TBYG 3016 Bacheloroppgave bygg

Veien videre mot nullenergibygg - Energieffektiviserende omprosjektering av dagens standard enebolig

The Transition Towards Zero Energy Buildings - An Energy-Efficient Redesign of a Standard Norwegian Detached House

Trondheim Mai 2021

Maar Aastesønn Sakya
Åsmund Storheim Thorbjørnsen

Intern veileder:
Bozena Dorota Hrynyszyn

Ekstern veileder:
Snorre Bjørkum v/Norgeshus

Prosjektnr:
2021 - 14

Rapporten er ÅPEN

NTNU
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Prosjektbeskrivelse og resultatmål

Det skal utarbeides en oppgave som ser på mulighetene for å omprosjektere et bolighus til et nullenergibygg, innenfor rimelige kostnadsrammer, for en gjennomsnittshusstand. Her blir det nødvendig å undersøke kostnadsrammene i form av betalingsvilje nærmere, da bygging av nullenergibygg vil medføre en større startinvestering enn et tilsvarende hus uten dette kravet. Hvilken kostnadsramme som tas utgangspunkt i vil sette begrensninger for hvor mye tekniske anlegg for solenergi som kan installeres, og dermed hvor mye energi som kan produseres.

For at en oppgradering til nullenergistandard skal være hensiktsmessig må tiltakene man iverksetter føre til et lavere klimaavtrykk sammenliknet med eksisterende løsninger. En analyse som kreves for å vurdere dette vil være svært omfattende og tidkrevende, og vil derfor gjøres basert på grove overslag i denne oppgaven. For å begrense prosjektet blir det dessuten tatt utgangspunkt i et allerede prosjektert hus. Det aktuelle huset i dette prosjektet vil være Dråpen som er tegnet og utarbeidet av Norgeshus.

Dagens krav til energibehov for nye boliger vil bli brukt som utgangspunkt for oppgaven. Hovedfokuset vil være å redusere oppvarmingsbehov, samt å se på energiproduksjon gjennom solceller og solfangere. Siden mye av energibehovet går til oppvarming av forbruksvann, vil det også sees på løsninger for reduksjon av energibehov til dette. Det vil rettes mindre fokus mot andre sparetiltak.

Bacheloroppgaven vil inngå i et samarbeid med studenten Tony Andreas Arntsen som skriver masteroppgave om optimalisering av termisk komfort og dagslys. De to oppgavene skal kobles ved at resultatene av beregningene for et kostnadseffektivt nullenergibygg skal sammenstilles med beregningene av termisk komfort og dagslys. Målet med dette er å forsøke å finne en optimal løsning for begge deler i ett og samme hus.

Resultatmål:

- Overslag av energiproduksjon ved installasjon av anlegg innenfor kostnadsramme, på aktuell husmodell
- Beregning av U-verdier som kreves i huset for å oppnå et oppvarmingsbehov som kan dekkes av resterende produsert energi, når øvrig forbruk er trukket fra
- Simuleringer i SIMIEN for kontroll av huset som det er prosjektert i dag og sammenligne med utbedringene.
- Sammenligning med optimalisering av termisk komfort og dagslys, og eventuelle tilpasninger for å tilfredsstille disse aspektene samtidig som krav til nullenergi.

Stikkord:	Keywords:
Nullenergibygg	Zero energy buildings
Energisimulering	Energy simulations
Kostnadsanalyse	Cost analysis
Livsløpsanalyse	Life cycle assessment
Omprosjektering	Redesign

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2021 som en avslutning på tre år ved studieprogrammet Byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim, og utgjør 20 studiepoeng.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Norgeshus og omhandler en omprosjektering av en av deres husmodeller ved navn Dråpen. Gjennom arbeidet med oppgaven har vi tilegnet oss mye kunnskap, og fått flere nye synspunkter rundt energibruken i bolighus, materialvalg og tekniske installasjoner.

Vi vil takke vår eksterne veileder Snorre Bjørkum og resten av Norgeshus for veiledning og idé til oppgaven. Videre vil vi takke Charly Berthod (Greenstat), Jan Håvard Bratlie (Varmetema) og Marius Labråten (Flexit) som alle har hjulpet oss med anbefalinger og informasjon innen deres fagfelt. Vi vil også å takke medstudent Tony-Andreas Arntsen for et fint og lærerikt samarbeid.

Til slutt ønsker vi å rette en stor og spesiell takk til vår interne veileder Bozena Dorota Hrynyszyn for gode innspill, synspunkter og støtte gjennom arbeidet med oppgaven.

Trondheim, 20. mai 2021

Maar Aastesønn Sakya

Åsmund Storheim Thorbjørnsen

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg en omprosjektering av en standard norsk enebolig hvor det er forsøkt å oppnå tilnærmet netto null energiforbruk ved en oppgradering av bygningskroppen, og bruk av tekniske installasjoner. Norgeshus sin husmodell Dråpen er brukt som utgangspunkt for omprosjekteringen.

For å komme fram til et forslag til en omprosjektering undersøkes effekten av ulike energieffektiviserende tiltak og ytterveggskonstruksjoner, samt mulighetene for lokal energiproduksjon ved bruk av solenergi. Det blir gjort undersøkelser med klimadata for byene Bergen, Kristiansand, Oslo, Tromsø og Trondheim.

Hensikten med nullenergibygg er å redusere klima- og miljøpåvirkninger. En fare ved innføring av energieffektiviserende tiltak kan være at økt materialforbruk medfører klimagassutslipp som er større enn besparelsene man oppnår ved å innføre tiltakene. For å unngå dette gjennomføres det livsløpsanalyser av tiltakene som vurderes i oppgaven. Analysene bidrar til å peke ut de beste tiltakene, i tillegg til å belyse eventuelle tiltak som ikke er verdt å gjennomføre.

Samtidig som omprosjekteringen skal gjøre huset mer energieffektivt og mindre miljøbelastende, må kostnadene holdes på et moderat nivå for at en gjennomsnittlig familie skal ha råd til å bygge huset. En har sett flere eksempler på at det er mulig å bygge nullenergibygg som er vellykkede, både når det gjelder energieffektivitet og reduserte miljøbelastninger. Felles for flere slike prosjekter er likevel et prisnivå som er langt høyere enn budsjettet til en gjennomsnittlig husholdning. Av den grunn gjennomføres det også en kostnadsanalyse av tiltakene for å undersøke det økonomiske aspektet ved omprosjekteringen.

For å ivareta hensynet til både energiforbruk, klimagassutslipp og kostnader gjennomføres det en samlet vurdering basert på resultatene for hvert av disse aspektene. Basert på vurderingen velges en løsning som forslag til omprosjektering.

Med den foreslåtte omprosjekteringen i Oslo-klima oppnår huset et oppvarmingsbehov på 29,8 kWh/m^2/år, og netto energibehov på -2,5 kWh/m^2/år. Huset ender dermed opp med å bli et nullenergibygg hvor de totale klimagassutslippene reduseres med 10,4 tonn CO_2-ekvivalenter, noe som tilsvarer mer enn åtte flyturer mellom Trondheim og New York for en passasjer (1).

Abstract

The aim of this thesis is to redesign a standard Norwegian detached house to become a zero energy building. The house model Dråpen produced by Norgeshus is used as a base for the redesign.

This thesis assesses the effect of different energy efficient measures as well as the possibilities within local energy production using solar power. Analyses are carried out for five different Norwegian cities. Bergen, Kristiansand, Oslo, Tromsø and Trondheim.

The purpose of designing zero energy buildings is to reduce the overall emission of greenhouse gasses. Introducing energy efficient measures may lead to greenhouse gas emissions that are greater than the savings achieved by introducing the measures due to an increase in material consumption. To prevent such an increase of greenhouse gas emissions a life cycle assessment of the measures considered is performed. The life cycle assessment helps to identify the best performing measures in addition to shedding light on any measure not worth implementing.

As well as making the house more energy efficient and environmentally friendly, the cost of the redesign must be kept at a moderate level in order to make the house affordable for an average Norwegian family. There are several examples of zero energy buildings that are successful, both in terms of energy efficiency and reduced environmental impact. Common to most such projects is a price that exceeds the budget of an average family. For this reason, a cost analysis of the measures considered is performed to keep the cost of the redesign at a moderate level.

An overall assessment of energy consumption, greenhouse gas emissions and costs is carried out to choose a solution for the redesign.

With the redesign proposed in this thesis the house ends up with a heating demand of 29,8kWh/m^2/year and a total energy demand of -2,5kWh/m^2/year, making it a zero energy building. The total greenhouse gas emissions are reduced by the equivalent of 10,4 tonnes of carbon dioxide, which corresponds to more than eight flights between Trondheim and New York for one passenger (1).

Innhold

Forord I

Sammendrag III

Abstract V

Forkortelser og definisjoner XII

1 Introduksjon 1

1.1 Bakgrunn for tema 1

1.2 Oppgaven 2

1.2.1 Problemstilling 2

1.2.2 Omfang og avgrensning 3

1.3 Programvare 4

1.3.1 PVGIS 4

1.3.2 SIMIEN 4

1.3.3 One Click LCA 4

1.4 Dråpen 5

2 Teori 6

2.1 Energi og miljø 6

2.1.1 Klimaendringer 6

2.1.2 Miljøpåvirkning av energibruk 6

2.2 Nullenergibygg 7

2.3 Solenergi 7

2.3.1 Solceller 7

2.3.2 Solfanger 9

2.4 Tekniske installasjoner 10

2.4.1 Balansert ventilasjon 10

2.4.2 Varmepumpe 10

2.4.3 Vann- og energibesparende tappearmatur 11

2.4.4 Varmegjenvinning av gråvann 12

2.5 Bygningsfysikk 13
2.5.1 U-verdier 13
2.5.2 Kuldebroer 14
2.5.3 Lekkasjetall 15
2.6 Byggtekniske løsninger 16
2.6.1 Skumisolerte trestendere 16
2.6.2 Stendere med I-profil 17
2.6.3 Todelt bindingsverk 17
2.7 Økonomi 18
2.7.1 Kalkulasjonsrente 18
2.7.2 Nåverdimetoden 18
2.7.3 Strømpriser 20
2.7.4 Støtteordninger 21
2.8 Livsløpsanalyse 21
2.8.1 LCA 22
2.8.2 EPD 23
2.9 Termisk inneklima og dagslys 24
3 Metode 25
3.1 Litteratursøk 25
3.2 Fremgangsmåte 25
3.3 Avgrensninger 26
3.3.1 Scenarioer 27
3.4 Valg av oppvarmingssystem 28
3.4.1 Solfanger 28
3.4.2 Varmepumpe 29
3.5 Undersøkelse av energiproduksjon 30
3.6 Energisimuleringer 32
3.6.1 Utgangspunkt 33

3.6.2 Tiltak 1: Forbedrede ventilasjonsverdier 34
3.6.3 Tiltak 2: Redusert lekkasjetall 34
3.6.4 Tiltak 3: Varmepumpe og vannbåren gulvvarme 34
3.6.5 Tiltak 4: Vann- og energibesparende tappearmatur 35
3.6.6 Tiltak 5: Varmegjenvinning av gråvann 35
3.6.7 Simulering av ulike scenarioer 36
3.7 Kostnadsanalyse 37
3.8 Livsløpsanalyse 41
3.9 Samlet vurdering og valg av løsning 43
3.10 Termisk komfort og dagslys 43
4 Resultat 44
4.1 Energiproduksjon 44
4.2 Energisimuleringer 45
4.2.1 Utgangspunkt 45
4.2.2 Tiltak 1: Forbedrede ventilasjonsverdier 45
4.2.3 Tiltak 2: Redusert lekkasjetall 46
4.2.4 Tiltak 3: Varmepumpe og vannbåren gulvvarme 46
4.2.5 Tiltak 4: Vann- og energibesparende tappearmatur 47
4.2.6 Tiltak 5: Varmegjenvinning av gråvann 47
4.2.7 Scenario A-H 48
4.3 Kostnadsanalyse 49
4.3.1 Kalkulasjonsrente 49
4.3.2 Solcelleanlegg 50
4.3.3 Tekniske installasjoner 51
4.3.4 Ytterveggskonstruksjoner 52
4.3.5 Forslag til omprosjektering 55
4.4 Livsløpsanalyse 56
4.4.1 Utgangspunkt 57

4.4.2 Solcellepaneler 58
4.4.3 Tekniske installasjoner 59
4.4.4 Ytterveggskonstruksjoner 60
4.4.5 Forslag til omprosjektering 63
4.5 Valg av løsning 65
4.6 Termisk komfort og dagslys 66
5 Diskusjon 67
5.1 Energiproduksjon 67
5.2 Energisimuleringer 67
5.2.1 Tiltak 1: Forbedrede ventilasjonsverdier 67
5.2.2 Tiltak 2: Redusert lekkasjetall 68
5.2.3 Tiltak 3: Varmepumpe og vannbåren gulvvarme 68
5.2.4 Tiltak 4: Vann- og energibesparende tappearmatur 69
5.2.5 Tiltak 5: Varmegjenvinning av gråvann 70
5.2.6 Samlet effekt av tiltak (Scenario A) 70
5.2.7 Scenario A-H 71
5.3 Kostnadsanalyse 72
5.3.1 Kalkulasjonsrente 72
5.3.2 Solenergi 73
5.3.3 Tekniske installasjoner 74
5.3.4 Ytterveggskonstruksjoner 75
5.3.5 Forslag til omprosjektering 76
5.4 Livsløpsanalyse 77
5.4.1 Utgangspunkt 77
5.4.2 Solcellepaneler 77
5.4.3 Tekniske installasjoner 78
5.4.4 Ytterveggskonstruksjoner 79
5.4.5 Forslag til omprosjektering 79

5.5 Termisk komfort og dagslys 80
5.6 Valg av ytterveggskonstruksjon 80
5.7 Sammenlikning med andre studier 81
5.8 Utfordringer og muligheter ved nullenergibygg 82
5.9 Diskusjon av metode 83
5.10 Feilkilder 84
6 Forslag til omprosjektering 85
7 Forskning og utvikling – Elbilbatterier til lagring av solenergi 87
8 Konklusjon 89
9 Videre arbeid 90
Figurer 91
Tabeller 93
Referanser 95
Vedlegg 105

Forkortelser og definisjoner

BAPV	Building applied photovoltaics, bygningsanvendte solceller
BIPV	Building integrated photovoltaics, bygningsintegrerte solceller
BRA	Bruksareal
CO_2e	Co_2-ekvivalenter. Enhet benyttet for å kunne sammenlikne effekten av ulike klimagasser
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet
EPD	Enviromental Product Declaration. Et dokument som gir informasjon om et produkts miljøpåvirkning gjennom livsløpet
Iso-klasse	Isolasjonsklasse. $\lambda_{isolasjon}$ [kW/mK]
K-verdi	Normalisert kuldebroverdi. Sum av varmetap fra alle kuldebroer delt på oppvarmet bruksareal.
kWp	KiloWatt-peak. Effektkapasitet for solceller ved standard testforhold
LCA	Life cycle assessment. En metode for å vurdere et produkts miljøpåvirkning gjennom hele dets livsløp.
Netto energibehov	En bygnings energibehov hvor virkningsgrader og tap i energikjeden ikke er tatt hensyn til.
Netto energiforbruk	Netto levert energi fratrukket egenprodusert energi
Netto levert energi	Energimengden som trengs for å dekke det netto energibehovet når det tas hensyn til virkningsgrader og tap i energikjeden.
Nullenergibygg	Et bygg hvor mengden fornybar energi produsert på eller i nærheten av bygget tilsvarer mengden energi brukt over ett år (±1000kWh).
Nåverdi	Dagens verdi av et pengebeløp i fremtiden.
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System. Nettbasert applikasjon som kan benyttes til å undersøke potensialet innen solenergi.
SFP	Specific fan power, spesifikk vifteeffekt
SIMIEN	Simuleringsprogram for bygningers inneklima og energibehov

Spesifikt energibehov	Energibehov per kvadratmeter bruksareal [kWh/m^2]
TEK	Byggteknisk forskrift
U-verdi	Mål på hvor lett varme slipper gjennom en bygningsdel

1 Introduksjon

I dette kapittelet introduseres oppgaven og bakgrunn for tema. Programvare som er benyttet, og den aktuelle husmodellen som skal omprosjekteres presenteres.

1.1 Bakgrunn for tema

Nullenergibygg pekes stadig ut som en viktig løsning på det høye energiforbruket som drift av bygninger utgjør. Når denne posten i dag utgjør 40% av Norges netto innenlands energiforbruk, er det ikke rart at bygg som kan dekke energiforbruket sitt med egenprodusert, fornybar energi stikker seg ut som et attraktivt konsept (2). Både på nasjonalt og europeisk nivå har konseptet blitt fremmet i flere år allerede, og FNs klimapanel er overbevist om at det er energieffektivisering i bygninger som gir de største og raskeste klimagassbesparelsene (3). Energy performance of buildings directive, EU sitt bygningsenergidirektiv, stiller krav til at alle nye bygninger fra og med 2021 skal bygges som nesten nullenergibygg. Selve definisjonen av nullenergibygg er imidlertid ikke helt klar, og er foreløpig overlatt til de enkelte medlemslandene (4).

Også i Norge har regjeringen bedt Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), om å definere begrepet. DiBK la i 2019 fram et forslag til en modell for arbeidet med definisjonen. Denne går i hovedsak ut på å vurdere hvilke andre forhold enn kun energibehov i byggets driftsperiode som bør inkluderes i de kommende kravene, som for eksempel å inkludere hele livsløpet. I arbeidet ser de blant annet på definisjoner som gir mulighet for å inkludere andre miljøkrav, øke fleksibiliteten, og å oppnå kravene på kostnadseffektive måter. Det forslås en todelt modell med både basiskrav som er obligatoriske for alle, og tilleggskrav for å redusere energibehov og klimapåvirkninger ytterligere. Basiskravene skal sikre en robust og god bygningskropp, og kan spesifiseres ved U-verdier, andel vindus- og dørareal, luftlekkasjetall, normalisert kuldebroverdi og spesifikk vifteeffekt (SFP). Tilleggskrav skal sørge for mindre miljøbelastning gjennom livsløpet, og kan dreie seg om alt fra materialbruk, passive energitiltak og egenproduksjon av energi, til varmegjenvinning, flere tekniske installasjoner og energieffektivisering av bygningskropp (5).

Det er antatt at de kommende kravene i byggteknisk forskrift (TEK) vil følge en del av prinsippene som ligger til grunn for DiBK sitt arbeid med definisjonen av nesten nullenergibygg. For en husleverandør som Norgeshus kan det derfor være en fordel å ligge forkant med arbeidet som skal til for å møte disse. Uansett utfallet av definisjonen er det svært gode og fornuftige prinsipper som ligger bak, som ethvert byggeprosjekt bør ta hensyn til. I

denne oppgaven er det spesielt det helhetlige perspektivet for vurdering av totale klima- og miljøpåvirkninger ved de energieffektiviserende tiltakene det vil legges fokus på. En ønsker derfor å vurdere mer enn bare bruksfasen til bygget, ved å også utføre livsløpsanalyser for tiltakene som innføres. På denne måten unngår en å flytte klimapåvirkningene fra bygget over på andre livsløpsfaser, som utvinning og bearbeiding av materialene som tiltakene krever.

Selv om det finnes eksempler på at det er mulig å bygge nullenergibygg som er vellykkede, både når det gjelder energieffektivitet og reduserte miljøbelastninger, er det som regel knyttet store kostnader til slike prosjekt. Prisnivået kan fort bli langt høyere enn hva en gjennomsnittlig husholdning sitt utbyggingsbudsjett tillater (6). For at nullenergibygg skal bli en realitet, må folk ha råd til å investere i energieffektiviserende tiltak som kreves. Av den grunn vil det også være interessant å undersøke det økonomiske aspektet ved omprosjekteringen.

1.2 Oppgaven

Målet med denne oppgaven er å vurdere effekten av ulike tiltak for å oppnå tilnærmet netto null energiforbruk, gjennom en omprosjektering av en standard enebolig. I tillegg til energieffektiviserende effekt, skal det også tas hensyn til kostnad og klimagassutslipp. Bygget det tas utgangspunkt i er en av Norgeshus sine husmodeller, ved navn Dråpen. Gjennom simuleringer av byggets energiforbruk og klimagassutslipp undersøkes effekten ulike tekniske installasjoner, solcelleanlegg og byggtekniske løsninger vil ha på energi- og klimagassregnskapet. Det gjennomføres også en økonomisk analyse av de ulike tiltakene. Simuleringene og undersøkelsene utføres ved bruk av programvarene PVGIS, SIMIEN, One Click LCA og Excel.

I denne oppgaven beskrives teorien bak relevante tekniske installasjoner og byggtekniske løsninger. Metoden bak simuleringene og beregningene beskrives, og de ulike tiltakene og scenarioene som undersøkes presenteres. Resultatene fra alle simuleringene og beregningene framlegges og sammenliknes. Basert på resultatene som fremkommer legges det til slutt frem et forslag til en omprosjektering av bygget.

1.2.1 Problemstilling

Vil det være hensiktsmessig å bygge morgendagens eneboliger som nullenergibygg med hensyn til energiforbruk, klimagassutslipp og økonomi?

1.2.2 Omfang og avgrensning

Oppgaven omfatter undersøkelser og vurderinger som leder frem til et forslag til en omprosjektering av eneboligen Dråpen. Valgene i omprosjekteringen blir tatt på bakgrunn av undersøkelser og sammenlikning av de tre aspektene energi, økonomi og klimapåvirkning. Temaene fukt, brann, bæreevne og akustikk blir ikke vurdert. Når det kommer til inneklima og termisk komfort vil resultatene fra en parallell studie benyttes for å kontrollere løsningen som legges frem.

Etter ønske fra Norgeshus blir det prioritert å undersøke energieffektiviserende tekniske installasjoner før ulike veggoppbygginger undersøkes. Bakgrunnen for dette ønsket er å unngå å måtte bygge for tykke vegger som potensielt kan ta opp unødvendig mye areal som ellers kunne vært benyttet som BRA.

Oppgaven avgrenses til kun å se på byggeplasskonstruerte veggkonstruksjoner av trevirke, og kun et lite utvalg av ulike energibesparende tiltak undersøkes. Det gjennomføres kun undersøkelser av energiproduksjon ved bruk av solenergi. Andre energiproduksjonsmetoder utelates fra denne oppgaven. Oppgaven begrenses til kun å se på solcellepaneler foreslått av Norgeshus sin samarbeidspartner innen solenergi, Greenstat.

Økonomi vil være et viktig aspekt ved vurderingen av de energieffektiviserende tiltakene. Dette utgjør en faktor som både setter rammer, og begrensninger for investeringene som kreves, samtidig som det kan fungere som en motivasjon og pådriver for å innføre energibesparende tiltak. Noen sentrale tema innenfor økonomi og kostnader vil derfor inkluderes i denne oppgaven, som en ekstra vurdering av de ulike tiltakene.

Siden hensikten med nullenergibygg er å redusere klima- og miljøpåvirkninger, vil det utføres enkle livsløpsanalyser av de aktuelle energieffektiviserende tiltakene. På denne måten får en vurdert mer enn bare bruksfasen til bygget, og unngår å flytte klimapåvirkningene over på andre livsløpsfaser, som utvinning og bearbeiding av materialene som tiltakene krever. Siden dette ikke er hoveddelen av oppgaven, vil analysene gjøres som relativt grove overslag. Analysene vil baseres på et datagrunnlag bestående av en del generiske verdier, som velges ut ifra hva som passer med informasjonen som er tilgjengelig om aktuelle materialer for huset.

1.3 Programvare

1.3.1 PVGIS

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) er en gratis nettbasert applikasjon utviklet ved European Comission Joint Research Centre. Applikasjonen er laget for å spre kunnskap og informasjon rundt solceller og solstråling, og har tre innebygde verktøy.

-Typical Meteorological Year tool som kan benyttes til å finne meteorologisk data.
-Solar Radiation tool som kan benyttes til å finne data om solinnstråling.
-PV Performance tool som kan benyttes til å finne potensialet for energiproduksjon ved bruk av solcellepaneler.

PVGIS bruker satellittdata for å estimere solstråling. Denne dataen blir videre brukt i en matematisk modell som forteller noe om hvordan solcelleanlegg vil yte basert på helningsvinkler og virkningsgrad (7).

1.3.2 SIMIEN

SIMIEN er et dataprogram som brukes til å simulere bygningers inneklima og energibehov. Resultatene fra simuleringene kan kontrolleres opp mot energikrav i TEK og passivhusstandarden. Programmet er validert i henhold til NS-EN 15265 og benytter data fra NS 3031. Programmet er utviklet i Norge av ProgramByggerne AS (8).

1.3.3 One Click LCA

One Click LCA er en programvare utviklet av Bionova Ltd, som blant annet har verktøy rettet mot byggindustrien. Programmet skal tilby industrien en rask og enkel måte å regne ut sine miljøpåvirkninger. På bakgrunn av verdens største database av generiske og produktspesifikke EPD-er gjør programmet automatiske livsløpsanalyser for prosjektet som skal undersøkes. Den norske versjonen av programmet følger Norsk Standard for klimagassberegninger, NS 3720. Ved å legge inn flere design kan ulike alternativer sammenlignes for å optimalisere klimagassutslipp (9).

1.4 Dråpen

Figur 1: Dråpen original (10)

Dråpen er en husmodell tegnet og produsert av Norgeshus. Huset har en rektangulær form med grunnflate 6m x 12m med BRA på 140m^2 fordelt over to etasjer. Huset finnes i tre ulike versjoner, Original, Moderne og Tradisjon. Hovedforskjellen mellom de tre versjonene er uterommene samt takutformingen (10). I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i versjonen ved navn Dråpen Original. Husmodellen har en relativt standard oppbygning. Veggene består av 150mm isolert konstruksjonsvirke med 50mm innvendig påforing. Huset har et saltak med en helning på 27° og er utformet som et kaldt loft med 400mm isolasjon. Som fundament er det benyttet en ringmur med plate på mark isolert med 350mm XPS på undersiden.

I byggets 1.etg. er det stort sett oppholdsrom med spisestue, stue og kjøkken. I 2.etg. er det tre soverom, stue og bad. Huset er utstyrt med et balansert ventilasjonssystem, og benytter biobrensel i form av vedfyring som oppvarmingssystem.

2 Teori

I dette kapittelet presenteres teori som vil være relevant for å svare på oppgavens problemstilling. Begrepet nullenergibygg defineres, og aktuelle tekniske installasjoner beskrives. Deretter blir teori innenfor temaene bygningsfysikk, økonomi og livsløpsanalyse forklart.

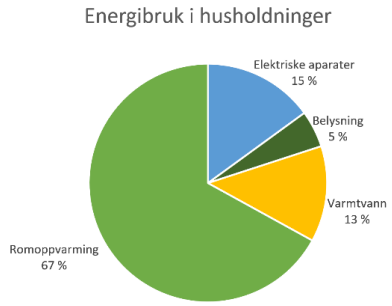
2.1 Energi og miljø

2.1.1 Klimaendringer

Siden målingene av den globale middeltemperaturen begynte i 1880 har det aldri vært registrert høyere temperaturer enn i 2016 og 2020. Disse årene var den globale middeltemperaturen 1,02^{o}C høyere enn temperaturgjennomsnittet mellom 1951 og 1980. Denne trenden har foregått over en lengre periode, hvor nitten av de tjue varmeste årene siden målingene startet har forekommet etter år 2000 (11). Denne globale oppvarmingen kommer blant annet som en konsekvens av en økt konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren. 97% av klimaforskere er enige om at disse klimaendringene er menneskeskapte (12).

2.1.2 Miljøpåvirkning av energibruk

Det totale energiforbruket i norske husholdninger lå i 2019 på 48tWh, noe som tilsvarer 22% av Norges totale energiforbruk. Av de 48tWh som forbrukes årlig er 40tWh av forbruket i form av elektrisitet (13). Forbruket kan deles inn i fire hovedkategorier. Romoppvarming, varmtvann, elektriske apparater og belysning.



Figur 2: Energibruk i norske husholdninger fordelt på forbruksposter (14)

Strømmen som brukes i Norge kommer nesten utelukkende fra fornybare energikilder. Dette resulterer i at elektrisiteten har et meget lavt klimaavtrykk. Det gjennomsnittlige klimagassutslippet i form av CO_2 ekvivalenter (CO_2e) for norsk strøm antas å være 17g/kWh. Til sammenlikning ligger tallet på strømmen i EU på rundt 300g CO_2e/kWh (15). Utslippene knyttet til strømforbruk i norske husholdninger står dermed for 1,4% av de totale nasjonale utslippene årlig (16). Med den stadige elektrifiseringen av samfunnet og globalisering av strømmarkedet, kan man anta at etterspørselen etter fornybar energi vil øke i årene fremover (17). Ved en økning i etterspørsel etter fornybar energi vil utbygging av sol- og vindkraft være de økonomisk beste alternativene for økt energiproduksjon, og vil være viktig for å nå klimamålene (18).

2.2 Nullenergibygg

I byggebransjen finnes det flere klassifiseringer som forteller noe om hvor miljøvennlig, eller energieffektiv en bygning er. Eksempler på slike klassifiseringer er passivhus, lavenergibygg og zero emission buildings. Begrepene nullenergibygg og nesten nullenergibygg har i den siste tiden vært i vinden.

Det finnes i dag ingen entydig definisjon på begrepet nullenergibygg. I denne oppgaven er det derfor valgt å definere begrepet på følgende måte:

Et bygg hvor mengden fornybar energi produsert på, eller i nærheten av bygget, tilsvarer mengden energi brukt over ett år.

Grunnet variasjoner i forbruksmønster tillater definisjonen et årlig forbruk på opptil 1000kWh mer enn mengden energi som produseres.

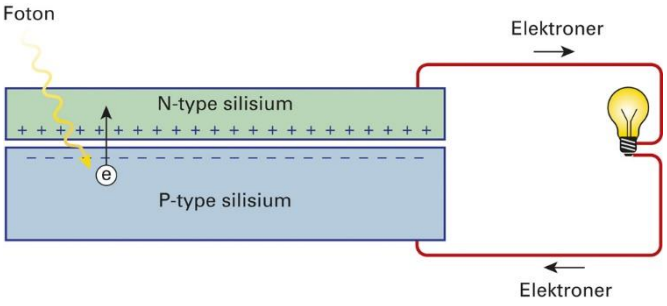
2.3 Solenergi

Jorden mottar hvert år 15 000 ganger mer energi fra sola enn det menneskene i verden bruker. For Norge og den norske befolkningen er dette tallet 1 500. På en horisontal flate har Norge en årlig solinnstråling på mellom 700 og 1 100kWh/m^2 (19). For å utnytte denne solenergien benyttes det i dag hovedsakelig to ulike teknologier. Solceller, som gir utbytte i elektrisk energi, og solfangere som gir termisk energi.

