og preaksepterte ytelser for permanente bygg og midlertidige bygg (“Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning,” 2017). Tabell 1 under viser hvilke kapitler i TEK 17 som gjelder for midlertidige bygninger, både gjeldende fullt ut og gjeldende så langt det passer (TEK17 § 1-2, 2017). I kapittel 14, Energi, er det kun § 14-3 som gjelder for midlertidige bygg. Dette er bestemmelser for minimumsnivå for energieffektivitet (TEK17 § 14-3, 2017), og blir ytterligere presentert i kapittel 2.2.1. Kapittel 13, Inneklima og helse, setter funksjonskrav til blant annet ventilasjon, hvor kravene gjelder så langt de passer for midlertidige bygg. TEK 17-1 (TEK17 § 17-1, 2017), som dreier seg om klimagassregnskap fra materialer for bygninger, er ikke kravgitt for midlertidige bygninger.

Tabell 1: Byggteknisk forskrifts (TEK 17) anvendelser for midlertidige bygninger (TEK17 § 1-2, 2017)

Byggteknisk forskrift	Midlertidige bygninger
Gjelder fullt ut	Kapittel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 18 og § 14-3
Gjelder så langt de passer	Kapittel 8, 12 og 13

2.1.3 Retningslinjer for energi-, LCA- og LCC-analysering av brakkerigger

Brakkerigg, som er den spesifiserte bygningstypen som undersøkes i denne oppgaven, defineres som kontorer og innlosjering på byggeplasser (Algeco, u.å.-a). Det er midlertidige modulbygg kategorisert i boligbrakker, kantinebrakker og kontorbrakker for å imøtekomme alle behov på et bygge- eller anleggsprosjekt (Algeco, u.å.-a). En boligrigg (boligbrakke) brukes som innkvartering for funksjonærer og fagarbeidere på byggeprosjektet, og består av innredede private rom og fellesarealer. I energiberegninger mot offentlige krav med metoden for energiramme, ytterligere beskrevet i kapittel 2.2.1 og fremstilt i tabell 2, i tillegg til beregning av bygningers energiytelse i henhold til NS 3031, videre utdypet i kapittel 2.2.6, skal bygningen plasseres innenfor aktuell bygningskategori. SN-NSPEK 3031 tillegg A, tabell A.1, gir eksempler og forklaringer på bygninger for alle bygningskategorier (Standard Norge, 2023b). En brakkerigg, definert over, med bruksområde som innkvartering og overnatting, kan plasseres innenfor bygningskategorien «hotellbygning». SN-NSPEK 3031 spesifiserer

hotellbygning som «hotellbygning, bygning for overnatting, restaurantbygning, annen hotellbygning» (Standard Norge, 2023b), og en brakkerigg med slikt formål kan derfor kategoriseres som denne bygningstypen.

For klimagassregnskap (LCA) og livssyklus kostnader (LCC) for permanente bygg opereres det med en analyseperiode på 60 år (Standard Norge, 2018) (Norsk Prisbok, u.å.). For midlertidige bygg, med kortere levetid og beregningsperiode enn permanente bygg grunnet andre brukerkrav, bruksbelastning og eksponeringsmiljø (Multiconsult, 2009), vil det derfor være naturlig å velge en analyseperiode på kortere enn 60 år (Norsk Prisbok, u.å.). Det finnes ingen normative standardverdier for valg av levetid og analyseperiode for midlertidige bygninger, men dette kan antas ved å studere teknisk levetid for ulike midlertidige modulbygg. Norsk Utleieforening (NU) oppgir en levetid for midlertidige moduler på 15-18 år (Byggeindustrien, 2010). Algeco oppgir en levetid for sine modulbygg på opp mot 30 år (Algeco, u.å.-b). En kinesisk studie som studerte livsløpsvurdering (LCA) for et midlertidig bygg anvendte en analyseperiode på 15 år for sine beregninger (Song et al., 2022). Basert på eksemplene nevnt over anvender vi en analyseperiode på 20 år for klimagassberegninger og livssyklus kostnader av midlertidige brakkerigger i dette prosjektet.

2.2 Energi i bygninger

I dette delkapitlet skal teori og bakgrunnsstoff om energibruk i bygninger presenteres. Det fremlegges fagstoff om lovverk, energibehov, varmeledning/varmetap, ventilasjon, energitiltak og norsk standard for beregning av bygningers energiytelse. Teorien i dette delkapitlet legger grunnlaget for å besvare problemstillingen ved å optimalisere det simulerte energibehovet gjennom ulike utforminger av klimaskjerm og ventilasjon.

2.2.1 Lovverk

Byggteknisk forskrift (TEK 17) kapittel 14, Energi, gir krav til energieffektivitet for bygninger, i form av netto energibehov, U-verdier og lekkasjetall. For bygningskategorier unntatt boligbygninger er energirammekravet gitt i TEK 17 § 14-2 punkt 1 gjeldende. Dette er maksimumskrav for det totale årlige netto energibehovet, gitt i kWh/m², for ulike bygningstyper (TEK17, 2017b). Tabell 2 under fremstiller energirammekravet for alle

bygningsskategorier. Dersom ingen av bygningsskategoriene passer best for det aktuelle tiltaket, skal man velge den bygningsskategorien som likner mest (TEK17, 2017b). Som beskrevet i kapittel 2.1.3, kan en brakkerigg kategoriseres som en hotellbygning, hvor det totale årlige netto energibehovet maksimalt kan være 170 kWh/m².

Tabell 2: Energirammer i TEK 17 § 14-2 punkt 1 (TEK17, 2017b)

Bygningsskategori	Totalt netto energibehov [kWh/m ² oppvarmet BRA per år]
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² BRA	100 + 1600/m ² BRA
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110
Universitet/høyskole	125
Sykehus	225 (265)
Sykehjem	195 (230)
Hotellbygning	170
Idrettsbygning	145
Forretningsbygning	180
Kulturbygning	130
Lett industri/verksteder	140 (160)

Beskrevet i tabell 1, er det kun energikravene i § 14-3 som er gjeldende for midlertidige bygninger. Tabell 3 under presenterer TEK 17 § 14-3, som gir minimumskravene av energieffektivitet for alle bygninger, unntatt boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger. For permanente bygg kan kravene for energieffektivitet omfordeles så lenge

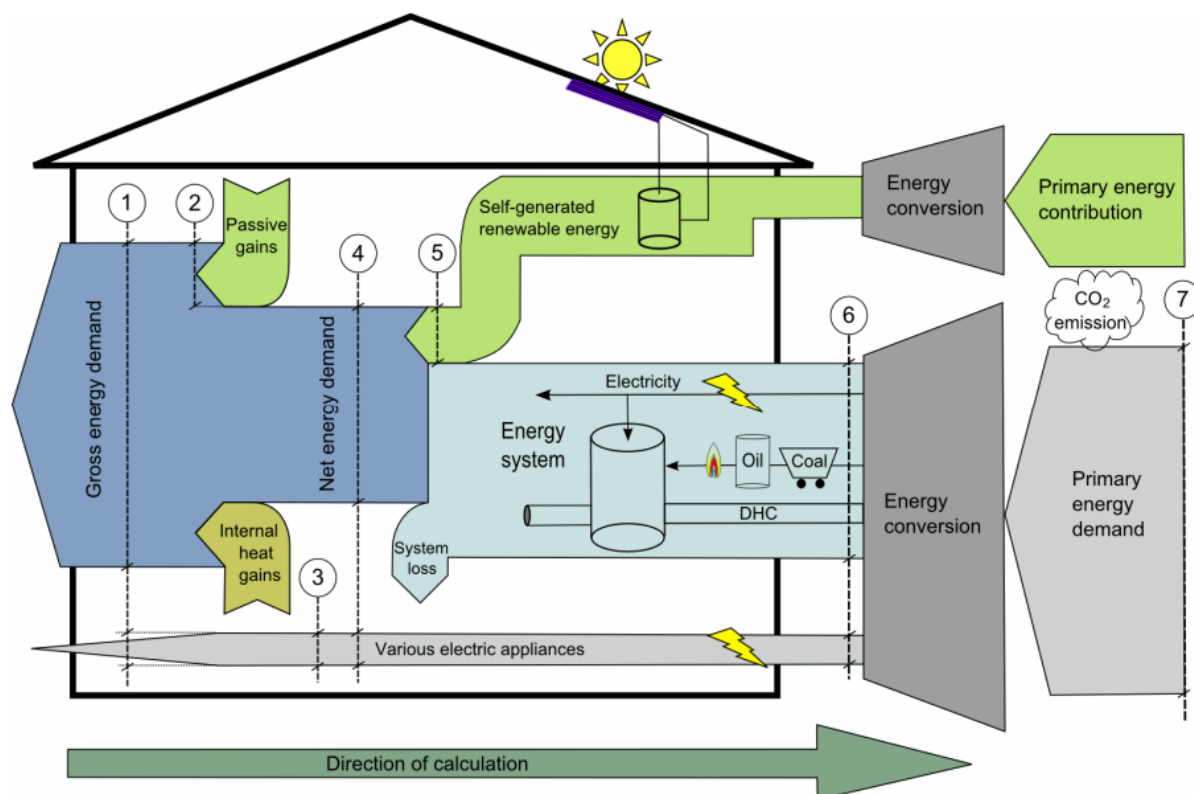
verdiene i tabell 3 er oppfylt og det totale varmetapet ikke øker. For midlertidige bygg er tabellen under de eneste kravene for byggets energieffektivitet, og dermed veiledende verdier for prosjektering av klimaskjerm og lufttetthet for midlertidige bygg.

Tabell 3: Minimumsnivå for U-verdier og lekkasjetall (TEK17, 2017c)

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

2.2.2 Bygningers energiflyt

Bygningers energiytelse påvirkes av en rekke faktorer som styrer det totale energibehovet og energiforbruket til bygningen. Figur 3 nedenfor fremstiller energiflyten gjennom bygninger med systemgrense og begreper for energiberegninger- og simuleringer (Høseggen, 2008).



Figur 3: Bygningers energiflyt (Høseggen, 2008)

Lvert energi, punkt 6, defineres som summen av energi levert for å dekke bygningens totale energibehov, inkludert systemtap (Standard Norge, 2023b), og brukes til beregning av karbonutslipp og kjøpt energikostnad. Egenprodusert fornybar energi, vist som punkt 5, inkluderes som en energigevinst, og trekkes fra levert energi. Energisystemet for bygninger baserer seg på energiforsyningen og aktuell energikilde, og kan være blant annet elektrisitet, gass, olje og fjernvarme. Valg av energikilde har stor påvirkning på systemtapet inkludert i levert energi, hvor elektrisitet har lavt systemtap og olje/gass og høyt systemtap (Enova, u.å.-a). De ulike energikildene har forskjellige CO₂-faktorer og energipriser som påvirker det totale karbonutslippet og økonomiske kostander. Netto energibehov, punkt 4 på figuren over, er bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden (Standard Norge, 2023b). Energipostene i energibudsjettet som styrer netto energibehov er oppvarming (romoppvarming og ventilasjonsvarme), varmtvann, vifter, pumper, belysning, teknisk utstyr og kjøling (romkjøling og ventilasjonskjøling). Netto energibehov [kWh/år] og netto spesifikt energibehov [kWh/(m²*år)] er kravdefinert og brukes i evaluering mot forskrifter.

2.2.3 Varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) og varmetap

Varmegjennomgangskoeffisient [W/m^2K], også kalt U-verdi, er et mål på varmeisoleringssegenskapene for plane, sjiktoppbygde bygningsdeler, og er definert som den varmestrømstettheten (W/m^2) som passerer bygningsdelen under stasjonære forhold med en lufttemperaturforskjell på 1 K (Thue, 2019, s.214). Et annet mål på varmeisolasjonsevnen for bygningsdeler er varmemotstand R [m^2K/W], som uttrykkes av et forhold mellom materialtykkelse d og materialets varmekonduktivitet λ , vist i formel 1 under. U-verdien, definert over, kan også uttrykkes som den inverse verdien av varmemotstanden R med et påslag ΔU av potensielle ikke-ideelle forhold etter NS-EN ISO 6946 (Geving, 2021, s.23). Formel 2 viser formelen for U-verdi uttrykket som den inverse av varmemotstanden R . Dette gjør at materialer og bygningsdeler med god isolasjonsevne har høye verdier av varmemotstanden R med korrelerte lave U-verdier.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (m^2K/W) \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{R} + \Delta U \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (2)$$

For konstruksjoner og bygningsdeler med sammensatte sjikt, for eksempel en bindingsverksvegg, beregnes varmemotstanden R med å ta gjennomsnittet av øvre grenseverdi og nedre grenseverdi av varmemotstanden for å finne reell verdi (Geving, 2021), vist i formel 3. Den øvre grenseverdien er en teoretisk for stor varmemotstand som beregnes ved å dele opp varmestrømmen i de ulike feltene den sammensatte konstruksjonen består av (Geving, 2021), fremstilt i formel 4 hvor f står for størrelsesandelen av feltene. Den nedre grenseverdien er en teoretisk for lav varmemotstand som beregnes ved å se på det sammensatte sjiktet som en blanding (legering) av materialene det består av (Geving, 2021). Formlene for nedre grenseverdi vises i formel 5 og 6, hvor $R_{\text{felt,sjikt}}$ står for varmemotstanden for det spesifikke sjiktet i det aktuelle feltet og R_n er varmemotstanden for hvert enkelt sjikt, inkludert det sammensatte sjiktet omregnet til ekvivalent varmemotstand (Geving, 2021). R_{si} og R_{se} er henholdsvis innvending og utvendig overgangsmotstand. NS-EN ISO 6946 beskriver ytterligere metoden for å beregne varmemotstand R og U -verdi av sammensatte konstruksjoner. Formlene vist under beskriver en konstruksjon bestående av to felt, for eksempel isolasjon og bindingsverk.

$$R = \frac{R_{\text{øvre}} + R_{\text{nedre}}}{2} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (3)$$

$$R_{\text{øvre}} = \frac{1}{\frac{f_{\text{felt } a}}{R_{\text{felt } a}} + \frac{f_{\text{felt } b}}{R_{\text{felt } b}}} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (4)$$

$$R_{\text{ekv},j} = \frac{1}{\frac{f_{\text{felt } a}}{R_{\text{felt } a, \text{ sjikt } j}} + \frac{f_{\text{felt } b}}{R_{\text{felt } b, \text{ sjikt } j}}} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (5)$$

$$R_{\text{nedre}} = R_{si} + R_n + R_{se} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (6)$$

Bygningers varmeisoleringssevne, enten uttrykket med varmemotstand R eller U -verdi, har stor betydning på byggenes energibehov i form av transmisjonsvarmetap og romoppvarmingsbehov. Det totale varmetapstallet blir beregnet ut fra varmetap fra ventilasjon, infiltrasjon og transmisjon, hvor transmisjonsvarmetapet består av varmetap som skyldes varmegjennomgang i bygningsdeler (Standard Norge, 2023b).

Transmisjonsvarmetapet er omvendt korrelert med energibehovet til oppvarming.

Transmisjonsvarmetapet bestemmes av bygningsdelens areal, U-verdi og temperaturforskjell, og uttrykkes i formel 7 under (Thue, 2019, s. 245-246). Høy U-verdi (lav varmeisoleringssevne) gir et høyt transmisjonsvarmetap og dermed et økt oppvarmingsbehov, mens lav U-verdi (høy varmeisoleringssevne) gir et lavt transmisjonsvarmetap og dermed et redusert oppvarmingsbehov.

$$Q_j = t \cdot \sum_j A_j \cdot U_j \cdot \overline{\Delta\theta_j} \quad (\text{Wh}) \quad (7)$$

Hvor:

Q_j = Totalt beregnet transmisjonsvarmetap

t = Tid av beregningsperiode

A_j = Bygningsdelens areal

U_j = Bygningsdelens U-verdi

$\overline{\Delta\theta_j}$ = Gjennomsnittlig temperaturforskjell

2.2.4 Ventilasjon

Et annet sentralt tema innenfor energiteori knyttet til oppgaven vår er ventilasjon, med ulike ventilasjonsprinsipper og dets påvirkning på varmetap og energibehov. Det skilles mellom tre ventilasjonsprinsipper:

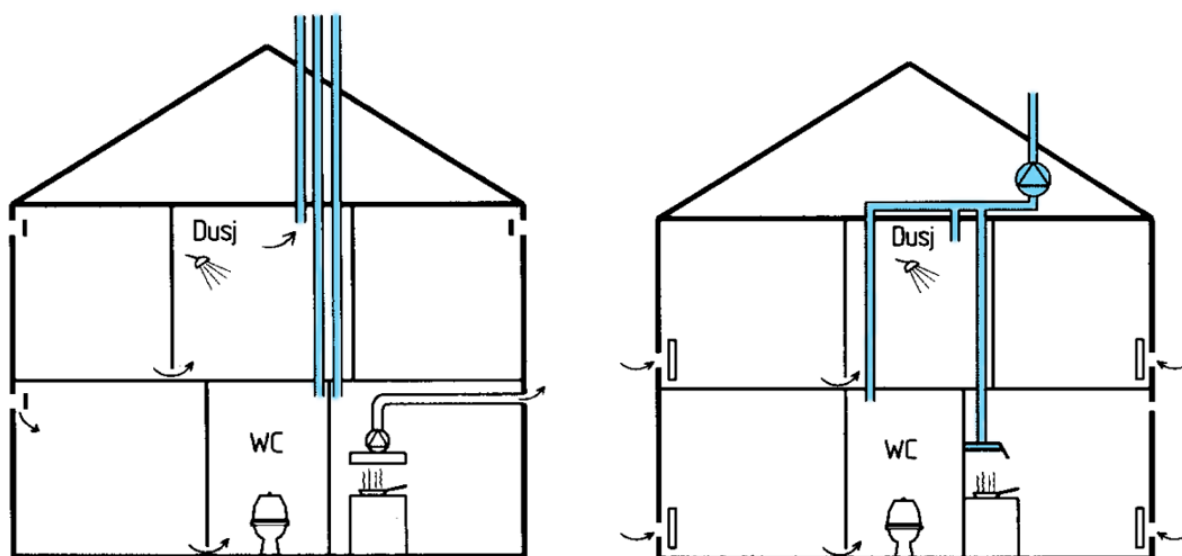
- Naturlig ventilasjon
- Mekanisk avtrekksventilasjon
- Balansert ventilasjon

(Thue, 2019, s. 143)

Naturlig ventilasjon, også kalt naturlig avtrekksventilasjon, er fremstilt i figur 4a (til venstre) med dets prinsipper. Dette ventilasjonssystemet styres av vind og termisk oppdrift ved at luft tilføres via ventiler og åpninger i bygningens ytterkonstruksjon (Thue, 2019, s. 143), og den termiske oppdriften gjør at den oppvarmede tilluften stiger og ventileres ut av bygningen gjennom kanaler i bad og våtrom (Flexit, u.å.-b). Naturlig ventilasjon er den tradisjonelle metoden for ventilasjon i eldre hus da kravene for luftskifte og inneklimate var små sammenlignet med i dag. Denne ventilasjonstypen gjør at man ikke kan kontrollere luftskifte,

man er avhengig av de naturlige drivkreftene, det er fare for trekkproblemer og det er ingen muligheter for varmegjenvinning (Thue, 2019, s. 143). Dette gjør at naturlig ventilasjon har høyt varmetap og dermed korrelert høyt energibehov. På den andre siden så har naturlig ventilasjon lav investeringskostnad og et sunt inneklima (Windowmaster, u.å.).

Mekanisk avtrekksventilasjon, presentert i figur 4b (til høyre), er et ventilasjonssystem med noen like prinsipper som naturlig ventilasjon. Her blir også luft tilført via ventiler og åpninger i bygningens ytterkonstruksjon (Thue, 2019, s. 143), men avtrekksluften blir sugd ut av rommene via avtrekksvifter. Grunnet avtrekksvifter er luftvekslingen i dette ventilasjonssystemet regulerbart, i motsetning til naturlig ventilasjon (Thue, 2019, s. 143). Dette systemet har mulighet for gjenvinning av varme fra avtrekksluften ved en avtrekksvarmepumpe, som kan redusere varmetapet og energibehovet. Tilluften har ikke mulighet for varmegjenvinning og det kan også oppstå trekkproblemer med dette ventilasjonssystemet (Thue, 2019, s. 143). Grunnet kald tilluft, i likhet med naturlig ventilasjon, har dette ventilasjonssystemet også problemer med høyt varmetap fra ventilasjon (Tekna, 2022).

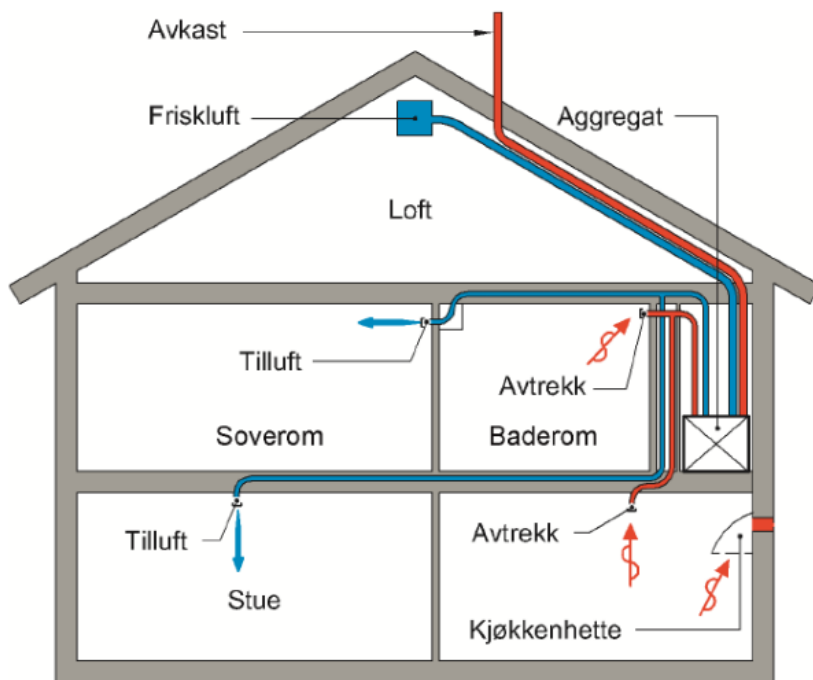


Figur 4: Naturlig ventilasjon (a) og mekanisk avtrekksventilasjon (b) (Byggforsk, 1994)

Balansert ventilasjon, fremstilt i figur 5, er et moderne ventilasjonssystem som baserer seg på at både tilluft og avtrekk er kontrollert og viftedrevet (Thue, 2019, s. 143).

Ventilasjonssystemet inneholder to kanalsystemer, hvor tilluftskanalene tilfører ren og oppvarmet friskluft og avtrekkskanalene fjerner fuktig luft fra kjøkken, bad og våtrom (Flexit,

u.å.-a). Et balansert ventilasjonsanlegg med installert varmegjenvinner kan gjenvinne 70-90 % av varmen fra avtrekksluften og overføre den til tilluften (Enova, 2016). På denne måten er balansert ventilasjon et optimalt ventilasjonssystem med tanke på varmetap og energibehov, sammenlignet med naturlig ventilasjon og mekanisk avtrekksventilasjon. På den andre siden har balansert ventilasjon en høy investeringskostnad og et større vedlikeholdsbehov enn naturlig ventilasjon og mekanisk avtrekksventilasjon (Enova, u.å.-b).

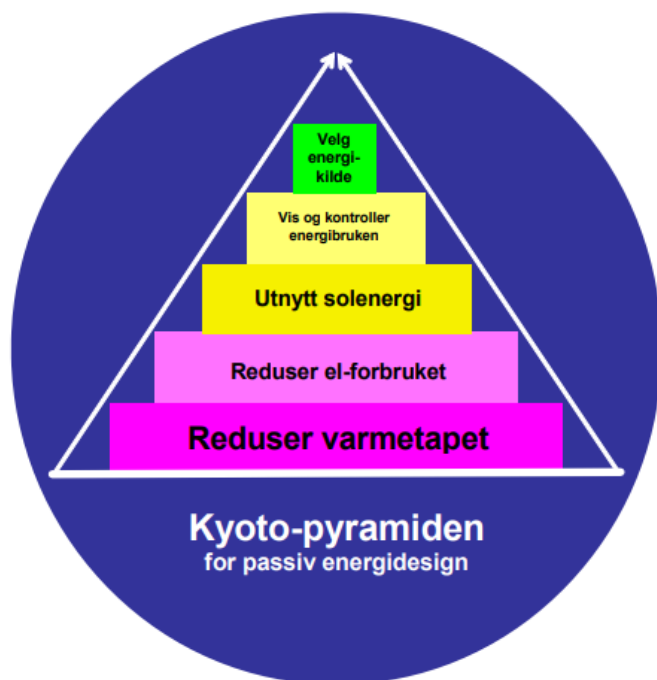


Figur 5: Balansert ventilasjon (Byggforsk, 1994)

2.2.5 Energireducerende tiltak

Energieffektiviserende og -reducerende tiltak på bygninger omfatter en rekke tiltak som reduserer byggets energiforbruk og energibehov (Miljødirektoratet, 2023). En vanlig strategi for valg av energisparende tiltak på bygninger er fremstilt gjennom kyoto-pyramiden (Mysen, 2008), i figur 6. Denne strategien følger en 5-steget prosess for å minimere det totale energibruket i bygninger. Konkretiseringen av denne oppgaven til å inkludere kun klimaskjerm og ventilasjon gjør steg 1 i kyoto-pyramiden til det mest aktuelle prinsippet for energireducerende tiltak. Dette steget dreier seg om å redusere varmetapet fra bygningen mest mulig blant annet gjennom ekstraisolering av klimaskjerm, superisolerte vinduer og dører, redusere lekkasjetallet, balansert ventilasjon med høy andel varmegjenvinning (Dokka & Hermstad, 2006). Lekkasjetallet viser hvor mange ganger luften skiftes ut per time hvor et

lavt lekkasjetall er avhengig av tett bygningsform og riktig detaljutførelse av overganger (Tekna, 2021).



Figur 6: Kyoto-pyramiden (Mysen, 2008)

2.2.6 NS 3031: Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data

NS 3031: *Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data* fastlegger regler for beregning av bygningers varmetapstall, totalt netto energibehov i et energibudsjett, levert energi til bygninger fordelt på ulike energivarer og primærenergi, CO₂-utslipp og energikostnad (Standard Norge, 2014, s. 4). Standarden er et viktig ledd for å blant annet vurdere bygningers tilfredstillelse av energikrav gitt i Byggteknisk forskrift, dokumentere teoretisk energibehov og optimalisere energiytelsen til bygninger ved å bruke metoden på alternative løsninger og energiltak (Standard Norge, 2014, s. 4). NS 3031:2014 ble tilbaketrasket som norsk standard i 2018 grunnet konflikt med europeiske standarder, men skal benyttes inntil videre ettersom de norske forskriftene fortsatt viser til den (Sæter, 2021). Det er også blitt utgitt en Norsk Spesifikasjon (SN-NSPEK 3031), som kan brukes som et supplement for til energiberegning av bygg (Sæter, 2021)

Standardens kompleksitet og omfang gjør at metodene og reglene beskrevet i NS 3031 egner seg i større grad for et databasert beregningsverktøy (Standard Norge, 2014, s. 3). NS 3031

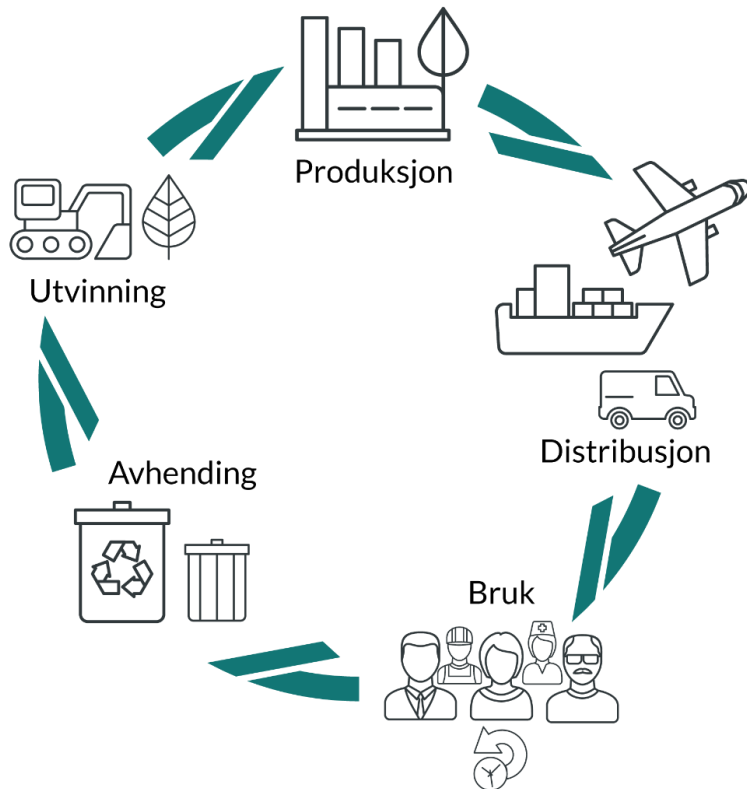
oppgir en rekke normerte inndata som brukes som standardiserte verdier for gjennomføring av energiberegninger med bruk av digitalt verktøy. Eksempler på slik veiledende inndata som brukes i denne oppgaven er effektbehov for belysning, teknisk utstyr og varmtvann, driftstider, settpunkttemperaturer, normaliserte kuldebroverdier og spesifikke luftmengder.

2.3 Bygg og klimagassutslipp

I byggenæringen er det store klimagassutslipp som skyldes produksjon, transport og bruk av byggevarer og materialer (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Ifølge lederen for Byggenæringens landsforening, Guro Hauge, skaper byggenæringen et klimagassutslipp på 9,1 millioner tonn CO₂. Dette tilsvarer 15 prosent av norske utslipp (Sandberg, 2022). I dette delkapitlet skal vi se nærmere på teorien bak brakeriggens klimagassutslipp. Det vil innebære å forklare relevante analysemetoder og begreper, samt beskrive den norske standarden for beregning av klimagassutslipp fra bygg.

2.3.1 Life Cycle Analysis (LCA)

LCA (Life Cycle Analysis) er en vurdering av hvordan miljøpåvirkning ett produkt, eller et produktsystem har gjennom hele livsløpet. En LCA-analyse er et viktig verktøy for å kartlegge hvilke miljøproblemer som er det største i et system og hvor problemene ligger i livsløpet. En slik analyse kan også benyttes for å finne det største forbedringspotensialet i systemet (LCA.no, u.å.). Under ser man en enkel fremstilling av hvordan et livsløp til et produkt kan se ut. De første stegene i prosessen dreier seg om utvinning, produksjon og distribusjon av materialer, neste steg er produktets bruksfase, og til slutt produktets avhending. Syklusen kan for eksempel være for et fullstendig bygg eller ulike materialer. En LCA-analyse kan bidra til dokumentasjonsprosessen av ulike produkter, slik at EPD-filene, presentert i kapittel 2.3.2, blir mer fullstendig.



Figur 7: LCA: Fremstilling av et livsløp for et produkt (LCA.no, u.å.)

For å kunne anvende en LCA-analyse er det noen konkrete begreper som er relevante å forstå. Dette innebærer GWP og CO₂-ekvivalenter. GWP (Global Warming Potential) er det globale oppvarmingspotensialet til atmosfæren fra en klimagass. For å få korrekte GWP-verdier er det viktig å spesifisere hvilket tidsrom og materialer man ser på (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). For å kunne sammenligne og summere ulike klimagasser i et totalutslipp vektet hver klimagass etter en gitt GWP-verdi, slik at hver gass regnes om til CO₂-ekvivalenter. Noen eksempler på GWP-verdier for ulike klimagasser er karbondioksid (CO₂) = 1, Metan (CH₄) = 28 og Lystgass (N₂O) = 265 (Skyrudsmoen, 2023). For klimagassregnskap etter TEK 17 § 17-1 (TEK17, 2017d) skal det for byggevarer med biobaserte råvarer, for eksempel treverk, benyttes verdier for GWP-IOBC. GWP-IOBC tar utgangspunkt i GWP-total, men antar at all CO₂ som trær tar opp i fotosyntesen slippes ut samtidig som det tas opp (Gyproc, u.å.). For de fleste produkter vil GWP-IOBC ligge nært oppgitt verdi for GWP-fossil i EPD-filen, og GWP-fossil kan dermed brukes som verdi for GWP-IOBC (Gyproc, u.å.) (Boligprodusentene, 2021)

CO₂-ekvivalenter (CO₂e) er enheten for GWP, og brukes som enhet i klimagassregnskap. Enheten forteller oss hvor mye utslipp forskjellige klimagasser har. Enheten tilsvarer

påvirkningen ett tonn har på globale oppvarmingen på 100 år (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Forskjellige klimagasser blir gjort om til samme enhet (CO₂e) ved bruk av deres GWP-verdi, beskrevet over.

2.3.2 Environmental Product Declaration (EPD)

En EPD-fil er en miljødeklarasjon for komponenter, tjenester eller ferdige produkter. Det er et verifisert tredjepartsdokument som fremstiller informasjon om miljøpåvirkningen til produkter, igjennom hele livsløpet (EPD-norway, u.å.). EPD-filer er en del av en strategi for å oppnå bærekrafts-målene. Innenfor byggenæringen er EPD-er først og fremst brukt for å velge riktig materiale med tanke på bærekraft, altså de materialene som har lavest utslipp av CO₂e gjennom hele livsløpet. En EPD-fil baserer seg på livsløpsanalyser (LCA) etter samme standard (ISO 14040-14040), hvor miljøprofilen innenfor samme produktkategori sammenlignes med hverandre (EPD-Norge, u.å.). Etter at en EPD er utarbeidet sendes den til en uavhengig tredjepart som verifiserer dokumentet. I Norge er en slik operatør EPD-Norge. Dersom EPD-filen godkjennes blir den publisert på nettet av EPD-Norge. Her har alle tilgang, og man kan enkelt få oversikt over produkters miljøpåvirkning. EPD-Norge samarbeider med ECO-plattform som er en internasjonal organisasjon som samarbeider om å samordne EPD-filer på tvers av landegrenser (EPD-Norge The Norwegian EPD Foundation, 2016).

EPD-filer oppgir miljøpåvirkning, ressursbruk, avfallsfaktorer og gjenbruksfaktorer for materialer. I beregningene av en LCA-analyse brukes miljøpåvirkning oppgitt i parameteren GWP for byggevarer uten opptak av biogent karbon og GWP-IOBC (ev. GWP-fossil) for byggevarer bestående av biobaserte råvarer. Etter NS 3720 (Standard Norge, 2018, s. 10) deles datakvalitet for CO₂-faktorer i en LCA-analyse inn i to ulike nivåer. Nivå 1 er spesifikke data som er beregnet (Standard Norge, 2018, s. 10). Konkrete EPD-filer for valgt materiale faller innenfor nivå 1 av datakvalitet. Nivå 2 er generiske, gjennomsnittsdata og representative data (Standard Norge, 2018, s. 10). Utslippsfaktorer innenfor nivå 2 gis et usikkerhetspåslag på 25 %, med mindre påslaget allerede er lagt til (Kalleberg, 2023). Databaser som inneholder generiske utslippsverdier innenfor nivå 2 er blant annet Boverket (Klimatdatabasen, 2024) og Ökobaudat (ÖKOBAUDAT, 2021) (Kalleberg, 2023).

2.3.3 NS 3720: Standard for klimagassberegninger for bygg

Det stilles krav i TEK 17 § 17-1, at fra 1.juli 2022 skal materialer brukt i boligblokker og yrkesbygg inneholde et klimagassregnskap. Klimagassregnskapet skal følge standarden NS 3720:2018. Formålet med standarden er å bidra til at byggenæringen gjør sitt for å oppnå Norges klimamål (nærmere beskrevet i kap.2.3.1) (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). § 17-1 TEK17 går slik:

Ved oppføring og hovedombygging av boligblokk og yrkesbygning skal det utarbeides et klimagassregnskap basert på metoden i Norsk Standard NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger.

Klimagassregnskapet skal som minimum inkludere modulene A1-A4, B2 og B4 for bygningselementene angitt i tabell Bygningsdeler. I tillegg skal avfallet fra byggeplassen inngå i klimagassregnskapet

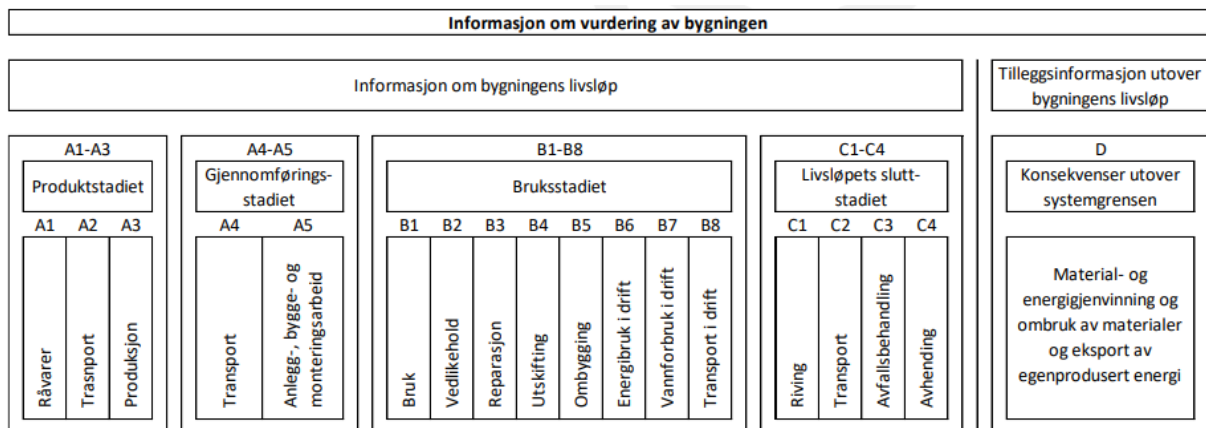
(TEK17, 2017d)

Det som blir beskrevet som moduler i paragrafen over er de ulike fasene i livsløpet til produktet. Figur 8 og punktene under presenterer de ulike modulene i en LCA-analyse etter NS 3720:

- **A1-A3 – Produktstadiet:** Stadiet innebærer uthenting av råvarer (A1), transport av uthentede råvarer produksjon på fabrikk (A2) og selve produksjonen (A3) (Direktoratet for byggkvalitet, 2022).
- **A4-A5 – Gjennomføringsstadiet:** (A4) er utslippene i forbindelse med transport av byggevarene til byggeplassen, dette innebærer med emballasjen på. Neste stadiet (A5) er forberedelse til oppføring av bygget, og selve oppføringen av bygget. Dette inkluderer utslipp i form av svinn, produksjon, transport på byggeplass og avfallshåndtering (emballasjen som materialene ble transportert med gjelder også her) (Direktoratet for byggkvalitet, 2022).
- **B1-B8 – Bruksstadiet:** Disse modulene gjelder for utslipp da bygget er i bruk. For den aktuelle brakkeriggen er denne fasen mye kortere enn for en vanlig boligbygning grunnet kortere levetid. Bruk (B1), vedlikehold (B2), reparasjon (B3), utskifting (B4), ombygging (B5), energibruk i drift (B6), vannforbruk i drift (B7) og transport i drift (B8) er de ulike modulene innenfor bruksstadiet (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Energibruk i drift (B6) beregnes ved å multiplisere levert energi til bygget med en

konkret utslippsverdi/-faktor (CO₂-faktor) basert på valgt energivare (Standard Norge, 2018, s. 15-16)

- **C1-C4 – Livsløpets sluttstadium:** Dette stadiet innebærer klimagassutslipp fra rivningen av bygget (C1), transport av riveavfall bort fra byggeplass (C2), transport av materialer til avfallsbehandling (C3) og transport av materialer/deler av bygget til avhending (C4) (Direktoratet for byggkvalitet, 2022).
- **D – Konsekvenser utenfor systemgrensen:** Dette innebærer material- og energigjenvinning og eventuelt eksport av egenprodusert energi (Direktoratet for byggkvalitet, 2022).



Figur 8: Moduler og stadier i bygningers livsløp (LCA) (Direktoratet for byggkvalitet, 2022)

Under presenteres formlene som benyttes for å beregne klimagassutslipp for en byggevare som en del av en hel bygning. Formel 8 beskriver hvordan utslippene for hver enkelt modul beregnes. Det brukes en GWP-faktor/utslippsverdi som gir utslipp for det enkelte materialets fase, som kan finnes i tilhørende EPD-fil. Faktoren/utslippsverdien multipliseres med mengden av materialet, som kan hentes ut fra tegninger og/eller materialbestillinger. Det totale utslippet for hvert material beregnes ved å summere utslippene fra de forskjellige modulene i livsløpet, vist i formel 9. Alle deler av bygningen som inngår i klimagassberegningene skal klassifiseres og kodes i henhold til inndelingen i NS 3451 *Bygningsdelstabell* (Standard Norge, 2018, s. 8). TEK 17 § 17-1 setter krav til at et klimagassregnskap for bygninger skal minimum inneholde fundamentering, bæresystemer, yttervegger, innervegger, dekker og yttertak (TEK17, 2017d).

$$\text{Utslipp}_{\text{modul } i} = \text{GWP-faktor}_{\text{modul } i} * \text{Mengde} \quad (8)$$

$$\text{Totale utslipp} = \sum \text{Utslipp}_{\text{moduler}} \quad (9)$$

2.4 Investeringsanalyse

En investering kan defineres som å bruke ressurser i dag for å skaffe seg bedre ressursgrunnlag i fremtiden (Torvatn et al., 2019, s. 368). En investeringsanalyse dreier seg om å benytte beregningsmetoder for å oppnå vurderingsgrunnlag for å kunne vurdere ulike investeringer. Formålene med en investeringsanalyse er å vurdere om én spesifikk investering skal gjennomføres eller ikke, eller å vise hvilke(n) investering(er) som skal gjennomføres av et sett med ulike investeringer (Torvatn et al., 2019, s. 368). I denne delen av teorikapitlet skal det redegjøres for nytte-kostnad-analyse, netto-nåverdimetoden og standarden for vurdering og beregningsmetode av bygningers økonomiske prestasjon

2.4.1 Nytte-kostnad-analyse

En nytte-kostnad-analyse defineres som et systematisk forsøk på å måle og veie sammen alle prissatte gevinster og kostnader ved prosjekter/tiltak, med henblikk på om prosjektene/tiltakene bør gjennomføres eller ikke (UIO, u.å.). Hovedformålet med en nytte-kostnad-analyse er å kartlegge og synliggjøre konsekvensene ved alternative tiltak før beslutninger tas (Hervik et al., 1998). Et annet økonomisk uttrykk som baserer seg på nytte-kostnad-analyse er lønnsomhet. Lønnsomhet er definert som en absolutt verdi som bestemmes av totalinntekter minus totale kostnader (CENTIGA, 2021), og beskriver derfor om et prosjekt/tiltak er lønnsomt, på samme måte som en nytte-kostnad analyse. Formel 10 under viser formelen for lønnsomhet, som stammer fra nytte-kostnad analyse.

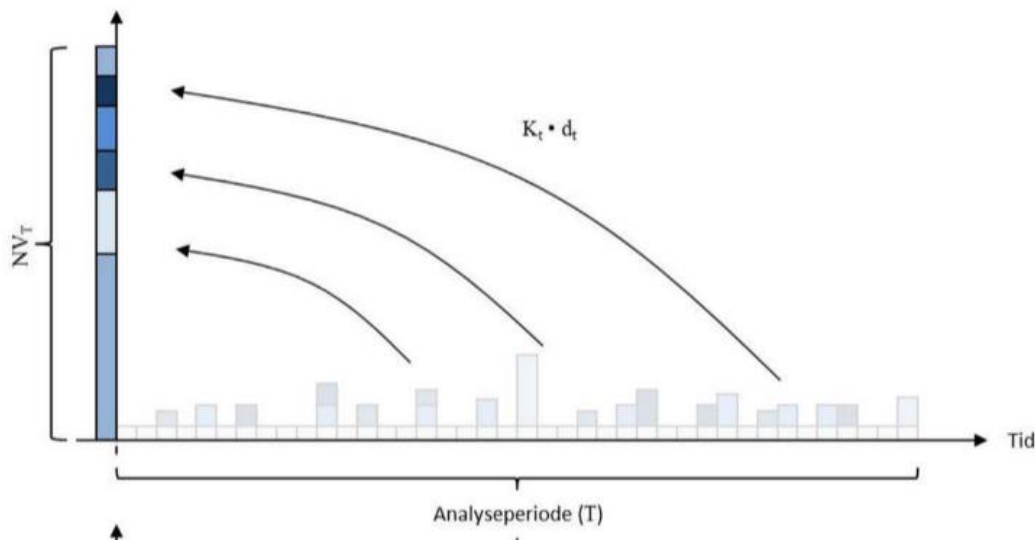
$$\text{Lønnsomhet} = \text{Inntekter} - \text{Kostnader} \quad (10)$$

2.4.2 Netto-nåverdimetoden

Nyttevirkninger/inntekter og kostnader anvendt i en innvesteringsanalyse og nytte-kostnad-analyse påløpes gjerne på ulike tidspunkter. På grunn av dette brukes det en metode for å konvertere summene til en felles målestokk kalt nåverdiprinsippet (UIO, u.å.). Netto-nåverdi er de fremtidige nyttevirkinger og kostnader diskontert til investeringstidspunktet (Hervik et

al., 1998), hvor tiltak med positiv netto-nåverdi regnes som lønnsomme (UIO, u.å.). Formelen for netto-nåverdi er presentert under i formel 11, hvor NNV er netto-nåverdi, K_0 er investeringskostnaden (oppgitt i minus), K_t er kostnader for hvert år t og r er kalkulasjonsrente/diskonteringsrente (Torvatn et al., 2019, s. 370). Figur x under gir en oversikt over netto-nåverdi som en kalkulasjonsmetodikk (Standard Norge, 2016, s. 8). Diskonterings-/kalkulasjonsrenten baserer seg på pengers tidsverdi og risikojustering (Gårseth-Nesbakk, 2024), hvor høy diskonterings-/kalkulasjonsrente gir lav nåverdi av fremtidige kontantstrømmer (ECON Senter for økonomisk analyse, 2002).

$$NNV = K_0 + \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+r)^t} \quad (11)$$



Figur 9: Netto-nåverdi som kalkulasjonsmetode (Standard Norge, 2016, s. 8)

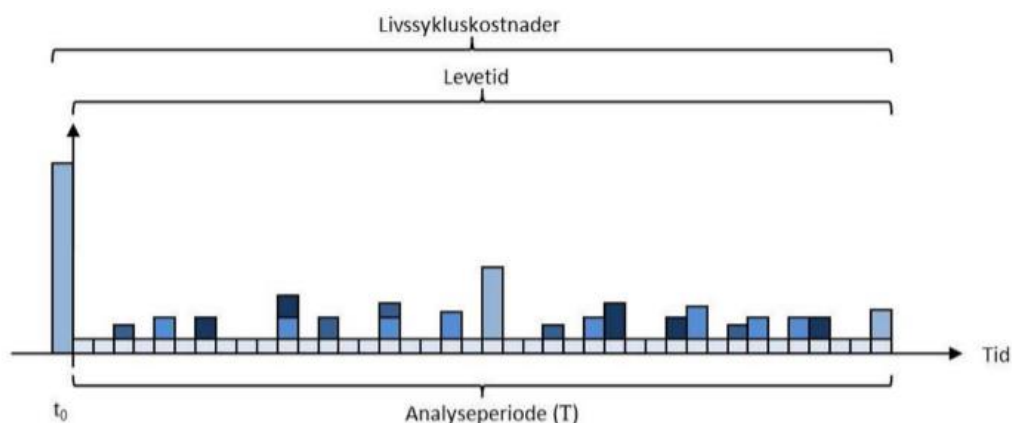
2.4.3 NS-EN 16627: Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon

NS-EN 16627: *Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon – Beregningsmetoder* er en norsk oversatt europeisk standard som angir en beregningsmetode basert på livsløpskostnad (LCC) og andre kvantifiserte økonomiske data for å vurdere bygningers økonomiske prestasjon (Standard Norge, 2023a, s. 1). Livsløpskostnader (LCC) omfatter alle kostnader ved en bygning eller del av byggverk gjennom hele livsløpet (Standard Norge, 2023a, s. 6). Figur 10 presenterer kalkulasjonsmetodikken basert på livssyklus kostnader med prosjektkostnad/investeringskostnad og årlige FDVU-kostnader

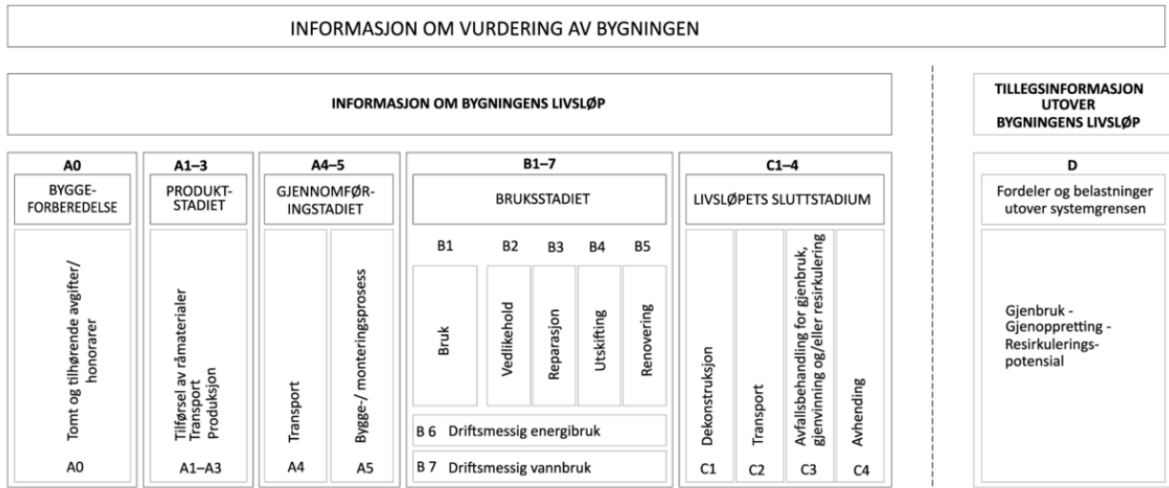
(Standard Norge, 2016, s. 8). Livssyklus kostnadene inkluderer investeringskostnad og alle årlige FDVU-kostnader innenfor en analyseperiode og levetid på T år. Netto-nåverdimetoden, presentert i figur 9, diskonterer alle årlige kostnader til en samlet levetidskostnad.