2.3.1 Solceller

Et solcellepanel omgjør energien i sollys til elektrisk energi ved bruk av den fotovoltaiske effekten (20). Silisium er det materialet som er mest benyttet i dagens solcellepaneler (21). Silisium er i utgangspunktet en elektrisk isolator. Det vil si at det kreves mye energi for at elektronene i silisiumet skal kunne bevege seg fritt i materialet. For å benytte silisium i solceller må det først omdannes til en halvleder. For å få til dette forurenser man materialet med andre grunnstoffer. Fosfor og bor blir ofte brukt til denne forurensningsprosessen. Ved bruk av bor dannes en halvleder med underskudd på elektroner. Denne typen stoff betegnes som halvleder av p-typen. Underskuddet på elektroner medfører at halvlederen vil trekke til seg elektroner. Fosforet vil derimot bidra til å danne et overskudd av elektroner, slik at man får dannet en halvleder av n-typen. Denne typen halvledere har lett for å "gi fra seg" overskuddselektronene sine.

Når man setter en n-type og en p-type halvleder sammen vil de frie elektronene bevege seg fra n- til p-siden. Til slutt oppstår det likevekt. Dersom man lyssetter overgangen mellom p- og n-siden med lys med en tilstrekkelig energimengde, i dette tilfellet sollys, vil elektroner kunne slås løs, og de frie elektronene vil bevege seg til n-siden. For å gjenopprette likevekten ønsker elektronene å bevege seg tilbake til p-siden. Dette vil være relativt krevende da det er et elektrisk felt langs overgangen mellom p- og n-siden. Kobler man de to sidene sammen med en ledning som gir elektronene mulighet til å bevege seg over til p-siden, uavhengig av det elektriske feltet, vil elektronene velge denne veien, og man har med det produsert elektrisk strøm (22).



Figur 3: Virkemåten til en solcelle (23)

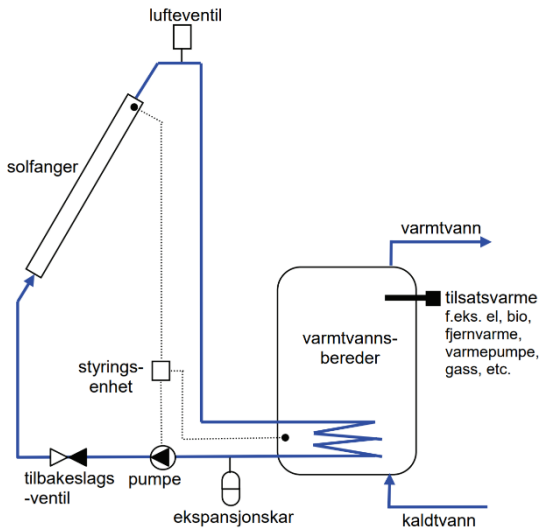
For å kunne benytte den elektriske energien som produseres i solcellene i et vanlig bolighus må man omforme likestrømmen som dannes i solcellepanelene til vekselstrøm, i tillegg til å endre den elektriske spenningen. Dette blir gjort i en inverter. Inverteren kan kobles direkte til sikringsskapet slik at strømmen kan benyttes i boligen (24). Man vil aldri få utnyttet 100% av den elektriske energien som produseres da det i alle solcellesystemer vil forekomme systemtap. Dette innebærer at deler av den produserte energien vil gå tapt på veien fra solcellepanelet til stikkontakten (25).

Det finnes i dag hovedsakelig to grupper solceller. Mono- og polykrystalinske solceller, som benytter seg av silisium, og tynnfilmsolceller. Av disse typene er det de polykrystalinske som har høyest virkningsgrad (26). De fleste solcelleleverandører leverer solceller med en garantiperiode på 25 år. Denne garantien innebærer at solcellene skal produsere minimum 80% av oppgitt effekt etter 25 år i drift. Solcellene vil fortsette å produsere elektrisitet etter denne tidsrammen, men de vil bli mindre effektive med tiden (27).

Det har lenge vært vanlig å installere solcellepaneler utenpå veggpanelet eller taktekkingen. Denne monteringsmetoden betegnes som “building applied photovoltaics” (BAPV). I de senere årene har det kommet flere løsninger hvor man erstatter tradisjonelle byggematerialer med solcellepaneler. Dette omtales som “building integrated photovoltaics” (BIPV).

2.3.2 Solfanger

En solfanger omdanner strålingsenergi fra solen til termisk energi. Solenergien absorberes i et varmebærende medium som sirkulerer gjennom solfangeren. Det benyttes stort sett vann, eller en blanding av vann og glykol som medium. Mediet fraktes fra solfangeren til en akkumulatortank hvor man kan benytte en varmeveksler for å overføre varmen til vannet som befinner seg i akkumulatortanken. Det oppvarmede vannet i akkumulatortanken kan videre brukes til romoppvarming, eller tappevann. For å drive sirkulasjonen av varmemediet benyttes en pumpe med et tilhørende styringssystem. Styringssystemet skal sørge for å styre temperaturen på varmemediet ved å regulere hastigheten på sirkulasjonen i systemet (28).



Figur 4: Solfangeranlegg for indirekte oppvarming av varmtvann (19)

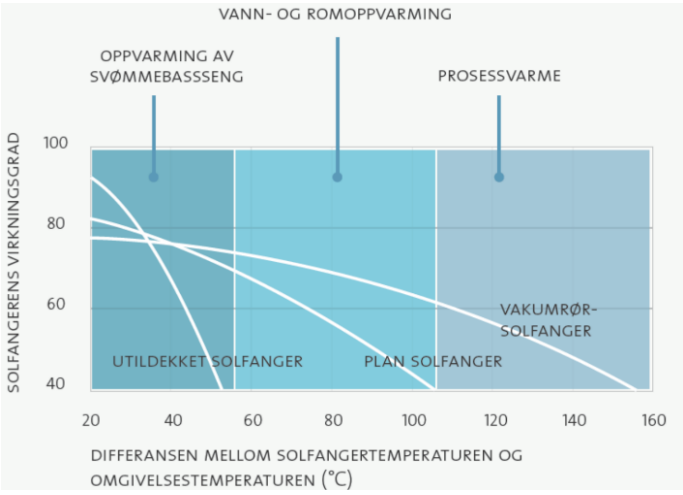
Et solfangeranlegg består av fire hovedkomponenter.

-Solfanger som brukes til å samle solenergi.

-Distribusjonssystem: Rørføring med tilhørende pumpe som fører det oppvarmede mediet fra solfangeren og videre til en akkumulatortank.

-Akkumulatortank som benyttes som varmelager for det oppvarmede vannet.

-Styringssystem som skal optimalisere energiutnyttelsen ved å skru av og på pumper (19).

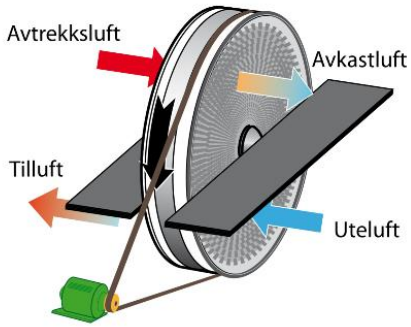


Figur 5: Typisk virkningsgrad for ulike typer solfangere (19)

2.4 Tekniske installasjoner

2.4.1 Balansert ventilasjon

Et balansert ventilasjonsanlegg filtrerer og leverer frisk uteluft til bygninger gjennom kanaler ved hjelp av et viftesystem. Brukt luft trekkes ut av bygningen. Systemet sørger for at det hele tiden vil være en balanse mellom tilluft og avtrekksluft. På veien ut overføres varme fra avtrekksluften til den friske tilluften, ved hjelp av en varmegjenvinner, før den sendes inn i bygget (29). Det finnes flere ulike teknologier for varmegjenvinning av avtrekksluften, der roterende varmegjenvinner er den mest effektive. I roterende varmegjenvinnere benyttes et rotorhjul med små kanaler til å overføre varme fra avtrekk til tilluft. Varm avtrekksluft sendes gjennom den ene halvdelen av rotorhjulet slik at det varmes opp. Den kalde tilluften sendes gjennom den andre halvdelen hvor varme avgis fra rotorhjulet. Slike varmegjenvinnere kan ha virkningsgrader på over 85% (30).



Figur 6: Roterende varmegjenvinner (31)

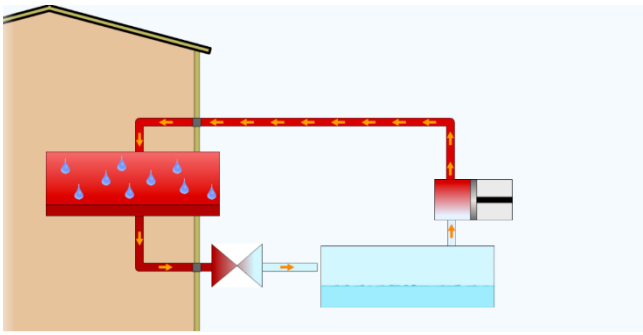
Spesifikk vifteeffekt (SFP) er et begrep som brukes for å angi den elektriske effekten som er nødvendig for å transportere luft gjennom ventilasjonsanlegget. Faktoren sier hvor mange kW som kreves for å forflytte en m^3 med luft per sekund gjennom ventilasjonsanlegget. Faktoren har betegnelse kW/(m^3/s). Ved bruk av energitiltaksmetoden stiller TEK 17 krav til at SFP skal være ≤1,5 kW/(m^3/s) (32).

2.4.2 Varmepumpe

I varmepumper benyttes en teknologi som muliggjør utnyttelse av lavtemperaturkilder til oppvarming av tappevann, romoppvarming og eventuelt kjøling. Varmepumpen er utformet som et lukket kretsløp, hvor det sirkulerer et arbeidsmedium med lavt kokepunkt. Den består av fire hoveddeler. Fordamper, kompressor, kondensator og ventil.

I fordamperen tar arbeidsmediet opp energi fra omgivelsene. Mediet har et lavt kokepunkt, og vil dermed fordampe.

Etter at arbeidsmediet har fordampet blir det ført inn i en kompressor. En mengde elektrisk energi blir her benyttet til å øke trykket på mediet. Det økte trykket vil medføre at temperaturen øker ytterligere.



Figur 7: Kretsløpet i en varmepumpe (33)

Det trykksatte arbeidsmediet blir ført inn i en kondensator. Her kondenserer mediet og det avgis varme til omgivelsene.

Til slutt vil trykket senkes ved hjelp av en ventil og mediet blir dermed avkjølt slik at prosessen kan starte forfra (34).

Det finnes flere ulike typer varmepumper. De tre hovedtypene er luft-luft, luft-vann og væske-vann. Til væske-vann varmepumpen kan man benytte ulike energikilder. Eksempelvis sjøvann, bergvarme og jordvarme. Den mest brukte typen varmepumpe i Norge er luft-luft varmepumpen.

Virkningsgraden til varmepumper ligger mellom 1,5 og 4,5 avhengig av årstid og type varmepumpe. Dette vil si at energimengden man må tilføre varmepumpen er 1,5-4,5 ganger mindre enn det man hadde trengt dersom man skulle benyttet elektrisiteten direkte (35).

2.4.3 Vann- og energibesparende tappearmatur

Med vann- og energibesparende tappearmatur begrenser man varmtvannsforbruket uten at det går på bekostning av brukervennlighet. For kran på kjøkken og bad er det hovedsakelig to tiltak som blir gjort. For å redusere energiforbruket settes en standard komforttemperatur på kranen. Dersom forbrukeren setter temperaturen for høyt vil en fjæringsmekanisme sørge for at kranen beveger seg tilbake til den posisjonen som gir ønsket komforttemperatur. På denne måten reduseres mengden varmtvann som benyttes, og dermed også energiforbruket knyttet til oppvarmingen av tappevannet. Dersom man allikevel skulle ønske å ha varmere vann vil man enkelt kunne justere opp varmen ved å manuelt holde igjen kranen på ønsket temperaturinstilling.

Figur 8: Energibesparende tappearmatur (36)

En tilsvarende fjæringsmekanisme kan også benyttes for å redusere forbruksmengden av tappevann. På samme måte som med komforttemperaturen settes en komfortgrense for vannstrømmen og kranen vil automatisk gå til ønsket posisjon dersom vannstrømmen blir satt over ønsket grense (36).

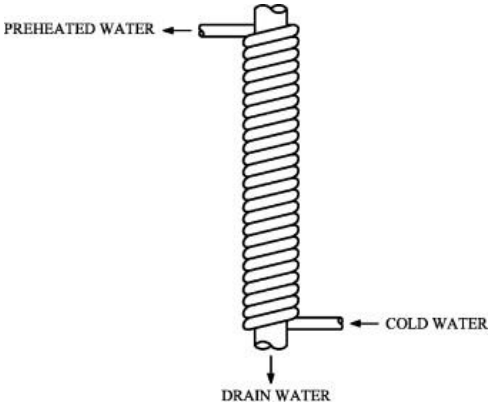
Figur 9: Vannbesparende tappearmatur (36)

For å redusere vannforbruket knyttet til dusj kan en sparedusj benyttes. Teknologien går ut på å snevre inn rørdiameteren på dusjen slik at vannstrømmen blir lavere, samtidig som trykket på vannstrålen holdes høyt (37).

2.4.4 Varmegjenvinning av gråvann

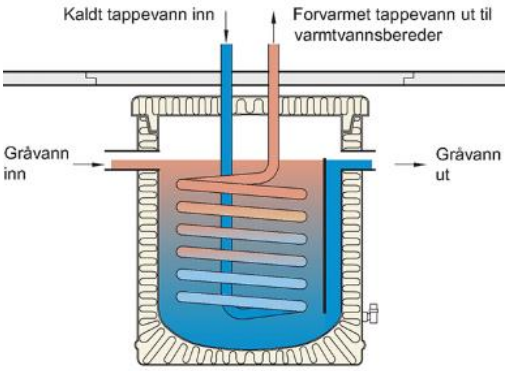
Varmegjenvinning av gråvann er relativt lite utbredt i Norge, men er benyttet i mange boliger både i USA, Nederland og Canada (38). For varmegjenvinning av gråvann finnes det hovedsakelig to prinsipper, direktevirkende gjenvinner og lagertank med rørspiral. Begge teknologiene baserer seg på å bruke varme fra gråvann til å forvarme nytt tappevann. Istedenfor å sende gråvannet ned i sluket, og rett ut til spillvannsnettet, lar man kaldt tappevann passere det varme gråvannet som er på vei ut, slik at varmen kan overføres. Gråvannet kommer aldri i kontakt med det rene vannet, og det er derfor ingen fare for forurensning (39).

I den direktevirkende gjenvinneren skylles gråvannet ned i et rør. Dette røret er ofte laget i kobber. På utsiden av røret ledes det kalde tappevannet i spiral oppover, og varme blir dermed overført fra gråvannet til det rene tappevannet. Det forvarmede vannet kan enten bli sendt til varmtvannstanken for lagring, eller til blandebatteriet i for eksempel dusjen for å brukes direkte. Innenfor de direkte varmegjenvinnerne finnes både vertikale og horisontale løsninger, hvor de vertikale er mest effektive.



Figur 10: Stående direktevirkende rørgjenvinner (40)

I en lagertank med rørspiral fører man det varme gråvannet inn i en isolert tank. Et kobberrør med kaldt tappevann blir ført inn i lagertanken. Røret går i en spiral inne i tanken før det blir ført ut igjen. Dette blir gjort for å få mest mulig varmeoverføring fra gråvannet til det nye tappevannet. Det forvarmede tappevannet sendes videre ut til varmtvannsberederen eller direkte inn til tappearmaturen. Av de to typene varmegjenvinnere er det lagertank med rørspiral som er den mest effektive (38).



Figur 11: Lagertank med rørspiral (41)

2.5 Bygningsfysikk

2.5.1 U-verdier

U-verdi er et mål på hvor lett varme slipper gjennom en bygningsdel. Verdien angir hvor mye varme i watt som slippes gjennom et areal på $1m^2$ når temperaturdifferansen mellom kald og varm side er 1K. En lav U-verdi innebærer dermed et lavt varmetap. En bygningsdels U-verdi beregnet etter NS-EN ISO 6946 kan uttrykkes med følgende formel:

$$U = \frac{1}{R_t} + \Delta U \ [W/(m^2K)]$$

Der:

R_t = total varmemotstand $[m^2K/W]$

ΔU = korreksjonstillegg for blant annet festemidler og luftespalter

Den totale varmemotstanden R_t er en betegnelse på summen av varmemotstanden til alle materialsjiktene i en bygningsdel. I tillegg til materialsjiktenes varmemotstand er også innvendig og utvendig varmeovergangsmotstand tatt hensyn til. For homogene materialsjikt benyttes følgende formel for varmemotstanden til en bygningsdel:

$$R = \frac{d}{\lambda_d} \ [(m^2K)/W]$$

Der:

d = tykkelse på materialsjiktet [m]

λ_d = materialets dimensjonerende varmekonduktivitet [W/(mK)]

Korreksjonstillegget ΔU skal beregnes etter Anneks F i NS-EN ISO 6946 og beregnes etter følgende formel:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

Der:
ΔU_g = "korreksjon for utilsiktede lufteåpninger i isolasjonen" (42)

ΔU_f = korreksjon for festemidler som går igjennom isolasjonssjiktet

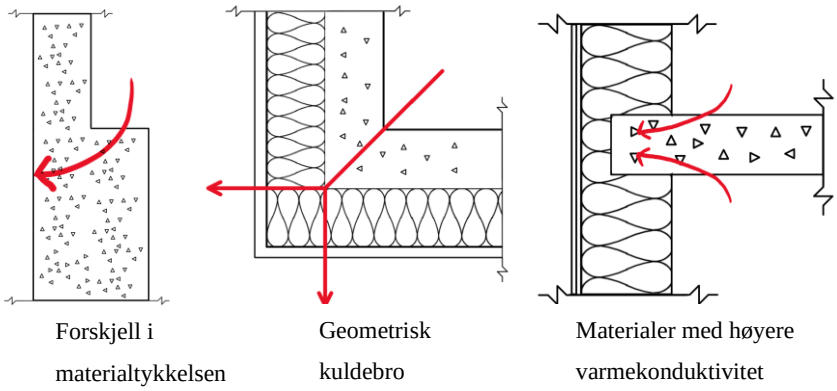
ΔU_r = "korreksjon for nedbør på omvendte tak" (42)

Dersom korreksjonstillegget ΔU tilsvarer mindre enn 3% av bygningsdelens U-verdi kan man se bort i fra korreksjonstillegget ved beregning av U-verdi (42).

2.5.2 Kuldebroer

En kuldebro er en del av klimaskjermen til en bygning hvor varmemotstanden får en vesentlig endring grunnet en eller flere av følgende forhold:

- Klimaskjermen gjennomtrenges helt eller delvis av et materiale med høyere varmekonduktivitet
- Forandring i materialtykkelse
- Arealforskjell mellom innvendig og utvendig overflate



Figur 12: Ulike typer kuldebroer. Illustrert av: Sakya, M.A.

Kuldebroer kan medføre flere uønskede konsekvenser. Først og fremst vil kuldebroer kunne gi et økt varmetap til omgivelsene. Dette kan videre medføre lave overflatetemperaturer på innsiden av bygningen. De lave overflatetemperaturene vil potensielt redusere beboeres termiske komfort, blant annet gjennom kaldras og trekk. Det vil også være fare for kondens på de kjølige overflatene. Kondensen vil kunne føre til fuktskader på konstruksjonen. I tillegg til de lave overflatetemperaturene vil det kunne forekomme store temperaturforskjeller inni materialene. Dette vil medføre at det oppstår spenninger som potensielt kan forårsake sprekkdannelse.

Bestemmelse av en bygnings normaliserte kuldebroverdi kan gjennomføres på ulike måter avhengig av hvor stor usikkerhet en tillater. De mest nøyaktige beregningene gjennomføres ved bruk av dataprogrammer som baseres på standarden NS-EN ISO 10211. Det

er også mulig å gjennomføre manuelle beregninger eller bruke preaksepterte tabellverdier. Disse er dog en god del mer unøyaktige enn de verdiene man får ved bruk av digitale programmer. Det tillattes også å bruke de generelle verdiene fastsatt i NS3031. Disse vil gi en meget grov estimering av tillegsvarmetapet fra kuldebroene (43).

2.5.3 Lekkasjetall

Lekkasjetall er et mål på hvor lufttett en bygning er. Verdien angir hvor stor del av luften i et bygg som skiftes ut per time ved et innvendig over- eller undertrykk på 50Pa. For å bestemme lekkasjetallet til en bygning trykksetter man enten deler eller hele bygget ved hjelp av en vifte. Man registrerer samtidig hvor stor volumstrøm som kreves for å opprettholde den ønskede trykkforskjellen på 50Pa (44). I TEK17 stilles det krav til at lekkasjetallet for småhus skal være $\leq 1{,}5h^{-1}$ ved en trykkforskjell på 50Pa (45).

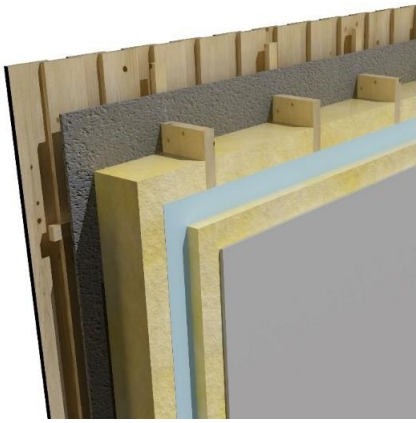
Høye lekkasjetall kan ha flere uheldige konsekvenser. Utettheter i bygningskroppen kan medføre store varmetap ved at varm inneluft siver ut og kald uteluft inn. Dette vil medføre en økning av byggets netto energibehov og kan påvirke termisk komfort. Det vil også være knyttet en del problematikk rundt fukt ved denne luftbevegelsen. Den varme inneluften som beveger seg gjennom sperresjiktene kan kondensere dersom temperaturfallet er høyt nok. Dette vil gi god grobunn for blant annet sopp og muggvekster, som potensielt vil kunne ødelegge konstruksjonen over tid.

Luftkvaliteten på inneluften kan også påvirkes av luftlekkasjer. I balanserte ventilasjonsanlegg filtreres luften som sendes inn i bygget. Ved utettheter vil det bevege seg luft utenom filteret og inn i bygget. Luften vil dermed ikke filtreres, og eventuell forurensning fra uteluften vil kunne bevege seg inn i bygget uhindret (46).

2.6 Byggtekniske løsninger

Det finnes en rekke ulike byggtekniske løsninger for yttervegger. Det har lenge vært vanlig å bygge yttervegger av bindingsverk i heltre. Vegger bygget på denne måten har i dag stort sett følgende oppbygging:

-Utvendig luftet kledning
-Vindsperre
-Isolert bindingsverk med senteravstand 600mm
-Dampsperre
-Installasjonsvegg/påforing
-Innvendig kledning.

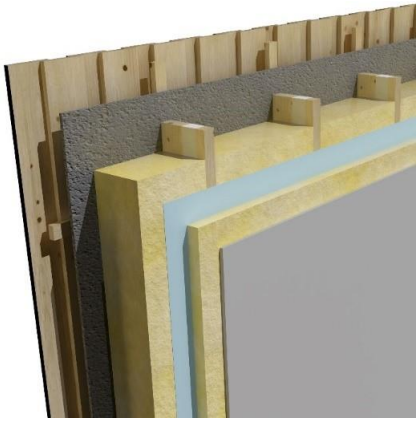


Figur 13: Bindingsverksvegg med heltrestendere
Illustrasjon: Sakya, M.A.

Gjennom tiden har det blitt strengere krav til energibruk, og mer fokus på energieffektivisering av bygninger. Dette har medført at det har blitt utarbeidet flere ulike løsninger basert på de samme grunnprinsippene.

2.6.1 Skumisolerte trestendere

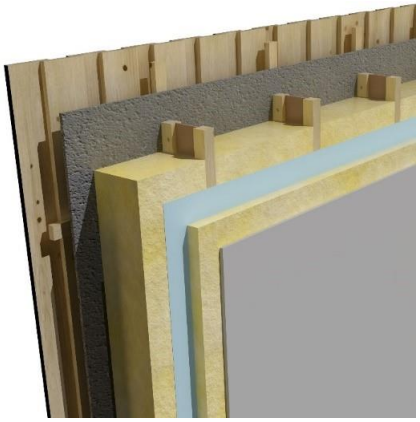
En skumisolert trestender (isostender) er en stender bestående av tre sjikt. To deler av treverk med et mellomliggende lag av polyuretanskum. Skumisolasjonen bidrar til å forbedre ytterveggens varmetekniske egenskaper betraktelig, både ved å redusere effekten av kuldebroene stenderverket medfører, og ved å redusere veggens U-verdi. Ved bruk av skumisolerte trestendere kan man i flere tilfeller oppnå tilsvarende U-verdi som for 5-10cm tykkere vegger med heltrestendere. Stenderene leveres i flere ulike dimensjoner mellom 200-300mm (47).



Figur 14: Bindingsverksvegg med skumisolerte trestender
Illustrasjon: Sakya, M.A.

2.6.2 Stendere med I-profil

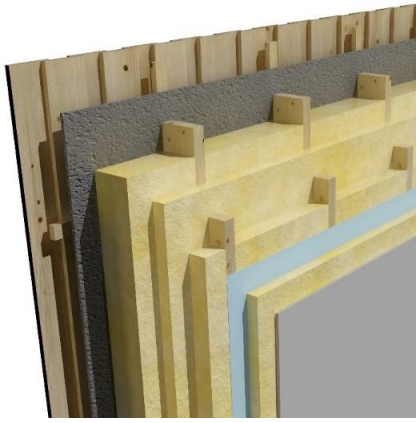
En stender med I-profil skiller seg fra de vanlige heltrestenderne ved at de har et I-formet tverrsnitt. Stenderne er bygget opp av to treflenser sammenkoblet med et steg laget av trefiber eller trespon. Steget har ofte en tykkelse på mellom 6 og 10mm. Det at steget er såpass tynt medfører at treandelen i veggen reduseres betraktelig. Den lave treandelen gir vegger bygget med I-profiler meget gode U-verdier ved lave veggtykkelser, ettersom at man får plass til en større mengde isolasjon i veggen. Det er en fare for at det oppstår et hulrom med luft mellom isolasjonen og steget. En slik luftlomme vil være meget uheldig med tanke på veggens varmetekniske egenskaper, og det leveres derfor spesialtilpasset isolasjon for å unngå dette problemet (48).



Figur 15: Bindingsverksvegg med I-profiler
Illustrasjon: Sakya, M.A.

2.6.3 Todelt bindingsverk

En vegg av todelt bindingsverk skiller seg ut fra de mer tradisjonelle yttervegglösningene med gjennomgående stenderverk. Veggene kan utformes på ulike måter, med både utvendig, innvendig og kombinert bæring. Prinsippet går ut på å redusere effekten av kuldebroer ved å bygge opp veggen av to separate stenderverk med et mellomliggende isolasjonssikt. Teknologien er relativt lite utprøvd i Norge, men er blant annet blitt brukt i 17 boliger i Rudshagen Borettslag på Mortensrud i Oslo (49).



Figur 16: Todelt bindingsverksvegg
Illustrasjon: Sakya, M.A.

2.7 Økonomi

2.7.1 Kalkulasjonsrente

Når det er snakk om økonomiske investeringer, blant annet i energieffektiviserende tiltak, blir valg av kalkulasjonsrente fort et viktig tema. Kalkulasjonsrenten vil uttrykke kravet til investeringens avkastning. Dette valget kan variere stort avhengig av blant annet hvem som er initiativtaker, opphav for investeringsmidler, risiko, tidshorisont og tiltakstype.

Følgende uttrykk kan benyttes for å fastsette en kalkulasjonsrente for privatøkonomiske forhold:

$$r = \frac{1}{1+e} \cdot \left[\frac{r_n(1-s)-i}{1+i} - e\right]$$

Der:

r = kalkulasjonsrente

e = relativ energiprisendring, avvik fra indeksen

r_n = nominell finansieringsrente, lånerente

i = inflasjon

s = skattefaktor

(50)

2.7.2 Nåverdimetoden

For å kunne sammenlikne og vurdere lønnsomheten til investeringer på bakgrunn av tilbakebetalinger som forekommer på ulike tidspunkter benyttes nåverdimetoden. Dette er en grunnleggende økonomisk analyse som dreier seg om å regne alle kapitalverdier om til nivået ved et bestemt tidspunkt. På grunn av inflasjonen, som gjør at pengenes verdi synker, vil inn- og utbetalinger på forskjellige tidspunkt ikke kunne sammenlignes direkte. Omregningen som gjøres for å kunne sammenligne verdiene kalles diskontering, og kan beskrives ved følgende ligning:

$$B_0 = B_N(1+r)^{-N}$$

Der:

B_0 = nåverdien, verdi ved beregningstidspunktet

B_N = fremtidig beløp for inn- eller utbetaling

N = antall år som skiller beløpet fra beregningstidspunktet

r = absolutt verdi av rentefot, som kalkulasjonsrente

Dersom resultatet av nåverdiberegningen blir et positivt tall betyr dette at investeringen er lønnsom basert på det rentekravet som er satt. En negativ nåverdi vil derimot bety at investeringen ikke er økonomisk lønnsom.

Ved like store årlige besparelser kan følgende ligning benyttes:

$$NV = B\frac{1-(1+r)^{-N}}{r} + S(1+r)^{-N} - I$$

NV = nåverdi

B = årlig inntjening eller kostnadsbesparelse

r = kalkulasjonsrente

S = salgsverdi ved utløp av økonomisk levetid

I = investeringssum

(50)

Den årlige inntjeningen må beregnes for den enkelte investeringen. For investeringer i energieffektiviserende tiltak innebærer inntjeningen som regel kostnadsbesparelser ved redusert energiforbruk, og eventuelt inntekter ved salg av produsert energi.
Energikostnadsbesparelse kan finnes ved å multiplisere tiltakets energibesparelse med strømpris.