Levetidskostanden er definert som netto-nåverdien av livssyklus kostnadene (Bjørberg et al., 2007).

Vurderingen av bygningers livsløpskostnader (LCC) baserer seg på en systemgrense av bygningen og følger «modularitetsprinsippet» hvor prosesser som påvirker den økonomiske prestasjonen i løpet av bygningens livsløp skal tilordnes moduler basert på tidspunkt og prosessstype (Standard Norge, 2023a, s. 16). Figur 11 beskriver de ulike modulene for de forskjellige stadiene i vurderingen av bygningers livsløpskostnader og økonomiske prestasjon. Modulene følger samme struktur som ved beregning av LCA i NS 3720. Det er definert stadium for byggeforberedelse (A0) som innebærer klargjøring av tomt avgifter/honorarer. Deretter følger produktstadiet (A1-A3), som inkluderer tilførsel av råmaterialer (A1), transport (A2) og produksjon (A3). Neste stadium er gjennomføringsstadiet (A4-A5), som omfatter transport (A4) og byggeprosessen (A5). Bruksfasen (B1-B7) innebærer all bruk (B1), vedlikehold (B2), reparasjon (B3), utskifting (B4), og renovering (B5), samt driftsmessig energibruk (B6) og vannbruk (B7). Siste stadium innenfor systemgrensen er definert som livsløpets sluttstadium (C1-C4), som inkluderer dekonstruksjon (C1), transport (C2), avfallsbehandling (C3) og avhending (C4) (Standard Norge, 2023a, s. 16-23). Det er også definert et tilleggsstadium for fordeler og belastninger utover systemgrensen (D) (Standard Norge, 2023a, s. 24).



Figur 10: Livsløpskostnad som kalkulasjonsmetode (Standard Norge, 2016, s. 8)



Figur 11: Moduler i vurdering av bygningers økonomiske prestasjon (LCC) (Standard Norge, 2023a, s. 17)

3 Case

I dette kapitlet skal brakkeriggen fra Moelven Byggmodul, som er utgangspunktet for energi-, klima-, og økonomioptimaliseringen, beskrives. Det skal vises til tegninger og tekniske spesifikasjoner av planløsning, klimaskjerm og ventilasjonssystem. Fullstendige tegninger av brakkeriggen er vedlagt i vedlegg 1. Det skal også presenteres foreslåtte løsninger (scenarier) av brakkeriggen med energireduserende tiltak, som gir utgangspunkt til senere analyse.

3.1 Brakkerigg fra Moelven Byggmodul

3.1.1 Planløsning og fasader

Figur 12 og 13 viser henholdsvis tegninger av planløsning for plan 1 og plan 2. Ut fra tegningene ser vi at bygget har en tydelig struktur med oppdeling av bruksområde og funksjon. Både i plan 1 og plan 2 er det 11 moduler som er satt av til hybelrom og innkvartering til høyre for trapperom/inngangsparti i tegningene. Dette gir totalt 44 boenheter. I plan 1 er det satt av én modul til inngangsparti, trapperom og lager. I plan 2 er det også satt av én modul med lik bruksfunksjon som tilvarende modul i plan 1, utenom inngangsparti. I plan 1 er de fire modulene til venstre i tegningene satt av til garderobe og vaskerom. For plan 2 er det i tilsvarende moduler lagd stue og felles oppholdsrom. Figur 14, 15 og 16 fremstiller henholdsvis fasadetegninger sett fra inngangsparti (antatt sør), nord, øst og vest. Tabell 4 presenterer mengder og størrelser for det totale bygget, ulike soner og ulike bygningsdeler.

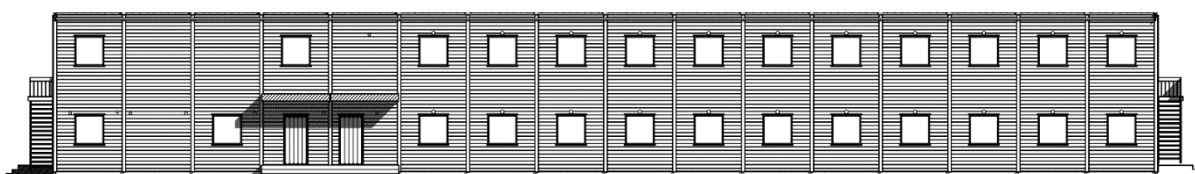


Figur 12: Brakkerigg - planløsning plan 1

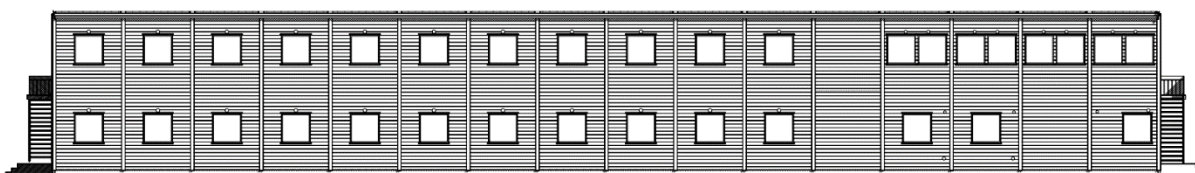
PLAN 2



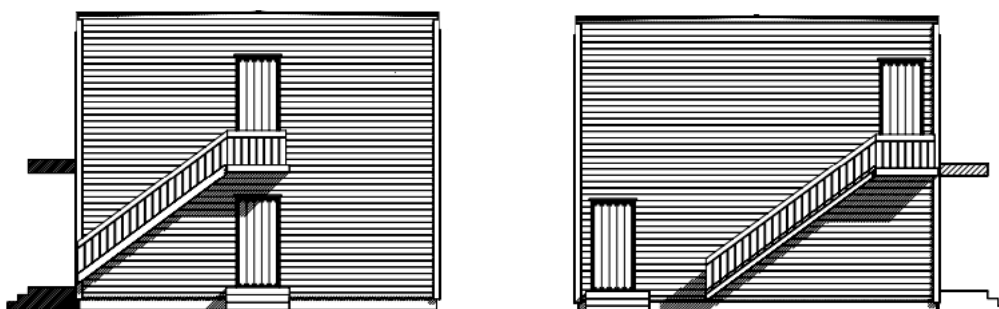
Figur 13: Brakkerigg - planløsning plan 2



Figur 14: Brakkerigg - fasade sør



Figur 15: Brakkerigg - fasade nord



Figur 16: Brakkerigg - fasade øst (a) og fasade vest (b)

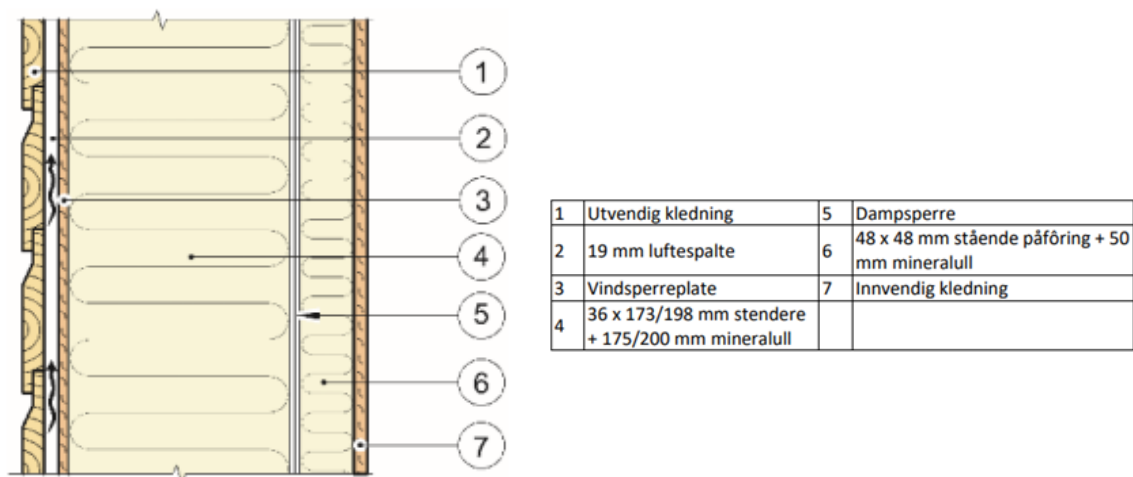
Tabell 4: Brakkerigg - størrelser og mengder

Størrelse/bygningsdel	Total mengde
BRA, sone: Garderobe og vaskerom plan 1	115,4 m ²
BRA, sone: Hybelrom plan 1 og plan 2	514,2 m ²

BRA, sone: Oppholdsrom plan 2	115,4 m ²
BRA totalt	745 m ²
Oppvarmet luftvolum	2012 m ³
Fasader	548 m ²
Gulv	373 m ²
Yttertak	373 m ²
Vinduer	59 stk. x 1,2m x 1,2m = 85 m ²
Ytterdører	6 stk. x 1m x 2m = 12 m ²

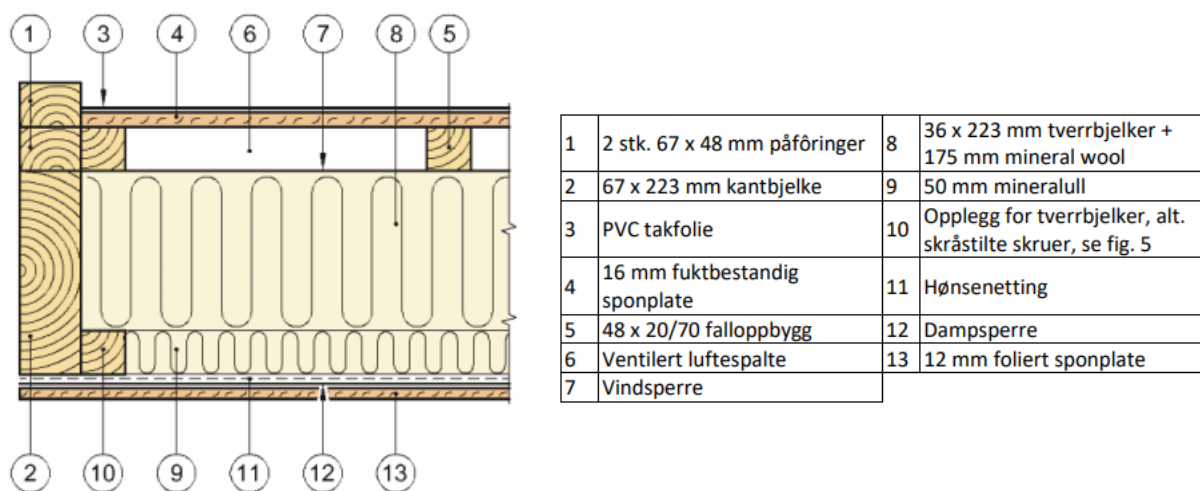
3.1.2 Oppbygning av klimaskjerm

Beskrevet i kapittel 2.1.2 og 2.2.1 er de eneste energikravene for midlertidige bygg gitt i TEK 17 § 14-3 *Minimumsnivå for energieffektivitet*, og det er disse kravene standardriggen/basescenarioet i denne oppgaven er prosjektert etter. Alle detaljeringer for oppbygningen av konstruksjonene i klimaskjermen er hentet fra Moelven Modul sin Sintef tekniske godkjenning, i tillegg til ekstern veiledning fra Moelven Byggmodul (Lundesgaard, u.å.). Figur 17 viser oppbygning av ytterveggs-konstruksjonene med forklaring av ulike sjikt. Sjikt nummer 6 (påføring) i tegningen er ekskludert i analysen ettersom brakkeriggen/standardriggen vi optimaliserer kun har 175 mm isolasjon ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$) i ytterveggene, dermed ikke noe påføring. Beregning av ytterveggs U-verdi, utført i henhold til metoden for beregning av U-verdi av sammensatte sjikt beskrevet i kapittel 2.2.3, med isolasjonstykkelse 175 mm, gir en total U-verdi på 0,22 W/m²K. U-verdi på 0,22 W/m²K er minimumsnivået for energieffektivitet for yttervegger i TEK 17 § 14-3, så konstruksjonen er dermed innenfor energikravet til midlertidige bygninger.

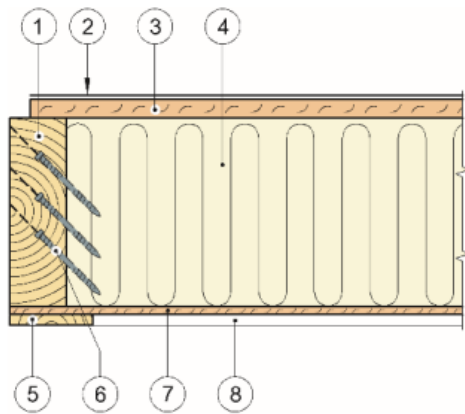


Figur 17: Brakkerigg - oppbygning yttervegg (Lundesgaard, u.å.)

I figur 18 nedenfor fremstilles oppbygning av takkonstruksjonen. Beregning av varmemotstand av sammensatte sjikt for den konstruksjon gir en U-verdi på 0,18 W/m²K med 225 mm isolasjonstykkelse ($\lambda = 0,034$ W/mK). Dette er, på lik linje som ytterveggs-konstruksjonen, tilsvarende og innenfor minimumskravet i TEK 17 § 14-3. Som i ytterveggs-konstruksjonen er det ikke noe påføring i de tekniske løsningene av takelementene vi analyserer, så punkt 9 på figuren av takoppbygningen er ekskludert. Gulvkonstruksjonen med oppbygning og forklaring er presentert i figur 19. Denne konstruksjonen har også 225 mm isolasjonstykkelse ($\lambda = 0,034$ W/mK) og får en U-verdi på 0,18 W/m²K, som er tilvarende og innenfor minimumskravet for energieffektivitet for gulv i TEK 17 § 14-3, fremstilt i tabell 3.



Figur 18: Brakkerigg – oppbygning tak (Lundesgaard, u.å.)



1	Kantbjelke	5	13 x 98 mm svill
2	Golvbelegg	6	2 - 4 stk. 6,5 mm skråstilte skruer til tverrbjelker avhengig av modulbredde og nyttelast
3	22 mm sponplate	7	9 mm fuktbestandig sponplate
4	Min. 36 x 223 mm bjelker + 225 mm mineralull	8	13 mm strølekt

Figur 19: Brakkerigg – oppbygning gulv (Lundesgaard, u.å.)

Tabell 5: Isolasjonstykkelse og U-verdier for bygningsmoduler fra Moelven Byggmodul (Lundesgaard, u.å.)

Bygningsdel	Isolasjonstykkelse [mm] $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$	U-verdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Gulv	225	0,18
	270	0,15
Yttervegg	175	0,22
	200	0,20
	250	0,16
Tak	225	0,18
	325	0,13

Tabell 5 over viser ulike isolasjonstykkelser med korrelerte U-verdier for konstruksjonsdelene i klimaskjermen av Moelven Byggmodul sine bygningsmoduler (Lundesgaard, u.å.).

Isolasjonstykkelsene og U-verdiene med fet skrift er prosjekteringsgrunnlaget i denne oppgaven. Scenarioer med ekstraisolering som energireducerende tiltak baserer seg på tabellen, med høyere isolasjonstykkelser og korrelerte lave U-verdier. De siste konstruksjonsdelene som skal inkluderes i klimaskjermen er vinduer og ytterdører.

Minimumskravet i TEK 17 § 14-3 for vinduer og ytterdører, presentert i tabell 3, er U-verdi på $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er denne U-verdien som anvendes som prosjekteringsgrunnlag av vinduer og ytterdører på brakkeriggen.

3.1.3 Ventilasjonssystem

Det totale ventilasjonssystemet i brakkeriggen er delt inn i tre ulike ventilasjonssystemer basert på soneinndeling beskrevet i kapittel 3.1.1. Tabellen nedenfor beskriver de ulike ventilasjonssystemene for hver sone/funksjon i brakkeriggen. Ulike datablad for ventilasjon er vedlagt i vedlegg 2.

Tabell 6: Brakkerigg - ventilasjonssystemer

Sone/funksjon	Ventilasjonssystem	Beskrivelse
Garderobe og vaskerom plan 1	Avtreksventilasjon	Mekanisk avtreksventilasjon Minste tillatte spesifikke luftmengder: 7 m ³ /hm ² i driftstid og 2 m ³ /hm ² utenfor driftstid.
Hybelrom plan 1 og plan 2	Balansert ventilasjon m/ varmegjenvinner	Pax Eos 100h Temperaturvirkningsgrad: 0,72 SFP-faktor: 0,97 kW/m ³ /s Minste tillatte spesifikke luftmengder: 7 m ³ /hm ² i driftstid og 2 m ³ /hm ² utenfor driftstid.
Oppholdsrom plan 2	Balansert ventilasjon m/ varmegjenvinner	Airmaster 150 Temperaturvirkningsgrad: 0,82 SFP-faktor: 0,73 kW/m ³ /s Minste tillatte spesifikke luftmengder: 7 m ³ /hm ² i driftstid og 2 m ³ /hm ² utenfor driftstid.

3.2 Energiltak og scenarioer

Med utgangspunkt i energisimuleringene av den opprinnelige brakkeriggen fra Moelven Byggmodul, presentert i kapittel 5, har det blitt fremmet ulike energiltak basert på områder for forbedringspotensialet av brakkeriggen. Tabell 7 på neste side, presenterer scenarioene og foreslåtte løsninger med respektive forklaringer, samt en optimalisert løsning som består av de energireducerende tiltakene med størst energi- og karbonbesparende effekt, og økonomisk lønnsomhet. Scenario A, B og C analyser effekten av ekstraisolering av ulike konstruksjoner. Scenario D studerer superisolerte vinduer. Scenario E analyserer halvering av lekkasjetallet (tettere bygg) sammenlignet med det opprinnelige bygget. Scenario F studerer installering av balansert ventilasjon med varmegjenvinning i sone «garderobe og vaskerom plan 1», der det opprinnelig er mekanisk avtrekksventilasjon. Ut fra planløsningen for plan 1 av brakkeriggen, presentert i figur 12, kan det ses at det er opprinnelig 10 tilluftsventiler i denne sonen. Implementering av balansert ventilasjon (scenario F) vil dermed si å installere 10 stk. Pax Eos 100h. Den optimaliserte løsningen blir detaljert beskrevet i kapittel 5 etter analyser av scenarioene A-F.

Tabell 7: Scenarioer og beskrivelse av energireducerende tiltak

Scenarioer	Beskrivelse av energireducerende tiltak
Basescenario	Opprinnelig brakkerigg, beskrevet over i kapittel 3.1
Scenario A	Ekstraisolering yttervegger: $d_{f\phi r} = 175 \text{ mm}$, $U_{f\phi r} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, $d_{ny} = 250 \text{ mm}$, $U_{ny} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
Scenario B	Ekstraisolering tak: $d_{f\phi r} = 225 \text{ mm}$, $U_{f\phi r} = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, $d_{ny} = 325 \text{ mm}$, $U_{ny} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
Scenario C	Ekstraisolering gulv: $d_{f\phi r} = 225 \text{ mm}$, $U_{f\phi r} = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, $d_{ny} = 270 \text{ mm}$, $U_{ny} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Scenario D	Superisolerte vinduer: $U_{f\phi r} = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{ny} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$
Scenario E	Halvering av lekkasjetall: $n_{50f\phi r} = 1,5 \text{ h}^{-1}$, $n_{50ny} = 0,75 \text{ h}^{-1}$
Scenario F	Balansert ventilasjon m/ varmegjenvinner (Pax Eos 100h, 10 stk.) i garderobe og vaskerom plan 1
Optimalisering	Totalt optimalisert løsning av klimaskjerm og ventilasjon

4 Metode

I dette kapittelet skal metodene som er blitt brukt til å belyse problemstillingen gjennomgås. De ulike programvarene som er blitt benyttet for å utføre beregninger vil beskrives nærmere og det vil forklares hvordan disse er blitt brukt. Eventuelle premisser/antakelser som påvirker resultatene, vil bli gjort rede for. Ved en detaljert beskrivelse av fremgangsmåtene fra start til slutt vil resultatene kunne etterprøves.

4.1 Litteratursøk

Oppgavens problemstilling la grunnlag for litteratursøket. I problemstillingen og oppgavens tematikk ble brakkerigger et sentralt fokus i søket. Nasjonale og internasjonale resultater ble tatt i betraktning etter bruk av noen fastsatte konkrete søkeord. Et viktig mål med søket var å finne ut hva som eksisterte av litteratur fra før av og om noen allerede hadde forsket på samme tema og problemstilling som i denne oppgaven. Det var også sentralt å få med det internasjonale perspektivet. Å finne ut hva som eksisterte av faglitteratur knyttet direkte til Moelven Byggmodul og deres brakkerigger var det første som ble gjort.

Det ble brukt flere søkemotorer for å finne informasjon. Google Scholar og Oria var i hovedsak der treff på akademisk litteratur som ble brukt videre i oppgaven ble funnet. Dette er egne databaser egnet for å finne slike arbeider. Det ble også gjort flere treff i andre søkemotorer under bredere søk knyttet til ulike aspekter ved oppgaven, av ulik relevans, som ble tatt med videre.

Det ble under søket funnet en god del eksisterende litteratur knyttet til hovedelementer i oppgaven. Søket baserte seg på forhåndsbestemte søkeord som ble ansett som nøkkelord i problemstillingen og oppgavens hovedtematikk. Søkeordene som ble brukt i oppstarten var «brakkerigg», «modulbygg», «Moelven Byggmodul», «building modules», «modular building» og «barrack rig». Alle disse ga diverse treff nasjonalt og internasjonalt.

Konklusjonen var at det var mye stoff å ta med seg videre og studere nærmere, men at oppgaven vår konkret rundt optimalisering av brakkerigger virket å skille seg ut nok fra eksisterende akademisk litteratur til at det ikke ble noen kopi av tidligere publikasjoner. «Life

cycle environmental assessment of temporary building constructions», «Energireducerende tiltak i Husarveien 26» og «Optimization of energy consumption and cost effectiveness of modular buildings by using renewable energy sources» er eksempler på titler på tidlige funn i søket.

4.2 Programvare

For å fremme resultater av netto energibehov, levert energi, klimagassregnskap og investeringsanalyse er det blitt benyttet ulike digitale verktøy og programvarer. Disse blir redegjort for under.

4.2.1 Excel

Microsoft Excel er et regnearkprogram og en del av Microsoft Office-pakken. I programmet kan man utføre beregninger, opprette tabeller og diagrammer, analysere informasjon og behandle lister og talldata («Microsoft Office Excel», 2023) (Tidsbanken, u.å.).

I denne oppgaven er Excel benyttet i alle tre analyser av scenarier og energireducerende tiltak. For energi-, klimagassutslipp- og økonomidelen av oppgaven er programvaren brukt som et verktøy for å opprette diagrammer av sammenstillingene for resultatene. Excel er også benyttet som et beregningsverktøy for klimagassberegningene og investeringsanalysen.

4.2.2 Simien

Simien er Norges ledende verktøy for energiberegning av bygg og blir brukt av ingeniører, arkitekter, takstmenn og produktleverandører (Simien, u.å.-b). Programvaren bygger på beregningsmetoden beskrevet i NS 3031:2014 (Simien, u.å.-b). Beregningsverktøyet kan blant annet brukes som evaluering mot byggtekniske forskrifter, energimerking og beregning av årlig energibehov og levert energi (Simien, u.å.-b).