Tilbakebetalingstiden er tiden det tar før investeringen har betalt seg inn i form av inntjeninger og besparelser av tiltaket. For å ta hensyn til ulik verdi av innbetalingene som skjer frem i tid, benyttes den fastsatte kalkulasjonsrenten også her. Formelen for tilbakebetalingstid bygger på formelen for nåverdi, hvor nåverdien er satt lik null, som i følgende uttrykk:

$$N_0 = \frac{\ln\left[\left(1-\frac{I}{B}\cdot r\right)^{-1}\right]}{\ln(1+r)}$$

Der:

N_0 = tilbakebetalingstid

B = årlig inntjening, [kr/år]

I = investeringskostnad

r = kalkulasjonsrente

(50)

2.7.3 Strømpriser

Strømprisen for husholdninger i Norge kan deles inn i tre utgiftsposter. Kraftpris, nettleie og avgifter. Kraftpris, ofte kalt spotpris, er prisen for elektrisiteten i seg selv. Nettleien er en avgift man betaler til netteier for å være tilkoblet strømnettet. Avgiftene er politisk bestemte, og går blant annet med til å finansiere Klima- og energifondet. Den totale strømprisen for husholdninger er varierende. Denne variasjonen avhenger stort sett av mengden kraft som produseres på det gitte tidspunktet (51). Tabell 1 viser månedlige kraftpriser for Sørøst-Norge, oppgitt av strømbørsen Nord Pool, for perioden 2015 til 2020 (52). Verdier er oppgitt i øre/kWh. For å finne endelig strømpris, må det legges til nettleie og avgifter, som i gjennomsnitt lå på henholdsvis 28,6 øre/kWh og 31 øre/kWh for husholdninger i 2020 (53).

Måned/År	2020	2019	2018	2017	2016	2015	Gjennomsnitt
Januar	30,51	68,24	39,12	35,23	36,42	32,16	40,28
Februar	15,79	56,44	46,30	35,27	22,92	30,77	34,58
Mars	11,26	51,07	53,15	35,13	25,24	26,78	33,77
April	6,66	49,73	46,75	34,34	25,54	26,49	31,59
Mai	9,94	48,24	39,46	32,95	26,28	22,67	29,92
Juni	1,95	36,65	52,86	27,90	28,11	14,84	27,05
Juli	1,88	42,23	62,34	30,80	27,42	9,99	29,11
August	4,86	43,25	61,85	31,22	25,15	12,66	29,83
September	12,75	37,08	55,94	35,18	27,3	15,05	30,55
Oktober	17,94	46,42	49,51	32,43	36,97	24,86	34,69
November	6,24	53,45	57,77	37,62	45,11	28,81	38,17
Desember	26,77	47,70	63,50	38,25	37,23	21,00	39,08

Tabell 1: Månedlige kraftpriser for Oslo, Sørøst-Norge, fra 2015 til 2020, samt gjennomsnitt for de seks årene [øre/kWh] (52).

Det har i de siste årene blitt flere forbrukere som produserer energi på egen bolig for å dekke deler av eget forbruk. Dersom det produseres mer strøm enn forbrukeren selv har behov for, er det flere kraftselskaper som tilbyr strømavtaler hvor de kjøper overskuddsenergien til spotpris (54).

2.7.4 Støtteordninger

Enova SF er et statsforetak som finansieres gjennom Klima- og energifondet. Foretaket skal bidra til å redusere klimagassutslipp (55). Enovatilskuddet er et av tiltakene som skal bidra med dette. Det er en støtteordning som kan benyttes av private husholdninger. Målet med tilskuddet er å få privatpersoner til å gjennomføre energibesparende tiltak i egen bolig. Etter å ha gjennomført et tiltak kan en søknad sendes til Enova for å få utbetalt støtte. Hvor mye støtte en kan få avhenger av hvilket tiltak som gjennomføres, samt tiltakets omfang (56). Grunnet markedsutviklingen for ulike teknologier har Enova besluttet å redusere støtten for en rekke tiltak fra 1. juli 2021 (57).

Energitiltak	Maksimalt støttebeløp etter 01.07.21 [kr]
Varmepumpe væske-vann	10 000
Vannbåren gulvvarme	10 000
Varmegjenvinning av gråvann	2 500
Solfanger	*10 000
El-produksjon	**26 250

Tabell 2: Enovastøtte for ulike energitiltak (58)
**Grunnstøtte på 5000kr + 200kr/m^2 opp til 25m^2 (59)*
***Grunnstøtte på 7500kr + 1250kr/kW opp til 15kW (60)*

2.8 Livsløpsanalyse

Alt forbruk av produkter påvirker klima og miljø i større eller mindre grad. Hvor store disse påvirkningene er for et bestemt produkt vil avhenge av mange faktorer, og kan være vanskelig å skaffe seg et begrep av. For å møte klimautfordringene vi står ovenfor på best mulig måte, vil det være viktig å skaffe seg større innsikt i ulike produkters klima- og miljøpåvirkninger. Ved valg av produkter og materialer i et prosjekt er det en stor fordel å kunne kartlegge de konkrete påvirkningene disse medfører. Dette kan gjøres ved å gjennomføre en livsløpsanalyse, som undersøker påvirkningene fra alle prosessene som et produkt går gjennom. Dette inkluderer alt fra utvinning av råvarer, prosessering og produksjon, til transport, bruk og deponering eller gjenbruk ved endt levetid.

2.8.1 LCA

En life cycle assassment (LCA) er en helhetlig metode for å vurdere miljøpåvirkningene knyttet til et produkt gjennom livsløpet. Det som skiller en LCA fra et enkelt klimaregnskap er at en LCA tar for seg miljøpåvirkninger innen mange forskjellige påvirkningskategorier, slik som forsuring og fjerning av ozonlag. Utslipp innen forskjellige påvirkningskategorier har ulik effekt, og en LCA gjør derfor en samlet vurdering av disse. På denne måten unngår en å flytte utslipp fra en påvirkningskategori til en annen. Ved å inkludere hele livsløpet unngår en også å flytte utslippene mellom forskjellige faser som produktet går gjennom.

Livsløpsanalyser vil bli et stadig viktigere tema fremover, og bør være et aspekt som vurderes på lik linje med kostnader, tekniske ytelser, og andre faktorer i en beslutningsprosess. En LCA er et godt verktøy for å utføre en livsløpsanalyse, og kan brukes av alle som ønsker å sammenligne produkters miljøprestasjoner. Eksempler på brukere kan være alt fra produsenter som vil bedre egen miljøprofil, og innkjøpere som vil benytte de minst miljøbelastende produktene, til politikere og andre interessenter som vil undersøke konsekvensene av ulike valg og forbruksmønstre.

Fremgangsmåten for gjennomføringen av en LCA kan deles inn i fire trinn, slik den beskrives i Norsk Standard for livsløpsvurdering (NS-EN ISO 14040:2006) (61). Det første trinnet er «hensikt og omfang». Her settes forutsetninger og begrensninger for analysen, som hvor store mengder data en vil bruke, og hvor grundig analysen skal gjøres. Det må også vurderes om det skal brukes produktspesifikke data, eller om det er tilstrekkelig med statistiske gjennomsnittsdata. Disse forutsetningene vil blant annet ha innvirkning på hvordan resultatene kan brukes videre, avhengig av nøyaktigheten. Som poengtert i en forelesning av Bar E. M. S., ph.d. (62) er det viktig å være oppmerksom på at en LCA kun vurderer utvalgte miljøbelastninger, mens økonomiske og sosiale aspekter utelates.

Trinn nummer to i en LCA er selve livsløpsregnskapet. Her skal alle elementer som inngår i produktets livsløp oppgis i en funksjonell enhet. Denne skal bestemme elementets ytelse i sammenheng med krav hos den aktuelle bruker. For å kvantifisere elementet bør enheten passe best mulig med funksjonen til elementet. For eksempel kan kledning for et bygg oppgis i kvadratmeter og tykkelse, levert til byggeplassen i Norge. Her beskrives materialets funksjon, mengde og leveringssted. Når beskrivelsen er så objektiv som dette, har en mulighet til å sammenligne ulike alternativer for samme funksjon. Det totale systemet som livsløpsregnskapet utføres for deles opp i forskjellige prosesser som modelleres hver for seg, før resultatene for hele systemet samles.

Neste trinn er effektvurdering. Det er i dette trinnet en finner miljøpåvirkningene av alt som går inn og ut av systemet gjennom livsløpet. En må her ha data om påvirkningene som alle inn- og utgangsparametere påfører miljøet. Inngangsdata er energi, råvarer og vann, mens utgangsdata er avfall og utslipp til luft, land og vann. En får dermed et måltall på massestrømmen knyttet til miljøpåvirkningene av produktet.

Ofte brukes CO_2-ekvivalenter som et felles måltall på klimapåvirkningene av utslipp fra flere forskjellige stoffer. Dette måltallet finnes ved at hvert av utslippene multipliseres med faktorer for hvor stort bidrag de gir til global oppvarming i forhold til CO_2. Noen ganger ønsker en å vurdere andre miljøpåvirkninger i tillegg, som for eksempel biodiversitet. For å få et felles måltall som vurderer flere påvirkningsaspekter må de forskjellige klassifiseringene vektes i forhold til hverandre. En må da ta stilling til hvilke effekter som betyr mest.

Det siste trinnet er tolkning, hvor resultatene skal evalueres. Her skal det først kontrolleres at analysen inkluderer de dataene som trengs, at grensene som er satt i systemet er naturlige og at effektene av inndataen stemmer. Videre må det avgjøres hvordan en kan tolke resultatene av livsløpsanalysen og om den gir svar på det en i utgangspunktet ville finne ut (63).

2.8.2 EPD

Enviromental Product Declaration (EPD), er et dokument som gir informasjon om et produkts miljøpåvirkning gjennom livsløpet. Det finnes konkrete krav til hvordan en EPD skal utformes, som er fastsatt i standardene NS-EN 15804 (produktkategoriregler for byggevarer), NS-EN 15942 (format for miljødeklarasjoner), NS-EN ISO 14025 (miljødeklarasjoner, generell) og ISO 21930 (miljødeklarasjoner for byggevarer) (64). Dokumentet gjør det mulig å sammenlikne ulike produkters miljøpåvirkning uavhengig av hvor i verden de kommer fra.

EPD-er kan i utgangspunktet skilles i to kategorier, avhengig av dataens opphav og nøyaktighet. Den ene kategorien er for EPD-er med spesifikke produktdata, mens den andre er for verdier som baserer seg på gjennomsnittsverdier. En Gjennomsnitts-EPD baserer seg ofte på generiske verdier for flere liknende produkter. Et krav for slike EPD-er er likevel at variasjonen i miljøprestasjoner ikke skal være større enn ±10% (65). EPD-er for spesifikke produkter finnes det generelt få av, da det er opp til produsenten av hvert enkelt produkt å sørge for å ha oppdaterte rapporter som presenterer livsløpspåvirkningene. Disse rapportene er imidlertid ikke obligatoriske, kun en tilleggstjeneste som produsentene kan velge å tilby for å tilfredsstille kunder som er opptatt av miljøpåvirkningene av produktene de kjøper.

Et prinsipp ved livsløpsanalyser er at en skal benytte de best beskrivende verdiene en har tilgjengelig til enhver tid. Dersom en vet nøyaktig hvilke produkter som skal brukes og har tilgang til EPD-er for disse, velges også disse i livsløpsanalysen. Dersom produsent eller type av et produkt ikke er avklart, er det godt nok med generiske verdier som passer for produktet. Det samme gjelder dersom spesifikke produktdata ikke er tilgjengelig.

Noe som snevrer EPD-utvalget i flere databaser er at disse rapportene kun er gyldig i fem år fra de blir godkjent. Utgåtte EPD-er kan fortsatt brukes, men en bør da være obs på at de ikke lenger har den samme kvaliteten, da de kan være utdaterte og unøyaktige. Gyldighetstiden for rapportene skyldes stadige endringer i industrier og markeder som påvirker både råvareutvinning, transport, produksjon, gjenbruk og andre faktorer som vurderes. Når en EPD utløper presses produsenter til å utarbeide nye rapporter som oppdaterer om hvordan livsløpsperspektivet eventuelt har utviklet seg, noe som kan være en motivasjon til å forbedre sine miljøpåvirkninger.

2.9 Termisk inneklima og dagslys

Alle mennesker har personlige preferanser når det kommer til foretrukken lufttemperatur. For å beskrive den sinntilstanden der en person er tilfreds med det termiske inneklimaet benyttes begrepet termisk komfort. Termisk komfort er subjektivt og varierer avhengig av blant annet bekledning og aktivitetsnivå (66).

Dagslys er meget viktig for oss mennesker, og er blant annet med på å styre døgnrytmen vår. Ved for lite eksponering for dagslys produserer kroppen søvnhormoner som kan gi dårlig søvn om natten og følelsen av trøtthet på dagtid (67).

TEK 17 stiller krav til både termisk inneklima og dagslys. For det termiske inneklimaet lyder kravet slik: "Termisk inneklima i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensynet til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk” (68). Anbefalingene i forskriften sier at lufttemperaturen burde holdes under 22°C, men at man kan akseptere temperaturer på over 26°C i opptil 50 timer i løpet av et år (68).

For lys er kravet formulert på følgende måte: “Byggverk skal ha tilfredsstillende tilgang på lys” (69). Her fremlegger forskriften to preaksepterte ytelser. Gjennomsnittlig dagsfaktor $\geq$ 2%, og at glassareal plassert minimum 0,8m over rommets gulv skal være større enn 0,07 ganger rommets bruksareal dividert på glassets lystransmisjon (69).

3 Metode

I dette kapittelet beskrives litteratursøket som er gjort for innhenting av nødvendig teori om temaet. Videre presenteres den overordnede fremgangsmåten som benyttes for å løse oppgaven, og noen generelle avgrensninger. Deretter beskrives bakgrunn
for valg av oppvarmingssystem. De neste delkapitlene forklarer metoden som er brukt ved hver enkelt analyse, sammenligning og vurdering.

3.1 Litteratursøk

I litteratursøket er stort sett universitetsbibliotekets søketjeneste Oria, SINTEF Byggforsk og ordinære nettsøk benyttet for å framskaffe relevant informasjon. Oria gir tilgang til både Norske fagbibliotek og Universitetsbiblioteket. TEK 17 og standarder fra Standard Norge er benyttet for å sørge for at omprosjekteringen følger norske lover og standarder.

Digitale møter og e-post korrespondanse med Norgeshus og deres samarbeidspartnere har blitt brukt for å innhente informasjon knyttet spesifikt til det aktuelle bygget.

Det er forsøkt å benytte objektive kilder gjennom informasjonsinnhentingen. Der kommersielle aktører er benyttet som kilde er informasjonen blitt vurdert opp mot andre uavhengige kilder for å validere eventuelle påstander.

3.2 Fremgangsmåte

Med utgangspunkt i avgrensningene som settes, gjennomføres det først en analyse av hvor mye energi som kan produseres med de aktuelle solcellepanelene, ved bruk av programvaren PVGIS.

Videre gjennomføres det simuleringer i SIMIEN for å undersøke husets energibudsjett. Første simulering gjennomføres av originalversjonen av Dråpen slik Norgeshus har prosjektert bygget. Ved videre simuleringer innføres ulike energibesparende tiltak, hvor effekten hvert tiltak har på energibudsjettet undersøkes. For å unngå overdimensjonerte veggtykkelser, som tar opp mye ekstra areal i huset, velges det etter Norgeshus sitt ønske å først undersøke tiltak som ikke innebærer for store endringer i byggteknikk. Dette er bakgrunnen for fokuset på tekniske installasjoner i de innledende simuleringene. Resultatene som fremkommer fra det første settet med simuleringer benyttes til å ta en beslutning rundt hvilke tiltak som skal videreføres i et nytt sett med simuleringer.

For å redusere energibehovet ytterligere, vil det gjøres vurderinger av forskjellige byggtekniske løsninger for energieffektive ytterveggskonstruksjoner. I det andre settet med simuleringer undersøkes derfor energibudsjettet for scenarioer
med ulike byggtekniske løsninger og isolasjonsmengder. Det vil også gjøres grove overslag av de forskjellige løsningenes kostnader og klimagassutslipp, ved bruk av regneark og programvaren One Click LCA.

Med bakgrunn i resultatene som fremkommer av undersøkelsene vil det gjøres en helhetlig vurdering av ytelser, klimapåvirkninger og kostnader for scenarioene. Basert på vurderingen legges det fram et forslag for en ny og oppgradert versjon av Dråpen.

3.3 Avgrensninger

For å undersøke potensialet for nullenergibygg i Norge er det valgt å gjøre simuleringer for fem ulike byer som gir et representativt bilde av landet. Byene som undersøkes er Bergen, Kristiansand, Oslo, Tromsø og Trondheim. For å begrense omfanget av simuleringene i SIMIEN vil alle simuleringene for de ulike tiltakene og scenarioene gjennomføres med klimadata fra Oslo som grunnlag. Etter å ha bestemt tekniske løsninger og byggteknikk, gjennomføres simuleringer av huset med foreslått omprosjektering, med klimadata fra de utvalgte byene. I alle simuleringene forutsettes det skyggefrie forhold, og det tas ikke høyde for horisont, omkringliggende bygninger og vegetasjon. Husets orientering er fastsatt med møneretning nord/syd. De økonomiske analysene og LCA-en begrenses til å kun undersøke tiltakene i Oslo-klima.

De ulike endringene som foreslås skal ikke gå på bekostning av byggets funksjoner og arkitektur. Det vil derfor ikke gjøres noen endringer i utformingen og plasseringen av byggets vinduer og dører. Denne forutsetningen avgrenser muligheten for å installere solcellepaneler til kun å gjelde husets takflater. Ved bruk av BIPV vil det i denne oppgaven være aktuelt å erstatte taksteinen med integrerte paneler. Grunnet stor variasjon og usikkerhet rundt priser for takstein er kostnadsbesparelsene dette medfører ikke medberegnet i kostnadsanalysene for de integrerte systemene.

Løsningene som undersøkes er valgt på bakgrunn av samtaler med intern og ekstern veileder, samt kunnskap opparbeidet gjennom byggingeniørstudiet. I og med at det ikke gjennomføres beregninger og undersøkelser innenfor temaene statikk, akustikk, brann og fukt kan det ikke garanteres at alle løsningene som legges fram vil være gjennomførbare.

Dråpen har U-verdier i tak og gulvkonstruksjonen på henholdsvis 0,08 og 0,10 [W/(m^{2}K)]. Grunnet disse meget gode varmetekniske egenskapene anses det som lite hensiktsmessig å øke isolasjonsmengdene på disse områdene. Det vil derfor ikke gjennomføres analyser med forandrede U-verdier i disse bygningsdelene. Tilsvarende gjelder for vinduene som har en gjennomsnittlig U-verdi på 0,72 W/(m^{2}K). Det vil heller ikke gjennomføres beregninger av byggets kuldebroverdier.

3.3.1 Scenarioer

Oppgaven avgrenses til å undersøke følgende 27 scenarioer for ulike veggoppbygginger.
I alle scenarioene benyttes stendere med bredde 48mm.

Scenario	Konstruksjon	Dimensjoner	Iso-klasse
A	Heltre	148+48	34
B.1.1	Heltre	198+48	34
B.1.2	Heltre	198+48	32
C.1	Heltre	248+48	34
C.2.1	Isostender	200+48	34
C.2.2	I-Stender	200+48	34
D.1	Heltre	248+48	32
D.2.1	Isostender	200+48	32
D.2.2	Isostender	220+48	34
D.2.3	Delt bindingsverk	98+50+98+48	34
D.2.4	I-Stender	200+48	32
E.1	Heltre	148+148+48	34
E.2.1	Delt bindingsverk	98+50+98+48	32
E.2.2	Isostender	220+48	32
E.2.3	Isostender	250+48	34
E.2.4	I-Stender	250+48	34
E.2.5	Delt bindingsverk	148+50+73+48	34
F.1	Heltre	148+148+48	32
F.2.1	Isostender	250+48	32
F.2.2	I-stender	250+48	32
F.2.3	Delt bindingsverk	148+50+73+48	32
G.1.1	Delt bindingsverk	98+100+98+48	34
G.1.2	Isostender	300+48	34
G.1.3	Delt bindingsverk	98+100+98+48	32
G.1.4	I-stender	300+48	34
H.1.1	Isostender	300+48	32
H.1.2	I-stender	300+48	32

Tabell 3: Oversikt over alle scenarioene som undersøkes, nummerert etter U-verdi, normalisert kuldebroverdi og konstruksjonstype

3.4 Valg av oppvarmingssystem

Den originale versjonen av Dråpen er prosjektert med biobrensel i form av vedfyring som oppvarmingssystem. Dette er en lite energieffektiv måte å varme opp huset på. Selv med de beste vedovnene vil man kun oppnå en virkningsgrad på rundt 80% (70). Med tanke på at huset skal omprosjekteres til å bli et nullenergibygg er det nødvendig å installere et mer energieffektivt oppvarmingssystem.

I tillegg til den lave virkningsgraden vil det å fyre med ved være upraktisk for beboerne. Det blir vanskelig å holde en jevn innetemperatur, og man vil antagelig få problemer med at huset blir for kaldt om natten, og når man kommer hjem fra jobb. For å bedre bokomforten er det nødvendig å endre oppvarmingssystem til et system som krever mindre tilsyn, og ikke har behov for kontinuerlig manuell påfylling.

For å oppnå både høy virkningsgrad og god bokomfort knyttet til oppvarmingssystemet er det sett på to alternative løsninger. Solfanger og varmepumpe.

3.4.1 Solfanger

Et solfangeranlegg vil gi et meget stort energiutbytte. Et anlegg på 25m^2 med 60° helningsvinkel rettet mot syd, vil i Oslo kunne gi et utbytte på hele 7800kWh/år (71). Dråpen har til sammenlikning et forventet energibehov for romoppvarming på 6300kWh/år. I tillegg til det gode energiutbyttet er solfangeranleggene meget brukervennlige. Systemene driftes tilnærmet vedlikeholdsfritt, styres automatisk og krever lite tilsyn. Det er dog en del ulemper knyttet til slike systemer.

De største ulempene med solfangere er at de kun gir utbytte i termisk energi, og at de er avhengig av solstrålingen på området. Dette gjør at det vil produseres mye energi på sommerhalvåret og lite om vinteren. Per i dag finnes det ingen god løsning for å lagre termisk energi over lengre perioder. Dersom det høstes mer termisk energi enn man kan lagre, går i utgangspunktet overskuddet tapt. Det er vanlig å benytte en lagertank med vann for å ta vare på overskuddsenergien, men en slik løsning vil naturligvis være begrenset av tilgjengelig areal og volum.

For å unngå problematikken med overproduksjon vil en løsning være å dimensjonere solfangeranlegget etter produksjonsmengden i sommermånedene. Ved å dimensjonere anlegget slik at man kun produserer den energien man forbruker i denne perioden vil man unngå å høste energi man ikke har bruk for. Problemet med denne løsningen er at anlegget resten av året vil være kraftig underdimensjonert. En slik løsning vil være veldig kostbar sammenliknet med

utbytte man vil få ut av anlegget, selv med Enovastøtten man får tilbakebetalt. Man vil uansett være nødt til å ha en alternativ energikilde som kan benyttes om vinteren, noe som vil øke kostnadene ytterligere.

En løsning på problemet kan være å kombinere solfangeranlegget med en geotermisk varmepumpe. Man kan da sende overskuddsvarmen ned i borehullet, slik at omgivelsestemperaturen til varmepumpen blir høyere, og virkningsgraden øker. Et problem med denne løsningen vil være at overproduksjon stort sett forekommer på sommerhalvåret når behovet for bruk av varmepumpen vil være relativt lavt. Et annet alternativ kan være å levere overskuddsvarmen til fjernvarmenettet. Denne løsningen vil dog ikke være aktuell i denne oppgaven da det ikke er tenkt å knytte huset til et fjernvarmesystem (28).

Grunnet det høye energiutbytett vil det være meget fordelaktig å benytte en løsning med solfangere. Ulempene knyttet til slike anlegg medfører likevel at det ikke vil benyttes solfangere i denne oppgaven. Med tanke på målet om å omprosjektere Dråpen til å bli et nullenergibygg vil det være essensielt å kunne utnytte all energien som produseres slik at ingenting går til spille. Dette vil man ikke få til med et solfangeranlegg. På bakgrunn av dette er det vurdert dit hen at det vil være mer hensiktsmessig å bruke hele takarealet til å installere solceller.

3.4.2 Varmepumpe

For å redusere byggets netto energibehov vil en overgang fra vedovn til varmepumpe være en meget god løsning. Dette grunnet forbedret utnyttelse av energien, der varmepumper kan ha varmefaktorer på opp mot 4,5 (35). Det finnes hovedsakelig tre ulike typer varmepumper, alle med sine fordeler og ulemper. De tre typene er Luft-Luft, Luft-Vann og Væske-Vann.

Varmepumpene som benytter luft som energikilde er oftest rimeligere enn de som benytter væske, men det følger med en del ulemper. Det kreves mye vedlikehold da varmepumpen har et filter som må renses jevnlig. Dette slipper man ved bruk av varmepumper med væske som varmekilde (72). Levetiden på systemene som benytter luft er i tillegg langt dårligere enn for de som baserer seg på væske (73). Systemvirkningsgraden til varmepumpene avhenger av temperaturen til varmekilden, hvor lave temperaturer medfører lav virkningsgrad. Med et system som bruker uteluft som varmekilde vil virkningsgraden være ned mot 1 til 1,5 på kalde vinterdager (35). Med et system som baserer seg på væske-vann, kan man derimot få en virkningsgrad på 3 til 4 gjennom hele året, da temperaturen i grunnen er stabilt høyere (74).

Når det kommer til distribusjon av varmen er det vanlig å bruke radiatorer, vannbåren gulvvarme eller direkte oppvarming av luft. For å få en jevn innetemperatur og god bokomfort vil det være en god løsning å distribuere varmen ved bruk av et vannbårent gulvvarmeanlegg. Et slikt oppvarmingssystem vil være meget praktisk for beboerne da romtemperaturen kan styres automatisk av systemet selv ved bruk av termostater. Ved bruk av vannbåren varme vil samtidig kravet om å installere skorstein i huset, i henhold til TEK17 utgå (75). Dette vil gi økonomiske besparelser.

På bakgrunn av alle de positive sidene, faller valget på en væske-vann varmepumpe for omprosjekteringen. Valg av oppvarmingssystem ble diskutert med Jan Håvard Bratlie i Varmetema, som er en av Norgeshus sine leverandører innen varmepumpesystemer. Etter forslag fra Jan Håvard Bratlie, ing. (mars 2021) i et digitalt møte, ble det valgt å benytte en geotermisk varmepumpe med effekt på 2,7kW, hvor varmen distribueres med et lavtemperatur, vannbårent gulvvarmeanlegg. Varmepumpen vil fungere som grunnlast med 70% dekningsgrad, og det resterende oppvarmingsbehovet dekkes av elektrisitet. Dette er gjort for å øke varmepumpens levetid, da for høye dekningsgrader medfører mer start og stopp av systemet. Dette kan føre til slitasje på systemet som videre medfører kortere levetid (76).

Det å installere et oppvarmingssystem basert på varmepumpe med vannbåren gulvvarme vil medføre relativt store inngrep, og høye kostnader sammenliknet med den opprinnelige oppvarmingskilden med vedfyring. Dette anses likevel for å være et hensiktsmessig tiltak da man kan oppnå meget høye virkningsgrader og dermed et lavere energiforbruk.

3.5 Undersøkelse av energiproduksjon

For å oppnå et energiforbruk på netto null, vil det være nødvendig å produsere energi på bygget. Det skal derfor installeres solceller på husets takflater. Når det installeres solcellepaneler på bygg er det viktig at det ikke går ut over det estetiske aspektet ved bygget. En god løsning vil være å benytte BIPV. Denne typen paneler kan i mange tilfeller gi et arkitektonisk uttrykk tilsvarende bygg med ordinære byggematerialer. I tillegg vil panelene erstatte annet byggemateriale som medfører at man ungår dobbelt materialforbruk ved å ha både utvendig klimaskjerm og paneler. Ulempen med BIPV er at kostnadene kan bli relativt høye sammenliknet med et tilsvarende systemer med BAPV. Selv om man har besparelser ved å kunne kutte ut byggematerialer vil disse sjeldent være store nok for å dekke prisforskjellen mellom de to systemene (77).

Det er utarbeidet teknologier som omgår dette problemet til en viss grad. Ved bruk av spesielle innfestingssystemer kan man benytte standard solcellepaneler som integrerte paneler (78). Ved å benytte rimeligere paneler med et slikt innfestingssystem, kan man oppnå tilsvarende effekt som ved bruk BAPV til omtrent samme pris. Ulempen med de rimelige panelene er at de ofte er av lavere kvalitet. Her er man nødt til å gjøre en avveining mellom kostnad, kvalitet og utseende.

Det finnes et hav av solcelleprodusenter, og paneler leveres med utallige utforminger og virkningsgrader. Også priser vil varier fra system til system. I denne oppgaven er kun et lite utvalg paneler undersøkt. To systemer med paneler produsert i Kina med et tilhørende innfestingssystem for å integrere panelene i bygningskroppen, og to systemer med norskproduserte BAPV. Panelene som undersøkes har effekter på henholdsvis 330W og 370W. Paneltypene er valgt basert på forslag fra Norgeshus sin samarbeidspartner innen solenergi, Greenstat, og skal danne et bilde av potensialet innen energiproduksjon med solcellepaneler i Norge.

Samtlige paneler som undersøkes har mål på omtrent 1650 x 1000mm. For å produsere mest mulig energi vil det installeres så mange paneler som mulig på husets takflater. Ved å feste panelene horisontalt vil man få plass til tre rader med syv paneler på hver takflate, tilsvarende totalt 42 paneler. Med et slikt oppsett vil det være 700mm nedenfor panelene som kan benyttes til oppsamling av snø ved bruk av snøfangere. Man kunne her valgt å installere panelene vertikalt, og dermed fått plass til 48 paneler. Denne løsningen velges derimot bort da den medfører minimalt med plass til oppsamling av snø på taket, noe som anses som en nødvendighet.

Antall paneler som benyttes avgjør solcellesystemets effektkapasitet (kWp). For å bestemme systemenes kWp multipliseres effekten av hvert panel med antall paneler. I tabell 4 vises en oversikt over de undersøkte paneleffektene, og kWp man oppnår med det gitte antallet.

Effekt per panel [kW]	Antall paneler	kWp
0,33	42	13,9
0,37	42	15,5

Tabell 4: Maksimal installert effekt for undersøkte paneler

For å undersøke potensialet for energiproduksjon ved bruk av solcellene benyttes programmet PVGIS PV Performance tool. Det hukes av slik at programmet ser bort fra lokale terrengdata, og kun ser på solinnstrålingseffekten på den utvalgte lokasjonen. Databasen som benyttes velges på bakgrunn av anbefalinger gitt i brukermanualen til PVGIS (25). PV technology settes

til crystaline silicone da alle panelene som undersøkes er av typen monokrystalinske paneler. De beregnede verdiene for kWp for hver paneltype settes inn i verktøyet. Etter e-postkorrespondanse med Charly Berthod, ph.d. (charlyberthod@greenstat.no) i april 2021, settes systemtapet for samtlige paneler til 14%, da dette er en passende verdi å bruke dersom det ikke gjennomføres mer omfattende beregninger. Helningen på panelene settes til 27° da de skal plasseres på taket, parallelt med takhelningen. Husets møneretning er nord/syd, og asimut settes derfor til 90°.

Produksjonspotensialet undersøkes for både 330W og 370W-panelene for de fem utvalgte lokasjonene Bergen, Kristiansand, Oslo, Tromsø og Trondheim.

3.6 Energisimuleringer

For å undersøke byggets energibehov benyttes programvaren SIMIEN. All inndata legges inn manuelt på bakgrunn av tilgjengelige informasjon om bygget. Der det ikke er funnet konkrete data benyttes standardverdiene som allerede ligger inne i programmet. For å påse at simuleringene gjennomføres på en korrekt måte benyttes Programbyggerne AS sin egen brukerveiledning "SIMIEN wiki" (79).

Alt av inngangsparametere og teknisk data benyttet i simuleringene er basert på tilgjengelig informasjon utlevert av Norgeshus. U-verdier for tak, gulv og vegger beregnes etter NS-EN ISO 6946 ved bruk av metoden beskrevet i kapittel 2.5.1 (80).

Første simulering gjennomføres av bygget slik det er prosjektert i utgangspunktet. Dette blir gjort for å ha et sammenlikningsgrunnlag når effekten av de ulike tiltakene skal vurderes. Det gjennomføres deretter egne simuleringer for hvert enkelt tiltak som undersøkes. På denne måten får man fram effekten av hvert tiltak alene, og kan sammenlikne resultatet med resultatene fra den første simuleringen. I alt 5 tiltak undersøkes.

På bakgrunn av resultatene som framkommer fra simuleringene av de ulike tiltakene, besluttes hvilke tiltak som videreføres til neste sett med simuleringer. I dette simuleringssettet undersøkes ulike konstruksjonsprinsipper og veggtykkelser, og deres effekt på byggets totale energibehov.

En fullstendig oversikt over inndata som benyttes i samtlige simulering kan sees i vedlegg 5.

3.6.1 Utgangspunkt

Den første simuleringen som gjennomføres blir gjort av bygget slik det er prosjektert i utgangspunktet. Tabell 5 viser en oversikt over sentral inndata som benyttes ved denne simuleringen.

Beskrivelse	Enhet	Verdi
Areal yttervegger	m^2	193
Areal tak	m^2	115
Areal gulv	m^2	75
Areal vinduer og ytterdører	m^2	50
Oppvarmet bruksareal (BRA)	m^2	140
Oppvarmet luftvolum	m^3	336
U-verdi yttervegger	W/m^2K	0,20
U-verdi tak	W/m^2K	0,09
U-verdi gulv	W/m^2K	0,09
U-verdi vinduer og ytterdører	W/m^2K	0,72
Areal vinduer og dører delt på bruksareal	%	35,5
Normalisert kuldebroverdi	W/m^2K	0,05
Normalisert varmekapasitet	Wh/m^2K	40
Lekkasjetall (n50)	h^{-1}	1,00
Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner	%	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP)	$kW/m^3/s$	1,5
Luftmengde i driftstiden	m^3/hm^2	1,2
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg		0,75
Installert effekt romoppv. og varmebatt.	W/m^2	73
Settpunkttemperatur for romoppvarming	ºC	20,3
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri	kW/(l/s)	0,50
Driftstid oppvarming	timer	16,0
Driftstid ventilasjon	timer	24,0
Driftstid belysning	timer	16,0
Driftstid utstyr	timer	16,0
Oppholdstid personer	timer	24,0
Effektbehov belysning i driftstiden	W/m^2	1,95
Varmetilskudd belysning i driftstiden	W/m^2	1,95
Effektbehov utstyr i driftstiden	W/m^2	3,00
Varmetilskudd utstyr i driftstiden	W/m^2	1,80
Effektbehov varmtvann på driftsdager	W/m^2	3,40
Varmetilskudd personer i oppholdstiden	W/m^2	3,00
Total solfaktor for vindu og solskjerming		0,38
Solskjermingsfaktor utspring (N/S/Ø/V)		1,00/0,94/1,00/0,97

Tabell 5: Sentral inndata for energisimuleringen av utgangspunktet

3.6.2 Tiltak 1: Forbedrede ventilasjonsverdier

Med dette tiltaket gjøres det justeringer på ventilasjonsanlegget i bygget. Dråpen har i utgangspunktet et ventilasjonssystem med SFP på 1,5kW/m^3/s og virkningsgrad på varmegjenvinner av ventilasjonsluft på 80%. Ifølge en e-post fra Marius Gimle Labråten, faglig leder prosjektering (marius.labraten@flexit.no) en av Norgeshus sine ventilasjonsleverandører, vil det ved god prosjektering være mulig å oppnå SFP på 1,2 kW/m^3/s, og virkningsgrad på varmegjenvinneren på 85%. På bakgrunn av denne informasjonen justeres ventilasjonsverdiene heretter for tiltak 1.

3.6.3 Tiltak 2: Redusert lekkasjetall

Utettheter i bygningskroppen kan medføre store varmetap. Det er derfor valgt å undersøke effekten av å redusere byggets lekkasjetall. I et digitalt møte med Christian Sæther By, sr.ing. i Norgeshus i mars 2021, ble det fortalt at de gjennom sine trykktester ved flere anledninger har erfart lekkasjetall på rundt 0,3 h^{-1}.

Til tross for de lave erfaringstallene settes lekkasjetallet i simuleringen til 0,6 h^{-1}. Dette er kravet for luftlekkasjetallet i passivhusstandarden for bolig, NS3700 (81). Bakgrunnen for dette valget er usikkerheten knyttet til lekkasjetall. Lekkasjetallet til et bygg er avhengig av flere faktorer, spesielt utførende entreprenør, og vil variere fra bygg til bygg. Ved å benytte en mer konservativ verdi på 0,6 h^{-1} unngår man å gjennomføre simuleringer med potensielt kunstig gode forutsetninger.

3.6.4 Tiltak 3: Varmepumpe og vannbåren gulvvarme

Det tredje tiltaket som undersøkes er innføring av varmepumpe med vannbåren gulvvarme. Ved å endre oppvarmingssystem fra biobrensel til varmepumpe er det flere inputverdier som justeres. Dekningsgrad for varmepumpen settes til 70%, hvor de resterende 30% dekkes av elektrisitet. Varmepumpens systemvirkningsgrad beregnes automatisk av SIMIEN, og ender opp med en verdi på 2,89.

Maksimalt avgitt effekt bestemmes ut ifra hvilken varmepumpe som installeres. I dette tilfellet er det tenkt å benytte en varmepumpe med en effekt på 2,7kW og lavtemperatur vannbåren gulvvarme. Maksimalt avgitt effekt blir dermed 19,3W/m^2. I og med at det benyttes vannbåren gulvvarme, hukes det av for "oppvarming med vannbårent distribusjonsanlegg" med tur/retur-temperatur på 35/28°C.

3.6.5 Tiltak 4: Vann- og energibesparende tappearmatur

Vann- og energibesparende tappearmatur for å redusere varmtvannsforbruket er det fjerde tiltaket som undersøkes. Det finnes lite konkret data rundt hvor store besparelser man kan oppnå ved bruk av denne typen tappearmatur. Besparelsene beregnet i denne oppgaven baserer seg derfor på verdier fra en Sintef-rapport om sanitæranlegget i Nordre Gran borettslag. Også forbruksandel for hvert tappested anslås basert på informasjon fra denne rapporten (82).

Reduksjonene i tappevannsforbruket beregnes ved å multiplisere forbruksandelen ved hvert tappested med besparelsen som kan oppnås. Beregningene tar utgangspunkt i den veiledende verdien for tappevannsforbruk i NS3031:2014, på 3,4W/m^2 (83).

Tappested	Forbruksandel [%]	Besparelse [%]	Midlere effekt etter besparelse [W/m^2]
Servant	16,2	10	0,5
Kjøkken	48,7	10	1,49
Bad/dusj	35,1	25	0,89
		SUM	**2,88**

Tabell 6: Besparelser og midlere effekt for tappevannsforbruk ved bruk av vann- og energibesparende tappearmatur (79)

Ved innføring av vann- og energibesparende tappearmatur reduseres effektbehovet for tappevann til 2,88W/m^2.

3.6.6 Tiltak 5: Varmegjenvinning av gråvann

Varmegjenvinning av gråvann er det siste tiltaket som undersøkes. Her har man valget mellom å benytte en direktevirkende gjenvinner eller en lagertank med rørspiral. Løsningen med tank vil gi best effekt, men er plasskrevende, og må rengjøres flere ganger i året (38). Ved bruk av en direktevirkende gjenvinner slipper man dette vedlikeholdsarbeidet. Det er derfor valgt å gjøre simuleringer med en stående direkte gjenvinner koblet til bad/dusj.

For å beregne besparelsen som oppnås ved bruk av gjenvinneren, benyttes formel G.1 i tillegg G i SN-NSPEK 3031:2020, med tilhørende veiledende verdier, og ender opp med en besparelse på 22,5% (84).

Tappested	Forbruksandel [%]	Besparelse [%]	Midlere effekt etter besparelse [W/m^2]
Servant	16,2	0	0,55
Kjøkken	48,7	0	1,66
Bad/dusj	35,1	22,5	0,92
SUM			**3,13**

Tabell 7: Besparelser og midlere effekt for tappevannsforbruk ved bruk av varmegjenvinner for gråvann

Ved å gjenvinne varme fra vannet brukt til bad/dusj blir den midlere effekten for oppvarming av tappevann redusert til 3,13W/m^2.

På bakgrunn av resultatene som fremkommer fra simuleringene av de ulike tiltakene, anses det som hensiktsmessig å videreføre samtlige tiltak. Disse blir dermed tatt med videre i det neste settet med simuleringer hvor de ulike scenarioene skal undersøkes. I og med at både tiltak 4 og 5 reduserer effektbehovet for tappevann, må det beregnes en ny midlere effekt for en kombinert løsning. Man ender da opp med et midlere effektbehov på 2,68W/m^2. Det er dermed denne verdien som benyttes videre i det neste simuleringssettet, sammen med inputverdiene for de tre andre tiltakene.

3.6.7 Simulering av ulike scenarioer

Etter at samtlige energibesparende tiltak er innført gjennomføres det et nytt sett med simuleringer hvor en rekke scenarioer med ulike konstruksjonsprinsipper og veggtykkelser undersøkes. Det er i dette simuleringssettet ikke tatt hensyn til volum- og arealendringer for du ulike veggtykkelsene. I scenario A er veggoppbyggingen uendret fra originalversjonen av huset, og scenarioet undersøker dermed kun den samlede effekten av de fem innledende tiltakene.

I og med at det ikke gjennomføres beregninger av byggets kuldebroer er inputverdien for den normaliserte kuldebroverdien (K-verdien) i simuleringene basert på standardverdier og antagelser. For veggoppbyggingen med stendere av gjennomgående heltre settes K-verdien til 0,05W/m^{2}K. Denne verdien er bestemt etter standardverdien for bygning med bæresystem i tre, etter NS3031:2014 (83). Alle de resterende byggteknikkene som undersøkes er blitt benyttet i ulike passivhusprosjekter (49). På bakgrunn av dette kan man med stor sikkerhet anta at man vil kunne oppnå K-verdier på 0,03 W/m^{2}K, eller lavere, da dette er et av kravene i passivhusstandarden (81). For å være på den konservative siden settes verdien derfor til 0,03 W/m^{2}K for scenarioene med disse konstruksjonstypene.

For å bestemme U-verdien til de ulike scenarioene benyttes beregningsmetoden beskrevet i kapittel 2.5.1. I beregningene er det tatt utgangspunkt i en treandel på 17% for stenderne med rektangulært tverrsnitt, og 8% for stenderne med I-profil (85). Alle beregningene gjennomføres ved bruk av regneark. I vedlegg 7 vises et utfyllende regneeksempel med fremgangsmetoden for beregningene som er gjennomført i regnearket.

En oversikt over de ulike scenarioene som undersøkes, og tilhørende beregnede U-verdier og K-verdier er presentert i tabell 8. Flere av ytterveggene som undersøkes får lik U-verdi og K-verdi. I og med at det kun er disse verdiene som skiller scenarioene fra hverandre i SIMIEN, er listen over scenarioer her noe kortere enn listen hvor konstruksjonstypene skilles fra hverandre.

SIMIEN opererer med U-verdier med kun to desimaler. Dette medfører at noen scenarioer får lik U-verdi etter avrunding, selv om isolasjons-klassen og -mengden er ulik. Dette gjelder for scenarioene B.1.1 og B.1.2, og G.1.1 og G.1.3. Disse scenarioene vil dermed prestere like godt i simuleringene selv om de har ulike varmetekniske egenskaper i virkeligheten.

Scenario	U-verdi [W/(m^{2}K)]	K-verdi [W/(m^{2}K)]
A	0,20	0,05
B	0,17	0,05
C.1	0,15	0,05
C.2	0,15	0,03
D.1	0,14	0,05
D.2	0,14	0,03
E.1	0,13	0,05
E.2	0,13	0,03
F.1	0,12	0,05
F.2	0,12	0,03
G	0,11	0,03
H	0,10	0,03

Tabell 8: U-verdier og normaliserte kuldebroverdier for de ulike scenarioene

3.7 Kostnadsanalyse

For å undersøke hvor store utgifter hvert tiltak vil medføre gjennomføres det kostnadsanalyser. Kun merkostnadene som følge av de ulike tiltakene vil undersøkes, da det er disse det vil være interessant å undersøke når de ulike tiltakene sammenliknes. Totalkostnadene for bygget som helhet utelates. I tillegg vil det beregnes en kalkulasjonsrente som brukes for å finne nåverdi og tilbakebetalingstid. Nåverdi og tilbakebetalingstid vil undersøkes for hver av tiltakskategoriene, samt for den totale investeringen i forslag til omprosjektering.

I dette kapittelet vil først prisene for tekniske installasjoner begrunnes. Deretter forklares metode for beregning av kostnader ved ulike veggkonstruksjoner. Når en yttervegglösning er valgt beregnes totale merkostnader for forslag til omprosjektering. Videre forklares beregning av tiltakenes inntjening. Til slutt presenteres grunnlaget for beregning av kalkulasjonsrente og nåverdi av tiltakene.

For de tekniske installasjonene er det stort sett benyttet priser for ferdig installerte anlegg, hentet fra produsenter og leverandørers nettsider, samt erfaringstall fra samarbeidspartnere. De oppførte tiltakene gir rett til å søke om støtte fra Enova. Denne støtten er beregnet ut ifra deres vilkår for de forskjellige tiltakene, og trukket fra brutto pris. I tillegg medfører noen av tiltakene andre besparelser som er trukket fra i netto beregnet pris. Tabell 9 viser en oversikt over brutto priser og netto beregnede priser som er benyttet for solcelleanlegg og de andre tekniske installasjonene.

Beskrivelse	Brutto pris [NOK]	Netto beregnet pris [NOK]
Solcellepaneler 330 W	160 000	136 250
Solcellepaneler 370 W	170 000	143 750
Vannbåren gulvvarme og geotermisk varmepumpe	213 276	133 276
Varmegjenvinner for gråvann	13 500	11 000

Tabell 9: Priser for de tekniske installasjonene

Solcellepaneler

Kostnader for solcellepaneler er basert på et prisoverslag gjennomført av Greenstat, Norgeshus sin samarbeidspartner innen solenergi. Prisene inkluderer ferdig monterte anlegg med 42 paneler, med to alternativer for installert effekt, på 330W og 370W. For de oppgitte prisene kan det velges mellom norskproduserte BAPV, eller kinesiske paneler sammen med et integrasjonssystem som gjør at installasjonen kan erstatte taksteinen. Prisene forutsetter at stilas allerede er satt opp, noe det sannsynligvis vil være ved bygging av boligen uansett.

For å undersøke kost/nytte-verdien til hver av de undersøkte panelene gjennomføres en enkel operasjon hvor pris per kW for det gitte systemet undersøkes. Denne verdien vil gi en indikasjon på hvilket system som vil være mest gunstig kostnadsmessig. Anlegget som kommer best ut i denne undersøkelsen benyttes i de videre beregningene.

Vannbåren gulvvarme og varmepumpe

Pris for vannbåren gulvvarme og varmepumpe hentes fra en priskalkulator utviklet av Varmatema AS. Basert på valget av energikilde som er gjort rede for i kapittel 3.4 vil det i dette tilfellet velges en væske-vann varmepumpe med effekt 2,7 kW. Dette medfører en borehullskostnad, som i priskalkulatoren budsjetteres til 21 807 kr. Denne kostnaden vil variere med forhold på den aktuelle tomten, hvor i landet den befinner seg, og hvor mange hull som eventuelt kan bores i byggefeltet i samme omgang. Siden tiltaket medfører erstatning av pipe og vedovn som er prosjektert i utgangspunktet, trekkes prisene for dette fra investeringsbeløpet. Det benyttes en pris på kr 30 000 for pipe og kr 30 000 for vedovn, og dermed et totalt fratrekk på kr 60 000.

Vann- og energibesparende tappearmatur

Priser på vann- og energibesparende tappearmatur utelates fra oppgaven, da det har vist seg å være vanskelig å oppdrive. Dette er uansett en lite omfattende innretning som vil erstatte vanlig tappearmatur. Merkostnaden vil antagelig bli så lave at det ikke vil utgjøre en stor forskjell på den totale sluttsummen.

Varmegjenvinner av gråvann

Kostnadene knyttet til varmegjenvinneren er bestemt etter en gjennomsnittsverdi av Enova sitt anslag på 6-15 000 kr for ferdig installert innretning (38).

Ytterveggskonstruksjon

Kostnadene for de ulike scenarioene avhenger både av materialpriser og arbeidskostnad. Det vil også forekomme et tap av areal ved å benytte tykkere vegger. Dette medfører at kvadratmeterprisen per BRA vil øke. Siden det tapte arealet ikke vil være en ekstra utgift som gjør det valgte huset dyrere totalt sett, velges det å se bort fra dette i kostnadsberegningene.

Kostnadsberegningen gjennomføres ved bruk av regneark i Microsoft Excel, hvor materialkostnadene multipliseres med materialmengder og timepris for arbeid multipliseres med arbeidstid for hver løsning. Materialenes mengder er regnet ut basert på arbeidstegningene av huset. Materialpriser og arbeidstiden som benyttes i beregningene er basert på informasjon fra Norgeshus, og timeprisen for arbeid er i beregningene satt til å være 500kr.

Total merkostnad for forslag til omprosjektering

Når det er valgt en løsning som forslag til omprosjektering, vil totale merkostnader for denne beregnes. Dette gjøres ved å summere kostnader til solcelleanlegg, tekniske installasjoner i tiltak 1-5 og den valgte yttervegglösningen.

Kostnadsbesparelser ved enøktiltak

På bakgrunn av valgt ytterveggskonstruksjon, tekniske installasjoner og solcelleanlegg gjennomføres en beregning av kostnadsbesparelser i forbindelse med redusert energibehov, og energiproduksjon. Siden strømpriser, energibesparelser og energiproduksjon varierer gjennom året, vil disse regnes ut for hver måned, før de summeres til en årlig kostnadsbesparelse. For strømpriser benyttes et gjennomsnitt av kraftprisene fra de siste seks årene, for strømmarkedet i Oslo, som vist i kapittel 2.7.3 (52). For de energibesparende tiltakene legges det til 60 øre/kWt, basert på gjennomsnittsverdier for nettleie og avgifter som også spares ved redusert forbruk (53). For strømmen som selges ved høyere produksjon enn forbruk, benyttes kun kraftprisene uten tillegg for nettleie og avgifter, da disse ikke tilfaller boligeier. Energibesparelsene framskaffes ved å se på differansen mellom resultatene av simuleringene fra SIMIEN, for

utgangspunktet og det aktuelle tiltaket som undersøkes. For energiproduksjon benyttes resultatene fra PVGIS for valgte paneler i Oslo. Den årlige kostnadsbesparelsen for hevert tiltak brukes videre i beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid, for det aktuelle tiltaket. Økonomisk levetid som brukes i hvert av tiltakene presenteres i tabell 10, og er basert på normal garantitid for solcellepaneler og retningsgivende avskrivingstider for komponenter i energieffektiviserende sammenheng (50). I forslag til omprosjektering summeres kostnadsbesparelsene for alle tiltakene som inngår til en total årlig kostnadsbesparelse.

Tiltak	Økonomisk levetid [år]
Varmepumpe og vannbåren gulvvarme	25
Ytterveggskonstruksjon	60
Solcellepaneler	25

Tabell 10: Økonomisk levetid for tiltakene som undersøkes

Beregning av kalkulasjonsrente og nåverdi

Som nevnt i kapittel 2.7.1 finnes det mange faktorer som avgjør hvordan kalkulasjonsrenten skal bestemmes. Siden nullenergibygget som prosjekteres i denne oppgaven til syvende og sist skal kjøpes og betales av en privat husholdning, snevres det i første omgang ned til en privatøkonomisk kalkulasjonsrente. Med tanke på at alle de energibesparende tiltakene som vurderes i denne oppgaven vil installeres i byggeperioden, og inngår i den totale boligkostnaden velges det videre å ta utgangspunkt i rente for boliglån. For å samsvare med tiltakenes mer langsiktige perspektiv benyttes det et gjennomsnitt av de siste ti årenes rentenivå i Norge. Dette gjennomsnittet er beregnet til 3,22% (86). Videre settes skattefaktoren i beregningene lik en marginalskatt på 43%, og inflasjonen settes lik et gjennomsnitt fra de siste ti årene på 2,05%, som samsvarer bra med regjeringens inflasjonsmål på 2% (87). Prisindeks for elektrisitet, antas å ligge på 3%, som en normal andel av konsumprisindeksen (88). Relativ energiprisstigning settes dermed til 1%, som er avviket fra inflasjonen. På bakgrunn av disse faktorene fastsettes kalkulasjonsrenten som benyttes i kostnadsberegningene ved bruk av formelen i kapittel 2.7.1. Når kalkulasjonsrenten er bestemt kan nåverdi av investeringene undersøkes, etter formelen vist i kapittel 2.7.2. Til slutt vil det regnes ut en tilbakebetalingstid for tiltakene. Også denne formelen finnes i kapittel 2.7.2.

3.8 Livsløpsanalyse

Hensikten med livsløpsanalysene i denne oppgaven er å kontrollere at tiltakene som undersøkes ikke medfører større klimagassutslipp gjennom økt bruk av materialer og komponenter, enn de sparer inn gjennom effektiviseringen. I dette kapittelet vil det forklares kort hvilke analyser som gjennomføres, hvordan de foregår og hvilke data som benyttes.

Det vil først gjøres en forenklet analyse av huset slik det er prosjektert i utgangspunktet. Videre gjøres det analyser av utgangspunktet med både europeiske og kinesiske solcelleanlegg, og med alle de tekniske installasjonene i tiltak 1-5. Deretter utføres nye overslag for hvert scenario av ytterveggskonstruksjon, for å sammenligne de konkrete energibesparelsene med miljøpåvirkning som den økte materialbruken medfører. I analysene for disse scenarioene inkluderes også varmepumpe og vannbårent gulvvarmeanlegg.

For å gjøre en enkel livsløpsanalyse av tiltakene benyttes beregningsprogrammet One Click LCA. Så fort brukerprofil er opprettet kan det settes opp et nytt prosjekt, hvor det velges småhus som bygningstype. Når prosjektet er opprettet legges det inn et design for hvert tilfelle som skal undersøkes. Designfasen består av seks ulike faner for inngangsdata, som er bygningsmaterialer, energiforbruk, vannforbruk, byggeplassdrift, bygningsareal og beregningsperiode.

Den mest sentrale fanen for inngangsparametere i livsløpsregnskapet er fanen for bygningsmaterialer, da det i hovedsak er påvirkningen av disse som skal vurderes i denne oppgaven. Denne kategorien har flere underkategorier for ulike konstruksjonsdeler. I hver av kategoriene finnes det lister med komponenter som kan velges ut ifra generelle beskrivelser av funksjon og oppbygging, spesifikke produsenter eller EPD nummer.

Siden det ikke foreligger noen fullstendig oversikt over nøyaktig oppbygging av alle konstruksjonsdeler, velges det å bruke generelle komponentbeskrivelser som passer med oppbyggingene som kommer frem av arbeidstegningene av Dråpen. Der det finnes produktspesifikke EPD-er for materialer som brukes i huset, benyttes disse som datagrunnlag. Full oversikt over alt datagrunnlag og inngangsverdier som benyttes i analysene finnes i utskrift fra One Click LCA i vedlegg 6.

Mål, arealer og volumer er lagt inn manuelt, basert på informasjon fra ifc-modellen og arbeidstegningene av Dråpen.

Beskrivelse	Areal [m^2]
Bruttoareal	140
Fundament	83,5
Fasade	200
Stenderverk	20
Isolasjon	180
Innervegger	105
Etasjeskiller	64,7 x 2
Takflater	93,6
Vinduer og ytterdører	50

Tabell 11: Arealer benyttet i mengdebeskrivelsene i livsløpsanalysen

I de ulike scenarioene for alternative veggoppbygginger er det komponentene i kategorien for «horisontale strukturer og fasade» som endres. Her er materialmengder bestemt ved hjelp av overslag basert på målene i arbeidstegninger og dimensjoner for de aktuelle veggkonstruksjonene.

Fanene for bygningsmaterialer og energibruk er de eneste som endres mellom de forskjellige tiltakene. Alle andre faner for inngangsdata fylles inn med verdier basert på husets størrelse. For miljøpåvirkning av aspekter som elektrisitet og byggeplassdrift benyttes generiske, norske datagrunnlag.

Tiltak som medfører installasjon av tekniske anlegg, som er tilgjengelige i programmets katalog, legges inn basert på et overslag av nødvendige mengder for huset. De innledende energibesparende tiltakene, som forbedret lekkasjetall og ventilasjonsverdier, medfører ikke store materialendringer. Disse tiltakene endres derfor kun gjennom parameteren for energibruk som inndata i livsløpsanalysen, basert på resultatene fra SIMIEN.

Selv om mengden elektrisitetsforbruk vil variere mellom de forskjellige scenarioene for ytterveggskonstruksjoner, settes dette tallet fast på 10 000 kWh i sammenligningen. Dette blir gjort fordi en kun ønsker å analysere miljøpåvirkninger av økt materialbruk i disse analysene, mens energibehovet behandles i SIMIEN.

Resultatene fra hvert av designene som settes opp i programmet presenteres i grafer med forskjellig informasjon om utslipp og miljøpåvirkninger av ulike komponenter gjennom livsløpet. I denne oppgaven fokuseres det på de totale tallene for klimagassutslipp, fordelt på ulike poster. Ved å benytte tallene for samlet CO_2e fra hvert enkelt tiltak som sammenligningsgrunnlag blir det enkelt å vurdere miljøpåvirkningene opp mot hverandre.

3.9 Samlet vurdering og valg av løsning

Det gjennomføres til slutt en samlet vurdering av alle scenarioene som undersøkes. Hvert scenario får en poengscore innen de fire kategoriene energiforbruk, kostnad, klimagassutslipp og arealutnyttelse.

Poengfordelingen er lagt opp slik at scenarioet med dårligst ytelse i en kategori får ett poeng og den beste får ti. For stegene imellom tilsvarer ett poeng en niendedel av differansen mellom høyeste og laveste verdi innenfor kategorien. Poengene for de fire parameterne vektes etter en vurdering av hva som anses som mest aktuelt for temaet i denne oppgaven, i valg av løsning. Scenarioet som står igjen med høyest poengsum totalt, vil være det scenarioet som benyttes i forslaget til omprosjektering. Dette scenarioet simuleres på nytt i SIMIEN med klimadata fra de resterende 4 byene som undersøkes, Bergen, Kristiansand, Oslo, Tromsø og Trondheim.

3.10 Termisk komfort og dagslys

Tony-Andreas Arntsen, masterstudent innen bygg og miljøteknikk, har parallelt med denne oppgaven undersøkt termisk komfort og dagslys i Dråpen ved ulike scenarioer. Funn fra hans studie benyttes i denne oppgaven for å kontrollere at det med foreslått løsning vil være tilstrekkelig med dagslys, og at tiltakene som innføres ikke vil gå ut over den termiske komforten til de som skal bo i huset. Et utvalg av de mest relevante resultatene fra Tony sitt studie vil i denne oppgaven presenteres i en meget forenklet versjon, sammen med resultatene for innetemperatur fra simuleringene i SIMIEN gjennomført i tilknytning til denne oppgaven.