I denne oppgaven er Simien anvendt som simulerings- og beregningsverktøy av årlige energibehov og levert energi for både det opprinnelige bygget og ulike scenarier/energitiltak. Beregningene av levert energi utført i Simien legger grunnlaget for spart klimagassutslipp i klimagassberegningene og spart energikostnad i investeringsanalysen.

4.2.3 Norsk Prisbok

Norsk Prisbok er et digitalt oppslagsverk for den norske byggebransjen, produsert av Norconsult Digital (Norconsult, u.å.). Oppslagsverket oppgir byggekostnader, levetidskostnader og klimagassavtrykk for ulike bygningstyper, bestående av mer enn 1900 elementer og opp mot 5000 prislinjer per fag (Norconsult, u.å.). Programvaren kan blant annet benyttes som kostnadsvurdering i tidligfasen av et prosjekt, vurdering av bæresystem i en bygning og sammenligning av kostnader for ulike ytelses- og kvalitetsvalg (Norconsult, u.å.).

I denne oppgaven anvendes Norsk Prisbok som kostnadsestimering for investeringene av de ulike scenarioene/energiltakene, hvor enhetsprisen for aktuelle elementer og prislinjer gir grunnlaget for investeringskostnadene.

4.3 Metodikk for energisimuleringer

Metoden for gjennomføring av energisimuleringer baserer seg på teorien presentert i kapittel 2.2. Energisimuleringene utføres i henhold til NS 3031:2014: *Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data*, beskrevet i kapittel 2.4.3. Standardens kompleksitet og omfang gjør at metodene og reglene beskrevet i NS 3031 egner seg i større grad for et databasert beregningsverktøy (Standard Norge, 2014, s. 3). I denne oppgaven benyttes Simien som databasert beregningsverktøy for energisimuleringene. NS 3031 oppgir en rekke normerte inndata som brukes som standardiserte verdier for gjennomføring av energiberegninger med bruk av digitalt verktøy, hvor de standardiserte verdiene følger bygningsskategorien. Bygningstypen for brakkeriggen er definert til å være hotellbygning. Tabell 8 presenterer beregningsparametere som benyttes for energisimuleringene utført i Simien. De fleste verdiene følger standardverdier oppgitt i NS 3031. Det er justert verdier for beregningsparameterne luftmengder for ventilasjon og belysning. Tilluftsmengde og avtrekksluftmengde er justert til minste tillatt luftmengde i henhold til NS 3031. Minste tillatt luftmengde skal benyttes dersom antatte luftmengder er lavere enn minste tillatte luftmengder (Simien, u.å.-a). Midlere effekt for belysning er redusert fra 8 W/m^2 til 2 W/m^2 . Dette er gjort med veiledning fra Moelven Byggmodul, da energibehovet for belysning er lavere enn standardverdien grunnet lite tilstedeværelse sammenlignet med andre hotellbygninger. Data

på U-verdiene og størrelsene av konstruksjonene er hentet ut fra tegninger og beskrivelse i kapittel 3.1.

Tabell 8: Beregningsparametere for energisimuleringer i Simien

Parameter	Verdi
Energikilder	Elektrisitet (100 %)
Lekkasjetall	1,5 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi	0,05 W/m ² K (bygning med bæresystem i tre)
Luftmengder ventilasjon	7,0/2,0 m ³ /hm ²
Midlere effekt belysning	2,0 W/m ²
Midlere effekt teknisk utstyr	1,0 W/m ²
Midlere effekt tappevann	3,40 W/m ²
Varmetilskudd personer	2,0 W/m ²
Driftstider internlaster	16/7/52
Settpunkttemperaturer	21/19 °C

4.4 Metodikk for klimagassberegninger

Beregningene av klimagassutslippene for de ulike scenarioene baserer seg på teorien beskrevet i kapittel 2.3. Metoden anvendt i beregningene er utført i henhold til NS 3720:2018 *Klimagassberegninger for bygninger*, nærmere beskrevet i kapittel 2.3.4. For å utføre beregningene har vi benyttet oss av Excel som beregningsverktøy. Med veiledning fra Moelven Byggmodul er det blitt utarbeidet et helhetlig Excel-dokument for beregningen av de totale klimagassutslippene. Figur 8 fremstiller modulene og stadiene i et livsløp som brukes for å beregne klimagassutslipp. I dette prosjektet analyserer vi samtlige moduler for LCA-analysen. De bygningsdelene som analyseres i henhold til NS 3451 *Bygningsdelstabellen* er

yttervegger 23, innervegger 24, dekker 25, yttertak 26, VVS-installasjoner 30 og simulert energibruk. I henhold til bygningsdelstabellen og kravene i TEK § 17-1 (TEK17, 2017d) er fundamentering 216, bæresystemer 22 og ytterdører 2342 ekskludert i beregningene. Dette er gjort på grunn av relevans for ekstern virksomhet (Moelven Byggmodul). I beregningene av innerdører er det inkludert dører med brannklasse og ekskludert lettdører.

En sentral parameter brukt i klimagassberegningene er materialers utslippsverdi, gitt som GWP-IOBC og kg CO₂e per enhetsmengde. Utslippsverdiene ble hentet ut fra tilhørende EPD-filer. EPD-filer brukt for tilhørende materialer er vedlagt i vedlegg 3. I de EPD-filene som ikke hadde oppgitt GWP-IOBC ble utslippsverdien gitt som GWP-fossil anvendt i beregningene. For ventilasjonstype Pax Eos 100/100h er det brukt generisk EPD fra Ökobaudat (ÖKOBAUDAT, 2022) for å hente ut informasjon, og utslippet har fått et usikkerhetstillegg på 25 % i henhold til TEK § 17-1 (TEK17, 2017d). For utslippsverdiene for materialet kerto lvl benyttet vi GWP-GHG i henhold til veileder til TEK17 § 17-1 (Direktoratet for byggkvalitet, 2022) ved bruk av utenlandske EPD-er. Mengdene for materialer er beregnet ut fra mengder og størrelser på brakkerigg oppgitt i kapittel 3.1.

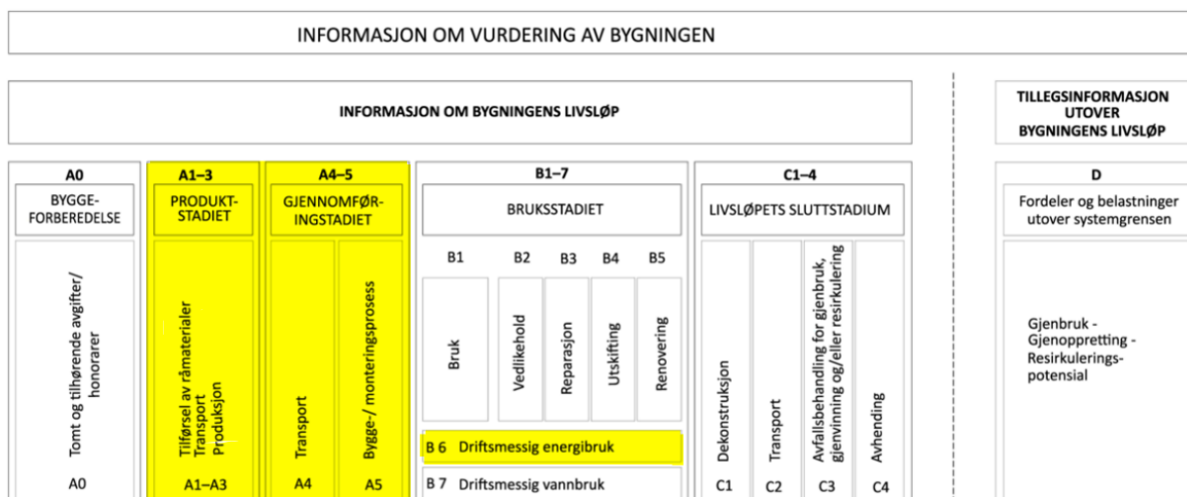
En annen viktig parameter for klimagassberegningene er CO₂-faktor for valgt energivare, som brukes for å beregne utslippet i modul B6 *Energibruk i drift* basert på levert energi til bygget. Metoden utført i dette prosjektet baserer seg på simulert levert energi til bygget og ikke faktisk målt energiforbruk. Reelt klimagassutslipp for modul B6 kan dermed avvike fra beregnet mengde. I beregningene brukes det en angitt livsløpsbasert CO₂-faktor basert på norsk produksjon av elektrisitet i henhold til NS 3720:2018 på 18 g/kWh (Standard Norge, 2018, s. 24). Utslippsfaktoren (CO₂-faktoren) er svært varierende avhengig av lokasjon, men ettersom Moelven Byggmodul opererer i Norden brukes CO₂-faktoren basert på norsk elektrisitetsproduksjon i klimagassberegningene.

Metodikken for beregning av klimagassutslipp, som følger Norsk standard (NS 3720), er en troverdig og fullstendig beregningsmetode. Valget å benytte Excel som beregningsverktøy, og ikke et annet digital verktøy som for eksempel One Click LCA, baserer seg på anbefaling fra Moelven Byggmodul. Et Excel-dokument gjør det enklere å gjøre endringer underveis i beregningene, samt at det gjør at teorien bak metoden for beregning av klimagassutslipp for bygninger blir mer forståelsesfull i prosjektgjennomføringen.

4.5 Metodikk for investeringsanalyse

Metoden for gjennomføring av investeringsanalysen baserer seg på teorien presentert i kapittel 2.4. Det skal benyttes en nytte-kostnad-analyse hvor nyttevirkningene er sparte energikostnader og kostnaden er investeringskostnad av energiltak/scenario. De sparte energikostnadene beregnes ut fra spart levert energi ganget med energipris.

Investeringskostnadene beregnes ut fra enhetspriser for byggevarer ganget med mengden. Enhetsprisene er hentet fra Norsk Prisbok 2019 V02, som beregner priser helt til byggevarens oppføring (Norconsult, 2019). Mengdene for beregningene er hentet fra mengdetabellen vist i tabell 4. Alle kostnader skal diskonteres til en nåverdi med bruk av netto-nåverdimetoden. Figur 20 fremstiller modulene i henhold til NS-EN 16627 som undersøkes i denne oppgaven. Det er modul A1-A3 *Produktstadiet* (råmaterialer, transport og produksjon), A4-A5 *Gjennomføringsstadiet* (transport og byggeprosess) og B6 *Driftsmessig energibruk* som skal analyseres. Investeringskostnadene inkluderer modulene i produktstadiet (A1-A3) og gjennomføringsstadiet (A4-A5). Sparte energikostnader omfatter modul B6, *driftsmessig energibruk*.



Figur 20: Moduler anvendt i investeringsanalysen (Standard Norge, 2023a, s. 17)

I investeringsanalysen er det en rekke parametere som benyttes i beregning av investeringskostnaden og nåverdien av de årlige sparte energikostnadene. Dette innebærer levetid n , diskonterings-/kalkulasjonsrente r , enhetspriser, prisregulering og energipriser. Levetiden n er satt til 20 år, beskrevet i kapittel 2.1.3. Regjeringen, per 2021, anbefaler en diskonteringsrente på 4 % for statlige prosjekter med maksimalt 40 års levetid (Det kongelige

finansdepartement, 2021). Standardverdi for diskonterings-/kalkulasjonsrente i Simien og Norsk Prisbok er satt til 4 %. Investeringsanalysen i denne oppgaven bruker derfor en diskonterings-/kalkulasjonsrente på 4 %. Enhetsprisene for byggevarene er hentet fra Norsk Prisbok 2019 V02, og er presentert i tabell 9 på neste side. Benyttede prislinjer er valgt basert på likhet med ønsket konstruksjon, og blir dermed en estimering på investeringskostnad. Ettersom enhetsprisene er hentet fra Norsk Prisbok versjon fra august 2019, er det nødvendig å regulere enhetsprisen til dagens pris. Fra SSBs priskalkulator (Statistisk sentralbyrå, u.å.) er det en økning i pris på 19,3 % fra august 2019 til januar 2024. Energiprisen for elektrisitet som er benyttet er 0,80 kr/kWh som er standardverdi i Simien, samt anbefaling fra NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) (NVE, 2023). Tabell 10, på neste side, viser de tallfestede parameterne brukt i investeringsanalysen.

Tabell 9: Beregningsparametere for investeringsanalyse

Parameter	Verdi
Levetid, n	20 år
Diskonterings-/kalkulasjonsrente, r	4 %
Prisregulering	19,3 %
Energipris	0,80 kr/kWh

Tabell 10: Enhetspriser fra Norsk Prisbok (Norconsult, 2019)

Bygningsdel	Prislinje i Norsk Prisbok	Pris [kr/m ²]	Pris [kr/m ³]
Yttervegg	02.3.2.1.0570: Isolasjon i klimavegg t=250mm, 0,035 W/mK	279	1116
Yttertak	02.5.6.3.0610: Isolering i utvendig himling t=250mm, 0,035 W/mK	285	1140
Gulv	02.5.1.5.0422: Mineralull i bjelkelag t=250mm, klasse 37	297	1188
Gamle vinduer (faste)	02.3.4.1.0410: Vinduer av tre, faste U-verdi < 1,2	3302	-
Gamle vinduer (åpningsbare)	02.3.4.1.0460: Vinduer av tre, åpningsbare U-verdi < 1,2	4784	-
Nye vinduer (faste)	02.3.4.1.0420: Vinduer av tre, faste U-verdi < 1,0	3471	-
Nye vinduer (åpningsbare)	02.3.4.0470: Vinduer av tre, åpningsbare U-verdi < 1,0	4967	-
Balansert ventilasjon	03.6.0.5110: Luftbehandling. Hotell. Komplett. Enhet: kr/m ² BTA	940	-

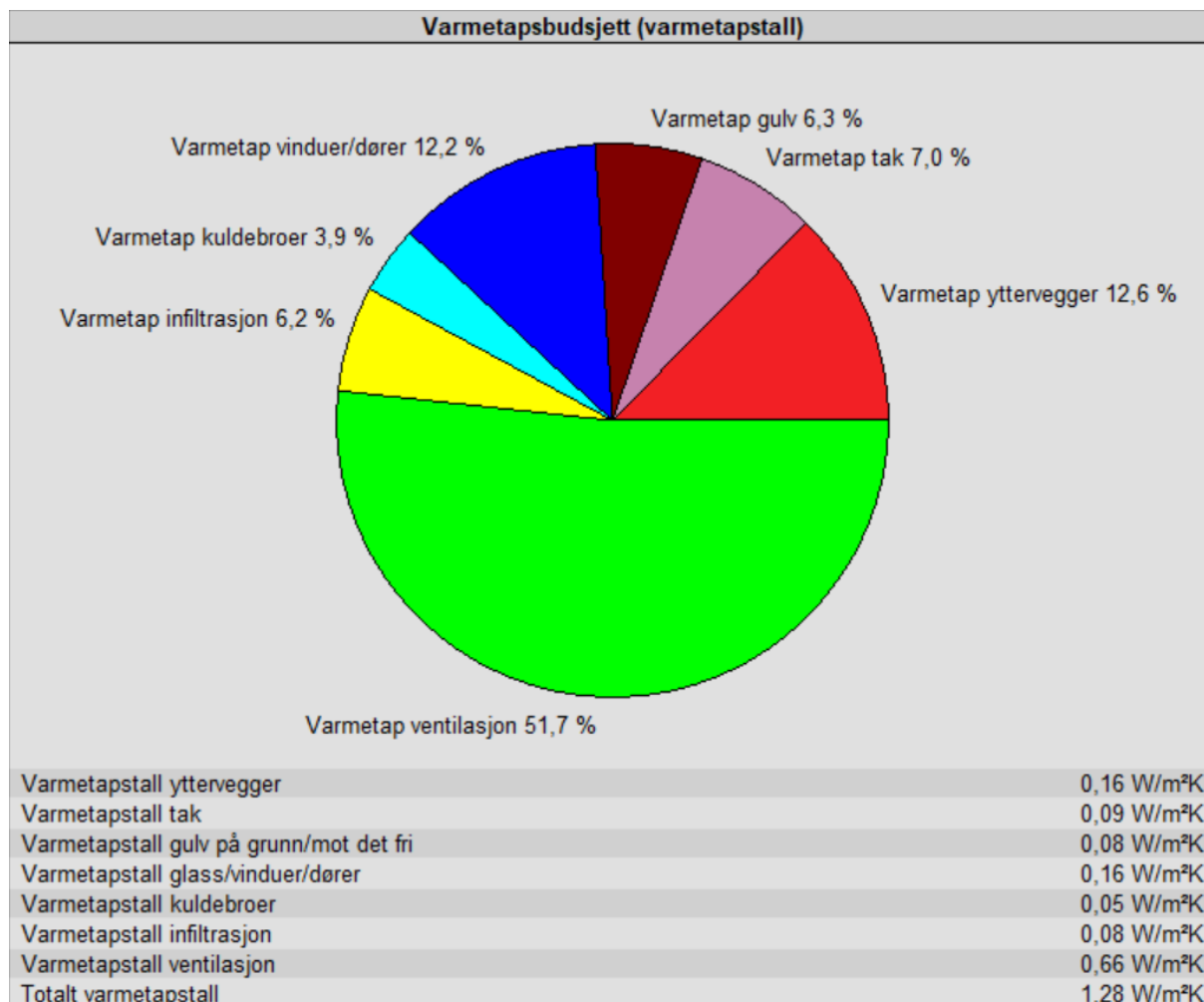
5 Resultater

I resultatkapitlet nedenfor presenteres beregninger og simuleringer utført av alle scenarioer, ekskludert totalt optimalisert scenario. Det optimaliserte scenarioet blir diskutert og presentert i diskusjonskapitlet. Det skal fremstilles resultater fra henholdsvis energisimuleringer, beregninger av klimagassutslipp og lønnsomhet fra investeringsanalyse for scenarioene etterfulgt av sammenstillinger av de utførte simuleringene og beregningene.

5.1 Energisimuleringer

5.1.1 Varmetapsbudsjett basescenario

Figur 21 fremstiller varmetapsbudsjettet med prosentandeler av varmetapet. Den største delen av varmetapet skyldes ventilasjonstap, med et varmetapstall på $0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en andel av varmetapet på 51,7 %. Deretter følger varmetap gjennom yttervegger og vinduer/dører med henholdsvis 12,6 % og 12,2 % av varmetapet. Det i utgangspunktet de postene i et varmetapsbudsjett hvor det største av varmetapet befinner seg som har det største forbedringspotensialet for reduksjon av energibehov ved implementering av energireducerende tiltak befinner seg. Scenario F (ventilasjon), scenario D (vinduer) og scenario A (yttervegger) er de alternative løsningene som analyserer de energireducerende tiltakene hvor det største forbedringspotensialet i henhold til varmetapsbudsjettet befinner seg.



Figur 21: Basescenario (scenario 0) – Varmetapsbudsjett

5.1.2 Energibehov og spesifikt energibehov

Tabell 11, på side 45, presenterer energibehov og spesifikt energibehov for det opprinnelige bygget (basescenarioet) og de ulike energireduserende tiltakene (scenario A-F). Detaljerte og fullstendige energisimuleringer i Simien er vedlagt i vedlegg 4.

For basescenarioet er det totale netto energibehovet simulert til å være 131 549 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er 176,6 kWh/(m²*år). Energiltaket for scenario A er en økning av isolasjonstykkelse på 75 mm i ytterveggs-konstruksjonene. Dette endrer U-verdien fra 0,22 W/m²K til 0,16 W/m²K. Det totale netto energibehovet er på 127 341 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er på 170,9 kWh/(m²*år). Ekstraisolering med 75 mm i ytterveggs-konstruksjonene resulterer i en reduksjon og energisparing på 4208 kWh/år netto energibehov og 5,7 kWh/(m²*år) spesifikt netto energibehov. Det energireduserende tiltaket

for scenario B er en økning av isolasjonstykkelse på 100 mm i yttertaket. Dette endrer U-verdien fra 0,18 W/m²K til 0,13 W/m²K. Det totale netto energibehovet er på 129 249 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er på 173,5 kWh/(m²*år). Ekstraisolering med 100 mm i takkonstruksjonene resulterer i en reduksjon og energisparing på 2300 kWh/år netto energibehov og 3,1 kWh/(m²*år) spesifikt netto energibehov. Det energireducerende tiltaket for scenario C er en økning av isolasjonstykkelse på 45 mm i gulvkonstruksjonen. Dette endrer U-verdien fra 0,18 W/m²K til 0,15 W/m²K. Det totale netto energibehovet er på 130 275 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er på 174,9 kWh/(m²*år). Ekstraisolering med 45 mm i gulvkonstruksjonen resulterer i en reduksjon og energisparing på 1274 kWh/år netto energibehov og 1,7 kWh/(m²*år) spesifikt netto energibehov.

Det energireducerende tiltaket for scenario D er bruk av superisolerte vinduer. Dette endrer U-verdien for vinduene fra 1,20 W/m²K til 0,90 W/m²K. Det totale netto energibehovet er på 128 501 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er på 172,5 kWh/(m²*år). Bruk av superisolerte vinduer med U-verdi på 0,90 W/m²K resulterer i en reduksjon og energisparing på 3048 kWh/år netto energibehov og 4,1 kWh/(m²*år) spesifikt netto energibehov. Det energireducerende tiltaket for scenario E er reduksjon av lekkasjetall fra 1,5 l/h til 0,75 l/h. Det totale netto energibehovet er på 128 034 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er på 171,9 kWh/(m²*år). Reduksjon av lekkasjetallet til 0,75 l/h resulterer i en reduksjon og energisparing på 3515 kWh/år netto energibehov og 4,7 kWh/(m²*år) spesifikt netto energibehov. Det energireducerende tiltaket for scenario F er implementering av balansert ventilasjon m/ varmegjenvinner (Pax Eos 100h) i garderobe og vaskerom plan 1. Det totale netto energibehovet er på 112 580 kWh/år og det spesifikke netto energibehovet er på 151,1 kWh/(m²*år). Implementering av balansert ventilasjon m/ varmegjenvinner (Pax Eos 100h) i garderobe og vaskerom plan 1 resulterer i en reduksjon og energisparing på 18 969 kWh/år netto energibehov og 25,5 kWh/(m²*år) spesifikt netto energibehov.

Tabell 11: Energibehov og spesifikt energibehov for basescenario scenario A-F

Scenarioer	Energibehov [kWh/år]		Spesifikt energibehov [kWh/(m ² *år)]	
	Energibehov	Energibehov spart	Spesifikt energibehov	Spesifikt energibehov spart
Basescenario	131 549	-	176,6	-
Scenario A (yttervegg)	127 341	4208	170,9	5,7
Scenario B (tak)	129 249	2300	173,5	3,1
Scenario C (gulv)	130 275	1274	174,9	1,7
Scenario D (vinduer)	128 501	3048	172,5	4,1
Scenario E (lekk.tall)	128 034	3515	171,9	4,7
Scenario F (b.ventil.)	112 580	18 969	151,1	25,5

5.1.3 Levert energi

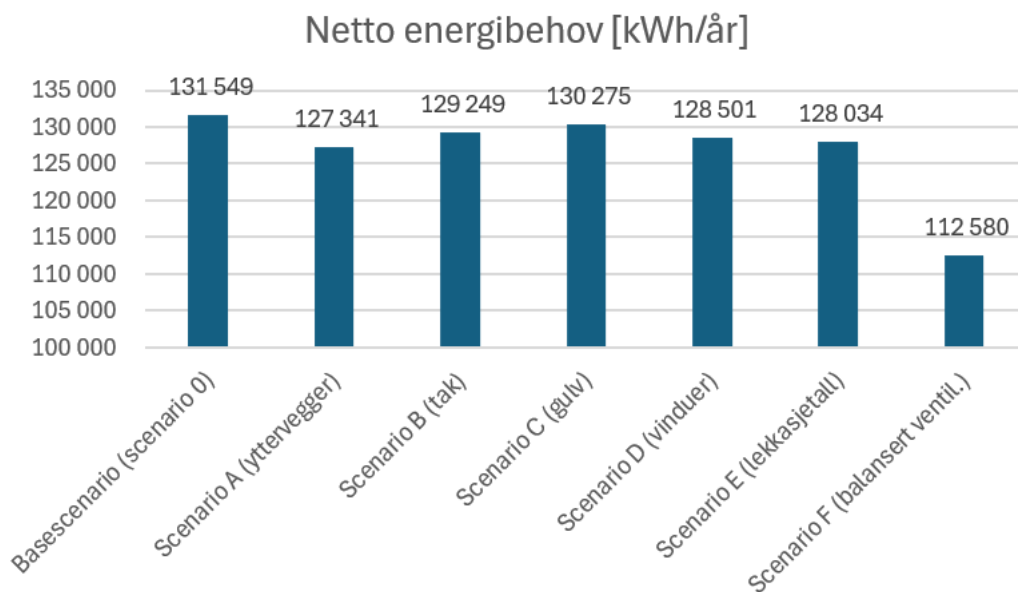
Tabell 12 presenterer beregnet levert energi for basescenarioet, og de ulike energireducerende tiltakene (scenario A-F). Som beskrevet i kapittel 2.2.2, er levert energi lik netto energibehov pluss systemtap og minus egenprodusert energi. Det er ikke produsert egen energi på noen av de energireducerende tiltakene. På grunn av dette er beregnet levert energi for scenarioene lik netto energibehov, presentert over i tabell 11, pluss et kontinuerlig systemtap basert på prosentandel. I videre beregninger legger resultatverdiene for levert energi grunnlaget for CO₂-utslipp for energibruk i byggets driftsfase, samt energikostnader i beregning av netto-nåverdi for investering av scenarioene.

Tabell 12: Levert energi for basescenario scenario A-F

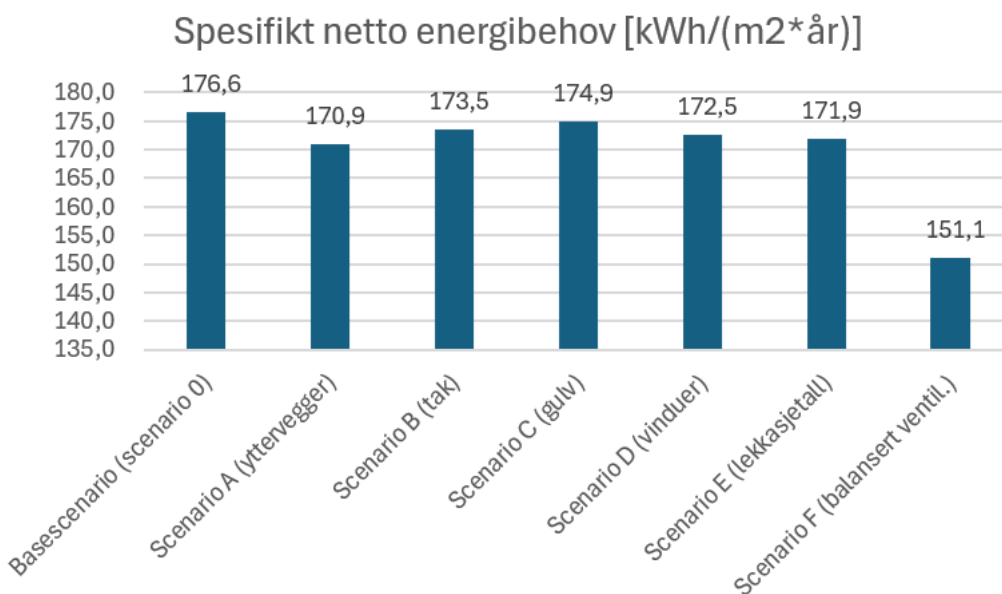
Scenarioer	Levert energi [kWh/år]	
	Levert energi	Levert energi spart
Basescenario	151 673	-
Scenario A (yttervegg)	146 493	5180
Scenario B (tak)	148 842	3191
Scenario C (gulv)	150 105	1568
Scenario D (vinduer)	147 922	3751
Scenario E (lekk.tall)	147 347	4326
Scenario F (b.ventil.)	128 652	23 021

5.1.4 Sammenstilling

Diagrammene nedenfor sammenstiller, og sammenligner alle scenarioer sitt netto energibehov og netto spesifikt energibehov. Alle scenarioer reduserer energibehovet sammenlignet med basescenarioet. For scenario F, hvor det implementeres balansert ventilasjon med varmegjenvinning i garderobene og vaskerommene i plan 1 istedenfor avtrekksventilasjon, gir klart størst energibesparende gevinst av alle scenarioene. Deretter følger ekstraisolering av ytterveggene (scenario A) og bruk av superisolerte vinduer med U-verdi på 0,90 W/m²K (scenario D). Sammenlignet med energirammekravet for hotellbygning i TEK 17 § 14-2, med spesifikt netto energibehov på 170 kWh/(m²*år) (TEK17, 2017b), er basescenarioet ikke langt unna kravet for energibehovet av en permanent hotellbygning. Det er kun scenario F, som alene reduserer energibehovet til å imøtekomme energirammekravet for permanente hotellbygning med netto spesifikt energibehov på 170 kWh/(m²*år) (TEK17, 2017b). Ved de andre scenarioene må de energireducerende tiltakene kombineres for å innfri lovverket.



Figur 22: Sammenstilling netto energibehov



Figur 23: Sammenstilling netto spesifikt energibehov

5.2 Klimagassberegninger

I dette delkapitlet presenteres de totale klimagassutslippene for livsløpet til basecenarioet, og de energireduserende tiltakene. Det totalt optimaliserte scenarioet blir diskutert i kapittel 6. Det skal først presenteres klimagassutslipp for scenarioene, før en sammenstilling der eventuell reduksjon/økning i klimagassutslipp blir presentert. Detaljerte og fullstendige

beregninger av klimagassutslipp, med inndeling i bygningsdeler og moduler i livsløpet, er vedlagt i vedlegg 5.

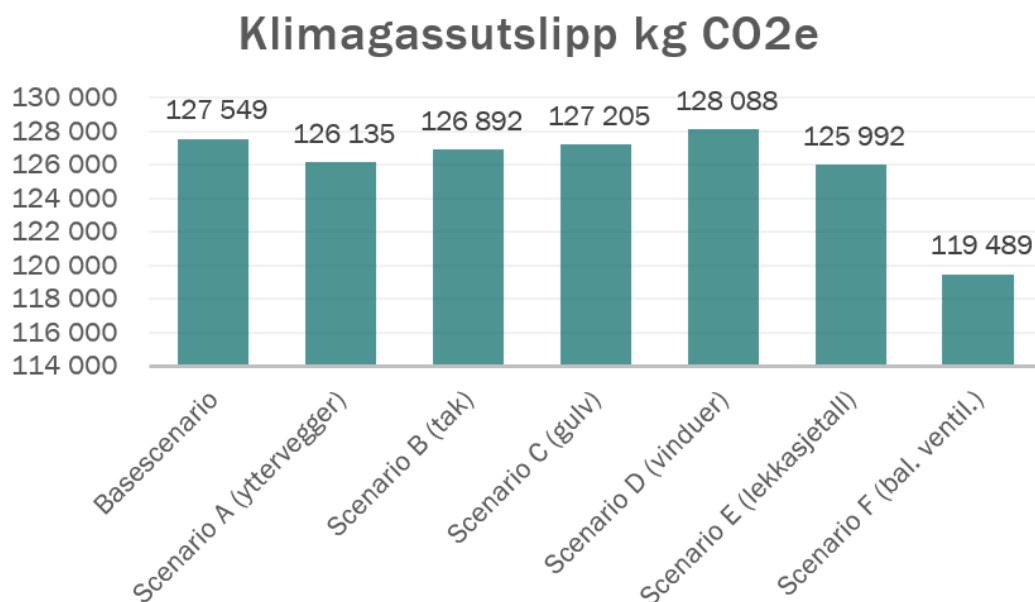
5.2.1 Samlet klimagassutslipp

I tabell 13 og figur 24 under, ser man de totale utslippene CO₂-ekvivalenter av basescenarioet, og de energireduserende tiltakene (scenario A-F). Tabellen viser antall kg CO₂-ekvivalenter som blir sluppet ut over hele livsløpet for de ulike scenarioene av brakkeriggen, samt utslipp per kvadratmeter og per år. I figur 24 presenteres en enklere fremstilling av de ulike scenarioenes klimagassutslipp sammenlignet med basescenarioet. Basescenarioet har et totalt utslipp på 127 549 kg CO₂-ekvivalenter, som tilsvarer et spesifikt utslipp på 164,03 kg CO₂e/m²BTA. For scenarioene som omfatter ekstraisolering av ytterkonstruksjonene er det scenario C (ekstraisolering av gulv) som gir det største utslippet på 127 205 kg CO₂-ekvivalenter, deretter scenario B (ekstraisolering av yttertak) på 126 892 kg CO₂-ekvivalenter, og til slutt scenario A (ekstraisolering av yttervegger) med et utslipp på 126 135 kg CO₂-ekvivalenter. Implementering av superisolerte vinduer som erstatning for de opprinnelige vinduene (scenario D), har et totalt utslipp på 127 759 kg CO₂-ekvivalenter. Halvering av lekkasjetall (scenario E), har et utslipp på 125 992 kg CO₂-ekvivalenter. Scenario F, implementering av balansert ventilasjon der det opprinnelig er mekanisk avtrekksventilasjon, gir en betydelig reduksjon i klimagassutslippene med et totalt utslipp på 119 489 kg CO₂-ekvivalenter.

Tabell 13: Samlet klimagassutslipp

Scenario	Samlet utslipp [kgCO ₂ e]	Utslipp pr. kvm [kgCO ₂ e/m ²]	Utslipp pr. år [kgCO ₂ e/år]
Basescenario	127 549	164,03	6377
Scenario A (Yttervegger)	126 135	162,21	6307
Scenario B (Tak)	126 892	163,18	6345
Scenario C (Gulv)	127 205	163,59	6360
Scenario D (Superisolerte vinduer)	127 759	164,30	6388

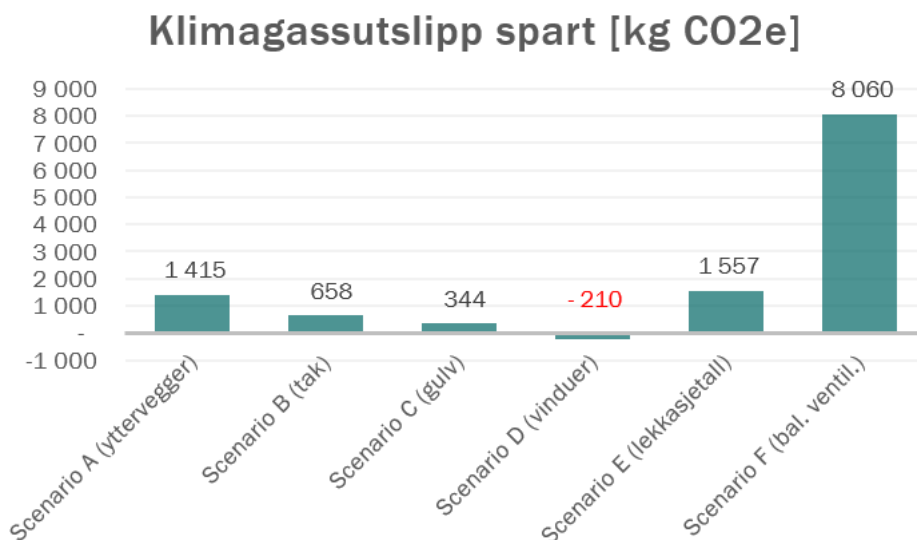
Scenario E (Lekkasjetall)	125 992	162,03	6300
Scenario F (Balansert ventilasjon)	119 489	153.66	5974



Figur 24: Samlet klimagassutslipp

5.2.2 Sammenstilling med reduksjon/økning i utslipp

Figur 25 fremstiller bespart og tapt klimagassutslipp for scenario A-F sammenlignet med basescenarioet. Scenarioet med klart størst reduksjon av klimagassutslipp er implementering av balansert ventilasjon med varmegjenvinning i sonen *garderobe og vaskerom plan 1*. Dette scenarioet gir en besparelse på 8060 kg CO₂-ekvivalenter. På den andre siden er det kun ett scenario som gir en økning i klimagassutslipp. Dette er bruk av superisolerte vinduer kontra opprinnelige vinduer, med en økning på 210 kg CO₂-ekvivalenter. Halvering av lekkasjetall og ekstraisolering av ytterveggs-konstruksjonene følger som nummer 2 og nummer 3 av bespart klimagassutslipp med henholdsvis 1557 og 1415 kg CO₂-ekvivalenter. Ekstraisoleringen av yttertaket gir 658 kg CO₂-ekvivalenter spart og ekstraisolering av gulvet gir en besparelse på 344 kg CO₂-ekvivalenter sammenlignet med basescenarioet.



Figur 25: Klimagassutslipp spart for scenario A-F

5.3 Investeringsanalyse

5.3.1 Netto-nåverdier for energireduserende tiltak (scenario A-F)

Resultatene for investeringsanalysen av de energireduserende tiltakene, scenario A-F, er presentert i tabell 14 under. Detaljerte og fullstendige beregninger for investeringskostnadene, årlige sparte energikostnadene og netto-nåverdiene er vedlagt i vedlegg 6.

Scenario A, ekstraisolering av ytterveggene med 75 mm, har en investeringskostnad på 42 332 kr og årlige sparte energikostnader på 4144 kr sammenlignet med basescenarioet. Det tilsvarer en netto-nåverdi på 13 986 kr for investering i scenario A. Scenario B, ekstraisolering av yttertaket med 100 mm, har en investeringskostnad på 47 178 kr og årlige sparte energikostnader på 2553 kr, som resulterer i en netto-nåverdi på – 12 484 kr. Scenario C, ekstraisolering av gulvet med 40 mm, har en investeringskostnad på 22 362 kr og årlige sparte energikostnader på 1254 kr sammenlignet med basescenarioet. Netto-nåverdien for investering i scenario C gir – 5314 kr. Scenario D, bruk av superisolerte vinduer, har en investeringskostnad på 18 452 kr og 3001 kr i årlige sparte energikostnader sammenlignet med basescenarioet. Det tilsvarer en netto-nåverdi på 22 330 kr for investering i scenario D. Scenario E, halvering av lekkasjetallet, har en investeringskostnad på 0 kr og årlige sparte energikostnader på 3461 kr, som resulterer i en netto-nåverdi på 47 033 kr. Scenario F,

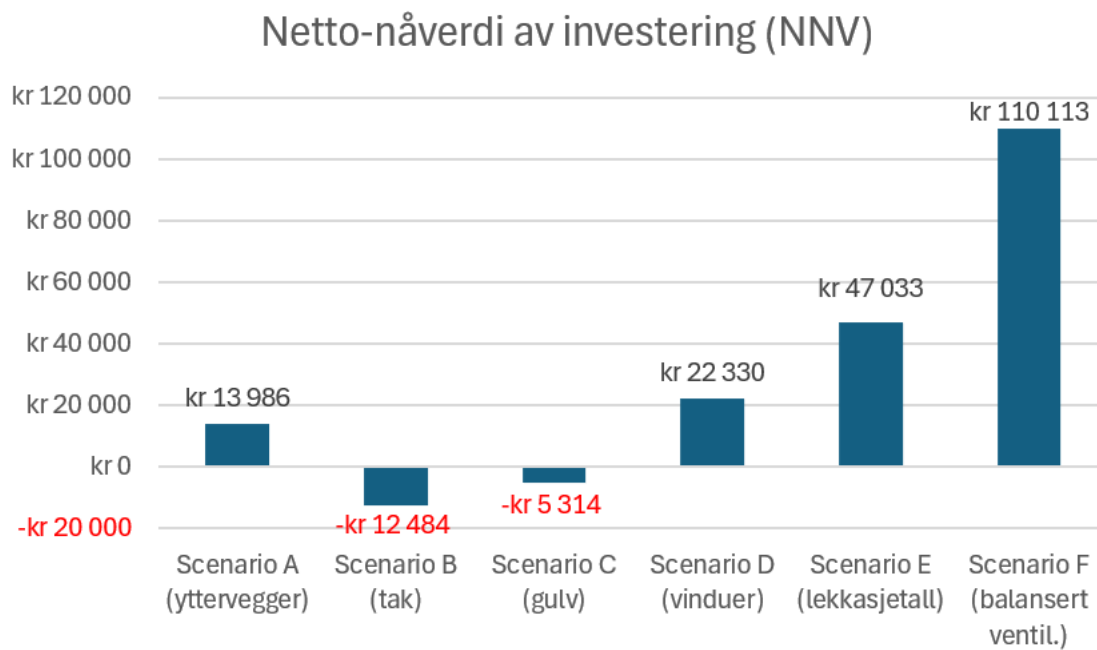
implementering av balansert ventilasjon m/ varmegjenvinning i sonen hvor det er mekanisk avtrekksventilasjon, har en investeringskostnad på 140 178 kr og årlige sparte energikostnader sammenlignet med det opprinnelige bygget (basescenarioet) på 18 417 kr. Netto-nåverdien for investering i scenario F gir 110 113 kr.

Tabell 14: Investeringsanalyse for energireducerende tiltak (scenario A-F)

Scenarioer	Investeringskostnad K_0 [kr]	Årlig sparte energi kostnader K_t [kr]	Netto-nåverdi [kr]
Scenario A (yttervegg)	42 332	4144	13 986
Scenario B (tak)	47 178	2553	- 12 484
Scenario C (gulv)	22 362	1254	- 5314
Scenario D (vinduer)	18 452	3001	22 330
Scenario E (lekk.tall)	0	3461	47 033
Scenario F (b.ventil.)	140 178	18 417	110 113

5.3.2 Sammenstilling

Diagrammet under, i figur 24 presenterer og sammenstiller netto-nåverdiene for investeringene av de ulike energireducerende tiltakene. Det er fire av investeringene som er lønnsomme, beregnet etter netto-nåverdimetoden. Henholdsvis etter best lønnsomhet er det scenario F (implementering av balansert ventilasjon m/ varmegjenvinning i sonen hvor det er mekanisk avtrekksventilasjon), scenario E (halvering av lekkasjetallet), scenario D (bruk av superisolerte vinduer) og scenario A (ekstraisolering av ytterveggene med 75 mm). Det er to av investeringene som gir negativ netto-nåverdi, og er dermed ikke lønnsomme. Scenario B, ekstraisolering av yttertaket med 100 mm, er det energitiltaket med lavest lønnsomhet. Scenario C, ekstraisolering av gulvet med 40 mm, har også negativ lønnsomhet, men ikke i like stor grad.



Figur 26: Sammenstilling av netto-nåverdier for alle scenarioer

6 Diskusjon og analyse

I dette kapitlet blir resultatene fra energisimuleringene, klimagassberegningene og investeringsanalysen diskutert og analysert. Resultatene for de ulike analysemetodene skal først diskuteres og drøftes hver for seg, og deretter sammenlignes med de andre analysemetodene. Sammenstillingen av energisimuleringene, klimagassberegningene og investeringsanalysen danner grunnlaget for den optimaliserte løsningen, som også skal bli analysert i henhold til energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet.

6.1 Energisimuleringer

Resultatene for energisimuleringene, gitt som netto energibehov og spesifikt netto energibehov, er fremstilt i tabell 11. Faktisk energibehov/energiforbruk kan variere fra energisimuleringer, og er avhengig av korrekte verdier for parameterne i tabell 8, slik som ulike effektbehov, settpunkttemperaturer, luftmengder for ventilasjon og normalisert kuldebroverdi. De simulerte verdiene for energibehov og levert energi gir likevel en god pekepinn på estimert energibehov og levert energi for den opprinnelige brakkeriggen og scenarioene bestående av forskjellige energireduserende tiltak. Metoden for å beregne energibehov og levert energi i henhold til NS 3031, ved hjelp av et digitalt beregningsverktøy, er en pålitelig og troverdig beregningsmetode for energisimuleringer.

Det scenarioet og energireduserende tiltak som gir lavest energibehov, og størst energibesparelse (18969 kWh/år), er implementering av balansert ventilasjon med varmegjenvinning i sonen *garderobe og vaskerom plan 1* (scenario F). I det opprinnelige bygget er det mekanisk avtrekksventilasjon i denne sonen. Et så mye lavere energibehov ved bruk av balansert ventilasjon med varmegjenvinning kontra mekanisk avtrekksventilasjon stammer i hovedsak fra to hovedgrunner. For det første så er balansert ventilasjon med varmegjenvinning et utmerket ventilasjonssystem for energibehov. Dette er på grunn av muligheten til å gjenvinne en stor andel varme fra avtrekksluften og tilføre varmen til tilluften, i motsetning til mekanisk avtrekksventilasjon. For det andre så er de kravbelagte ventilasjonsmengdene mye høyere i forretningsbygg enn småhus. I henhold til NS 3031:2014 er den minste tillate luftmengden i hotellbygning $7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ i driftstid, kontra $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

i småhus større enn 110 m^2 (Standard Norge, 2014, s. 42). Økningen i ventilasjonsmengdene gjør at det energibesparende potensialet for implementering av balansert ventilasjon med varmegjenvinning øker betydelig i hotellbygninger kontra småhus. I energisimuleringene er det brukt minste tillatt luftmengde på $7 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ i driftstid og $2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ utenfor driftstid. Dersom disse verdiene hadde vært justert til de standardiserte verdiene for luftmengder for hotellbygninger, $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ i driftstid og $3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ utenfor driftstid, hadde energibesparelsen for balansert ventilasjon med varmegjenvinning vært enda større.

Det energireduserende tiltaket som gir nest størst energibesparelse er scenario A, ekstraisolering med 75 mm av ytterveggskonstruksjonene (4208 kWh/år). Grunnen til at det er dette scenarioet som gir størst energibesparelse av alle scenarioer basert på ekstraisolering stammer i hovedsak fra to hovedårsaker. For det første så er ytterveggskonstruksjonene de ytterkonstruksjonene med dårligst varmeisolasjon, med en opprinnelig isolasjonstykkelse på 175 mm, med korrelert U-verdi på $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ekstraisolering for denne konstruksjonen har dermed størst energibesparelse og gir lavest energibehov av alle energitiltak basert på ekstraisolering. For det andre så er fasadearealet, 548 m^2 , betydelig større enn gulv- og yttertaksarealet, 373 m^2 . Varmetapet gjennom ytterveggene/fasadene er dermed større, og ekstraisolering i denne konstruksjonen gir lavere energibehov. Dette underbygges av resultatene for varmetapsbudsjettet i kapittel 5.1.1, hvor varmetapet fra fasadene har det nest største varmetapet bak ventilasjonsvarmetap.

For de andre scenarioene med ekstraisolering som energireduserende tiltak, scenario B (yttertak) og scenario C (gulv), så er arealet for konstruksjon lik, men ulike isolasjonsmengde gir ulikt energibehov. Ekstraisoleringen av yttertaket er det scenarioet som totalt gir nest minst energibesparelse (2300 kWh/år) og ekstraisoleringen av gulvet er det scenarioet som totalt gir minst energibesparelse (1274 kWh/år). Scenario B, ekstraisolering av yttertaket med 100 mm, gir omtrentlig dobbelt så stort energibesparelse enn scenario C, ekstraisolering av gulvet med 45 mm. Dette baserer seg på isolasjonstykkelse, spesielt siden begge konstruksjoner har lik størrelse og opprinnelig isolasjonstykkelse på 225 mm og U-verdi på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Det scenarioet som har tredje størst energibesparelse er scenario E, halvering av lekkasjetallet fra opprinnelig $1,5 \text{ h}^{-1}$ til $0,75 \text{ h}^{-1}$ (3515 kWh/år). Her går lekkasjetallet fra minimumskravet i TEK 17 § 14-3 (TEK17, 2017c) og ned mot kravet for energieffektivitet i TEK 17 § 14-2 (TEK17, 2017b) og kravet for passivhus (Standard Norge, 2012, s. 13) på $0,60 \text{ h}^{-1}$.

Energigevinsten fra lavt lekkasjetall kommer av bygging med tett bygningsform og riktig detaljutførelse av overganger. På grunn av dette var den betydelige energibesparelsen forventet stor. Det energireducerende tiltaket å implementere superisolerte vinduer med en U-verdi på $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ som erstatning for $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (scenario D) ga fjerde størst – og tredje minst – energibesparelse med 3048 kWh/år . Dette tiltaket ga forventet lavere energibehov enn tiltakene med ekstraisolering av yttertak og gulv på grunn av de ulike konstruksjonenes varmetapstall, presentert i kapittel 5.1.1. På den andre siden så har energitiltaket med vinduer 1160 kWh/år høyere energibehov, på tross av at varmetapet fra vinduer kun er $0,3 \%$ lavere enn fra ytterveggene. En årsak for dette kan være forbedringen de ulike energireducerende tiltakene har på den opprinnelige løsningen. Scenario D (vinduer) gir en forbedring av U-verdi fra $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$, og utgjør kun en bedret U-verdi med 33% . På den andre siden, i energitiltaket som baserer seg på ekstraisolering av ytterveggene, vil 75 mm økt isolasjonsdybde forbedre U-verdien med 38% . På grunn av dette vil dermed scenario A (yttervegger) få et korrelert lavere energibehov – og mer energibesparelse – enn scenario D (vinduer).