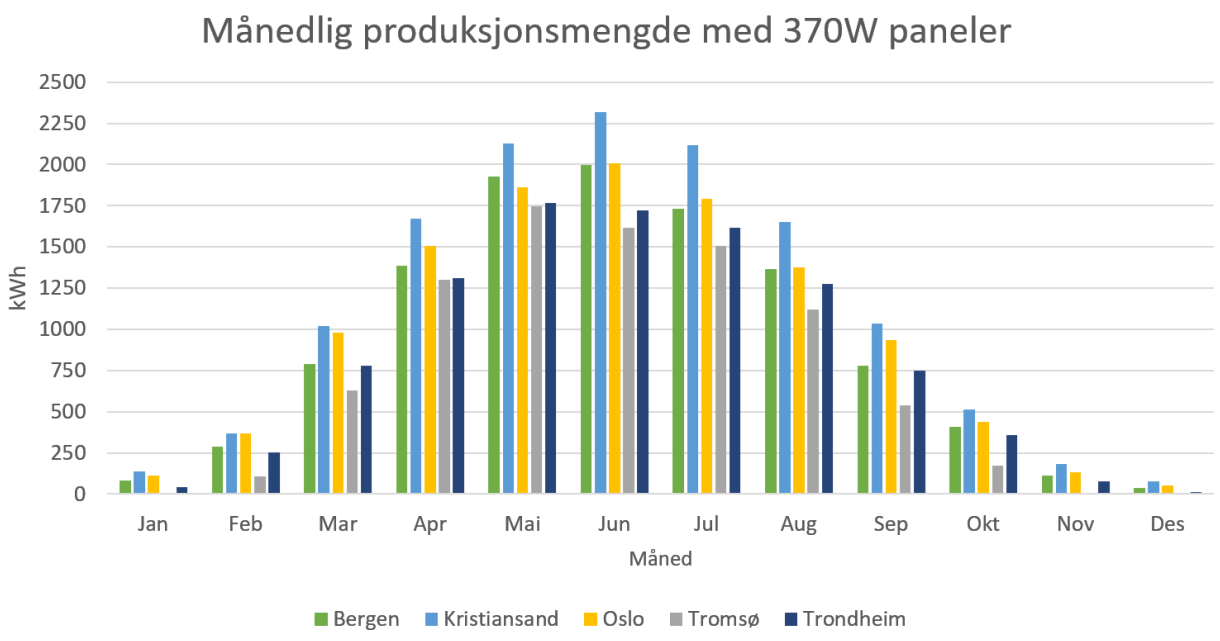
4 Resultat

4.1 Energiproduksjon

Resultatene av undersøkelsene for potensiell energiproduksjon er oppført i tabell 12. Fullstendige resultater fra undersøkelsene i PVGIS med oversikt over månedlig produksjonsmengder og årlig variasjon i produksjon kan sees i vedlegg 4.

Lokasjon	Produksjonspotensial [kWh/år]	
Paneltype [Wp]	330	370
Installert effekt [kWp]	13,86	15,54
Bergen	8 446	9 469
Kristiansand	11 012	12 346
Oslo	9 754	10 936
Tromsø	7 797	8 743
Trondheim	8 881	9 958

Tabell 12: Produksjonspotensial for de undersøkte byene



Figur 17: Månedlig produksjonspotensial for de undersøkte byene

4.2 Energisimuleringer

Her vises et utdrag av resultatene som fremkommer av energisimuleringene i SIMIEN. Fullstendige resultater fra alle simuleringene er lagt ved, og kan sees i vedlegg 5.

4.2.1 Utgangspunkt

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m^2/år]
Romoppvarming	5 881	42,0
Ventilasjonsvarme	504	3,6
Varmtvann	4 168	29,8
Vifter	613	4,4
Pumper	7	0,0
Belysning	1 593	11,4
Teknisk utstyr	2 451	17,5
Totalt netto energibehov	15 217	108,8
Netto levert energi	18 654	133,3

Tabell 13: Energibudsjett for originalversjonen av Dråpen

4.2.2 Tiltak 1: Forbedrede ventilasjonsverdier

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov [kWh/år]	Endring [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m^2/år]
Romoppvarming	5 870	-11	42,0
Ventilasjonsvarme	294	-210	2,1
Varmtvann	4 168	0	29,8
Vifter	490	-123	3,5
Pumper	6	-1	0,0
Belysning	1 593	0	11,4
Teknisk utstyr	2 451	0	17,5
Totalt netto energibehov	14 873	-344	106,3
Netto levert energi	18 286	-368	130,7

Tabell 14: Energibudsjett ved forbedret SFP (1,5→1,2 [kW/(m^3/s)]) og virkningsgrad for varmegjenvinner (80→85[%])

4.2.3 Tiltak 2: Redusert lekkasjetall

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov [kWh/år]	Endring [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m^2/år]
Romoppvarming	5 557	-324	39,7
Ventilasjonsvarme	499	-5	3,6
Varmtvann	4 168	0	29,8
Vifter	613	0	4,4
Pumper	7	0	0,0
Belysning	1 593	0	11,4
Teknisk utstyr	2 451	0	17,5
Totalt netto energibehov	14 889	-328	106,4
Netto levert energi	18 143	-511	129,7

Tabell 15: Energibudsjett ved redusert lekkasjetall (1,0→0,6 [h^{-1}])

4.2.4 Tiltak 3: Varmepumpe og vannbåren gulvvarme

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov [kWh/år]	Endring [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m^2/år]
Romoppvarming	5 742	-139	41,0
Ventilasjonsvarme	522	18	3,7
Varmtvann	4 168	0	29,8
Vifter	613	0	4,4
Pumper	119	112	0,9
Belysning	1 593	0	11,4
Teknisk utstyr	2 451	0	17,5
Totalt netto energibehov	15 208	-9	108,7
Netto levert energi	12 967	-5687	92,7

Tabell 16: Energibudsjett ved innføring av geotermisk-varmepumpe og vannbåren gulvvarme

4.2.5 Tiltak 4: Vann- og energibesparende tappearmatur

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov [kWh/år]	Endring [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m^2/år]
Romoppvarming	5 881	0	42,0
Ventilasjonsvarme	504	0	3,6
Varmtvann	3 530	-638	25,2
Vifter	613	0	4,4
Pumper	7	0	0,0
Belysning	1 593	0	11,4
Teknisk utstyr	2 451	0	17,5
Totalt netto energibehov	14 579	-638	104,2
Netto levert energi	18 004	-650	128,7

Tabell 17: Energibudsjett ved innføring av vann- og energibesparende tappearmatur

4.2.6 Tiltak 5: Varmegjenvinning av gråvann

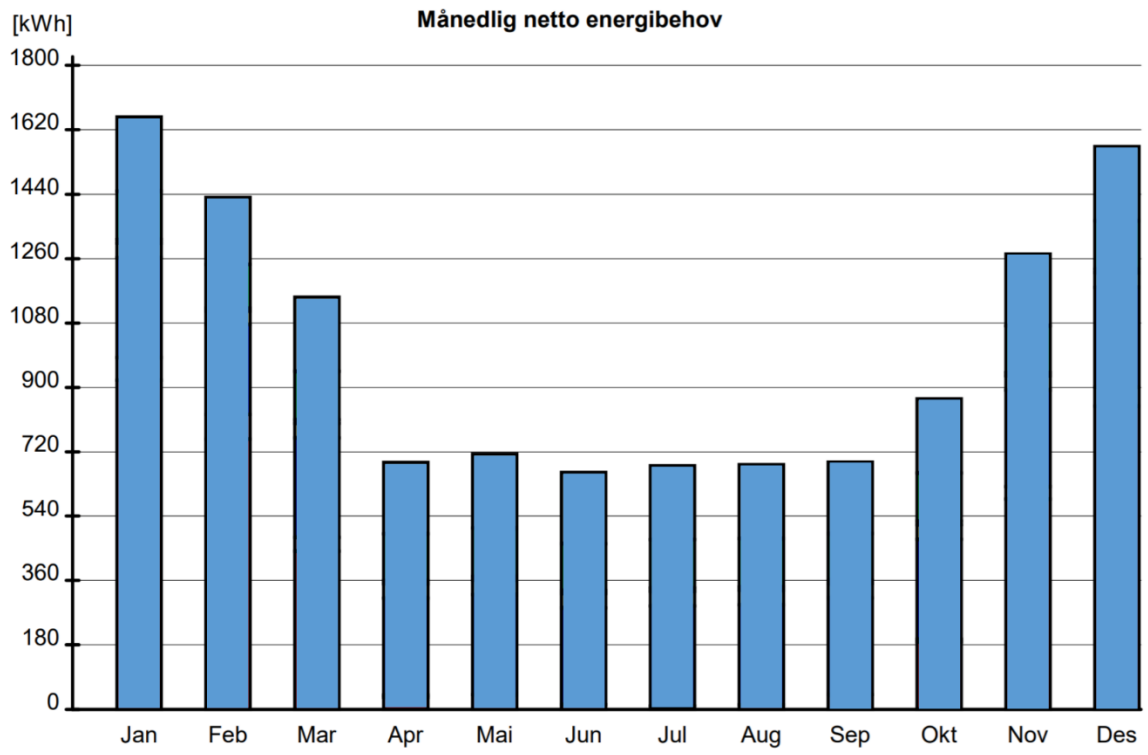
Energibudsjett			
Energipost	Energibehov [kWh/år]	Endring [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m^2/år]
Romoppvarming	5 881	0	42,0
Ventilasjonsvarme	504	0	3,6
Varmtvann	3 837	-331	27,4
Vifter	613	0	4,4
Pumper	7	0	0,0
Belysning	1 593	0	11,4
Teknisk utstyr	2 451	0	17,5
Totalt netto energibehov	14 886	-331	106,4
Netto levert energi	18 316	-338	130,9

Tabell 18: Energibudsjett ved innføring av stående direkte rørgjenvinner for varmegjenvinning av gråvann

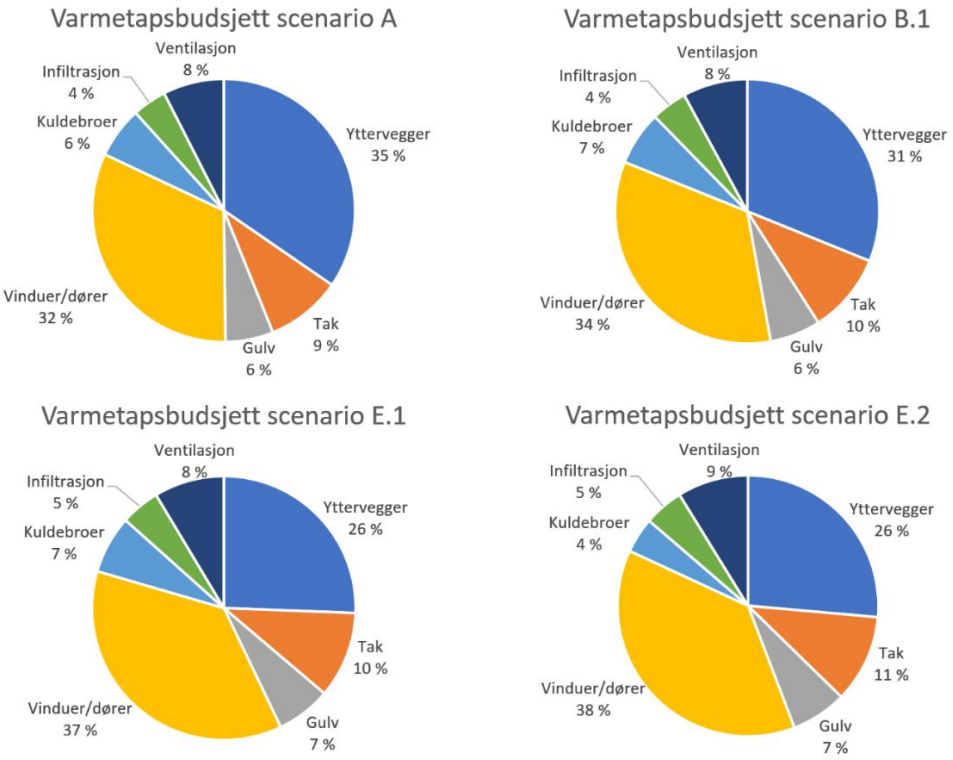
4.2.7 Scenario A-H

Scenario	U-verdi [W/(m²K)]	K-verdi [W/(m²K)]	Netto energibehov [kWh/år]	Netto levert energi [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m²/år]
A	0,20	0,05	13 680	11 529	97,8
B.1	0,17	0,05	13 120	11 195	93,8
C.1	0,15	0,05	12 737	10 967	91,0
C.2	0,15	0,03	12 480	10 813	89,2
D.1	0,14	0,05	12 575	10 869	89,9
D.2	0,14	0,03	12 317	10 715	88,0
E.1	0,13	0,05	12 396	10 762	88,6
E.2	0,13	0,03	12 105	10 589	86,5
F.1	0,12	0,05	12 221	10 658	87,4
F.2	0,12	0,03	11 959	10 501	85,5
G.1	0,11	0,03	11 775	10 391	84,2
H.1	0,10	0,03	11 616	10 296	83,0

Tabell 19: Energibehov ved de ulike scenarioene



Figur 18: Oversikt over månedlig netto energibehov for scenario E.2



Figur 19: Varmetapsbudsjett for scenario A, B.1, E.1 og E.2

4.3 Kostnadsanalyse

Dette kapittelet viser resultatene av kostnadsanalysene som er utført. Først presenteres kalkulasjonsrenten som benyttes i de økonomiske beregningene for hvert av tiltakene som vurderes. Deretter følger resultatene av selve kostnadsberegningene og estimat av inntjening for hvert tiltak. Til slutt vises resultatene av de samme beregningene gjort for den samlede løsningen i forslag til omprosjektering.

4.3.1 Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten er utregnet til -1,2%, basert på uttrykket i kapittel 2.7.1 og faktorene vist i kapittel 3.7. Selv om resultatet kan virke unaturlig er det ikke uvanlig med en lav eller negativ kalkulasjonsrente for privatøkonomiske forhold, med de verdiene som er benyttet. Resultatet skyldes blant annet lav finansieringsrente i forhold til inflasjon og energiprisstigning. Dette resultatet er brukt videre i utregning av nåverdi og tilbakebetalingstid for hvert av tiltakene, og den totale investeringen i forslag til omprosjektering.

4.3.2 Solcelleanlegg

Priser for solcelleanlegg er redegjort for i kapittel 3.7. Resultater av kost/nytte-verdien til hver av de undersøkte panelene vises i tabell 20, som pris per kW for de to alternative paneltypene i det gitte anlegget. Som en ser gir panelene på 370Wp lavest pris per installert effekt, og blir derfor benyttet i videre beregninger. Som vist i kapittel 3.7 medfører dette en investeringskostnad på 143 750 kr.

Panel	Kr/Wp
330Wp, 42 stk	11,5
370Wp, 42 stk	10,9

Tabell 20: Pris per Wp for 42 stk. 330W og 370W solcellepaneler

Tabell 21 viser inntjening av solcelleanlegget gjennom besparelser ved egenprodusert solenergi, og salg av overproduksjon til strømnettet. Produksjon av solenergi er basert på resultatene fra PVGIS for det valgte anlegget på huset plassert i Oslo. Energiforbruk er basert på SIMIEN-simuleringene, mens strømprisene er presentert i kapittel 2.7.3.

Måned	Produksjon [kWt]	Kostnadsbesparelse eget forbruk [NOK]	Nettleveranse [kWt]	Inntekt strømsalg [NOK]	Total inntjening [NOK]
Januar	113	113	-	-	113
Februar	366	346	-	-	346
Mars	980	919	-	-	919
April	1 505	1 031	379	119,78	1 151
Mai	1 861	937	819	245,09	1 182
Juni	2 009	809	1 080	292,13	1 101
Juli	1 790	841	846	246,24	1 087
August	1 377	860	420	125,28	985
September	934	845	-	-	845
Oktober	438	415	-	-	415
November	134	131	-	-	131
Desember	54	54	-	-	54
SUM	**11 560**	**7 301**	**3 544**	**1 028,51**	**8 329**

Tabell 21: Månedlig inntjening fra solcelleanlegget

Den totale, årlige inntjeningen er benyttet i beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid.

Analyse	Resultat
Nåverdi, [NOK]	100 880
Tilbakebetalingstid, [år]	16

Tabell 22: Nåverdi og tilbakebetalingstid for solcelleanlegget

Tabell 22 viser resultater av beregnet nåverdi og tilbakebetalingstid for tiltaket. Økonomisk levetid for solcellepanelene er satt lik normal garantitid på 25 år.

4.3.3 Tekniske installasjoner

Priser for tekniske installasjoner i redegjort for i kapittel 3.7. Totalprisen for de tekniske installasjonene som er prisberegnet er 144 276 kr. Denne prisen er benyttet i beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid for de tekniske installasjonene. Tabell 23 viser månedlig inntjening gjennom redusert energiforbruk som følge av de tekniske installasjonene som er innført i tiltak 1-5.

Måned	Forbruk utgangspunkt [kWt]	Nytt forbruk [kWt]	Besparelse forbruk [kWt]	Strømpris innkjøp [øre/kWt]	Inntjening [NOK]
Januar	2 605	1 631	974	100,28	977
Februar	2 295	1 437	858	94,58	812
Mars	1 886	1 163	723	93,77	678
April	1 126	670	456	91,59	418
Mai	1 042	617	425	89,92	382
Juni	929	582	347	87,05	302
Juli	944	582	362	89,11	323
August	957	582	376	89,83	337
September	985	599	386	90,55	350
Oktober	1 380	846	534	94,69	505
November	2 027	1 261	766	98,17	752
Desember	2 478	1 560	917	99,08	909
SUM	**18 654**	**11 529**	**7 125**		**6 745**

Tabell 23: Månedlig inntjening grunnet de tekniske installasjonene

Den totale, årlige inntjeningen er benyttet i beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid.

Analyse	Resultat
Nåverdi, [NOK]	53 826
Tilbakebetalingstid, [år]	19

Tabell 24: Nåverdi og tilbakebetalingstid for de tekniske installasjonene

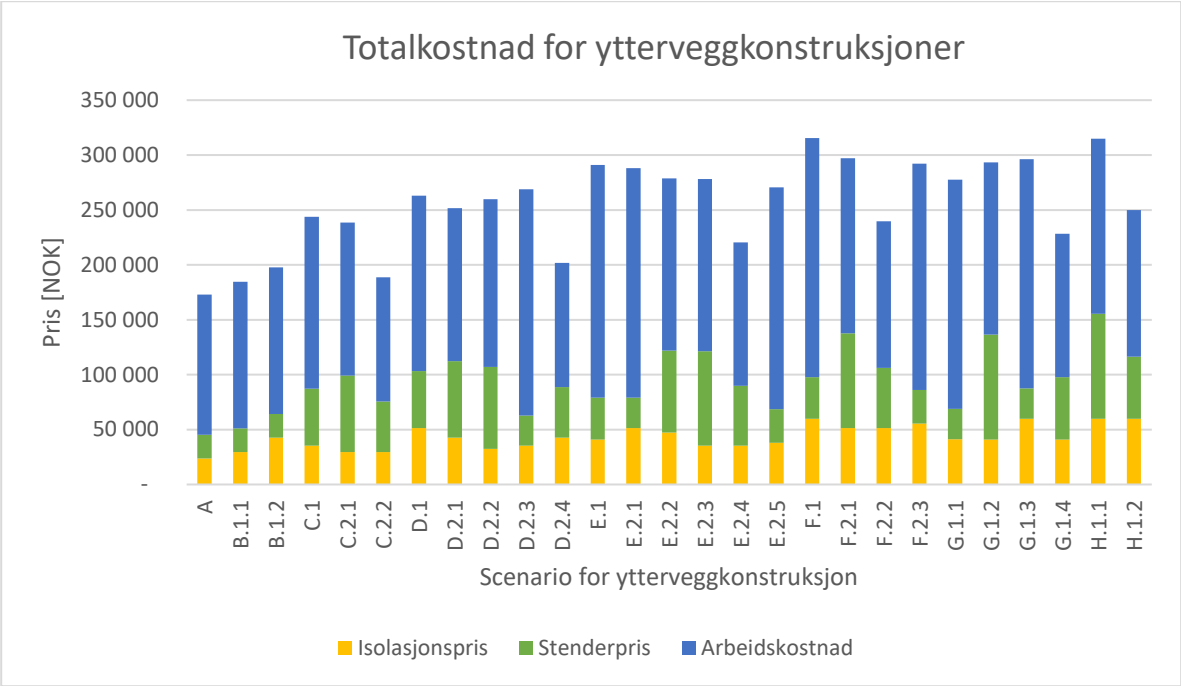
Tabell 24 viser resultater av beregnet nåverdi og tilbakebetalingstid for tiltaket. Økonomisk levetid for tiltakene er satt til 25 år.

4.3.4 Ytterveggskonstruksjoner

Tabell 25 viser resultat av kostnadsberegning gjort for de ulike ytterveggskonstruksjonene. Både kostnader til materialer og arbeid er inkludert, for isolasjon og stendere. Andre materialsjikt, som kledning, vind- og dampsperre, er utelatt, da dette vil være likt for alle scenarioene som er vurdert. Det er satt opp en kolonne for beregnet totalkostnad og en annen for merkostnad. Prisene i denne kolonnen er lik de beregnede kostnadene fratrukket kostnaden av den opprinnelige veggkonstruksjonen i scenario A.

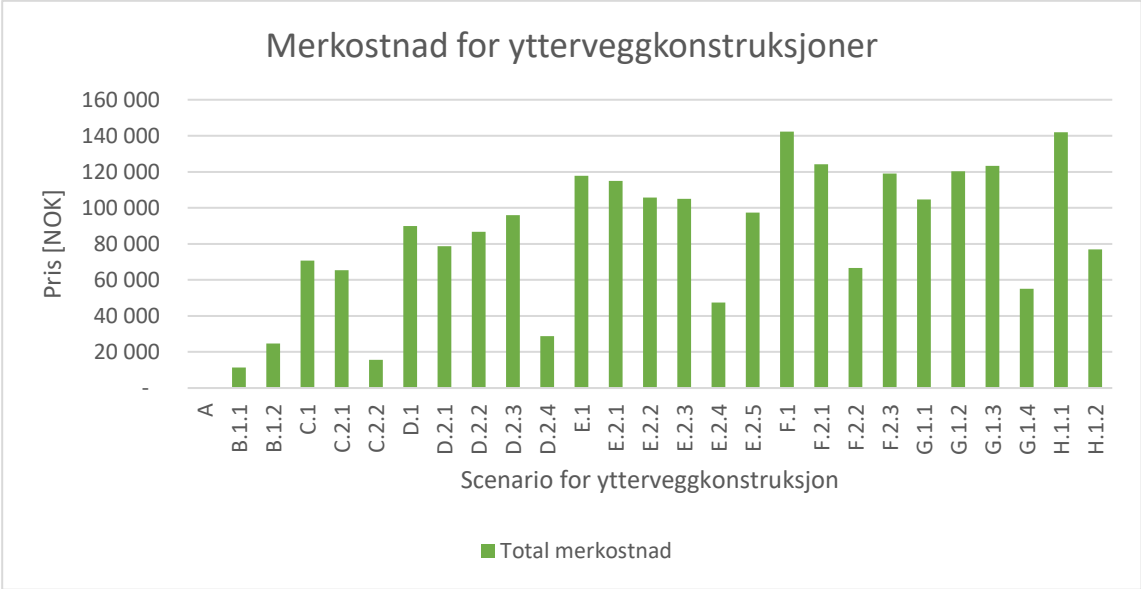
Scenario	U-verdi [W/(m^{2}K)]	Konstruksjon	Iso-klasse	Tykkelse [mm]	Totalkostnad [NOK]	Merkostnad [NOK]
A	0,20	Heltre	34	200	173 035	-
B.1.1	0,17	Heltre	34	250	184 499	11 463
B.1.2	0,17	Heltre	32	250	197 712	24 676
C.1	0,15	Heltre	34	300	243 837	70 801
C.2.1	0,15	Isostender	34	250	238 461	65 426
C.2.2	0,15	I-Stender	34	250	188 683	15 648
D.1	0,14	Heltre	32	300	262 942	89 906
D.2.1	0,14	Isostender	32	250	251 674	78 639
D.2.2	0,14	Isostender	34	270	259 686	86 651
D.2.3	0,14	Delt bindingsverk	34	300	268 914	95 878
D.2.4	0,14	I-Stender	32	250	201 897	28 861
E.1	0,13	Heltre	34	350	290 856	117 820
E.2.1	0,13	Delt bindingsverk	32	300	288 019	114 983
E.2.2	0,13	Isostender	32	270	278 698	105 663
E.2.3	0,13	Isostender	34	300	278 100	105 064
E.2.4	0,13	I-Stender	34	300	220 516	47 480
E.2.5	0,13	Delt bindingsverk	34	325	270 444	97 409
F.1	0,12	Heltre	32	350	315 411	142 375
F.2.1	0,12	Isostender	32	300	297 205	124 169
F.2.2	0,12	I-stender	32	300	239 621	66 585
F.2.3	0,12	Delt bindingsverk	32	325	292 111	119 076
G.1.1	0,11	Delt bindingsverk	34	350	277 688	104 653
G.1.2	0,11	Isostender	34	350	293 252	120 217
G.1.3	0,11	Delt bindingsverk	32	350	296 338	123 303
G.1.4	0,11	I-stender	34	350	228 180	55 144
H.1.1	0,10	Isostender	32	350	314 956	141 921
H.1.2	0,10	I-stender	32	350	249 883	76 848

Tabell 25: Merkostnader for ytterveggene i alle scenarioene



Figur 20: Totalkostnader for de ulike ytterveggskonstruksjonene

Figur 20 viser kostnader for hvert av scenarioene fordelt på isolasjonspris, stenderpris og arbeidskostnad. Scenarioene innebærer en erstatning av den opprinnelige ytterveggskonstruksjonen i scenario A. Kostnader for andre materialer, som vind- og dampsperre, gipsplater, utlekting og kledning er ikke inkludert i beregningene, da disse vil være lik for alle løsningene.



Figur 21: Merkostnader for de ulike ytterveggskonstruksjonene, som totalpris fratrukket pris av utgangspunkt i scenario A

Som en vil se i kapittel 6 velges scenario E.2.5 som ytterveggløsning i forslag til omprosjektering. Den ekstra kostnaden for denne veggoppbyggingen er kr 97 409.

Denne prisen vil inngå i beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid for omprosjektering av ytterveggskonstruksjonen. Tabell 26 viser månedlig inntjening gjennom redusert energiforbruk som følge av den nye ytterveggskonstruksjonen i scenario E.2.5.

Måned	Forbruk utgangspunkt [kWt]	Nytt forbruk [kWt]	Besparelse forbruk [kWt]	Strømpris innkjøp [øre/kWt]	Inntjening [NOK]
Januar	2 605	2 185	420	100,28	421
Februar	2 295	1 888	407	94,58	385
Mars	1 886	1 556	331	93,77	310
April	1 126	943	183	91,59	168
Mai	1 042	974	68	89,92	61
Juni	929	902	27	87,05	23
Juli	944	902	41	89,11	37
August	957	914	43	89,83	39
September	985	950	35	90,55	32
Oktober	1 380	1 164	216	94,69	204
November	2 027	1 686	341	98,17	335
Desember	2 478	2 078	400	99,08	396
SUM	**18 654**	**16 142**	**2 512**		**2 411**

Tabell 26: Månedlig inntjening grunnet den valgte ytterveggløsningen

Den totale, årlige inntjeningen benyttes i beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid.

Analyse	Resultat
Nåverdi, [NOK]	116 459
Tilbakebetalingstid, [år]	33

Tabell 27: Nåverdi og tilbakebetalingstid for den valgte ytterveggløsningen

Økonomisk levetid for bygningsmessige konstruksjoner er satt til 60 år.

4.3.5 Forslag til omprosjektering

Forslag til omprosjektering inkluderer det valgte solcelleanleggetallet, tekniske installasjoner i tiltak 1-5, og ytterveggskonstruksjonen i scenario E.2.5. Dette medfører en total investeringskostnad på 385 435 kr. Tabell 28 viser månedlig inntjening av alle de innførte tiltakene som følge av redusert energiforbruk og energiproduksjon.

Måned	Forbruk utgangspunkt [kWt]	Nytt forbruk [kWt]	Besparelse forbruk [NOK]	Besparelse produksjon [NOK]	Inntekt salg [NOK]	Inntjening [NOK]
Januar	2 605	1 429	1 179	113	-	1 293
Februar	2 295	1 233	1 004	346	-	1 351
Mars	1 886	993	838	919	-	1 757
April	1 126	610	473	558	282,97	1 314
Mai	1 042	647	355	582	363,30	1 300
Juni	929	602	285	524	380,74	1 190
Juli	944	610	298	543	343,54	1 185
August	957	617	306	554	226,90	1 087
September	985	625	327	566	94,39	987
Oktober	1 380	752	594	415	-	1 009
November	2 027	1 106	904	131	-	1 036
Desember	2 478	1 369	1 099	54	-	1 153
SUM	**18 654**	**10 589**	**7 664**	**5 303**	**1 691,84**	**14 659**

Tabell 28: Månedlige kostnadsbesparelser, inntekt og total inntjening ved foreslått omprosjektering

Besparelsene er basert på redusert energibehov ved ny ytterveggskonstruksjon og tekniske installasjoner, samt egenprodusert solenergi. Inntekt kommer fra salg av strøm til kraftnettet når produksjon av solenergi er høyere enn eget forbruk. Inntjeningen er sum av besparelser og inntekt. Det totale beløpet på kr 14 659,- er benyttet som årlig inntjening i videre beregninger.

Analyse	Resultat
Nåverdi, [NOK]	45 105
Tilbakebetalingstid, [år]	23

Tabell 29: Nåverdi og tilbakebetalingstid for foreslått omprosjektering

Økonomisk levetid for totalinvesteringen er satt lik korteste delinvestering, på 25 år.

4.4 Livsløpsanalyse

Dette kapittelet viser resultatene av livsløpsanalysene. Først presenteres klimagassutslippet til huset slik det er prosjektert i utgangspunktet. Deretter følger resultatene av analysene for huset med hvert av hovedtiltakene som vurderes. Det vises resultater av totale utslipp for alle scenarioene av ulike ytterveggskonstruksjoner, før utdypende resultater vises for konstruksjonen som velges. Til slutt vises resultatene av analysen som er gjort for den samlede løsningen i forslag til omprosjektering. Her sammenlignes også resultatene av de ulike tiltakene ved å se på endringen i klimagassutslipp i forhold til utgangspunktet.