6.2 Klimagassberegninger

Resultatene for klimagassberegningene er presentert i kapittel 5.2. Resultatene for klimagassregnskapet viste at scenarioet med balansert ventilasjon med varmegjenvinning (scenario F) var det beste tiltaket med hensyn på klimagassutslipp. Dette scenarioet hadde 8060 kg CO_2 -ekvivalenter mindre utslipp over et livsløp enn basescenarioet. Det er rett i overkant av $6,3 \%$ i reduksjon av opprinnelig CO_2 -utslipp. Grunnen til at scenario F er det beste scenarioet med tanke på klimagassutslipp er mye på grunn av energibesparelsen man får ved bruk av balansert ventilasjon. Resultatene av energibesparelsene blir presentert i kapittel 5.1. Ut ifra klimagassregnskapet ser man at den største forskjellen mellom scenarioene ligger i posten om simulert energibruk (se Excel-dokument *Klimagassregnskap* vedlagt). Denne posten forteller oss om hvor mye kg CO_2 -ekvivalenter som blir sluppet ut i samråd med energitilførselen scenarioet trenger. Dette er det vi kaller en CO_2 -faktor som baserer seg på utslippene produksjonen av norsk energi har. Denne faktoren er på 18 g/kWh , og er i henhold til norsk standard NS 3720:2018. Vi ser at det er her scenario F skiller seg ut fra resten av scenarioene. For denne posten ligger alle de andre scenarioene i et intervall på $(54602 - 52$

737) kg CO_{2e}, mens scenario F har et utslipp på 46 315 kg CO_{2e}. Ut ifra dette kan man se at det er energiforbruket som kan ha størst innvirkning på klimagassutslippene.

Scenario D som innebærer at alle vinduene byttes ut fra 2 lags vinduer med U-verdi på 1,20 W/m²K, til 3 lags «superisolerte» vinduer med U-verdi på 0,90 W/m²K, er det eneste scenarioet der klimagassutslippene øker. For dette scenarioet er det et utslipp på 127 759 kg CO_{2e} over livsløpet til brakkeriggen, mens basescenarioet har et utslipp på 127 549 kg CO_{2e}. Dette gir en økning på 210 kg CO_{2e} for et livsløp beregnet til 20 år. Ved bruk av superisolerte vinduer alene får man et utslipp på 8992 kg CO_{2e}, mens vinduene i basescenarioet gir utslipp på 7432 kg CO_{2e}. Økningen i dette tilfelle blir da på 1560 kg CO_{2e}. På grunn av energiforbruket blir mindre ved bruk av superisolerte vinduer (mer om dette i kap. 5.1) reduseres det totale utslippet noe, men fortsatt ikke nok til at man får et scenario med mindre klimagassutslipp enn basescenarioet. Dette forteller oss at hvis man kun ser på dette med et klimagassperspektiv, er det ikke lønnsomt å investere i superisolerte vinduer. Over et helt livsløp er økningen på 210 kg CO_{2e} veldig liten, og er 10,5 kg CO_{2e} pr. år, noe som utgjør bare 0,16 % av det opprinnelige utslippet til brakkeriggen. Hvis man ser på dette med et totalt lønnsomhetsperspektiv, som innebærer energiforbruk og investeringsanalyse i tillegg, så kan det vise seg at det lønner seg å installere superisolerte vinduer. I vårt tilfelle er begge vindustypene fra produsenten NorDan. En mulig forandring for dette scenarioet kunne vært og sett på vinduer fra forskjellige produsenter. Vi mente at dette ville gå utover problemstillingen, og ikke følge prinsippet presentert for casen. Der meningen for dette scenarioet var å se på påvirkningen det vil ha å endre til superisolerte vinduer, og ikke gjøre research på hvilke produsenter/leverandører som er best.

I scenario A, B og C handlet det om å øke tykkelsen på isolasjonen for ytterveggene, takelementene og gulvelementene. Ut ifra tallene i tabell 13 ser vi at disse scenarioene får et lavere klimagassutslipp, enn for basescenarioet, og det selv med en større mengde materialer. Den kan konkluderes igjen med at klimagassutslippene er svært avhengig av energibruken for brakkeriggen. Av scenarioene nevnt over er det scenario A (isolasjon i ytterveggene) som gir den største endringen når det kommer til totalt klimagassutslipp. Dette scenarioet har et livsløpsutslipp på 126 135 kg CO_{2e}, mens basescenarioet har 125 549 kg CO_{2e}. Hvis man kun ser på utslippene fra den ekstra isolasjonen alene, kan man se at det er scenario C (isolasjon i gulvelementene) som gir minst utslipp i forhold til basescenarioet. Her får man et utslipp for

ekstra isolasjon på 2457 kg CO₂e, mens basescenarioet har et utslipp på 2237 kg CO₂e. noe som gir en økning på 220 kg CO₂e, som tilsvarer ca. 9 % økning.

Scenario E, halvering av lekkasjetall, reduserte utslippene med 1557 kgCO₂e. Dette energireducerende tiltaket ga nest størst besparelse i klimagassutslipp. Dette kommer i hovedsak av det reduserte energibehovet som oppstår ved å bygge tett og kompakt med riktig detaljutførelse av overganger. Det er i tillegg ikke analysert noen økt materialmengde for dette scenarioet, noe som kan gjør at dette scenarioet kan gi unaturlige lave klimagassutslipp.

En annen ting som er vesentlig å ta opp til diskusjon er metoden som ble brukt for klimagassberegningene. Det at vi fulgte *NS 3720:2018 Klimagassberegninger for bygninger* og tilhørende veileder er helt riktig. Spørsmålet ligger mer på om det var riktig verktøy som ble brukt, for å gjennomføre beregningene. Et alternativ vi vurderte var programmet One-Click LCA. Det er et program som beregner klimagassutslipp for en bygning, og er mer automatisert med funksjoner som henter informasjon enklere fra EPD-filene (One Click LCA, u.å.). One-Click LCA blir også anbefalt som beregningsverktøy i veilederen til *NS 3720:2018*. På den ene siden hadde det lønt seg med et slikt program, men på den andre siden hadde det vært et helt nytt verktøy å sette seg inn i. Derfor endte valget opp med å benytte oss av Excel. Var litt å sette seg inn i på grunn av at vi ikke hadde bygget opp Excel-dokumentet selv, men fikk det fra Moelven. Men med tanke på de relativt enkle beregningene vi skulle gjennomføre, og tidligere erfaring med bruk av Excel endte valget opp på det.

Alt i alt kan man se at klimagassutslippene er veldig avhengige av energiforbruket og den årlige leverte energien. Dette gjenspeiler seg for nesten alle scenarioene, og man ser at energien man besparer gjør at klimagassutslippene reduseres, og det med en større mengde enn de økte materialmengdene. Den valgte CO₂-faktoren på 18 g/kWh er en lav verdi på verdens- og europabasis, hvor en høyere verdi for CO₂-faktoren hadde gitt energibehovet en enda større påvirkning og andel på de totale utslippene. I utgangspunktet skulle man tro når materialmengden økes, skulle klimagassutslippene økes også, slik som for scenario D. En mulig forklaring på dette er at tiltakene for hvert av scenarioene er for små, og lite inngrepene når det kommer til klimagassutslippene. Og at tiltakenes effekt har en større innvirkning på energiforbruket, som påvirker det totale klimagassutslippet. Valg av EPD-filer og analyserte bygningsdeler kan også ha påvirket resultatene for klimagassutslippene. Utslagene for dette er etter all sannsynlighet minimale, hvor våre beregninger gir gode indikatorer på samlet klimagassutslipp.

6.3 Investeringsanalyse

Resultatene for investerings- og lønnsomhetsanalysen er presentert i kapittel 5.3. Den investeringen med definitiv høyest nettonåverdi er scenario F, implementering av balansert ventilasjon med varmegjenvinner som erstatning for mekanisk avtrekksventilasjon i aktuell sone. Nettonåverdien for denne investeringen er beregnet til å være på 110 113 kr. Det er i hovedsak to hovedårsaker til at denne investeringen gir så høy avkastning. For det første så er den sparte energien for dette scenarioet 23 021 kWh spart årlig som gir en årlig spart energikostnad på hele 18 417 kr. Dette kommer av ventilasjonssystemet sin mulighet til å gjenvinne varme fra avtrekksluften og til tilluften, samt at luftmengdene for ventilasjon i dette bygget er høye. Den andre årsaken til at investeringen har så høy nettonåverdi er på grunn av at hele bruksstadiet i livsløpet er blitt ekskludert i beregningene, spesielt vedlikehold i modulen B2 presentert i figur 20. Som beskrevet i teoridelen for balansert ventilasjon i kapittel 2.2.4 så kreves det mer vedlikehold av et balansert ventilasjonssystem enn et avtrekksventilasjonssystem. Inkluderingen av kostnadene som går til vedlikehold hadde gjort at den beregnede nettonåverdien dermed hadde blitt redusert. Størrelsen på reduksjonen hadde uansett ikke påvirket investeringen fra å være en god investering med positiv nettonåverdi, men kan gjøre at den beregnede avkastningen er unaturlig høy.

Den investeringen med nest høyest avkastning er scenario E, halvering av lekkasjetallet fra $1,5 \text{ h}^{-1}$ til $0,75 \text{ h}^{-1}$, med en beregnet nettonåverdi på 47 033 kr. Dette scenarioet baserer seg kun på sparte energikostnader og kan derfor også ha en unaturlig høy avkastning, på lik linje som scenarioet bestående av balansert ventilasjon. For det første så er de sparte energikostnadene på 3461 kr det som gjør at investeringen lønner seg. Lekkasjetallet er avhengig av et tett bygg med godt gjennomført overganger. På denne måten ville reduksjon av lekkasjetallet kostet i form av materialer og arbeidstid, noe som er ekskludert fra beregningene av dette scenarioets nettonåverdi. Basert på dette så er det mulig at avkastningen er beregnet til å være unaturlig høy, men den ville uansett, i all sannsynlighet, vært positiv grunnet de årlige sparte energikostnadene. Dette scenarioet viser dermed potensialet en reduksjon av lekkasjetallet har å si for kostnadene for bygget.

Den tredje beste investeringen basert på avkastning og beregnet nettonåverdi er scenario D, bruk av superisolerte vinduer. Investeringen av dette energireducerende tiltaket gir en positiv nettonåverdi på 22 330 kr. Den relativt høye avkastningen baserer seg på to grunner. For det

første så spares det 3001 kr i årlige energikostnader med bruk av vinduer ved U-verdi på 0,90 W/m²K istedenfor 1,2 W/m²K. For det andre så er ikke enhetsprisen for superisolerte vinduer med U-verdi < 1,0 W/m²K mye dyrere enn vinduer med U-verdi < 1,2 W/m²K, presentert i tabell 10. I følge Norsk Prisbok koster det bare 183 kr/m² mer med superisolerte vinduer. Dette gjør at den totale investeringskostnaden for erstatning av alle vinduer er på 18 452 kr, som er relativt lav sammenlignet med den årlige sparte energikostnaden på 3001 kr. Basert på de to hovedgrunnene nevnt over gir investeringen av superisolerte vinduer god avkastning.

Den investeringen som ga fjerde best – og tredje dårligst – avkastning er scenario A, ekstraisolering av ytterveggene med 75 mm, med en beregnet nettonåverdi på 13 986 kr. Dette scenarioet ga høyest avkastning av alle ekstraisoleringstiltak grunnet den store besparelsen på energikostnaden med på 4144 kr årlig. På den andre siden har scenarioet lavere nettonåverdi enn bruk av superisolerte vinduer og halvering av lekkasjetall, på tross av høyere energibesparelse ved ekstraisolering av ytterveggene enn bruk av superisolerte vinduer og halvering av lekkasjetall. Dette kommer av at for scenarioet som baserer seg på reduksjon av lekkasjetallet så er ikke noe investeringskostnad inkludert i beregningene. Ved sammenligning med bruk av superisolerte vinduer, så er det forskjellen i investeringskostnad som påvirker resultatet. Den minimale forskjellen på enhetspriser for superisolert vindu og ordinært isolert vindu gjør at investeringskostnaden for ekstraisolering av ytterveggene, 42 332 kr, er betydelig høyere enn investeringskostnaden for superisolerte vinduer, på 18 458 kr. På denne måten er ekstraisolering av ytterveggene fortsatt en lønnsom investering, men med lavere avkastning enn halvering av lekkasjetall og superisolerte vinduer grunnet høy investeringskostnad.

Scenario C, ekstraisolering av gulvkonstruksjonen med 45 mm, ga nest dårlig avkastning, med en negativ beregnet nettonåverdi på -5314 kr. Dette energireduserende tiltaket gir negativ avkastning basert på to hovedgrunner. For det første så er det dette scenarioet som gir høyest energibehov, og behov for levert energi, utenom basescenarioet. Den lave energibesparelsen gjør at de årlige sparte energikostnadene kun er på 1254 kr for ekstraisoleringen av gulvet. For det andre så er investeringskostnaden stor (22 362 kr), på tross av liten økt isolasjonstykkelse (45 mm). Dette kommer av den høye enhetsprisen for å legge isolasjon i gulv, presentert i tabell 10. Sammenlignet scenario A (yttervegger) er det de sparte energikostnadene som gjør ekstraisoleringen av ytterveggene mer lønnsom, på tross av lavere investeringskostnad grunnet liten økt isolasjonstykkelse.

Det scenarioet med dårlig avkastning er scenario B, ekstraisolering av yttertaket med 100 mm. Dette energireducerende tiltaket gir en negativ beregnet nettonåverdi på -12 484 kr. Dette baserer seg i hovedsak på den høye investeringskostnaden (47 178 kr) 100 mm økt isolasjonstykkelse gir. Sammenlignet med ekstraisoleringen av gulvet så er den store forskjellen i investeringskostnad, på 24 816 kr, avgjørende. På tross av at ekstraisoleringen av yttertaket gir 1298 kr mer årlig sparte energikostnader enn ekstraisoleringen av gulvet, gjør ikke dette opp for investeringskostnadene over en levetid på 20 år. Sammenlignet med det beste ekstraisoleringstiltaket, ekstraisolering av ytterveggene, så har ekstraisolering av yttertaket både høyere investeringskostnad grunnet isolasjonsmengde (4846 kr mer), i tillegg til lavere sparte energikostnader (1591 kr lavere). Basert på dette er ekstraisoleringen av yttertaket det minst lønnsomme tiltaket.

Oppsummert, så gir investeringsanalysen en pekepinn på hvilke scenarioer som er mest og minst lønnsomme. Det finnes dog enkelte diskusjonspunkter som kan påvirke resultatene for de beregne nettonåverdiene. For det første så er det kun analysert modul A1-A5 og B6 for beregning av bygningers økonomiske prestasjon, i henhold til NS-EN 16627. Som diskutert, kan for eksempel inkludering av B2 *Vedlikehold* påvirke resultatet for balansert ventilasjon i negativ retning. I tillegg kan inkludering av materialenes sluttstadium C1-C4 gjøre at det påløper flere kostnader for energitiltakene. Når oppgaven avgrenset seg til å se på investering av energitiltak versus sparte energikostnader, i form av nytte-kostnad-analyse, var det mest relevant å analysere modulene A1-A5 og B6. Et annet diskusjonspunkt er datakvaliteten hentet fra Norsk Prisbok. Enhetsprisene anvendt som grunnlag for investeringskostnader, presentert i tabell 10, er ikke detaljert riktig beskrivelse av arbeidet som blir utført. Dette dreier seg i hovedsak om forskjeller i varmekonduktivitet og isolasjonstykkelse, men det gir alt i alt et godt estimat på enhetsprisene for de ulike investeringene.

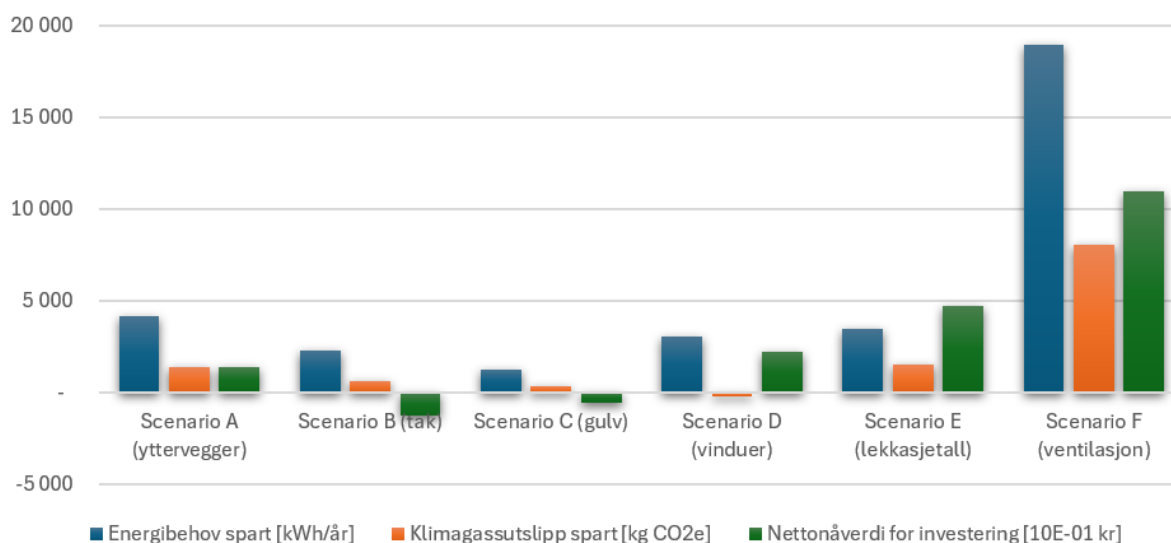
Det tredje diskusjonspunktet er den valgte diskonterings-/kalkulasjonsrenten på 4 %. En økt diskonterings-/kalkulasjonsrente hadde gjort energitiltakene mindre lønnsomme. For eksempel vil en økt diskonterings-/kalkulasjonsrente fra 4% til 7 % gjøre at scenario A (ekstraisolering av yttervegger) sin nettonåverdi går fra 13 986 kr til 1569 kr. Enda økt diskonterings-/kalkulasjonsrente hadde gjort energitiltaket negativt lønnsomt. Bruk av en konstant diskonterings-/kalkulasjonsrente på 4 % egner seg for å rangere scenarioene ut fra best og dårlig lønnsomhet, men samtidig legges det ikke skjul på at enkelte tiltak ikke er lønnsomme med økt diskonterings-/kalkulasjonsrente. Det fjerde – og siste –

diskusjonspunktet dreier seg om valgt energipris. Vi anvender standardverdien i Simien, samt NVEs anbefaling for elektrisitets energipris på 0,80 kr/kWh. En reduksjon på energiprisen til 0,60 kr/kWh gjør at nettonåverdien for scenario A (ekstraisolering av yttervegger) går fra 13 986 kr til -93 kr. En økning på energiprisen til 1,0 kr/kWh gjør at nettonåverdien for scenario A øker til 28 066 kr. Oppsummert, føler vi at å følge standardverdien i Simien, samt NVEs anbefaling på 0,80 kr/kWh gir mest realistisk resultat.

6.4 Sammenstilling

Figur 27 viser en sammenstilling og sammenligning av alle scenarioer og analyser. Scenario A (ekstraisolering av yttervegger med 75 mm) har både positivt energibehov spart, klimagassutslipp spart og nettonåverdi for investering. Scenario B (ekstraisolering av yttertaket med 100 mm) gir noe spart energibehov og klimagassutslipp, men gir negativ lønnsomhet i form av nettonåverdi. Scenario C (ekstraisolering av gulv med 45 mm) har også positivt energibehov og klimagassutslipp spart, men negativ avkastning for investering, på lik linje som scenario B. Scenario D (superisolerte vinduer) gir betydelig energibehov spart med god avkastning på investering, men på andre siden gir tiltaket minimalt økt klimagassutslipp. Scenario E (halvering av lekkasjetall) gir spart energibehov og klimagassutslipp med god lønnsomhet for investering. Det samme gjør scenario F (balansert ventilasjon), med den høyeste besparelsen i energibehov og klimagassutslipp, i tillegg til størst lønnsomhet. Basert på figur 27, og diskusjon i dette kapitlet er det fremmet en rangering av de energireduserende tiltakene (scenarioene). Denne rangeringen presenteres i tabell 15, hvor begrunnelsen stammer fra resultatene og diskusjonene i kapittel 5 og 6.

Sammenstilling alle analyser og energireduserende tiltak



Figur 27: Sammenstilling alle analyser og scenarier

Tabell 15: Rangering av scenarier

Rangeringsnummer	Scenario og energireduserende tiltak
1	Scenario F: Balansert ventilasjon med varmegjenvinning i sonen <i>garderobe og vaskerom plan 1</i> som erstatning for mekanisk avtrekksventilasjon
2	Scenario E: Halvering av lekkasjetallet fra 1,5 h ⁻¹ til 0,75 h ⁻¹
3	Scenario A: Ekstraisolering av ytterveggene med 75 mm
4	Scenario D: Bruk av superisolerte vinduer med U-verdi på 0,90 W/m ² K som erstatning for vinduer med U-verdi på 1,20 W/m ² K
5	Scenario B: Ekstraisolering av yttertak med 100 mm
6	Scenario C: Ekstraisolering av gulv med 45 mm

Tiltakene vi har sett på i denne oppgaven er ikke av de mest kompliserte, så man kunne dannet flere scenarier som kunne hatt mer innvirkning på energisimuleringene, klimagassregnskapet og investeringsanalysen. Scenarioene inneholdt ikke de største

endringene på det opprinnelige bygget, men de gir en god pekepinn på hvor energi, klimagassutslipp og kostnader kan innhentes for ulike energireducerende tiltak. For ekstraisolering-scenarioene tok vi utgangspunkt i Sintef sertifiseringen til Moelven-modulene med deres isolasjonstykkelser og U-verdier. Scenarioene med bruk av superisolerte vinduer, halvering av lekkasjetall og implementering av balansert ventilasjon med varmegjenvinning er kjente energireducerende tiltak som gjorde dem relevant å analysere. Aktuelle forbedringer for de energireducerende tiltakene blir beskrevet i kapittel 7.1.

Et tiltak som var oppe til vurdering var å legge på en etasje, slik at brakkeriggen ble bestående av tre etasjer. Poenget her var at grunnarealet til riggen ville bli mindre, og at dette var et mulig tiltak for å redusere energiforbruket og klimagassutslippene. Grunnen til at vi utelot dette scenarioet var på grunn av at Moelven Byggmodul ikke hadde behov for det, og så på det som veldig lite realistisk å produsere en slik løsning. Grunnen til det er praktiske utfordringer innenfor produksjon, oppbygning av riggene og spesielt transport. Det ville også gjøre simuleringer og beregninger mye mer kompliserte, og vi mente dette ville gå utenfor den oppsatte problemstillingen.

Det er enkelte diskusjonspunkter som påvirker alle tre analysemetoder. For det første så anvendes det en levetid på 20 år i klimagass- og lønnsomhetsberegningene av brakkeriggen, basert på estimert levetid for bygningen. Dersom det hadde blitt benyttet andre levetider, for eksempel den ordinære levetiden på 50/60 år for bygninger, hadde resultatene blitt seende annerledes ut. For klimagassberegningene gjør en levetid på 20 år at utslippene fra bruksstadiet, spesielt *B6 Operasjonelt energibruk*, er mindre enn ved lengre levetider. På denne måten gjør det at de sparte utslippene fra energibesparelsen for de energireducerende tiltakene utgjør en mindre andel ved levetid på 20 år enn 50/60 år. For lønnsomhetsberegningene (investeringsanalysen) gjør en levetid på 20 år at de sparte energikostnadene utgjør en mindre andel, sammenlignet med levetid på 50/60 år. En levetid på 50/60 år ville dermed gjort at nettonåverdien ville økt. Den anvendte levetiden for brakkeriggene på 20 år tilsvarer estimert brukstid for bygningene, beskrevet i kapittel 2.1.3, og valget gjort i dette prosjektet kan begrunnes basert på det.

Det andre diskusjonspunktet dreier seg om at klimagass- og lønnsomhetsberegningene anvender simulert levert energi fra Simien, og ikke faktisk/målt energibruk ved beregning av modul *B6 Operasjonell energibruk*. Den reelle verdien for levert energi til bygget vil mest sannsynlig avvike noe fra den simulerte verdien utført i Simien, men gir en pekepinn på

størrelsen for utslippene. Valget på bruk av simulert levert energi baserer seg på at det gjør det enklere å sammenligne de ulike scenarioene med det opprinnelige bygget, selv om faktiske/målte verdier for faktisk energibruk for den opprinnelige brakkeriggen eksisterer.

6.5 Optimalisert løsning

Den optimaliserte løsningen skal inneholde de energireducerende tiltakene som gir størst effekt på energibehov, klimagassutslipp og lønnsomhet, implementert sammen. De energitiltakene/scenarioene som er inkludert i den optimaliserte løsningen baserer seg på rangeringen av scenarioene, presentert i tabell 15, resultatene for energibehov, klimagassutslipp og lønnsomhet, samt enkelte aktuelle skjønnsbetraktninger. De scenarioene som er inkludert i den optimaliserte løsningen er:

- Scenario A: Ekstraisolering av ytterveggene med 75 mm
- Scenario D: Bruk av superisolerte vinduer med U-verdi på 0,90 W/m²K som erstatning for vinduer med U-verdi på 1,20 W/m²K
- Scenario E: Halvering av lekkasjetallet fra 1,5 h⁻¹ til 0,75 h⁻¹
- Scenario F: Balansert ventilasjon med varmegjenvinning i sonen *garderobe og vaskerom plan 1* som erstatning for mekanisk avtrekksventilasjon

Scenario A (ekstraisolering av yttervegger), scenario E (halvering av lekkasjetallet) og scenario F (balansert ventilasjon) er alle energireducerende tiltak som gir gevinst i både energibehov og klimagassutslipp spart, samt positiv lønnsomhet i form av nettonåverdi for investering. Implementeringen av scenario D (superisolerte vinduer) i den optimaliserte løsningen er mer tvilsom. Dette scenarioet har betydelig spart energibehov og positiv lønnsomhet, men gir en liten økning i klimagassutslipp sammenlignet med den opprinnelige brakkeriggen (basescenarioet). Ettersom de superisolerte vinduene gir hele 3048 kWh spart årlig og har en positiv nettonåverdi på 22 330 kr velger vi å implementere dette scenarioet i den optimaliserte løsningen, på tross av den minimale økningen i klimagassutslipp på 210 kg CO_{2e} over 20 år. De scenarioene som er ekskludert fra den optimaliserte løsningen er scenario B (ekstraisolering av yttertak med 100 mm) og scenario C (ekstraisolering av gulv med 45 mm). Dette valget baserer seg på at disse energireducerende tiltak ga dårligst sammenslått

effekt på energibehov, klimagassutslipp og lønnsomhet. Selv om disse energitiltakene ga noe gevinst i energibehov og klimagassutslipp, så gjør den negative nettonåverdien for investeringene at de utelukkes fra den optimaliserte løsningen.

Tabell 16 viser resultatene for energisimulering, klimagassberegning og investeringsanalyse for den optimaliserte løsningen. Det årlige netto energibehovet for den optimaliserte løsningen er 101 296 kWh, som tilsvarer 114 953 kWh/år i levert energi og 136,0 kWh/(m²*år) i spesifikt energibehov. Energiforbruket reduseres med 30 253 kWh årlig ved implementering av scenario A (ekstrasolering av yttervegger), scenario D (superisolerte vinduer), scenario E (halvering av lekkasjetall) og scenario F (balansert ventilasjon). Det spesifikke energibehovet på 136 kWh/(m²*år) er langt innenfor energirammekravet i TEK 17 § 14-2 punkt 1 for hotellbygning på 170 kWh/(m²*år) (TEK17, 2017b). Fra å være en brakkerigg med et høyt energibehov på 176,6 kWh/(m²*år), dermed over energirammekravet, er den optimaliserte løsningen energigivningstypen med et lavt energibehov tatt bygningstype i betraktning.

Det samlede klimagassutslippet for den optimaliserte brakkeriggen er på 116 568 kgCO_{2e}, som tilsvarer 5828 kg CO_{2e} årlig i løpet av livstiden på 20 år og 149,91 kgCO_{2e}/m². De totale utslippene synker med 10 981 kgCO_{2e} sammenlignet med den opprinnelige brakkeriggen, som har 127 549 kgCO_{2e} i samlede utslipp og 6377 kgCO_{2e} i årlige utslipp. Den optimaliserte løsningen reduserer klimagassutslippene med 8,6 % sammenlignet med den opprinnelige brakkeriggen. Dette imøtekommer målsetningene til Moelven Byggmodul om en årlig karboneffektiv forbedring på 5 % (Moelven, 2021). For investeringsanalysen gjør de implementerte energitiltakene at investeringskostnaden og de årlige sparte energikostnadene øker betraktelig. Avkastningen i form av nettonåverdi er beregnet til å være 198 268 kr for den optimaliserte løsningen.

Tabell 16: Energisimulering, klimagassberegning og investeringsanalyse for optimalisert løsning

Energisimulering			
Energibehov [kWh/år]	Energibehov spart [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/(m ² *år)]	Levert energi [kWh/år]
101 296	30 253	136,0	114 953
Klimagassberegning			
Utslipp [kgCO ₂ e]	Utslipp spart [kgCO ₂ e]	Utslipp pr. år [kgCO ₂ e/år]	Utslipp pr. kvm. [kgCO ₂ e/m ²]
116 568	10 981	5828	149,91
Investeringsanalyse			
Investeringskostnad [kr]	Sparte energikostnader pr år [kr/år]	Nettonåverdi [kr]	
200 962	29 376	198 268	

7 Konklusjon

Hensikten med dette bachelorprosjektet var å optimalisere klimaskjermen og ventilasjonssystemene for brakkerigger. Vi tok utgangspunkt i Moelven Byggmodul sine brakkerigger for å gjennomføre energisimuleringer, klimagassberegninger og lønnsomhetsberegninger, av den opprinnelige brakkeriggen og de energireducerende scenarioene. Den definerte problemstillingen for prosjektet var: *Hvilke energiltak på en gitt standardløsning av brakkerigg har størst gevinst med henblikk på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet?* Dette ble besvart ved å vekte parameterne energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet for energiltakene sammenlignet med den opprinnelige brakkeriggen.

Dette prosjektet konkluderer med at det energireducerende tiltaket på brakkeriggen som har størst gevinst basert på energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet er å installere balansert ventilasjon med varmegjenvinning som erstatning for mekanisk avtrekksventilasjon. Dette tiltaket gir 18 969 kWh årlig spart energibehov, 8060 kgCO_{2e} reduksjon i klimagassutslipp og en avkastning for investering på 110 113 kr. Deretter følger energiltaket som baserer seg på å halvere lekkasjetallet, som sparer 3515 kWh årlig, reduserer klimagassutslippene med 1557 kgCO_{2e} og har en nettonåverdi på 47 033 kr. Det tredje beste energiltaket – og best av ekstraisoleringstiltakene – var å ekstraisolere ytterveggene. Dette tiltaket gir en energibesparelse på 4208 kWh/år, reduserer klimagassutslippene med 1415 kg CO_{2e} og har en lønnsomhet for investering på 13 968 kr. På plassen videre fulgte å bruke superisolerte 3-lags-vinduer som erstatning for ordinære 2-lags-vinduer, som gir 3048 kWh spart årlig og økte klimagassutslipp på 210 kgCO_{2e} med en avkastning på 22 330 kr. De dårligste energiltakene var å ekstraisolere yttertaket på nest siste plass, og ekstraisolering av gulvet på sisteplass. Ekstraisoleringen av yttertaket gir en energibesparelse på 2300 kWh årlig, reduserte klimagassutslipp med 658 kgCO_{2e} og har en negativ avkastning på – 12 484 kr. Ekstraisoleringen av gulvet sparer 1274 kWh årlig og reduserer klimagassutslippene med 344 kgCO_{2e} med en negativ avkastning på – 5314 kr.

En annen del av problemdefineringsen dreide seg om å fremme en optimalisert løsning av brakkeriggen, med de beste energiltakene implementert sammen. De energiltakene som anvendes i den optimaliserte løsningen er balansert ventilasjon, halvering av lekkasjetallet,

ekstraisolering av ytterveggene og bruk av superisolerte 3-lags-vinduer. For den optimaliserte løsningen ble det satt to målsetninger/resultatmål til. Det første målet var å undersøke om Moelven Byggmoduls klimamål (Moelven, 2021) med en årlig karboneffektiv forbedring på 5 % er realistisk, samtidig som den økonomiske lønnsomheten er positiv. Dette ble gjennomført ved å se på klimagassutslippene og nettonåverdien for den optimaliserte brakkeriggen sammenlignet med den opprinnelige brakkeriggen. Den optimaliserte brakkeriggen reduserte energibehovet med 23 % og de årlige klimagassutslippene med 8,6 % sammenlignet med den opprinnelige brakkeriggen, samtidig som den beregnede nettonåverdien var på 198 268 kr. Den første målsetning er dermed innfridd. Den andre målsetningen var å oppnå energirammekravet i TEK 17 § 14-2 punkt 1 for aktuelle bygningskategori (hotellbygning) (TEK17 § 14-2, 2017). Dette ble innfridd med et spesifikt netto energibehov på 136 kWh/(m²*år) for den optimaliserte løsningen, som er innenfor kravet på 170 kWh/(m²*år) for hotellbygning.

7.1 Videre arbeid

Funnene gjort i denne oppgaven kan brukes som grunnlag for videre forskning og arbeid av energibehov, klimagassutslipp og økonomisk lønnsomhet for brakkerigger – og bygninger generelt. Et eksempel på videre forskningsarbeid er å studere hvordan valg av ulike materialtyper og leverandører for bygningselementer har å si for klimagassregnskapet og avkastningen for investeringen. Dette kan innebære å undersøke klimagassutslippene og lønnsomheten til ulike leverandører av for eksempel vinduer, isolasjonsmaterialer, trematerialer og ventilasjonssystemer. Et annet videre forskningsfelt som kan undersøkes basert på funnene i denne oppgaven er å studere andre isolasjonstykkelser enn isoleringsscenarioene som denne oppgaven tar for seg. På denne måten kan den optimaliserte isolasjonstykkelser for yttervegg, gulv og tak bestemmes. Det tredje – og siste – foreslåtte videre arbeidet er å undersøke hva forskjellen på å bruke simulerte energiverdier og faktisk/målt energiforbruk som grunnlag for beregning av klimagassutslipp og energikostnader har å si for klimagassregnskapet og avkastningen.

Litteraturliste

- Algeco. (u.å.-a). *Boligrigger og brakker*. algeco. Hentet fra <https://www.algeco.no/produkter/boligrigger-og-brakker>
- Algeco. (u.å.-b). *Derfor er gjenbruk av moduler, brakker og containere bedre for miljøet*. Algeco. Hentet fra <https://www.algeco.no/nyheter/derfor-er-gjenbruk-av-moduler-brakker-og-containere-bedre-miljoet>
- Bjørberg, S., Larsen, A., & Øiseth, H. (2007). *Livssyklus kostnader for bygninger*. <https://www.dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/livssyklus-kostnader-for-bygninger.pdf>
- Boligprodusentene. (2021, oktober 19). *Om klimagassberegninger og EPDer*. <https://www.boligprodusentene.no/siteassets/dokumenter/miljo--og-kvalitetsforum/2021.10.19---lars-myhre-klimagassregnskap---verdier-fra-epd.pdf>
- Byggeindustrien. (2010, august 9). *Usikker framtid for 50 000 brakker*. bygg. <https://www.bygg.no/article/60958/>
- Byggforsk. (1994). *552.302 Naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon i småhus—Byggforskserien*. Byggforsk. https://www.byggforsk.no/dokument/endringshistorikk/552.302/naturlig_og_mekanisk_avtrekksventilasjon_i_smaahus?version=1.0
- Byggforsk. (2010, oktober 1). *Dette må du vite dersom du vurderer å bygge modulbygg av tre—Byggforskserien*. Byggforsk. https://www.byggforsk.no/nyheter/2/dette_maa_du_vite_dersom_du_vurderer_aa_bygge_modulbygg_av_tre/1607
- CENTIGA. (2021, mai 26). *Hva er lønnsomhet? CENTIGA*. <https://centiga.no/blogg/hva-er-lonnsomhet/>
- Det kongelige finansdepartement. (2021). *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser*. Regjeringen. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faster_109_2021.pdf
- Direktoratet for byggkvalitet. (2022). *Veileder for utarbeidelse av klimagassregnskap*. Direktoratet for byggkvalitet. https://www.dibk.no/globalassets/byggteknisk-forskrift-tek17/klimagassregnskap_veileder_01.07.2022.pdf

- Dokka, T. H., & Hermstad, K. (2006). *ENERGIEFFEKTIVE BOLIGER FOR FREMTIDEN*. SINTEF. https://www.sintef.no/globalassets/upload/veileder_lavenergihus.pdf
- ECON Senter for økonomisk analyse. (2002). *Diskonteringsrenten i nytte-kostnadsanalyser i transportsektoren* (93/01). Samferdselsdepartementet. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190946/diskonteringsrenteninytte-kostnadsanalyser.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Enova. (u.å.-a). *Beregning av energikarakteren*. Enova. Hentet fra <https://www.enova.no/energimerking/om-energimerkeordningen/om-energiattesten/beregning-av-energikarakteren/>
- Enova. (u.å.-b). *Kjøpsveileder—Balansert ventilasjon*. https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/7B27A393A0E942D79DB1C5893AF80634.pdf&filename=Kj%C3%B8psveileder%20for%20balansert%20ventilasjon.pdf
- Enova. (2016, desember 27). *Balansert ventilasjon*. <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/balansert-ventilasjon/>
- EPD-Norge. (u.å.). *EPD-Norge*. Hentet fra <https://www.visbrosjyre.no/epd-norge/WebView/EPD-Norge>
- The Norwegian EPD Foundation (Regissør). (2016, juni 21). *EPD-Norge «EPD for Dummies»*. https://www.youtube.com/watch?v=g8egvshD_Sc
- EPD-norway. (u.å.). *EPD-norway—Forsiden*. EPD Norge. Hentet fra <https://www.epd-norge.no/>
- Flexit. (u.å.-a). *Balansert ventilasjon med varmegjenvinning*. Flexit. Hentet fra <https://www.flexit.no/ventilasjon/de-tre-ulike-ventilasjonstypene/balansert-ventilasjon/>
- Flexit. (u.å.-b). *Naturlig ventilasjon*. Flexit. Hentet fra <https://www.flexit.no/ventilasjon/de-tre-ulike-ventilasjonstypene/naturlig-ventilasjon/>
- FN. (2024). *FNs bærekraftsmål*. FN-sambandet. <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- Geving, S. (2021). *Praktisk bygningsfysikk*. Fagbokforlaget.
- Grønn byggallianse. (u.å.). *Klimakur for bygg og eiendom*. *Grønn byggallianse*. Hentet fra <https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/>
- Gyproc. (u.å.). *Nye miljødeklarasjoner for Gyproc Klima gipsplater*. Gyproc. Hentet fra <https://www.gyproc.no/aktuelt/dette-er-epd-for-gyproc-klima>

- Gårseth-Nesbakk, L. (2024). Diskonteringsrente. I *Store norske leksikon*.
<https://snl.no/diskonteringsrente>
- Hafver, I. (2024, januar 12). *Adapteo leverer midlertidig skolebygg i Karasjok • Byggeindustrien*. bygg. <https://www.bygg.no/adapteo-leverer-midlertidig-skolebygg-i-karasjok/1543966/>
- Hervik, A., Hagen, K. P., Nyborg, K., Scheel, H. H., Åvitsland, G., & Pettersen, J. O. (1998). *Nytte-kostnadsanalyser*. Finans- og tolldepartementet.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/665d0f4312f545f18b4028694a003412/no/pdfa/nou199819980016000dddpdfa.pdf>
- Høseggen, R. (2008). *Dynamic use of the building structure—Energy performance and thermal environment* [Doktorgrad, NTNU]. https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/233357/123833_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jakobsen Transport. (u.å.). *Transport*. Jakobsen Transport. Hentet fra <https://www.jakobsen-transport.no/transport.html>
- Kalleberg, A. (2023, august 2). Hva gjør jeg når en maskinlesbar EPD ikke finnes?
Hjelpesenter | Holte. <https://hjelp.holte.no/miljo-epd-hjelp/>
- Klima-, energi- og miljøutvalget i EBA. (u.å.). *Reduksjon av energiforbruk på byggeplass*. EBA. https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/73_Reduksjonenergi.pdf
- Klima- og miljødepartementet. (2023, august 28). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Regjeringen; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Klimatdatabasen. (2024, januar 25). *Boverkets klimatdatabas*. Klimatdatabasen.
<https://klimatdatabasen.boverket.se/>
- Kunøe, C. (2016, august 31). - *Modulbygg er framtida for oss*. Byggmesteren.
<https://byggmesteren.as/2016/08/31/modulbygg-er-framtida-for-oss/>
- LCA.no. (u.å.). *Hva er LCA?* LCA.no. Hentet fra <https://lca.no/hva-er-lca/>
- Lundesgaard, J. (u.å.). *SINTEF Teknisk Godkjenning—TG2220*. SINTEF.
<https://www.sintefcertification.no/Product/Download/338>
- Microsoft Office Excel. (2023). I *Wikipedia*.
https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Microsoft_Office_Excel&oldid=23796527

- Miljødirektoratet. (2023, desember 8). *Energieffektivisering og -omlegging i eksisterende bygg*. Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/bygg-og-anlegg/energieffektivisering-og-omlegging-eksisterende-bygg/>
- Modular Building Institute. (u.å.). *What is Modular Construction?* Modular. Hentet fra <https://www.modular.org/what-is-modular-construction/>
- Moelven. (u.å.-a). *10 fordeler med modulbygg*. Moelven. Hentet fra <https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/modulbygg/fordelene-med-a-bygge-industrielt/>
- Moelven. (u.å.-b). *Slik bygger vi moduler*. Moelven. Hentet fra <https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/modulbygg/slik-bygger-vi-moduler/>
- Moelven. (2021). *Framtiden bygges i tre* (s. 86) [Bærekraftsrapport]. <https://www.moelven.com/globalassets/konsern/finansielle-rapporter/barekraftsrapporter/moelven-barekraftsrapport-2021-no-digital.pdf>
- Multiconsult. (2009). *Levetider i praksis*. Multiconsult. https://www.dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider_i_praksis.pdf
- Mysen, M. (2008). *Energireduserende tiltak i Husarveien 26* (s. 20) [Oppdragsrapport]. SINTEF. https://www.sintef.no/globalassets/project/eksbo/dp3-forbildeprosjekter/husarveien_-rapport_med_vedlegg.pdf
- NHO byggenæringen. (u.å.). *Materialbruk i bygg og anlegg*. NHO Byggenæringen. Hentet fra <https://www.nhobyggenaringen.no/Politikk/politiske-saker/materialbruk/>
- Norconsult. (u.å.). *Hva er Norsk Prisbok?* Norsk prisbok. Hentet fra <https://www.norskprisbok.no/WhatIsNP.aspx>
- Norconsult. (2019). *Norsk Prisbok* (2019. utg., Bd. 2). Norconsult.
- Norsk Prisbok. (u.å.). *LCC i Norsk Prisbok*. Norconsult. <https://www.norskprisbok.no/BookContentFile.aspx?id=2846E93B-8EC5-4361-91FF-AC9867BAD23D>
- NVE. (2023, desember 6). *Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2023*. NVE. <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/langsiktig-kraftmarkedsanalyse-2023/>

Ny brakkerigg til Aker Solutions. (2023). <https://www.hblad.no/2023/nyheter/ny-brakkerigg-til-aker-solutions/>

One Click LCA. (u.å.). *LCA & EPDs for construction & manufacturing*. One Click LCA. Hentet fra <https://oneclicklca.com>

Sandberg, T. (2022, oktober 28). *De står for 15 prosent av de norske utslippene. Nå ber de regjeringen om strengere krav* [Avis]. Dagsavisen. <https://www.dagsavisen.no/nyheter/innenriks/2022/10/28/de-star-for-15-prosent-av-de-norske-utslippene-na-ber-de-regjeringen-om-strengere-krav/>

Simien. (u.å.-a). *Simien* [Simien]. Simien.

Simien. (u.å.-b). *Simien | Simulering av energibruk og inneklima i bygg*. Simien. Hentet fra <https://simien.no/>

Skyrudsmoen, L. (2023, juni 8). *Endring av GWP-verdier*. SSB. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft/artikler/endring-av-gwp-verdier>

Song, Y., Zhang, H., & Mithraratne, N. (2022). *Research on influences of wall design on embodied and operating energy consumption: A case study of temporary building in China* (s. 12). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877882200799X>

Standard Norge. (2012, september). *NS 3701:2012*. Standard Norge. <https://online.standard.no/nb/ns-3701-2012>

Standard Norge. (2014). *NS 3031 (3031)*. Standard Norge. <https://online.standard.no/nb/ns-3031-2014>

Standard Norge. (2016). *NS 3453:2016 (3453)*. Standard Norge. <https://online.standard.no/nb/ns-3453-2016>

Standard Norge. (2018). *NS 3720: Klimagassberegninger for bygninger (3720)*. Standard Norge. <https://standard.no/fagomrader/energi-og-klima-i-bygg/bygningsenergi/klimagassberegninger/>

Standard Norge. (2023a). *NS-EN 16627:2015 Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon – Beregningsmetode (16627)*. Standard Norge. <https://online.standard.no/nb/ns-en-16627-2015g1-2023>

Standard Norge. (2023b). *SN-NSPEK 3031: Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning (3031)*. Standard Norge. <https://online.standard.no/nb/sn-nspek-3031-2023>

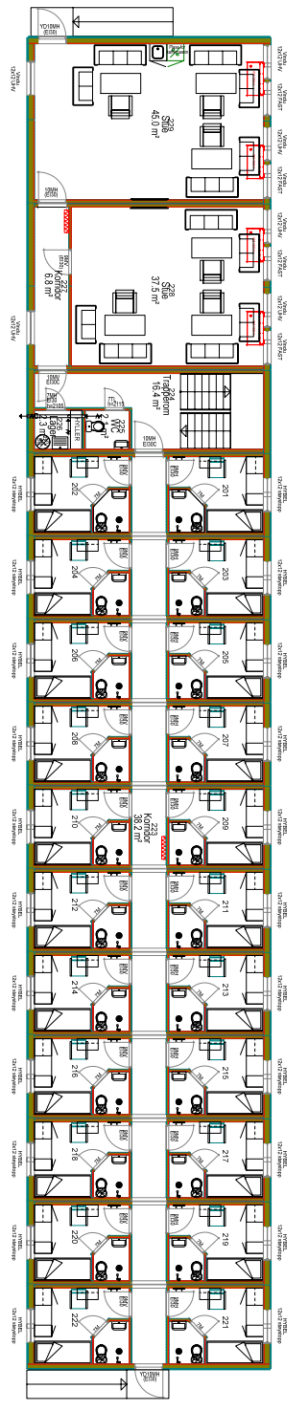
Statistisk sentralbyrå. (u.å.). *Priskalkulator*. SSB. Hentet fra <https://www.ssb.no/kalkulatorer/priskalkulator>