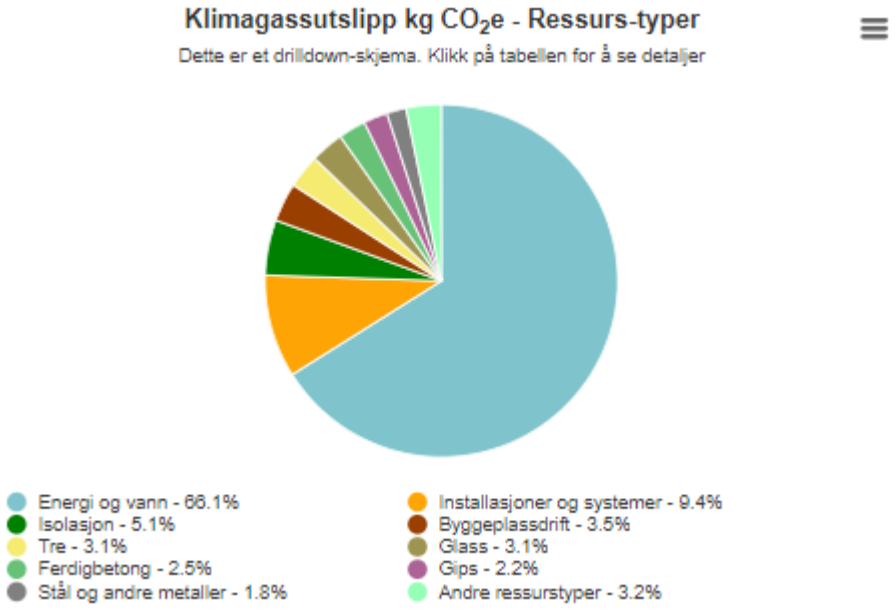
I One Click LCA viser resultatene av livsløpsanalysene flere miljøpåvirkninger av alle design som er lagt inn. Påvirkningene presenteres både sortert etter påvirkningskategorier og opphav for utslippene. I denne oppgaven velges det å se på kategorien for totale klimagassutslipp i form av CO_2-ekvivalenter (CO_2e). Alle analysene viser resultater for utslipp gjennom hele husets livsløp. Mer utfyllende resultater kan sees i vedlegg 6.

4.4.1 Utgangspunkt

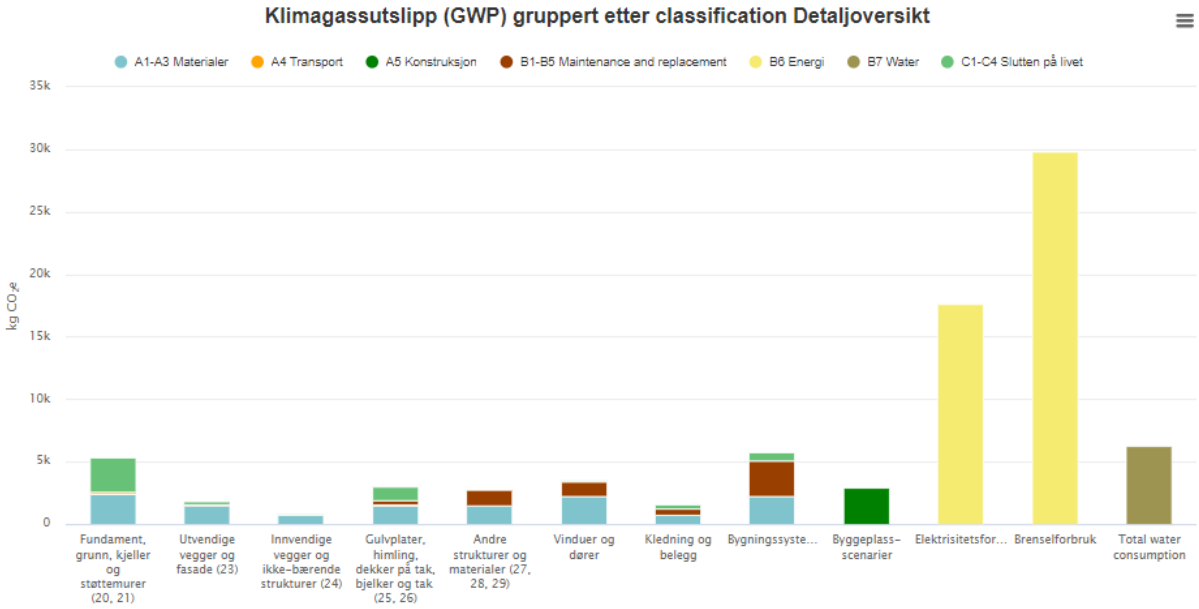
Her vises resultater fra livsløpsanalysen for huset slik det er prosjektert i utgangspunktet.

Simulering	Klimagassutslipp [kg CO_2e]
Utgangspunkt	81 274

Tabell 30: Totale klimagassutslipp for originalversjonen av Dråpen



Figur 22: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer for originalversjonen av Dråpen



Figur 23: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler for originalversjonen av Dråpen

4.4.2 Solcellepaneler

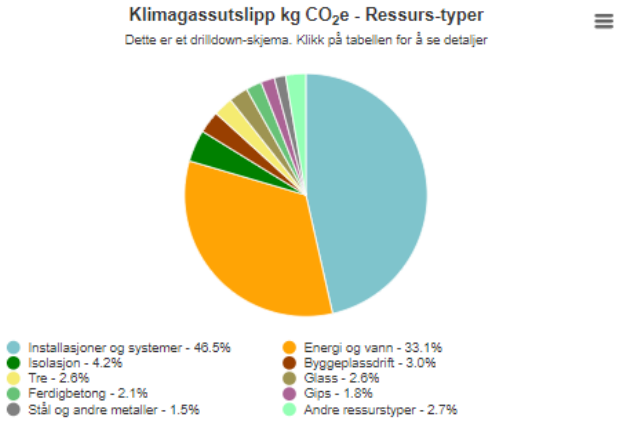
Her vises resultater fra livsløpsanalysen for huset slik det er prosjektert i utgangspunktet, men med solcellepaneler montert på taket. Både europeiske og kinesiske paneler er undersøkt.

Simulering	Klimagassutslipp [kg CO_2e]
Solcellepaneler, Europa	97 245
Solcellepaneler, Kina	101 204

Tabell 31: Totale klimagassutslipp ved innføring av de ulike solcellepanelene

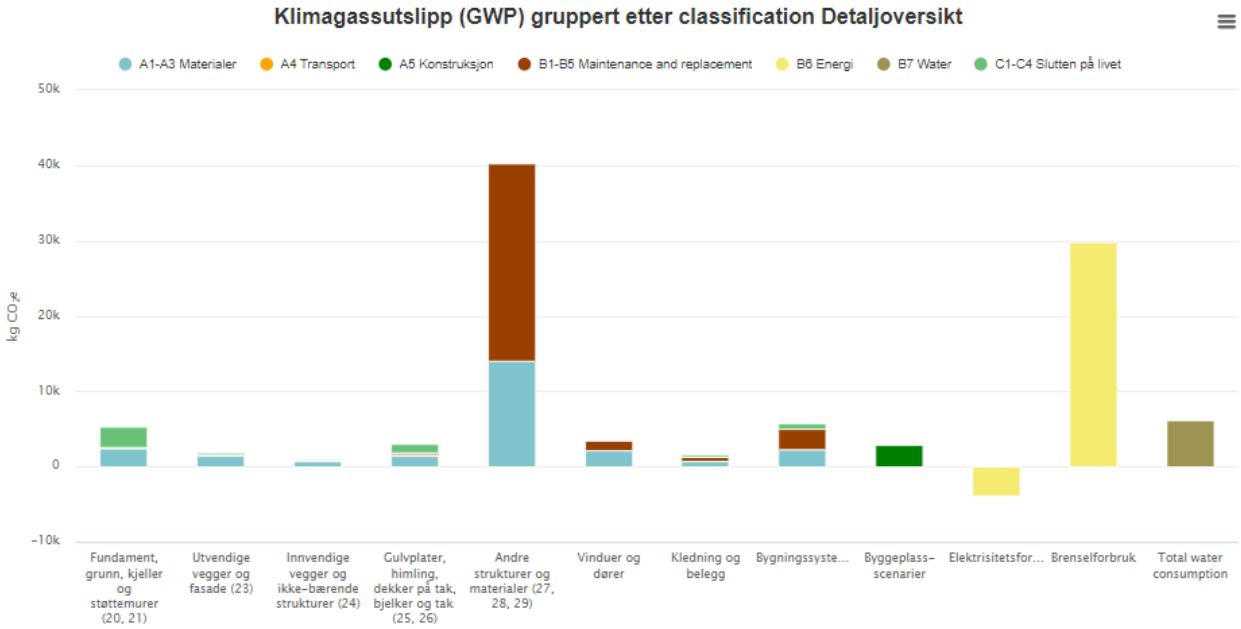
Til tross for avstandsforskjellen utgjør transport kun 0,3% av utslippene for begge paneltypene.

Siden de europeiske panelene har noe lavere klimagassutslipp velges disse videre i oppgaven. De følgende resultatene er for de europeiske panelene, men fordelingen av utslippene er nokså tilsvarende for de kinesiske.



Figur 24: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer ved innføring av de norskproduserte solcellepanelene

Som det fremkommer i søylen for «andre strukturer og materialer» utgjør vedlikehold og utskiftning en stor post.



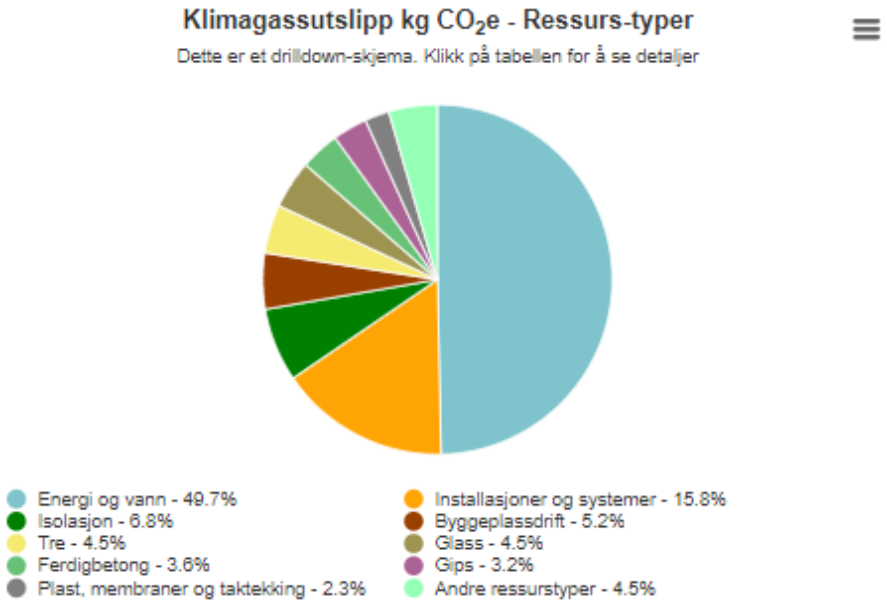
Figur 25: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler ved innføring av de norskproduserte solcellepanelene

4.4.3 Tekniske installasjoner

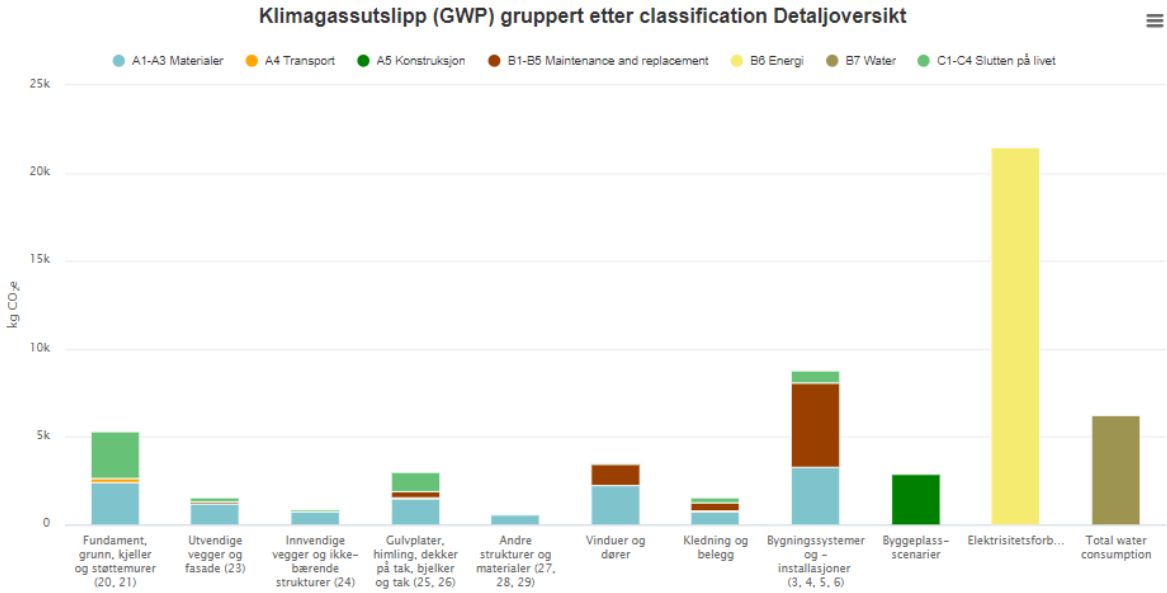
Her vises resultater fra livsløpsanalysen for huset slik det er prosjektert i utgangspunktet, inkludert de tekniske installasjoner fra tiltak 1-5.

Simulering	Klimagassutslipp [kg CO_2e]
Tekniske installasjoner	55 792

Tabell 32: Totale klimagassutslipp ved innføring av de tekniske installasjonene



Figur 26: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer ved innføring av de tekniske installasjonene



Figur 27: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler ved innføring av de tekniske installasjonene

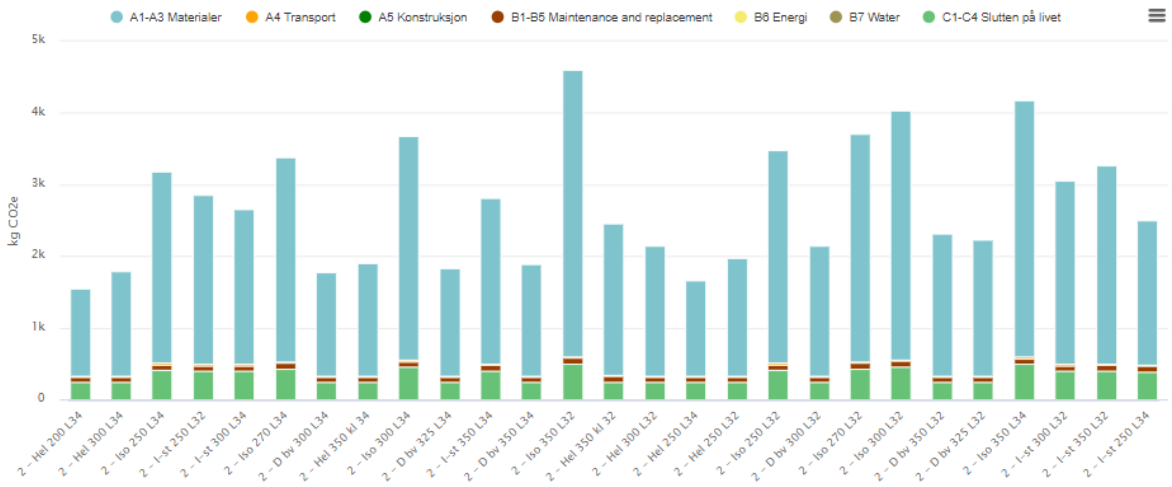
4.4.4 Ytterveggskonstruksjoner

Scenario	Konstruksjon	Tykkelse [mm]	Iso-klasse [lambda]	Klimagassutslipp [kg CO_2e]
A	Heltre	200	34	52 942
B.1.1	Heltre	250	34	53 059
B.1.2	Heltre	250	32	53 363
C.1	Heltre	300	34	53 242
C.2.1	Isostender	250	34	54 574
C.2.2	I-Stender	250	34	53 893
D.1	Heltre	300	32	53 606
D.2.1	Isostender	250	32	54 878
D.2.2	Isostender	270	34	54 773
D.2.3	Delt bindingsverk	300	34	53 174
D.2.4	I-Stender	250	32	54 253
E.1	Heltre	350	34	53 972
E.2.1	Delt bindingsverk	300	32	53 538
E.2.2	Isostender	270	32	55 100
E.2.3	Isostender	300	34	55 070
E.2.4	I-Stender	300	34	54 051
E.2.5	Delt bindingsverk	325	34	53 233
F.1	Heltre	350	32	54 396
F.2.1	Isostender	300	32	55 434
F.2.2	I-stender	300	32	54 441
F.2.3	Delt bindingsverk	325	32	53 627
G.1.1	Delt bindingsverk	350	34	53 289
G.1.2	Isostender	350	34	55 566
G.1.3	Delt bindingsverk	350	32	53 713
G.1.4	I-stender	350	34	54 209
H.1.1	Isostender	350	32	55 991
H.1.2	I-stender	350	32	54 664

Tabell 33: Klimagassutslipp for de undersøkte veggkonstruksjonene

I navngivingen av veggkonstruksjonene i One Click LCA brukes forkortelsene «Hel» for bindingsverk av heltre, «Iso» for isostender, «D bv» for delt bindingsverk, og «I-st» for I-stender. Det etterfølgende nummeret angir bindingsverkets totale tykkelse, målt fra innside vindsperre til dampsperre. Videre skilles isolasjonsklasse med varmekonduktivitet 0,034 og 0,032 [W/(mK)] ved navngivningen «L34» og «L32».

Siden det kun er ytterveggskonstruksjonen som skiller scenarioene i dette delkapittelet fra hverandre, er alle andre elementer valgt bort i de følgende visningene, slik at forskjellene kommer bedre frem. I følgende diagram vises derfor «utvendige vegger og fasade» som det eneste aktive elementet.



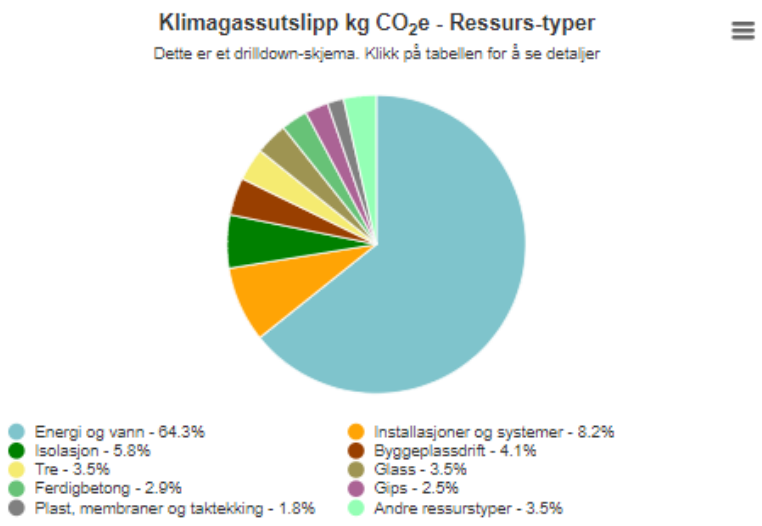
Figur 28: Totale utslipp av CO_2e for de ulike scenarioene som er vurdert, fordelt på ulike utslippsfaser

Som en ser er det fasen for "materialer" som utgjør de største forskjellene mellom ytterveggskonstruksjonene. Fasen for "slutten på livet" varierer også noe mellom scenarioene, mens fasen for «vedlikehold og utskiftning» er lik for alle scenarioene. Fasen for «transport» gir veldig små utslag i forskjellene mellom scenarioene, og er dessuten basert på unøyaktige gjennomsnittsverdier for avstander og transportmetoder. Med «utvendige vegger og fasade» som det eneste aktive elementet er utslippsfasene for konstruksjon, energi og vann lik null.

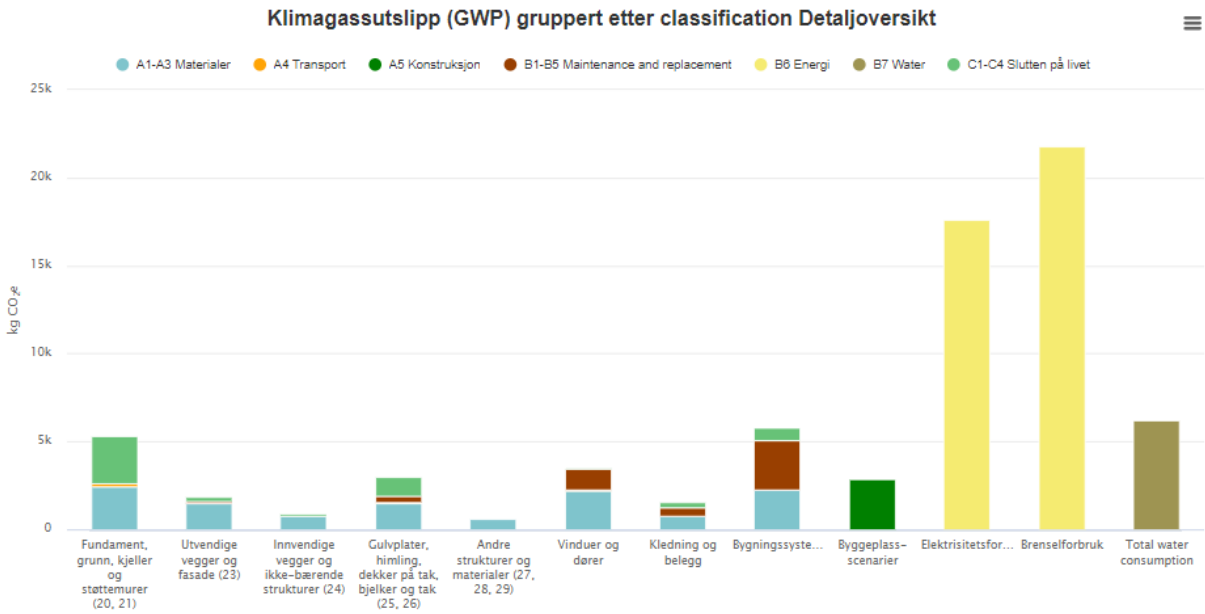
Som en vil se i kapittel 6 velges scenario E.2.5 som ytterveggløsning i forslag til omprosjektering. Under vises derfor resultater fra livsløpsanalysen for dette scenarioet.

Simulering	Klimagassutslipp [kg CO_2e]
Ytterveggskonstruksjon, scenario E.2.5	70 932

Tabell 34: Totale klimagassutslipp for scenario E.2.5



Figur 29: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer for scenario E.2.5



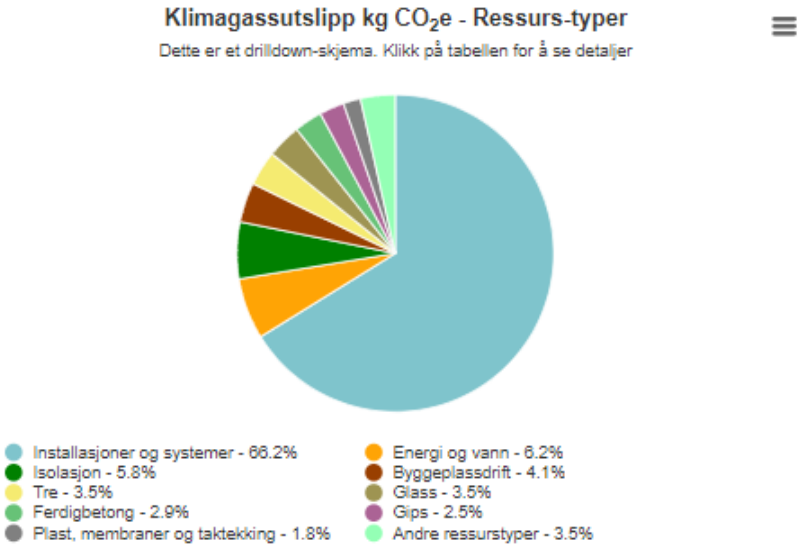
Figur 30: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler for scenario E.2.5

4.4.5 Forslag til omprosjektering

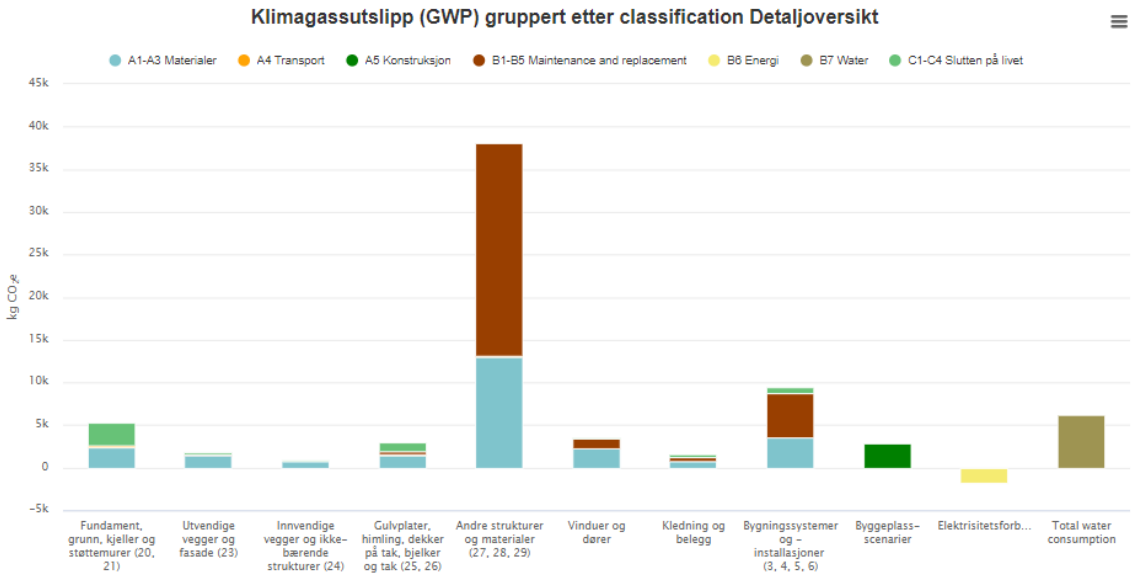
Forslag til omprosjektering inkluderer det valgte solcelleanleggetallet, tekniske installasjoner i tiltak 1-5, og ytterveggskonstruksjonen i scenario E.2.5.

Simulering	Klimagassutslipp [kg CO_2e]
Forslag til omprosjektering	70 909

Tabell 35: Totale klimagassutslipp ved foreslått omprosjektering



Figur 31: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer ved foreslått omprosjektering



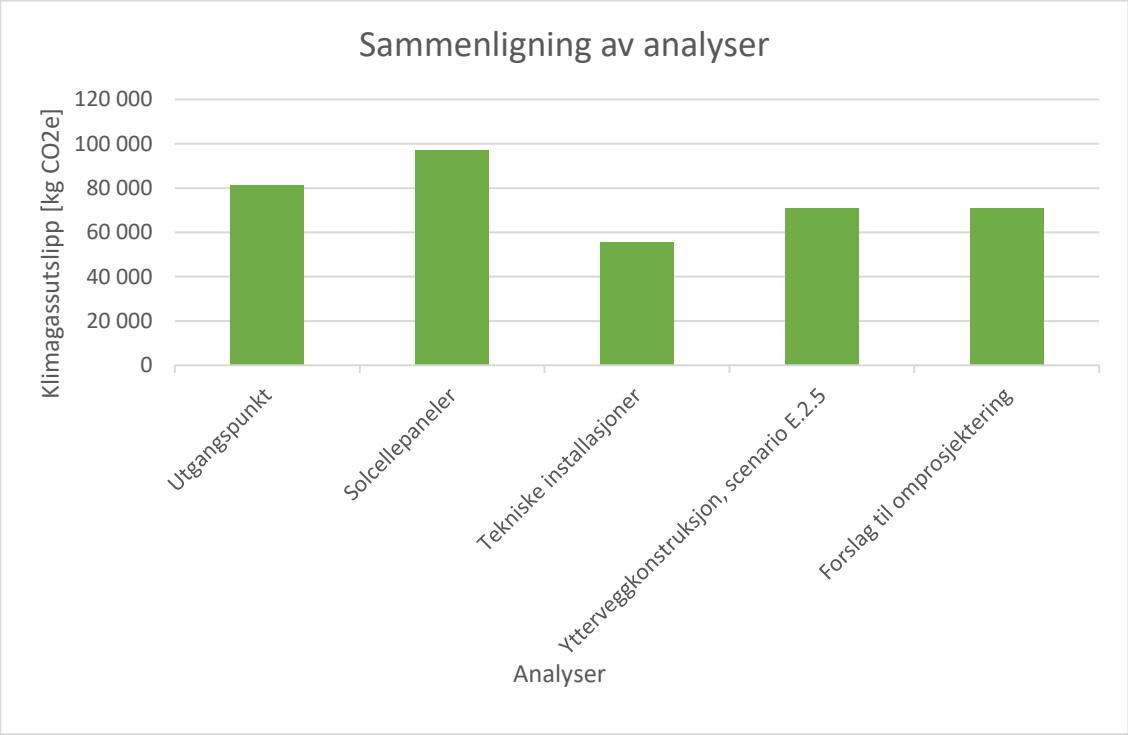
Figur 32: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler ved foreslått omprosjektering

For å enklere kunne sammenlikne hvert av tiltakene og forslag til omprosjektering med utgangspunktet, stilles resultatendringene fra hver av disse opp i et søylediagram. En vil da lettere kunne vurdere om det er hensiktsmessig å oppgradere huset for å oppnå tilnærmet netto null energibehov, som i forslag til omprosjektering.

Her vises resultatendringer fra livsløpsanalysen for huset slik det er prosjektert i utgangspunktet, med solcellepaneler, med tekniske installasjoner fra tiltak 1-5, med valgt veggkonstruksjon, og samlet løsning som forslag til omprosjektering.

Simulering	Klimagassutslipp [kg CO2e]
Utgangspunkt	81 274
Solcellepaneler	+ 15 971
Tekniske installasjoner	- 25 482
Ytterveggskonstruksjon, scenario E.2.5	- 10 342
Forslag til omprosjektering	- 10 365

Tabell 36: Endringer i klimagassutslipp ved innføring av de ulike tiltakene i forhold til originalversjonen av Dråpen



Figur 33: Totale beregnede klimagassutslipp

Diagrammet viser samlet livsløpsanalyse for alle påvirkningskategorier, av både utgangspunktet, original konstruksjon med solcellepaneler, original konstruksjon med nye tekniske installasjoner, valgt ytterveggskonstruksjon, og til slutt en versjon med alle tiltakene som inngår i forslag til omprosjektering

4.5 Valg av løsning

Scenario	Konstruksjon	Dimensjoner [mm]	Iso-klasse	Energi	Klima	Kostna	Areal	Sum
Vekting				4	2	2	1	
A	Heltre	148+48	34	1	10	10	10	53
B.1.1	Heltre	198+48	34	3	10	9	7	55
B.1.2	Heltre	198+48	32	3	9	8	7	51
C.1	Heltre	248+48	34	5	9	6	4	52
C.2.1	Isostender	200+48	34	6	5	6	7	46
C.2.2	I-Stender	200+48	34	6	7	9	7	55
D.1	Heltre	248+48	32	6	8	4	4	50
D.2.1	Isostender	200+48	32	7	4	5	7	45
D.2.2	Isostender	220+48	34	7	5	5	6	47
D.2.3	Delt bindingsverk	98+50+98+48	34	7	9	4	4	56
D.2.4	I-Stender	200+48	32	7	6	8	7	54
E.1	Heltre	148+148+48	34	7	7	3	1	46
E.2.1	Delt bindingsverk	98+50+98+48	32	8	8	3	4	55
E.2.2	Isostender	220+48	32	8	4	3	6	45
E.2.3	Isostender	250+48	34	8	4	3	4	43
E.2.4	I-Stender	250+48	34	8	7	7	4	56
E.2.5	**Delt bindingsverk**	**148+50+73+48**	**34**	**8**	**9**	**4**	**3**	**58**
F.1	Heltre	148+148+48	32	7	6	1	1	41
F.2.1	Isostender	250+48	32	9	3	2	4	42
F.2.2	I-stender	250+48	32	9	6	6	4	55
F.2.3	Delt bindingsverk	148+50+73+48	32	9	8	2	3	56
G.1.1	Delt bindingsverk	98+100+98+48	34	9	9	3	1	58
G.1.2	Isostender	300+48	34	9	2	2	1	36
G.1.3	Delt bindingsverk	98+100+98+48	32	9	8	2	1	54
G.1.4	I-stender	300+48	34	9	6	7	1	53
H.1.1	Isostender	300+48	32	10	1	1	1	35
H.1.2	I-stender	300+48	32	10	5	5	1	51

Tabell 37: Poengmatrise for ytterveggscenarioer som viser resultat av samlet vurdering

Med den valgte løsningen i scenario E.2.5 blir netto energiforbruk for de ulike lokasjonene følgende:

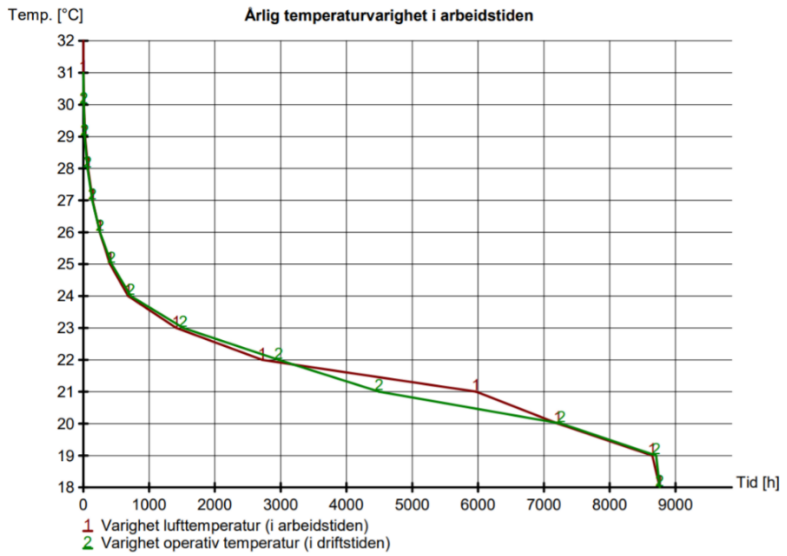
By	Netto energiforbruk [kWh/år]
Bergen	9 733
Kristiansand	9 758
Oslo	10 501
Tromsø	11 414
Trondheim	10 472

Tabell 38: Netto energiforbruk for den foreslåtte omprosjekteringen i de undersøkte byene

4.6 Termisk komfort og dagslys

	Dagslysfaktor ≥ 2%	Innetemperatur 26°C+ ≤ 50t/år
Utgangspunkt	✓	X
350mm vegg	✓	X
Utvendig solavskjerming	✓	✓

Tabell 39: Resultater for termisk komfort og dagslys hentet fra Tony-Andreas Arntsen sitt studie



Årlig varighet operativ temperatur i arbeidstiden	
Beskrivelse	Operativ temperatur
Antall timer over 26°C	255

Figur 34: Årlig temperaturvarighet og antall timer over 26°C for scenario A

5 Diskusjon

5.1 Energiproduksjon

Det vil være store variasjoner i mengde produsert energi både avhengig av geografisk plassering og paneltype. Ikke overaskende blir produksjonsmengden lavere jo lenger nord man befinner seg. Forskjellen i produksjonsmengde mellom panelene med 330W og 370W holder seg ganske stabil uavhengig av lokasjon, hvor 370W panelene produserer omtrent 1100kWh mer i året enn 330W panelene. I og med at det ikke er tatt hensyn til horisont og omkringliggende vegetasjon/hus, vil den reelle energiproduksjonen antagelig bli noe lavere enn resultatene tilsier.

I samtlige byer vil rundt 50% av energiproduksjonen forekomme i månedene mai-juli. Fra november til januar vil det i motsetning nesten ikke produseres noe energi i det hele tatt. En slik produksjonsfordeling er lite heldig da det medfører at man blir nødt til å selge strøm om sommeren og kjøpe om vinteren. Det store spriket i produksjonsmengde kommer som et resultat av klimaet vi har her i Norge med lite sol om vinteren og mye om sommeren. Ideelt sett ville produksjonen vært jevnere fordelt utover året slik at produksjonen til enhver tid var like stor som forbruket. Dette ville gitt mulighet til å benytte strømmen som produseres lokalt uten behov for å kjøpe og selge strøm.

5.2 Energisimuleringer

Resultatene viser at samtlige tiltak vil bidra til å redusere husets energibehov betraktelig, noe som viser at alle de undersøkte tiltakene har en positiv effekt.

5.2.1 Tiltak 1: Forbedrede ventilasjonsverdier

Justeringene gjort i forbindelse med ventilasjonssystemet
påvirker hovedsakelig energipostene for ventilasjonsvarme og vifter. Denne endringen er forventet ettersom at virkningsgraden til varmegjenvinneren er justert opp og SFP er justert ned. Resultatene viser at man med god prosjektering av ventilasjonssystemet kan oppnå relativt store energibesparelser. Dette vil være et enkelt tiltak som gir et relativt stort utbytte.

5.2.2 Tiltak 2: Redusert lekkasjetall

Ved å senke lekkasjetallet fra 1,0h^{-1} til 0,6h^{-1} får man en reduksjon av netto levert energi på 511kWh/år. Her ser man viktigheten av å fokusere på god utførelse i byggeprosessen. Det er hovedsakelig posten for romoppvarming som påvirkes av dette tiltaket. Dette kan forklares ved at et lavere lekkasjetall medfører at mindre varm luft vil bli sluppet ut gjennom utettheter i bygningskroppen. Mindre luftlekkasje vil medføre at en større andel av inneluften vil passere varmegjenvinneren i ventilasjonssystemet. Slik som omprosjektering av ventilasjonen er dette et relativt enkelt tiltak med stor gevinst.

For å forsikre seg om at man oppnår et såpass lavt lekkasjetall er det meget viktig at utførende entreprenør har fokus på detaljer og overganger slik at vind- og dampsperre skjøtes godt. Huset har en enkel utforming, og det skal derfor være relativt greit å installere kontinuerlige sperresjikt. I tillegg vil den innvendige installasjonsveggen forhindre perforeringer i dampsperren der det skal være gjennomføringer for teknisk utstyr.

Lekkasjetallet som er benyttet i simuleringen er kun basert på forventninger til at bygningsarbeidet er av høy kvalitet. Verdien som benyttes er relativt konservativ med tanke på Norgeshus sine erfaringstall. Man kan derfor forvente at energibesparelsene i virkeligheten vil bli noe større enn hva resultatene i denne oppgaven tilsier. Hvor stor den reelle lekkasjen blir, vil man ikke vite før huset står ferdig bygget og trykktestes. Det vil derfor være en del usikkerhet knyttet til resultatene som framkommer.

5.2.3 Tiltak 3: Varmepumpe og vannbåren gulvvarme

Tiltaket med å installere varmepumpe og vannbåren gulvvarme gir utslag på flere av postene i energibudsjettet. Energibehovet for romoppvarming reduseres noe. Det er vanskelig å si hva denne endringen kommer av, men man kan anta at dette kan forklares ved at innetemperaturen kan holdes noe lavere ved bruk av vannbåren gulvvarme, da man får direkte oppvarming av kroppen. En annen forklaring kan være at skorsteinen i dette tilfellet er fjernet, og det dermed blir færre åpninger i isolasjonssjiktet. Noe som er verdt å merke seg her er at postene for både ventilasjonsvarme og pumper får en oppgang, noe som resulterer i at totalt netto energibehov blir omtrent tilsvarende som for utgangspunktet. Grunnen til at energibehovet for ventilasjonsvarme øker er at dekningsgraden til energiforsyningene er endret. Varmepumpen er satt til å ha en lavere dekningsgrad enn vedovnen som var prosjektert inn i utgangspunktet. Dette medfører at man på de kaldeste dagene må tilføre ekstra varme gjennom varmebatteriene i ventilasjonsanlegget. Posten for pumper øker grunnet installasjonen av varmepumpen og gulvvarmen, som har behov for pumper for å driftes.

Med installasjon av varmepumpe er det endringen i netto levert energi som er mest interessant å se på. Denne verdien får en reduksjon på nærmere 5,7GWh i det årlige forbruket. Dette tilsvarer en nedgang i energiforbruk på hele 30% sett mot utgangspunktet. Bakgrunnen for denne kraftige reduksjonen er varmepumpens systemvirkningsgrad. Der vedovnen hadde en virkningsgrad på 0,64, har det nye oppvarmingssystemet med varmepumpe til sammenlikning virkningsgrad 2,89.

De reelle besparelsene vil muligens kunne bli enda større. Varmesystemet kan kobles til et styringssystem som gjør det mulig å senke temperaturen når huset står tomt, som i arbeidstiden og ferier. Dette er ikke tatt høyde for i simuleringene, og vil naturligvis påvirke resultatene. Beboernes foretrukne innetemperatur vil også påvirke det totale energiforbruket. Resultatene er basert på at innetemperaturen skal holdes på 21°C. Dersom beboerne ønsker en annen innetemperatur, vil dette påvirke energiforbruket.

5.2.4 Tiltak 4: Vann- og energibesparende tappearmatur

Den vann- og energibesparende tappearmaturen vil som forventet kun gjøre et utslag på energiforbruket knyttet til oppvarming av tappevann. Armaturen gir en reduksjon på 638kWh/år i det totale netto energibehovet. Denne besparelsen vil gjøre et noe større utslag på den netto leverte energien, da systemvirkningsgraden for oppvarmingen av tappevannet ligger på 0,98. Tappearmaturen vil bidra til store besparelser i det totale energibehovet. En slik installasjon vil derfor være meget gunstig da den krever lite ekstra komponenter for å fungere.

Det er knyttet en del usikkerhet rundt denne reduksjonen i energiforbruket. Først og fremst vil varmtvannsforbruk variere avhengig av antall personer i husstanden, og deres forbruksvaner. I simuleringene benyttes en standard verdi som baserer seg på boligens areal. Denne verdien tar dermed ikke hensyn til hvor stor husstanden er, og hvor mye varmtvann hver person bruker. I tillegg til at det er benyttet en standardverdi for forbruket er de beregnede besparelsene basert på antagelser i forventet prosentvis reduksjon ved bruk av sparearmatur. Disse forventningene har ingen konkret forskning i grunn. Dette medvirker også til at det beregnede energiforbruket til oppvarming av tappevann kan være noe misvisende.

5.2.5 Tiltak 5: Varmegjenvinning av gråvann

Varmegjenvinneren vil medføre en reduksjon av energibehovet knyttet tappevannsforbruket på 331kWh/år. Netto levert energi påvirkes i noe større grad grunnet systemvirkningsgraden til oppvarmingssystemet. Varmegjenvinneren vil bidra til å redusere byggets energibehov uten å gå på bekostning av beboernes komfort, og vil derfor være meget gunstig å installere ved bygging av nye boliger.

Som for den vann- og energibesparende tappearmaturen er det knyttet noe usikkerhet rundt det faktiske forbruket av varmtvann, noe som igjen påvirker resultatet som fremkommer ved simuleringer med varmegjenvinneren installert. Også reduksjonsfaktoren har flere usikkerhetsmomenter da den kun er basert på beregninger med veiledende verdier fra NS3031.

5.2.6 Samlet effekt av tiltak (Scenario A)

Når alle tiltakene legges inn samtidig vil netto levert energi til bygget reduseres med totalt 7125kWh/år, noe som tilsvarer en reduksjon på 38% fra utgangspunktet. Sett bort i fra posten for romoppvarming er det postene for varmtvann og teknisk utstyr som utgjør det største energibehovet. Det er lagt inn to tiltak for å redusere tappevannsforbruket noe som har resultert i en besparelse på 880kWh/år. For å redusere dette energibehovet ytterligere kunne man ha gjenvunnet varme fra flere av tappestedene, men dette ville vært et mer omfattende tiltak da man ikke lenger hadde hatt mulighet til å benytte en vertikal rørgjenvinner, og måtte installert separate gjenvinnere for hvert enkelt tappested. Man kunne eventuelt valgt å benytte en varmegjenvinner med tank, men denne løsningen ble valgt bort grunnet plassbehov og vedlikeholdsarbeidet som følger med.

Foruten de tiltakene som undersøkes i denne oppgaven er det flere tiltak husholdningens beboere selv kan gjøre ved å endre sitt forbruksmønster. Ved å være mer bevisste på energiforbruket sitt kan beboerne bruke mindre varmtvann, for eksempel ved å ta kortere dusjer. I tillegg vil det være meget energibesparende dersom husholdningen benytter hvitevarer og annet teknisk utstyr med høyt energimerke. Dette er tiltak beboerne selv må ta initiativ til å gjennomføre, og man kan som prosjekterende ikke forvente at dette blir gjort. Man kan allikevel anta at det faktiske energiforbruket knyttet til de tekniske installasjonene vil være en del lavere. Verdien for energiforbruket til det tekniske utstyret er basert på en standardverdi fra 2014. Energieffektiviteten til dette utstyret har forbedret seg markant i løpet av de siste 7 årene og man kan derfor forvente et lavere energiforbruk i et reelt scenario.

5.2.7 Scenario A-H

Resultatet fra simuleringene som er gjennomført viser at det vil være mye å spare på å forandre på veggkonstruksjonen. Mer isolasjon som gir en lavere U-verdi, vil som forventet resultere i et lavere energibehov.

Det forekommer noe variasjon i resultatene også for scenarioene med lik veggtykkelse og isolasjonsmengde. Setter man scenario B.1 opp mot C.2 ser man relativt store forskjeller i det årlige energibehovet, der C.2 har nesten 400kWh lavere energibehov enn B.1. Disse scenarioene har lik oppbygning og er like tykke, de skilles kun av typen stender som benyttes. Scenario B.1 har stendere i heltre og C.2 har skumisolerte stendere/stendere med I-profil. Dette viser at ikke bare isolasjonstykkelse, men også stendertype spiller en stor rolle når det kommer til konstruksjonens U-verdi. Reduksjonen av U-verdien kommer som et resultat av at treandelen i veggen reduseres betydelig for stenderne benyttet i C.2. I tillegg til den reduserte U-verdien vil også reduksjonen av den normaliserte kuldebroverdien være utslagsgivende for reduksjonen av energibehovet.

Med scenarioene som er satt opp vil det være like interessant å undersøke varmetapsbudsjettet for å se hvor varmetapene forekommer, som å se på reduksjonen i energibehov.

I og med at både tak og gulvkonstruksjonen hadde såpass gode U-verdier i utgangspunktet, ble det tatt en beslutning om å ikke undersøke effekten av å endre de varmetekniske egenskapene for disse bygningsdelene. Varmetapsbudsjettet for Scenario A viser at kun 15% av byggets varmetap går gjennom tak og gulv. Dette viser at en forandring av U-verdiene i disse delene av bygget vil være lite hensiktsmessig. Avgrensningen har dermed i liten grad stått i veien for å omprosjektere bygget til et nullenergibygg.

Noe interessant som fremkommer av simuleringene er effekten av kuldebroene i bygget. Den normaliserte kuldebroverdien som er satt inn i SIMIEN er basert på standard verdier, men det er likevel meget interessant å se hvor stor effekt tiltakene for å unngå kuldebroer har. Dersom man sammenlikner varmetapsbudsjettet for scenario E.1 og E.2 ser man at varmetapet fra kuldebroer reduseres fra 7 til 4%. Denne reduksjonen fremkommer ved å kun endre K-verdi fra 0,05 til 0,03 W/(m^{2}K).

Et annet meget interessant resultat er varmetapet fra vinduer/dører. Allerede i scenario B.1 vil varmetapet fra vinduene være høyere enn det fra ytterveggene. Vinduene er av meget høy kvalitet med en gjennomsnittlig U-verdi på 0,72 W/(m^{2}K). Det vil med dagens teknologi være krevende å oppnå særlig lavere U-verdier enn dette. I denne oppgaven er det ikke gjennomført noen nærmere undersøkelser med forbedrede U-verdier for vinduene, men man kan anta at

en slik oppgradering ville vært et kostbart tiltak, hvor energibesparelsene ville vært relativt små. En mulighet ville vært å redusere husets glassareal ved å fjerne vinduer, men med forutsetningene satt i avgrensningene om å beholde det arkitektoniske uttrykket ble en slik løsning uaktuell i denne oppgaven.

5.3 Kostnadsanalyse

5.3.1 Kalkulasjonsrente

Som det kom frem i kapittel 4.3.1 ble kalkulasjonsrenten regnet ut til –1,2%. Selv om resultatet kan virke unaturlig er det ikke uvanlig med en lav eller negativ kalkulasjonsrente for privatøkonomiske forhold, med de verdiene som er benyttet. Akkurat hvilke verdier som er mest riktig å bruke kan være vanskelig å fastslå, blant annet fordi de kan endre seg mye over beregningsperioden som kalkulasjonsrenten skal benyttes for (89). Dette er grunnen til at den nominelle finansieringsrenten ble satt som et gjennomsnitt av de siste ti årenes bankrenter. Inflasjonen ble også satt som et gjennomsnitt av tallene for de siste ti årene.

Relativ prisendringsfaktor for energi har derimot vist seg å være vanskeligere å finne gode tall på. Basert på de tall som er funnet er det valgt å sette denne til 1%. På toppen av inflasjonen som er satt til 2,05% kan dette være noe høyt, men dette er gjort på bakgrunn av en generell oppfatning om av energiprisene vil måtte stige i fremtiden, både på grunn av større behov ved stadig mer elektrifisering, utfasing av fossil energi og et mer globalt strømmarked. En stigning i energipriser vil gjøre de energibesparende tiltakene i denne oppgaven mer attraktive (18). Dette kan en se av den negative kalkulasjonsrenten, som resulterer i bedre nåverdi og kortere tilbakebetalingstid enn ved en lavere energiprisstigning, som hadde gitt en høyere kalkulasjonsrente.

Ellers kan en også se hvor følsom kalkulasjonsrenten er for endringer i skattefaktor, finansieringsrente og inflasjon. Videre har en sett hvor store utslag kalkulasjonsrenten kan gjøre for nåverdi og tilbakebetalingstid for investeringene. Tallene fra de økonomiske lønnsomhetsvurderingene er altså nokså dynamiske gjennom tiltakets levetid, da de avhenger stort av markedsmessige forhold på beregningstidspunktet. Ved vurdering av ulike enøk-tiltak er det derfor viktig å ikke se på lønnsomhetsvurderingene som en fasit. Disse bør heller brukes som et hjelpemiddel i kostnadsanalysen, som igjen bør være del av en helhetlig sammenligning med andre aspekter, slik som i denne oppgaven.

5.3.2 Solenergi

I kapittel 4.3.2 ser en at solcellepanelene på 370Wp velges for anlegget grunnet lavest pris per installert effekt. Allerede i prisgrunnlaget for de to paneltypene på 330Wp og 370Wp ser en at kun 10 000 kroner skiller dem fra hverandre, fra 160-170 000 kroner, til tross for en betydelig økning i effekt. Med tanke på at en behøver høyest mulig produksjon er panelene på 370Wp dermed et naturlig valg. Ved fastsettelse av kostnader knyttet til solcelleanlegget er det ikke tatt hensyn til besparelser ved erstatning av takstein eller annen taktekking. Dette skyldes blant annet at prisene på taktekkingen kan variere mye etter hvilken type kunden ellers ville valgt. Samtidig gjelder denne besparelsen kun alternativet med kinesiske paneler sammen med integrasjonssystem. For den samme prisen inkluderes ikke integrasjonssystemet i alternativet for norske paneler, da disse er noe dyrere. Her vil kostnader for takstein dermed bestå.

Videre vises inntjening av solcelleanlegget gjennom besparelser ved egenprodusert solenergi og salg av overproduksjon til strømnettet. Denne vil selvsagt avhenge av hvilke strømpriser som er brukt, som i dette tilfellet er satt ulike for innkjøp og salg. For begge postene er prisene basert på gjennomsnitt av månedlige spotpriser fra 2015 til 2020. Forskjellen mellom dem ligger i at det for innkjøpsprisen er lagt til 60 øre/kWt som en gjennomsnittsverdi for nettleie og avgifter. Dette er et tillegg som ikke vil tilfalle boligeier ved salg av egenprodusert strøm.

Som en kan tyde av resultatene for inntjening av solcelleanlegget tjener boligeieren altså mer på den strømmen som går til eget forbruk, enn overproduksjonen som må selges til strømnettet. Det vil derfor være mindre lønnsomt å dimensjonere solcelleanlegget for en produksjon som til tider er særlig mye høyere enn eget energiforbruk. I oppsettet av lønnsomhetsberegningen for solenergiproduksjonen blir det gjort en liten forenkling i fordeling av produksjon til eget forbruk og til nettleveranse. Å skulle beregne akkurat hvor stor andel av energiproduksjonen som blir utnyttet til eget forbruk er ikke mulig med de tilgjengelige dataene. Til dette trenger en data om forbruk og produksjon helt ned på timenivå, mens en i denne oppgaven kun har tilgang på beregninger av forbruk og produksjon på månedsbasis. I oppgaven er det derfor gjort en forenkling ved å si at all solenergien som blir produsert til enhver tid går til dekning av eget forbruk opptil et tak på månedens totale energiforbruk. Dersom energiproduksjonen i løpet av en måned er høyere enn forbruket går overskuddet til salg på strømnettet. I realiteten ville en mindre andel av energiproduksjonen gått til eget forbruk, da det meste av produksjonen skjer i løpet av de timene hvor folk er på jobb og det brukes lite strøm i huset. En større andel av energiproduksjonen vil dermed måtte selges til nettet, noe som medfører lavere lønnsomhet enn besparelsene ved eget forbruk.

Å tilstrebe like stor produksjon som forbruk til enhver tid er selvsagt umulig, grunnet de klimatiske svingningene som gjør at forbruket er høyest gjennom vinterhalvåret, når produksjonen er lavest. Et bidrag til en løsning på denne skjevfordelingen av produksjon og forbruk gjennom året hadde vært en måte å lagre den overproduserte solenergien, til tider med større energibehov. En slik lagringsmulighet kunne for eksempel vært løst ved bruk av batterier, noe som vil diskuteres nærmere i kapittel 7.

Så lenge den overproduserte solenergien kan leveres til strømnettet, er ujevnheten mellom produksjon og forbruk imidlertid først og fremst en økonomisk problemstilling. Den lavere salgsprisen en får for overskuddsenergien gjør at inntjeningen for solcelleanlegget blir dårligere, men huset vil like fullt kunne kalles et nullenergibygg, så lenge netto produksjon og forbruk av energi er omtrent null ved årets utløp.

Kostnadsmessig vil det også være best å plassere panelene direkte mot syd, for eksempel ved å vende huset 90 grader og kun bruke den sørlige takflaten til produksjon av solenergi. Panelene på denne takflaten vil da få mer solinnstråling på grunn av vinkelen, som gir økt inntjening per panel. Ved å utelate den andre takflaten som da ikke får nok sol, får huset imidlertid for lav produksjon til å kunne veie opp for forbruket. En løsning på dette kan selvsagt være å montere solcellepaneler på veggen også. Problemet med en slik installasjon er at den fort vil komme i konklikt med vindusplassering, samt det arkitektoniske uttrukket. Dette er noe som ble bestemt å forsøke å bevare i oppgavens avgrensning. Selv om det finnes forskjellige integrerte løsninger for solceller i fasade som kan se bra ut, vil disse som regel medføre høyere kostnader.

5.3.3 Tekniske installasjoner

I kapittel 4.3.3 ser en månedlig kostnadsbesparelse av redusert energiforbruk som følge av de tekniske installasjonene som er innført i tiltak 1-5. Kostnadsbesparelsene er regnet som differansen mellom energiforbruket av huset som prosjektert i utgangspunktet og med de tekniske installasjonene installert. Energibesparelsen er så multiplisert med innkjøpspris for strømmen som spares.

Siden store deler av oppvarmingen i utgangspunktet dekkes gjennom vedfyring er resultatet av inntjeningen for tiltakene noe unøyaktig. Pris per kWh av energiforbruket er litt forskjellig fra strømprisen som er benyttet for hele energibesparelsen i utregningen. En kan selvsagt velge å dele forbruket i original versjon opp i elektrisitet og brensel, da data for dette er tilgjengelig i resultatene fra SIMIEN. Det som er mer usikkert er kostnaden per kWh ved bruk av ved som energikilde. Denne vil være avhengig av både virkningsgraden til ovnen og prisene på veden, som kan variere mye etter hvor den kjøpes. Med en moderne, rentbrennende vedovn kan prisen

per kWh gjerne ligge litt under en krone dersom veden er kjøpt i et storutsalg, eller litt over hvis den er kjøpt på et mindre utsalg. Å bruke strømprisen som ligger rundt en krone per kWh anses derfor som et greit nivå, og for enkelhets skyld benyttes derfor den samme prisen for hele energibesparelsen.

Beregning av nåverdi og tilbakebetalingstid gjøres også samlet for de tekniske installasjonene i tiltak 1-5. En unøyaktighet ved dette er at noen av installasjonene har ulik økonomisk levetid. I tabellen for retningsgivende avskrivingstider som er brukt som grunnlag, varierer tallene for installasjoner som varmeanlegg, rørinstallasjoner og varmepumpe stort sett mellom 30, 25 og 15 år. Her er ikke nøyaktige tall fra produsenter undersøkt, men for enkelhets skyld benyttes 25 år i nåverdiberegningen, som anses som en nokså vanlig avskrivningsperiode (50). Beregningen vil likevel medføre noe usikkerhet, og en utskifting av varmepumpe eller andre deler kan måtte regnes med i løpet av perioden. I resultatene for tilbakebetalingstid ser en uansett at denne er lenger enn økonomisk levetid for alle de tekniske installasjonene. At alle tiltakene skal betale seg selv inn med sparte strømutgifter kan være mye å forvente, og trenger ikke nødvendigvis å være en forutsetning for at det skal være et godt tiltak. Flere av dem gir vel så store fordeler innen miljøbesparelser og komfort.

5.3.4 Ytterveggskonstruksjoner

Kostnadsberegningen for ytterveggskonstruksjonene inkluderer arbeidskostnader som er basert på et nokså grovt anslag. I tillegg til materialpris er det benyttet et tidsanslag for hver materialenhet, som multipliseres med mengden. Disse verdiene er Norgeshus sine private tall, og vil derfor ikke publiseres. Det er ikke gjort noen videre justeringer av tidsbruken for de forskjellige bygningsteknologiene. Dermed er det for eksempel ingen ting som skiller normalt bindingsverk i heltre fra delt bindingsverk, utenom en lineær økning i materialkostnader og tidsbruk ved en eventuell økt materialbruk. Totalt timeantall multipliseres med en timepris for arbeid som kun er anslått etter beste evne. Arbeidskostnadene utgjør den desidert største kostnaden for veggkonstruksjonene, og denne kan derfor påvirke totalprisen mye. Siden timeprisen er den samme for alle veggkonstruksjonene vil denne ikke forstyrre resultatene for mye under sammenligningen av scenarioene. Det er likevel viktig å merke seg at de totale merkostnadene for veggkonstruksjonene kan variere med timeprisen for arbeidet, noe som vil påvirke nåverdi og tilbakebetalingstid.

Som en ser i resultatene skiller ytterveggskonstruksjonene med I-stendere seg ut som ekstra rimelige i forhold til de andre. I beregningsgrunnlaget skyldes dette først og fremst lav tidsbruk. Dette kan muligens forklares av at I-profilene er lett å håndtere, kappe og tilpasse, uten at det er

gjort noen videre undersøkelser rundt dette. En usikkerhet rundt prisen for denne veggteknologien er den spesialtilpassede isolasjonen som skal fylle ut volumet i steget til profilene. På grunn av manglende priser og beregningsmetoden som ble brukt, er en eventuell merkostnad for disse produktene ikke tatt hensyn til. Den totale kostnaden for veggkonstruksjonene med I-stendere kan derfor være noe høyere i realiteten.

5.3.5 Forslag til omprosjektering

En ser av kostnadsberegningene for de foreslåtte tiltakene at også totalinvesteringen er økonomisk lønnsom. Resultatene av de økonomiske beregningene kunne blitt enda bedre dersom kostnader hadde blitt prioritert høyere i valgene som ble gjort. Dette ville i så fall ha gått på bekostning av andre aspekter, som tekniske ytelser. Siden poenget med omprosjekteringen i utgangspunktet var å finne en balanse mellom energiproduksjon og redusert forbruk, anses tiltakene som riktige til tross for kostnadene de medfører.

Nåverdien for den totale investeringskostnaden for forslag til omprosjektering er regnet ut med et felles tall på økonomisk levetid, til tross for at dette tallet varierer for de ulike tiltakene som inngår i forslaget. Bygningsmessige konstruksjoner, som ytterveggen, kan gjerne avskrives over 60 år, mens det for varmeanlegg og solcellepaneler er brukt 25 år. I tillegg utgjør de forskjellige tiltakene ulike andeler av totalkostnaden, samtidig som de bidrar i ulik grad til de årlige kostnadsbesparelsene. I forslag til omprosjektering er det valgt å benytte den laveste økonomiske levetiden som inngår i totalinvesteringen, på 25 år. Dette er gjort for å være sikker på at hele tiltaket holder seg ut perioden som er brukt i beregning av nåverdien. Dersom beregningsperioden hadde vært satt nærmere ytterveggskonstruksjonens økonomiske levetid ville nåverdien vært enda høyere. Som en ser av resultatene er nåverdien likevel positiv selv med perioden som er benyttet på 25 år. Dette er alt som kreves for at investeringen skal betraktes som lønnsom etter nåverdimetoden, med de gitte inngangsparameterne. Når en i tillegg ser at tilbakebetalingstiden på 23 år er kortere enn den avskrivingstiden som er brukt, kan en si seg fornøyd med resultatene av kostnadsanalysen.