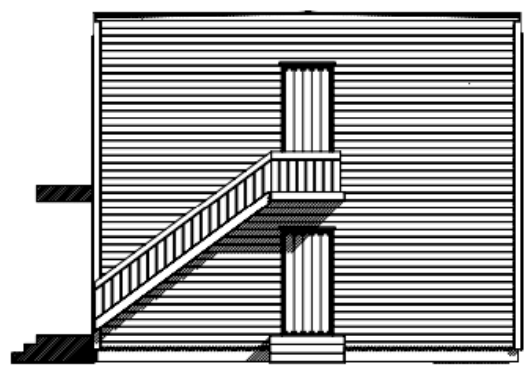
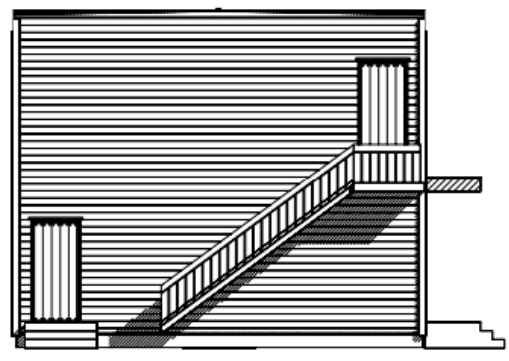
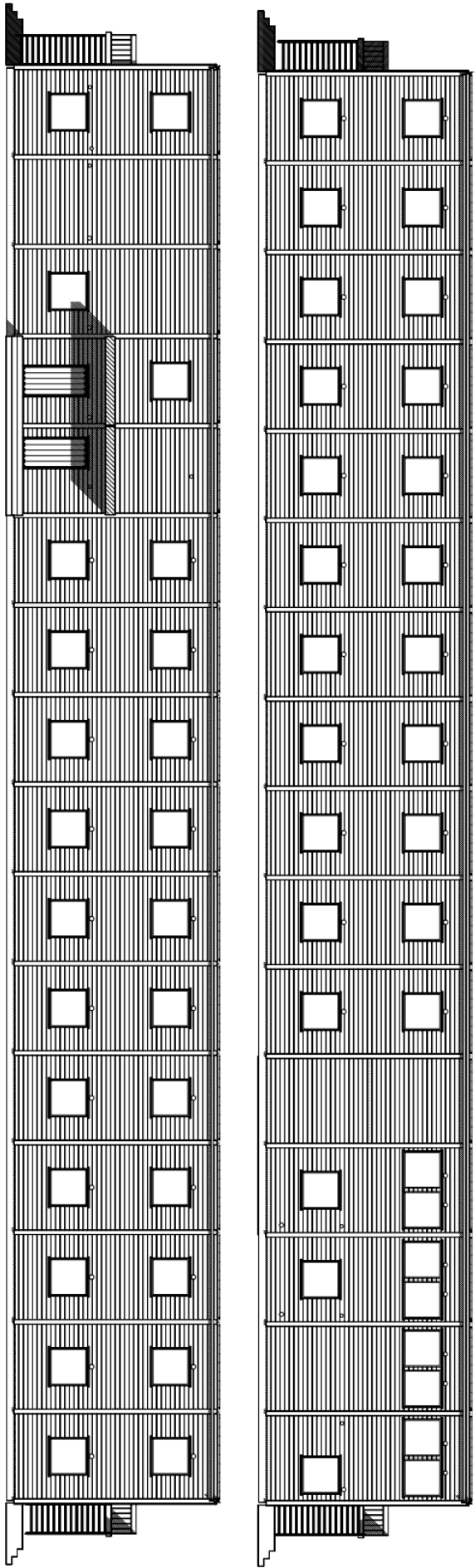
- Sæter, M. (2021, september 30). *NS 3031 – Beregning av bygningers energiytelse er trukket tilbake, men vises fortsatt til i byggteknisk forskrift*. Teknisk Ukeblad.
<https://www.tu.no/artikler/ns-3031-beregning-av-bygningers-energiytelse-er-trukket-tilbake-men-vises-fortsatt-til-i-byggteknisk-forskrift/513576>
- TEK17. (2017a). § 1-2. *Forskriftens anvendelse på særskilte tiltak*.
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/1/1-2>
- TEK17. (2017b). § 14-2. *Krav til energieffektivitet*. TEK17.
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2>
- TEK17. (2017c). § 14-3. *Minimumsnivå for energieffektivitet*.
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3>
- TEK17. (2017d). §17-1. *Klimagassregnskap fra materialer*.
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/17/17-1>
- TEK17. (2017e). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Direktoratet for byggkvalitet.
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- Tekna. (2021, januar 4). *Trykktesting*. Tekna. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/trykktesting/>
- Tekna. (2022, januar 14). *Mekanisk avtrekksventilasjon*. Tekna. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/mekanisk-avtrekksventilasjon/>
- Thue, J. V. (2019). *Bygningsfysikk*. Fagbokforlaget.
- Tidsbanken. (u.å.). *Hva er Excel?* Tidsbanken. Hentet fra
<https://tidsbanken.net/support/case.asp?ID=72>
- Torvatn, T., Rolfsen, M., Alvær Heggenes, T., & Sørheim, R. (2019). *Teknologiledelse—For ingeniørstudier*. Fagbokforlaget.
- UIO. (u.å.). *Nytte–Kostnads Analyse*.
https://www.uio.no/studier/emner/sv/oekonomi/ECON1220/h10/undervisningsmateriale/Uke%2042_kostnads%20_%20nytte%20analyse.pdf
- Windowmaster. (u.å.). *Topp 10-fordeler ved naturlig ventilasjon*. Windowmaster. Hentet fra
<https://www.windowmaster.no/ekspertise/naturlig-og-hybrid-ventilasjon/topp-10-fordeler-ved-naturlig-ventilasjon/>
- ÖKOBAUDAT. (2021, juni 25). *Database search*. ÖKOBAUDAT.
https://www.oekobaudat.de/no_cache/en/database/search.html
- ÖKOBAUDAT. (2022). *Process Data set: Ventilation decentralized with heat recovery (wall, ceiling) 60 m³/h; 1 piece*. ÖKOBAUDAT.

https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=ef7e0021-d6d9-4940-8160-cb63021a50c6&version=20.23.050&stock=OBD_2023_I&lang=en

Vedlegg

Vedlegg 1: Tegninger av brakkerigg





Vedlegg 2: Datablad ventilasjon

Product fiche residential ventilation unit

Commision delegated regulation (EU) 1254/2014

a)	Suppliers name	Volution Sweden AB		Brand name: Pax	
b)	Suppliers model identifier	1110-2/3 EOS100H/H+			
c)	Specific energy consumption (SEC)	Cold	-74,118	A	(kWh/m ² a)
		Average	-34,428		
		Warm	-11,692		
d)	Typology	RVU/BVU			
e)	Type of drive installed	Multi speed / 1,5			
f)	Type of heat recovery system	Recuperativ			
g)	Thermal efficiency of heat recovery	72		%	
h)	Maximum flow rate	60		(m ³ /h)	
i)	Electric power input	17,41		W	
j)	Sound power level	43		(dB(A))	
k)	Reference flow rate	0,017		(m ³ /s)	
l)	Reference pressure difference	0		Pa	
m)	Specific power input (SPI)	0,27		(W/(m ³ /h))	
n)	Control factor	Central demand control/0,85			
o)	Internal, external leakage rate	5		%	
p)	Mix rate	0		%	
q)	Position of visual filter warning	See manual			
r)	Regulated supply and exhaust grill in the facade	NA			
s)	Internet address	www.pax.se			
t)	Airflow sensitivity	0		%	
u)	Indoor and outdoor air tightness	0		m ³ /h	
v)	Annual energy consumption	2,65		(kWh/(m ² a))	
w)	Annual heating saved	Cold	81,18		(kWh/m ² a)
		Average	43,27		
		Warm	18,76		

a)	Leverandør	Airmaster	
b)	Modell	AM 150	AM 300
c)	Spesifikt energiforbruk (SEC)		
	Kaldt klima	-79,1 kWh/(m ² · a)	-78,6 kWh/(m ² · a)
	Normalt klima	-41,5 kWh/(m ² · a)	-40,8 kWh/(m ² · a)
	Varmt klima	-17,4 kWh/(m ² · a)	-16,6 kWh/(m ² · a)
	SEC-klasse	A	A
d)	Typologi	Ventilasjonsethet for boliger / Toveis ventilasjonsanlegg	
e)	Type driver installert	Regulerbar overføring (VSD)	
f)	Type varmegjenvinningssystem	Rekuperativ varmeveksler / Motstrømsvarmeveksler	
g)	Termisk virkningsgrad	82 %	83 %
h)	Maksimal strømningshastighet	0,035 m ³ /s @ 20 Pa	0,075 m ³ /s @ 30 Pa
		126 m ³ /h @ 20 Pa	270 m ³ /h @ 30 Pa
i)	Elektrisk effektbehov	30 W	95 W
j)	Lydeffektnivå (L _{wa})	40 dB(A)	40 dB(A)
k)	Referansestrømningshastighet	0,025 m ³ /s	0,057 m ³ /s
		89 m ³ /h	205 m ³ /h
l)	Referenstryckskillnad	20 Pa	20 Pa
m)	Spesifikt effektbehov (SPI)	730 W/(m ³ /s)	950 W/(m ³ /s)
		0,203 W/(m ³ /h)	0,264 W/(m ³ /h)
n)	Kontrollfaktor og typologi	MISC = 121	MISC = 121
		Ikke-kanalmontert	
		CTRL = 0,65	CTRL = 0,65
		Lokal behovsstyring	
		X = 2	X = 2
	Regulerbar overføring (VSD)		
o)	Maksimal ekstern lekkasjemengde	2 % @ 250 Pa	2 % @ 250 Pa
	Maksimal intern lekkasjemengde	2 % @ 100 Pa	2 % @ 100 Pa
p)	Blandingsrate	Maks. 5 % ved ugunstig vindretning og vindhastighet	
q)	Filteralarmsignal	Se beskrivning i Drift og Vedlikehold manualen.	
r)	Instruksjoner rörande enkelriktede ventilasjonssystem	Inte relevant	
s)	Bortskaffande	Se beskrivelse i Drift og Vedlikehold manualen, www.airmaster-as.no	
t)	Luftstrømsensitivitet for trykkvariasjoner	+/- 7,9 %	+/- 3,7 %
u)	Lufttetthet	1,5 m ³ /h	1,5 m ³ /h
v)	Årlig strømforbruk (AEC)		
	Kaldt klima	687 kWh/(100 m ² ·a)	736 kWh/(100 m ² ·a)
	Normalt klima	150 kWh/(100 m ² ·a)	199 kWh/(100 m ² ·a)
	Varmt klima	105 kWh/(100 m ² ·a)	154 kWh/(100 m ² ·a)
w)	Årlig oppvarming spart (AHS)		
	Kaldt klima	8785 kWh/(100 m ² ·a)	8829 kWh/(100 m ² ·a)
	Normalt klima	4490 kWh/(100 m ² ·a)	4513 kWh/(100 m ² ·a)
	Varmt klima	2031 kWh/(100 m ² ·a)	2041 kWh/(100 m ² ·a)

Vedlegg 3: EPD-filer

Materialtype	EPD-fil	Deklarasjonsnummer
Sponplate	Forestia standard sponplater	NEPD-2001-885-NO
13mm standard gipsplate	Gyproc 13mm standard gips	NEPD-3364-1995-EN
0,15mm plastfolie	Tommen Gram Dampsperre	NEPD-2809-1507-NO
Mineralull glava proff	Glava glassull	NEPD-1696-683-NO
Justert skurlast	Fingerskjøtt konstruksjonsvirke fra Moelven	NEPD-3831-2785-NO
9mm GU-gips	Gyproc vindtett	NEPD-3368-1995-EN
Utlekking/lekt	Høvellast av gran eller furu	NEPD-2547-1284-NO
Utvendig kledning	Høvellast av gran eller furu	NEPD-2547-1284-NO
Vinduer (superisolerte)	NorDan NTech Villa Topswing reversible 3lag	NEPD-4548-3799-EN
12mm firax	Forestia standard sponplater	NEPD-2001-885-NO
Steinull 70mm Paroc Extra	Paroc Extra steinull	NEPD-2392-1128-NO
9mm OSB-plate	Swiss Krono OSB-Platten	EPD-KRO-20200203-IBD1-EN
Fuktbestandig spon	Forestia sponplater ekstra	NEPD-2003-885-NO
Airmaster 150	Airmaster	MD-23078-EN rev 2
Pac Eos 100/100h	Ventilation decentralized w/ heat recovery (wall ceiling) 60 m3/h	oekobau.dat: 8.2.01
Vinduer basescenario	NorDan NTech Villa Topswing reversible 2lag	NEPD-5949-5200-EN
Kerto LVL	Kerto LVL	S-P-02802
Protan takfolie	Protan takbelegg	NEPD-5315-4635-NO
Innerdør	Interior door B30/Rw38dB	NEPD-5627-4922-EN

Vedlegg 4: Energisimuleringer i Simien

Generelt:

Inndata energiforsyning		
Beskrivelse	Verdi	
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,81 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,98 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,88 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 18 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	16,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	2,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,40	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	2,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,52	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	1,00/1,00/1,00/1,00	

Basescenario:

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	84025 kWh	112,8 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1818 kWh	2,4 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²	
3a Vifter	10470 kWh	14,1 kWh/m ²	
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	131549 kWh	176,6 kWh/m ²	

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	151959 kWh	204,0 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	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	151959 kWh	204,0 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	151959 kWh	204,0 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	62	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	62,4	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,09	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario A (yttervegger):

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	79826 kWh	107,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1809 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	10470 kWh	14,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	127341 kWh	170,9 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	146493 kWh	196,6 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	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	146493 kWh	196,6 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	146493 kWh	196,6 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,16	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	62	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	62,4	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,09	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario B (tak):

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	81734 kWh	109,7 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1809 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	10470 kWh	14,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	129249 kWh	173,5 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	148842 kWh	199,8 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	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	148842 kWh	199,8 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	148842 kWh	199,8 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	62	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	62,4	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,09	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario C (gulv):

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	82752 kWh	111,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1818 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	10470 kWh	14,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	130275 kWh	174,9 kWh/m²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	150105 kWh	201,5 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	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	150105 kWh	201,5 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	150105 kWh	201,5 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,14	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	62	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	62,4	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,09	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario D (vinduer):

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	80984 kWh	108,7 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1812 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	10470 kWh	14,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	128501 kWh	172,5 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	147922 kWh	198,6 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	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	147922 kWh	198,6 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	147922 kWh	198,6 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,94	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	62	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	62,4	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,09	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario E (lekkasjetall):

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	80519 kWh	108,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1810 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	10470 kWh	14,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	128034 kWh	171,9 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	147347 kWh	197,8 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	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	147347 kWh	197,8 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	147347 kWh	197,8 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,75	
Temperaturvirkningsqgr. varmegjenvinner [%]:	62	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	62,4	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,09	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario F (ventilasjon):

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	66506 kWh	89,3 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1818 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	9020 kWh	12,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	112580 kWh	151,1 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	128652 kWh	172,7 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	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	128652 kWh	172,7 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	128652 kWh	172,7 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	74	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	73,5	
Spesifikk vitteffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	0,93	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,85	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Optimalisering:

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	55250 kWh	74,2 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1791 kWh	2,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	22185 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	9020 kWh	12,1 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	8700 kWh	11,7 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4350 kWh	5,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	101296 kWh	136,0 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	114953 kWh	154,3 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	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	114953 kWh	154,3 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	114953 kWh	154,3 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	548	
Areal tak [m ²]:	373	
Areal gulv [m ²]:	373	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	97	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	745	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2012	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,16	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,94	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,75	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	74	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	73,5	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	0,93	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,85	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	126	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Scenario F (ventilasjon):

Optimalisering:

Energipost	Kategori	Eiendel	Mengde	GMP-DBCC	Eiendel EPD	Omregnet mengde	Vegge til																GMP-DBCC-aktiv	
							FA1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D			
							FA1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D			
23 Yveevog	Ulling	m ³	115	115	m ³	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Uverdi ledning	m ³	134	134	m ³	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Vindler	m ³	93	93	m ³	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Innevegger	m ²	1700	1700	m ²	1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zonn sporplade	m ²	204	204	m ²	204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mineralull Glava Prof	m ³	55	55	m ³	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm Fance Ena	m ³	152	152	m ³	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juere kludant C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24 - Fingerprint	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 Innevegger	Vindler	m ³	59	59	m ³	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Innevegger samlet	m ²	1700	1700	m ²	1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zonn sporplade	m ²	204	204	m ²	204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mineralull Glava Prof	m ³	55	55	m ³	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm Fance Ena	m ³	152	152	m ³	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juere kludant C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24 - Fingerprint	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Uverdi ledning	m ³	134	134	m ³	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vindler	m ³	59	59	m ³	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25 Dakter - Gulvbetong	Innevegger samlet	m ²	1700	1700	m ²	1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zonn sporplade	m ²	204	204	m ²	204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mineralull Glava Prof	m ³	55	55	m ³	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm Fance Ena	m ³	152	152	m ³	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juere kludant C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24 - Fingerprint	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Uverdi ledning	m ³	134	134	m ³	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vindler	m ³	59	59	m ³	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vindler	m ³	59	59	m ³	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26 Yveevog	Ulling	m ³	115	115	m ³	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Uverdi ledning	m ³	134	134	m ³	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vindler	m ³	93	93	m ³	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Innevegger	m ²	1700	1700	m ²	1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zonn sporplade	m ²	204	204	m ²	204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mineralull Glava Prof	m ³	55	55	m ³	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm Fance Ena	m ³	152	152	m ³	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juere kludant C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Støvtromm C24 - Fingerprint	m ³	172	172	m ³	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 VVS-installasjoner	Ventilasjon samlet	m ³	2870	2870	m ³	2870	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ammerer S50	m ³	4	4	m ³	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XX Simulert energibud	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simulert energibud	m ³	41383	41383	m ³	41383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vedlegg 6: Investeringsanalyser (NNV) i Excel

Lønnsomhetsberegning av Scenario A (ekstraisolering av yttervegg)

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	Antatt levetid for midlertidig brakkerigg
Diskonteringsrente, r	4 %	Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling
Mengde ekstraisolering [m3]	31,80	(Fasadeareal-vindu-/dørareal) * iso.tykkelse * isoandel i stenderverk
Enhetspris [kr/m3]	1331,39	02.3.2.1.0570 Norsk Prisbok 2019 02 * prisreg. på 19,3 % til januar 2024
Investeringskostnad, K_0	kr 42 332,15	Mengde ekstraisolering * enhetspris
Årlig spart energi [kWh]	5180	Fra energisimuleringer i Simien
Energipris [kr/kWh]	kr 1,00	Standardverdi i Simien
Årlige sparte energikostnader, K_t	kr 5 180,00	Årlig spart energi * energipris
Netto-nåverdi (NNV):	kr 28 065,74	

Lønnsomhetsberegning av Scenario B (ekstraisolering av tak)

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	Antatt levetid for midlertidige brakkerigg
Diskonteringsrente, r	4 %	Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling
Mengde ekstraisolering [m3]	34,69	Areal yttertak * iso.tykkelse * isoandel
Enhetspris [kr/m3]	1360,02	02.5.6.3.0610 Norsk Prisbok 2019 02 * prisreg. på 19,3 % til januar 2024
Investeringskostnad, K_0	kr 47 177,73	Mengde ekstraisolering * enhetspris
Årlig spart energi [kWh]	3191	Fra energisimuleringer i Simien
Energipris [kr/kWh]	kr 0,80	Standardverdi i Simien
Årlige sparte energikostnader, K_t	kr 2 552,80	Årlig spart energi * energipris
Netto-nåverdi (NNV):	-kr 12 484,35	

Lønnsomhetsberegning av Scenario C (ekstraisolering av gulv)

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	Antatt levetid for midlertidig brakkerigg
Diskonteringsrente, r	4 %	Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling
Mengde ekstraisolering [m3]	15,78	Areal gulv * iso.tykkelse * isoandel
Enhetspris [kr/m3]	1417,28	02.5.1.5.0422 Norsk Prisbok 2019 02 * prisreg. på 19,3 % til januar 2024
Investeringskostnad, K_0	kr 22 361,77	Mengde ekstraisolering * enhetspris
Årlig spart energi [kWh]	1568	Fra energisimuleringer i Simien
Energipris [kr/kWh]	kr 0,80	Standardverdi i Simien
Årlige sparte energikostnader, K_t	kr 1 254,40	Årlig spart energi * energipris
Netto-nåverdi (NNV):	-kr 5 314,06	

Lønnsomhetsberegning av Scenario D (superisolerte vinduer)

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	Antatt levetid for midlertidig brakkerigg
Diskonteringsrente, r	4 %	Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling
Antall vinduer åpningsbare	55	Fra tegninger
Antall vinduer faste	4	Fra tegninger
Areal vindu [m ²]	1,44	Bredde * høyde
Enhetspris gamle vinduer (åpningsbare) [kr/m ²]	4784	02.3.4.1.0460 Norsk Prisbok 2019 02
Enhetspris gamle vinduer (faste) [kr/m ²]	3302	02.3.4.1.0410 Norsk Prisbok 2019 02
Enhetspris nye vinduer (åpningsbare) [kr/m ²]	4967	02.3.4.1.0470 Norsk Prisbok 2019 02
Enhetspris nye vinduer (faste) [kr/m ²]	3471	02.3.4.1.0420 Norsk Prisbok 2019 02
Delta sammensatt enhetspris [kr/m ²]	182,05	Sammensatt en.pris for nye vinduer - sammensatt en.pris for gamle vinduer
Delta sammensatt investeringskostnad, K ₀	kr 18 452,18	Antall vinduer * areal vindu * delta sammensatt enhetspris * prisreg. på 19,3%
Årlig spart energi [kWh]	3751	Fra energisimuleringer i Simien
Energipris [kr/kWh]	kr 0,80	Standardverdi i Simien
Årlige sparte energikostnader, K _t	kr 3 000,80	Årlig spart energi * energipris
Netto-nåverdi (NNV):	kr 22 329,67	

Lønnsomhetsberegning av Scenario E (halvering av lekkasjetall)

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	Antatt levetid for midlertidig brakkerigg
Diskonteringsrente, r	4 %	Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling
Mengde [m ³]		
Enhetspris [kr/m ³]		
Investeringskostnad, K ₀	kr 0,00	
Årlig spart energi [kWh]	4326	Fra energisimuleringer i Simien
Energipris [kr/kWh]	kr 0,80	Standardverdi i Simien
Årlige sparte energikostnader, K _t	kr 3 460,80	Årlig spart energi * energipris
Netto-nåverdi (NNV):	kr 47 033,40	

Lønnsomhetsberegning av Scenario F (balansert ventilasjon)

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	Antatt levetid for midlertidig brakkerigg
Diskonteringsrente, r	4 %	Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling
BTA sone [m ²]	125	BRA + yttervegger i sonen "Garderobe og vaskerom plan 1"
Enhetspris [kr/m ² BTA]	1121,42	03.6.0.5110 Norsk Prisbok 2019 02 * prisreg. på 19,3 % til januar 2024
Investeringskostnad, K ₀	kr 140 177,50	Mengde ekstraisolering * enhetspris
Årlig spart energi [kWh]	23021	Fra energisimuleringer i Simien
Energipris [kr/kWh]	kr 0,80	Standardverdi i Simien
Årlige sparte energikostnader, K _t	kr 18 416,80	Årlig spart energi * energipris
Netto-nåverdi (NNV):	kr 110 112,82	

Lønnsomhetsberegning av Scenario optimalisering

Post	Mengde	Kommentar
Levetid, n [år]	20	<i>Antatt levetid for midlertidig brakkerigg</i>
Diskonteringsrente, r	4 %	<i>Diskonteringsrente iht finansdepartementets anbefaling</i>
Investeringskostnad scenario A	kr 42 332,15	
Investeringskostnad scenario D	kr 18 452,18	
Investeringskostnad scenario E	kr 0,00	
Investeringskostnad scenario F	kr 140 177,50	
Investeringskostnad totalt, K_0	kr 200 961,83	<i>Total investeringskostnad</i>
Årlig spart energi [kWh]	36 720	<i>Fra energisumuleringer i Simien</i>
Energipris [kr/kWh]	kr 0,80	<i>Standardverdi i Simien</i>
Årlige sparte energikostnader, K_t	kr 29 376,00	<i>Årlig spart energi * energipris</i>
Netto-nåverdi (NNV):	kr 198 267,60	

Vedlegg 7: KI-deklarasjon

Deklarasjon om KI-hjelpemidler

Har det i utarbeidingen av denne rapporten blitt anvendt KI-baserte hjelpemidler?

Nei

Ja

Hvis ja: spesifiser type av verktøy og bruksområde under.

Tekst

Stavekontroll. Er deler av teksten kontrollert av:
Grammarly, Ginger, Grammarbot, LanguageTool, ProWritingAid, Sapling, Trinko.ai eller lignende verktøy?

Tekstgenerering. Er deler av teksten generert av:
ChatGPT, GrammarlyGO, CopyAI, WordAi, WriteSonic, Jasper, Simplified, Rytr eller lignende verktøy?

Skriveassistanse. Er en eller flere av ideene eller fremgangsmåtene i oppgaven foreslått av:
ChatGPT, Google Bard, Bing chat, YouChat eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et tekstverktøy - spesifiser bruken her:

Kode og algoritmer

Programmeringsassistanse. Er deler av koden/algoritmene som i) fremtrer direkte i rapporten eller ii) har blitt anvendt for produksjon av resultater slik som figurer, tabeller eller tallverdier blitt generert av: *GitHub Copilot, CodeGPT, Google Codey/Studio Bot, Replit Ghostwriter, Amazon CodeWhisperer, GPT Engineer, ChatGPT, Google Bard* eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et programmeringsverktøy - spesifiser bruken her:

Bilder og figurer

Bildegenerering. Er ett eller flere av bildene/figurene i rapporten blitt generert av:
Midjourney, Jasper, WriteSonic, Stability AI, Dall-E eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et bildeverktøy - spesifiser bruken her:

Andre KI verktøy. har andre typer av verktøy blitt anvendt? Hvis ja spesifiser bruken her:

Jeg er kjent med NTNUs regelverk: *Det er ikke tillatt å generere besvarelse ved hjelp av kunstig intelligens og levere den helt eller delvis som egen besvarelse.* Jeg har derfor redegjort for all anvendelse av kunstig intelligens enten i) direkte i rapporten eller ii) i dette skjemaet.

Sivert L. Johansen

20.05.2024 Drammen

Andreas Tronsli

20.05.2024 Oslo

Albert Øhrnskiöld

20.05.2024 Lier

Underskrift/Date/Sign