5.4 Livsløpsanalyse

5.4.1 Utgangspunkt

Resultatene av livsløpsanalysen for Dråpen slik huset var prosjektert i utgangspunktet viser at den desidert største utslippsposten er energibruk, og at en har mye å gå på før utslipp til transport, materialer og gjenvinning overgår denne. Det kan altså virke som det er mye å hente på å innføre energibesparende tiltak, selv om disse medfører økt materialbruk.

Det er verdt å nevne at den originale versjonen av huset ikke er lagt inn i veldig stor detalj, da det først og fremst er ekstra materialer for tiltakene som undersøkes og sammenlignes med hverandre. Som beskrevet i metode er det også varierende kvalitet på datagrunnlaget for de forskjellige komponentene, da det for noen av dem er funnet produktspesifikke EPD-er, mens andre er basert på generiske verdier. Analysen viser likevel et overslag som gir en god pekepinn på nivået av miljøpåvirkningene til huset.

5.4.2 Solcellepaneler

Når det installeres solcellepaneler på huset ser en at utslippsposten for installasjoner og systemer femdobles, mens ressursen for energibruk halveres. Resultatene viser altså hvor store klimagassutslipp produksjonen av solcellepanelene medfører. Som en kunne frykte veies disse heller ikke opp av energiproduksjonen de gir, da de totale klimagassutslippene for huset øker med 16 tonn CO_2e. Dette til tross for at huset nå produserer mer strøm enn det forbruker. For å avklare må det presiseres at huset fortsatt har et stort forbruk av biobrensel som kommer i tillegg, og er altså ikke et plusshus eller nullenergibygg enda. Årsaken til de dårlige resultatene er at elektrisitetsforbruket som fjernes allerede har lave klimapåvirkninger, da også den stort sett er produsert av fornybare energikilder i Norge (90). Med et mer globalt strømmarked og større strømforbruk grunnet elektrifisering i fremtiden, vil panelene sannsynligvis gi større klimabesparelser også i Norge (89).

Som det kommer frem i søylen for «andre strukturer og materialer», i figur 25, kapittel 4.4.2, utgjør vedlikehold og utskiftning en stor post. En mulig forklaring på dette kunne være av at solcellepanelene som ligger i denne kategorien har en dimensjonerende levetid på 25 år, mot byggets totale dimensjoneringsperiode på 60 år. Solcellepanelene kan derfor måtte byttes ut før resten av bygget, selv om panelene gjerne kan vare lenger enn den oppgitte garantitiden også. Når inndataen for panelenes levetid endres i One Click LCA endrer resultatene seg imidlertid ikke, og det kan altså virke som dette ikke tas hensyn til likevel. I så fall vil de totale klimagassutslippene for huset med solcelleanlegg muligens bli enda høyere, dersom panelene må skiftes ut i løpet av husets levetid.

Som nevnt i kapittel 3.7 er det undersøkt alternativer for norskproduserte og kinesiske solcellepaneler. Likevel ser en i resultatene for livsløpsanalysen at de kinesiske panelene er sammenlignet med gjennomsnittsverdier for europeiske paneler. Dette er fordi det ikke fantes EPD for de norske panelene i databasen til One Click LCA, og de europeiske verdiene ble dermed de nærmeste. For de kinesiske panelene er det også benyttet gjennomsnittsverdier, da EPD for den eksakte produsenten ikke var tilgjengelig her heller. Miljøpåvirkningene fra produksjonen av de norske panelene kan i realiteten være lavere enn de europeiske gjennomsnittsverdiene som er benyttet. Produksjonen av silisiumet som benyttes i de norske panelene er nemlig blant verdens mest miljøvennlige (91). Likevel må en benytte den dataen en har tilgjengelig, som i dette tilfellet er de europeiske gjennomsnittsverdiene.

Resultatene av sammenligningen mellom de europeiske og de kinesiske panelene viser relativt små forskjeller. Det som ikke kommer frem av datagrunnlaget for de ulike panelene er eventuelle variasjoner i kvalitet og levetid, som gjerne først vil vise seg mange år etter installasjon. Slike forskjeller kan være vanskelig å finne data og dokumentasjon på siden det er snakk om relativt nye produkter. Integreringssystem for de kinesiske panelene er ikke lagt inn i beregningene, da det ikke fantes datagrunnlag for et slikt system i programmet. I realiteten vil klimapåvirkningene ved valg av de kinesiske solcellepanelene med integrasjonssystem dermed bli enda høyere enn hva som fremkommer av resultatene, noe som styrker beslutningen om å velge de norske panelene uten integrasjonssystem.

For de kinesiske panelene legges det inn transport med skip fra Kina til Norge. Som en ser av resultatene gir dette nokså liten påvirkning på klimagassutslippene, noe som sannsynligvis skyldes de store mengdene varer disse skipene rommer.

5.4.3 Tekniske installasjoner

Som en ser av resultatene av livsløpsanalysen for de tekniske installasjonene i tiltak 1-5, medfører også disse en liten økning i posten for installasjoner og systemer. Denne er likevel veldig liten i forhold til økningen en så for solcelleanlegget i forrige avsnitt. Samtidig ser en også en reduksjon i utslippet fra energibruk, som totalt bidrar til å redusere de samlede klimagassutslippene med hele 25 tonn CO_2e. Dette må sies å være en meget stor reduksjon.

Årsaken til at dette tiltaket gir så gode resultater i forhold til solcelleanlegget finner en ved å se på søylediagrammene for klimagasser fordelt på klassifikasjoner, for tiltakene. Her ser en at posten for brenselforbruk er fjernet helt, da tiltakene medfører å erstatte ovn og pipe med vannbåren gulvvarme og varmepumpe som energikilde. Den norske elektrisiteten har lavere klimapåvirkning enn vedfyring. Den største klimabesparelsen skyldes likevel at varmepumpen har en mye bedre utnyttelse av den tilførte energien, enn selv en moderne, rentbrennende vedovn.

5.4.4 Ytterveggskonstruksjoner

Som en ser av livsløpsanalysene for de ulike veggkonstruksjonene, har Isostender store utslipp. Dette skyldes antagelig at det er den stendertypen som er mest bearbeidet. Der de andre stendertypene er laget ved bruk av naturmateriale, har isostenderne en kjerne av polyuretan som først må framstilles og deretter settes sammen med de to tredelene. Stenderne med I-profil krever også noe mer maskinelt arbeid for å produseres enn stenderne i heltre, men denne prosessen er antagelig langt mindre krevende miljømessig enn produksjonen av isostenderne.
I tabell 33, kapittel 4.4.4, som viser klimagassutslipp for de forskjellige ytterveggskonstruksjonene, ser en at det er lite som skiller isolasjonsklasse 32 og 34. Med tanke på klimagassutslipp kan en derfor anbefale bruk av den beste isolasjonsklassen, men som en ser i den samlede vurderingen av løsningene er den forbedrede energieffektiviteten ikke nødvendigvis verdt det med tanke på pris.

I livsløpsanalysen for den valgte ytterveggskonstruksjonen i scenario E.2.5 ser en at de totale klimagassutslippene er redusert med 10 tonn CO_2e. Reduksjonen skyldes lavere brenselforbruk, som følge av det reduserte oppvarmingsbehovet. Det eneste som er tilført av materialer i dette tiltaket er isolasjon og konstruksjonsvirke. I kakediagrammet for klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer, ser en at både utslippsandelen for tre og isolasjon naturligvis har økt litt. Dette er imidlertid bare så vidt merkbart, og fordelingen er stort sett omtrent lik som for huset slik det er prosjektert i utgangspunktet. Med tanke på totale klimapåvirkninger kan en konkludere med at den forbedrede ytterveggskonstruksjonen er et svært godt tiltak.

5.4.5 Forslag til omprosjektering

Resultatet av den samlede livsløpsanalysen for alle tiltakene som inngår i forslag til omprosjektering viser en reduksjon på 10 tonn CO_2e sammenlignet med utgangspunktet. Som en så i forrige avsnitt er reduksjonen fra den valgte ytterveggskonstruksjonen alene like stor som reduksjonen fra denne samlede løsningen. Grunnen til at den samlede løsningen i forslag til omprosjektering likevel er bedre, er selvsagt at den samtidig oppnår tilnærmet netto null

energibehov. For å få til dette må det installeres et solcelleanlegg for egenproduksjon av energi, som i resultatene medfører økte klimagassutslipp. For å redusere disse innføres noen tekniske installasjoner i tiltak 1-5, som blant annet innebærer total erstatning av brensel som energikilde. I tillegg bidrar den forbedrede ytterveggskonstruksjonen til å bringe energibehovet enda lenger ned. Gjennom samspillet mellom de forskjellige tiltakene er det altså mulig å oppnå tilnærmet netto null energiforbruk, samtidig som de totale klimagassutslippene for bygget reduseres. Sammenligningen av resultatene fra livsløpsanalysene for de ulike tiltakene gir en oversikt over hvilken betydning de har hver for seg. Som en ser av de totale utslippene i forslag til omprosjektering, utgjør endringen fra hvert enkelt tiltak naturligvis litt mindre i den samlede løsningen.

5.5 Termisk komfort og dagslys

Resultatene fra Tony-Andreas Arntsen sitt studie om termisk inneklima og dagslys, viser at det uavhengig av løsning vil være tilstrekkelig med dagslys i bygget. Dette var ikke uventet, da Dråpen har et meget stort glassareal. Den termiske komforten derimot, er noe mer problematisk. Her viser både resultatene til Tony og simuleringene i SIMIEN at originalverjonen av bygget overopphetes langt mer enn 50 timer i året. Denne overopphetingen kommer som et resultat av store glassflater og at det kun benyttes innvendig solavskjerming i form av persienner. For å redusere antall timer med overoppheting til under 50 timer årlig vil en utvendig solavskjerming være tilstrekkelig. Ved å benytte en utvendig screen vil man stoppe mesteparten av solenergien før den kommer inn gjennom glassflaten, og på den måten vil man lettere klare å holde lavere innetemperaturer ved sterk solstråling. Dersom man ikke ønsker å benytte utvendig solavskjerming vil et alternativ være å installere kjølebatterier i ventilasjonsanlegget. En slik løsning vil øke byggets energibehov betraktelig, og anses derfor som en mindre egnet løsning.

5.6 Valg av ytterveggskonstruksjon

Av de 27 scenarioene som er undersøkt får over halvparten lik eller lavere poengsum enn utgangspunktet. Scenario B.1.1 er det eneste scenarioet med heltrestendere som scorer høyere enn utgangspunktet.

Scenarioene med isostendere scorer generelt ganske lavt. Samtlige av disse scenarioene får lavere sluttsum enn utgangspunktet. Dette er noe overraskende da disse stenderne scorer høyt på både energi og areal, men de lave scorene for miljø er det som trekker poengsummen til disse stenderne ned.

Resultatene fra den samlede vurderingen av de ulike scenarioene viser en trend hvor løsningene med delt bindingsverk og I-stendere får de høyeste poengsummene. Hele 11 av de 12 høyeste poengsummene går til disse to konstruksjonstypene. Det er ganske jevnt i toppen, men E.2.5 og G.1.1 er de scenarioene får høyest poengsum med 58 av totalt 80 mulige poeng. I og med at disse ender opp med lik poengsum må en av dem velges bort. E.2.5 har både lavere klimagassutslipp, pris og veggtykkelse. Det er derfor dette scenarioet som blir benyttet når forslaget til omprosjektering legges frem.

Det gjøres oppmerksom på at poengsummene for scenarioene selvsagt avhenger av hvilken vekting som velges for de fire kategoriene. Siden denne oppgaven i hovedsak skrives fra et byggteknisk perspektiv er det gitt høyest vekting til energibehovet som ytterveggskonstruksjonene gir. Ved andre prioriteringer og annen vekting vil et annet alternativ kunne pekes ut som den beste løsningen.

5.7 Sammenlikning med andre studier

Ved siden av denne oppgaven har det foregått to parallelle studier av Dråpen. Resultatene fra disse studiene, samt Norgeshus sine simuleringer i TEK-sjekk, er satt opp i tabell 40. Resultatene fra TEK-sjekk er mottatt i en e-post fra Snorre Bjørkum, teknisk sjef i Norgeshus (snorre.bjorkum@norgeshus.no) i mars 2021. Resultatene fra PHPP er mottatt i en e-post fra Bozena Dorota Hrynyszyn, ph.d. (bozena.d.hrynyszyn@ntnu.no) i april 2021. Resultatene fra Ida ICE er mottatt i en e-post fra Tony-Andreas Arntsen, masterstudent (tonyanda@stud.ntnu.no) i april 2021.

Det er noe variasjon i inputverdiene som er benyttet, men det er kvaliteten på vinduene som utgjør den største forskjellen mellom de fire simuleringene. Det er nylig gjort en oppgradering av Dråpen hvor U-verdien på vinduene har blitt redusert. Denne reduksjonen er kun innført i simuleringene gjennomført i SIMIEN tilknyttet denne oppgaven. De resterende simuleringene er basert på den tidligere versjonen med en høyere gjennomsnittlig U-verdi. For å ha et sammenlikningsgrunnlag er alle resultatene basert på originalversjonen av Dråpen.

	SIMIEN	TEK-sjekk	PHPP	Ida ICE
Gj.snitt U-verdi vinduer [W/(m^{2}K)]	0,72	0,9	0,9	0,9
Oppvarmingsbehov [KWh/m^2/år]	45,6	47,6	49,9	43,86
Spesifikt energibehov [KWh/m^2/år]	108,8	111	173	-

Tabell 40: Sammenligning av resultater.

Oppvarmingsbehovet som fremkommer fra de ulike programvarene, er relativt forskjellig. Med tanke på at det i SIMIEN-simuleringen er benyttet vinduer med bedre varmetekniske egenskaper enn i de andre programvarene, skulle man forvente at dette resulterte i lavest oppvarmingsbehov. Det er ikke tilfellet. Ida ICE er det programmet som gir lavest oppvarmingsbehov. Resultatene fra Tek-sjekk og PHPP derimot gir et noe høyere energibehov.

For det totale energibehovet er det kun framskaffet data fra Tek-sjekk og PHPP. Disse verdiene spriker enormt. Sammenlikner man resultatene fra SIMIEN med resultatene fra TEK-sjekk ser man at det spesifikke energibehovet er 2,2kWh/m^2 høyere i TEK-sjekk. Dette er omtrent den differansen man ser i oppvarmingsbehovet og kan dermed forklares av ulikheten i vinduenes varmetekniske egenskaper. Det at disse to programmene gir såpass like resultater er å forvente da de begge baserer beregningene på NS3031. Oppvarmingsbehovet i PHPP er noe høyere enn for de to andre programmene men det er ikke nok til å gjøre et så stort utslag på det totale energibehovet, og må derfor ha en annen forklaring. Hvorfor energibehovet i PHPP er såpass høyt er vanskelig å si, men det kan antageligvis komme av at det er regnet med et høyere forbruk av varmtvann og tekniske installasjoner.

5.8 Utfordringer og muligheter ved nullenergibygg

Det vil være flere utfordringer knyttet til nullenergibygg. Den største utfordringen er å redusere energiforbruket uten at det går på bekostning av klimagassutslippene. Dersom reduksjonen av energiforbruk medfører en økning i klimagassutslipp vil hovedpoenget med konseptet forsvinne.

Det norske klimaet bringer med seg en del utfordringer når det kommer til nullenergibygg. Sammenlikner man resultatene fra figur 17 og figur 18, ser man at energiproduksjonen vil være størst på den tiden av året energibehovet er lavest og vice versa. Dette vil ikke være et stort problem så lenge man har mulighet til å levere overskuddsenergien tilbake til strømnettet slik at andre kan benytte seg av den. Det vil derimot bli en stor utfordring dersom for mange bygg produserer energi. Man vil da i verste fall stå igjen med en stor mengde energi på sommerhalvåret som ikke blir anvendt, og dermed går tapt med mindre den lagres.

Klimaet i Norge, med kalde dager og snø på vinterhalvåret, vil også by på utfordringer. Dersom det legger seg is og snø oppå solcellepanelene vil snøen skjerme for innkommende sollys, og dermed redusere panelenes energiproduksjon. Dersom man undersøker figur 17 ser man at det ikke er snakk om et veldig stort tap av energi, men det er allikevel noe man må ta til betraktning med tanke på at det er på vinterhalvåret energibehovet er størst.

Solcelleteknologien går meget raskt fremover. Utviklingen kan bidra til å gjøre nullenergibygg enda mer aktuelle for fremtiden. Virkningsgraden på solcellene øker samtidig som at prisene blir lavere. Bare siden 2010 har det vært en prisnedgang på 90% per W (92). Nye teknologier forskes på hele tiden, og dersom man skulle finne nye og mer miljøvennlige måter å produsere solceller på, er det gode muligheter for nullenergibygg i fremtiden.

Ut ifra resultatene fra beregningene i denne oppgaven ser man at det selv i dagens marked er økonomisk lønnsomt å gjennomføre den foreslåtte omprosjekteringen til nullenergibygg. Basert på kalkulasjonsrenten fra kapittel 4.3.1 er nåverdi for investeringen beregnet til 45 105 kr, som vil si at investeringen er lønnsom med de gitte forutsetningene som er satt.

Tilbakebetalingstiden er beregnet til 23 år. Dette er akkurat under korteste økonomiske levetid for tiltakene som inngår i omprosjekteringen, på 25 år, som dermed er satt som avskrivingstid for hele omprosjekteringen. Den økonomiske levetiden på 25 år samsvarer blant annet med normal produkt- og ytelsesgarantitid for solcellepaneler (93). For ytterveggskonstruksjonen kan derimot økonomisk levetid være opp mot 60 år, slik at denne delen av investeringen er tilbakebetalt allerede etter litt over en tredjedel av avskrivingstiden. I tillegg er det verdt å merke seg at teknisk levetid som regel er lenger enn økonomisk levetid, slik at tiltakene i praksis kan opprettholde sin funksjon og gi avkastninger utover avskrivingstidene som er benyttet i kostnadsberegningene (50).

5.9 Diskusjon av metode

I denne oppgaven ble kun et lite utvalg tiltak, tekniske installasjoner og byggtekniske løsninger undersøkt. Det finnes utallige løsninger og installasjoner for å redusere energibruken i private hjem. Man kunne med fordel undersøkt flere av disse alternativene. På den måten kunne man i større grad sammenliknet effekten av de ulike tiltakene og brukt resultatene til å vurdere hvilke tiltak som burde innføres.

Når det kommer til metoden for valg av ytterveggløsning, ble denne metoden benyttet for å forsøke å gjøre et helhetlig valg basert på flere ulike parametere. Man kunne løst dette på flere ulike måter. Løsningen som ble benyttet har noen begrensninger. Det at poengskalaen kun gikk fra 1 til 10 førte til at noen av løsningene fikk lik score innenfor en kategori og dermed ikke ble skilt i fra hverandre til tross for at de hadde ulike resultater fra undersøkelsene. For å løse dette problemet kunne man ha gjort skalaen større slik at mindre forandringer også ble fanget opp av poengsystemet. Dette ble valgt bort da det ble ansett som mindre oversiktlig og lite hensiktsmessig.

Oppgavens avgrensninger medførte at valg av ytterveggsløsning ble tatt på bakgrunn av klimadata fra kun Oslo. Ideelt sett burde det blitt valgt en egnet yttervegggløsning for hvert enkelt klimasted. For å oppnå så høy energiproduksjon som mulig kunne paneler med enda høyere effekt blitt inkludert i beregningene. Med avgrensingen om å kun se på paneler foreslått av Norgeshus sine samarbeidspartnere, måtte derimot paneler av høyere effekt enn 370Wp utelates.

Det ble valgt å gjøre livsløpsanalysen som et overslag, ved hjelp av en stor andel generiske komponenter opprettet av programvarens produsent. Siden oppgavens hovedfokus er nullenergibygg, ble det ansett som mindre viktig å bruke mye tid på å finne nøyaktige data for hver enkelt komponent som inngikk i livsløpsanalysen. Dette medførte at resultatene fra livsløpsanalysene ble meget grove og kun kan brukes for å sammenlikne ulike resultater, og ikke til å si noe om faktiske klimagassutslipp.

5.10 Feilkilder

Den store datamengden som er benyttet og undersøkt i denne oppgaven medfører en fare for både tastefeil og avlesningsfeil. Dette gjelder spesielt i de tilfellene det er hentet resultater fra en undersøkelse som brukes videre i en annen operasjon, som ved poengmatrisen for valg av yttervegggløsning. Her er data for 27 ulike scenarioer hentet fra tre ulike undersøkelser før det er satt inn i et regneark. Det er ikke mulig å overføre resultatene fra SIMIEN inn i regneark direkte. Inntasting av data fra programmene har derfor blitt gjort manuelt noe som øker faren for avlesnings- og tastefeil.

Grunnet mangel på informasjon er det gjort en del antagelser i undersøkelsene, noe som kan anses som en stor feilkilde. Både strømpriser og rentesatser er basert på historisk data og er antatt å følge den samme trenden fremover. Man har i utgangspunktet ingen forutsetninger for å si at utviklingen vil fortsette i denne retningen og dette er derfor kilder til feil i kostnadsanalysen. Alle materialmengdene og arbeidskostnadene som er benyttet i både kostnads og livsløps-analysen er basert på antagelser. Dette er en stor feilkilde som påvirker begge analysene. Også i energisimuleringene ble det gjort en del antagelser. Der det ikke ble funnet konkret data om bygget ble standardverdiene som allerede ligger i SIMIEN benyttet. Det er en høy sannsynlighet for at disse ikke stemmer med situasjonen i det virkelige bygget og dermed gir utslag i form av gale resultater. I og med at alt av inndata er lagt inn manuelt i SIMIEN og One Click LCA er det også en fare for at det kan ha forekommet avlesningsfeil og tastefeil når verdier har blitt satt inn i programmene.

6 Forslag til omprosjektering

På bakgrunn av alle analysene og simuleringene som er gjennomført skal det i dette kapittelet legges fram et forslag til omprosjektering av Dråpen.

Av de energieffektiviserende tiltakene og tekniske installasjoner som er undersøkt foreslås følgende:

- Oppnå 85% virkningsgrad på varmegjenvinneren i ventilasjonsanlegget og SFP på 1,2. ved å omprosjektere ventilasjonsanlegget.

-Oppnå lekkasjetall på 0,6h^{-1} ved å ha fokus på tetthet under både prosjektering og bygging.

-Bytte ut vedovn og skorstein med en 2,7kW geotermisk varmepumpe og lavtemperatur vannbåren gulvvarme.

-Installere vann- og energibesparende tappearmatur på alle tappesteder.

-Installere en stående direkte rørgjenvinner for varmegjenvinning av gråvann som kobles til bad/dusj.

-Installere 42stk. 370W norskproduserte BAPV

Etter å ha kommet ut best i den sammensatte vurderingen av alle scenarioene foreslås det å benytte en yttervegg løsning med et todelt stenderverk med stenderdimensjoner 48x148mm og 48x73mm med et 50mm mellomliggende isolasjonssjikt for å bryte byggets kuldebroer. Stenderen på 148mm plasseres ytterst, og vil være den bærende delen av ytterveggen. På innsiden av dampsperren skal det fores ut med en 48mm installasjonsvegg, som kles med innvendig kledning. Isolasjonen som benyttes skal være av klasse 34. På utvendig side bygges veggen opp som en vanlig, norsk trevegg, med vindsperre og luftet kledning.

Med omprosjekteringen som foreslås vil byggets energiregnskap bli seende slik ut for de ulike lokasjonene som er undersøkt:

Lokasjon	Energiforbruk [kWh/år]	Energiproduksjon [kWh/år]	Netto energiforbruk [kWh/år]
Bergen	9 824	9 469	- 355
Kristiansand	9 835	12 346	+ 2 511
Oslo	10 589	10 936	+ 347
Tromsø	11 546	8 743	- 2 803
Trondheim	10 565	9 958	- 607

Tabell 41: Energiregnskap for de undersøkte byene.

Man ser fra energiregnskapet at omprosjekteringen vil få veldig ulikt utslag avhengig av lokasjon. Der energiproduksjon er størst er behovet lavest. Med definisjonen av nullenergibygg beskrevet i kapittel 2.2 kan man se at huset etter omprosjekteringen ender opp med å bli et nullenergibygg på alle lokasjonene bortsett fra i Tromsø. I Kristiansand og Oslo er energiproduksjonen så høy at bygget blir et plusshus dersom det plasseres i en av disse to byene.

Kostnadsanalysene som er gjort for beregning av priser og inntjening for hvert av tiltakene, og den samlede løsningen i forslaget til omprosjektering, vises i tabell 42.

Tiltak	Netto pris [NOK]	Årlig inntjening [NOK]
Innledende tiltak 1-5, tekniske installasjoner	144 276	6 745
42 stk. solcellepaneler, 370Wp	143 750	8 329
Ytterveggskonstruksjon, scenario E.2.5	97 409	2 411
Forslag til omprosjektering, samlet løsning	**385 435**	**14 659**

Tabell 42: Netto pris og årlig inntjening for tiltakene.

Videre viser tabell 43 at totalinvesteringen som kreves for den samlede løsningen i forslag til omprosjektering er økonomisk lønnsom, basert på den beregnede kalkulasjonsrenten fra kapittel 4.3.1 og de gitte forutsetningene.

Analyse	Resultat
Nåverdi, [NOK]	45 105
Tilbakebetalingstid, [år]	23

Tabell 43: Nåverdi og tilbakebetalingstid.

Tabell 44 viser klimagassutslipp for huset i forslag til omprosjektering.

Versjon	Klimagassutslipp [kg CO_2e]	Endring [kg CO_2e]
Utgangspunkt	81 274	0
Forslag til omprosjektering	70 909	- 10 365

Tabell 44: Beregnede klimagassutslipp for Dråpen.

7 Forskning og utvikling – Elbilbatterier til lagring av solenergi

I kostnadsberegningene for huset med det installerte solcelleanlegget så en hva det betyr for inntjeningen å få benyttet mest mulig av den egenproduserte solenergien til eget forbruk. Siden produksjonen og forbruket ikke alltid skjer på samme tid gjennom dagen og måneden, er en energilagringsmulighet svært gunstig. Dersom flere bygg begynner å produsere egen energi slik at man ikke lenger kan levere overskuddsenergien ut på strømnettet igjen vil det bli helt essensielt å finne en løsning for å lagre overskuddsenergien. Det finnes allerede flere firmaer som selger batterier som skal brukes i tilknytning til solcelleanlegg. For å unngå unødvendig produksjon av batterier finnes det muligens et mer miljøvennlig alternativ ved gjenbruk av gamle elbilbatterier.

Ved inngangen til 2020 var 9,3% av alle personbilene i Norge elektriske, og dersom trenden fortsetter vil det bli enda flere elbiler på norske veier i årene som kommer (94). Dersom batteriene til disse bilene får redusert kapasitet, eller om bilen havner i en ulykke er det flere av dem som vrakes. Grunnet høye reparasjonskostnader, og momsfratrekk ved kjøp av ny elbil, er det flere som velger å kjøpe ny bil foran å reparere den gamle. Dette medfører at man sitter igjen med massevis av gamle elbilbatterier. En kan tenke seg at man kan benytte de gamle batteriene i nye biler, men dette er det flere i bilbransjen som stiller seg kritiske til. Skeptikerne peker på at det vil være fare for kortslutning og brann dersom man gjenbruker batterier og de ikke installeres skikkelig (95). Mange merkeverksteder unngår gjenbruk av gamle elbilbatterier fordi kvaliteten ikke kan dokumenteres å være like høy som det som kreves i bilen (96). Batteriene blir derfor ofte sendt direkte til gjenvinningsstasjonen. Med dagens teknologi antas det at man klarer å gjenvinne omtrent 75% av elbilbatteriene (97). Dette betyr at hele 25% av resursene går tapt når batteriene skrotes.

Dersom et batteri er i sikkerhetsmessig god stand, men ikke har god nok ytelse til å kunne brukes i en bil, kan bruk i et nullenergibygg være en god løsning. Her finnes ikke den samme bekymringen om rekkevidde, og batteriets ytelse er dermed ikke et like viktig tema. En ønsker selvsagt best mulig lagringskapasitet i de batteriene som monteres, men så lenge en får utnyttet batteriene som ellers ikke ville hatt noe formål lenger, er all hjelp positiv i et nullenergibygg.

Det finnes allerede noen bygninger hvor elbilbatterier har blitt brukt til å lagre solenergi produsert i tilknytning til bygget. Bislett stadion i Oslo er et slikt eksempel (98). Når det kommer til bruk av slike batterier i bolighus er det derimot vanskelig å finne noen konkrete

eksempler hvor dette er gjort. Å implementere gamle elbilbatterier i bolighus burde være relativt enkelt, og det kan være løsningen på flere av miljøproblemene knyttet til elbilindustrien.

På et tidspunkt må alle batteriene plukkes fra hverandre og gjenvinnes, ved å gi batteriene et ekstra stoppested på veien mot gjenvinningsstasjonen vil man forhåpentligvis bidra til store reduksjoner av klimagassutslipp.

8 Konklusjon

Denne oppgaven har vist at det vil være hensiktsmessig å oppgradere en enebolig med dagens standard til å bli et nullenergibygg, både med tanke på energieffektivisering, klimagassutslipp og kostnader. Med den foreslåtte omprosjekteringen vil det undersøkte huset havne i kategorien nullenergibygg i både Bergen, Kristiansand, Oslo og Trondheim, men ikke i Tromsø.

Livsløpsanalyser av den foreslåtte omprosjekteringen viser at man vil oppnå en vesentlig reduksjon av klimagassutslippene gjennom byggets levetid sammenliknet med den originale løsningen. Av de energieffektiviserende tiltakene bidrar utskiftingen av vedovn til varmepumpe med de største besparelsene i energiforbruk, og klimagassutslipp. Den valgte ytterveggskonstruksjonen med delt bindingsverk medfører også betydelige reduksjoner i energibehov, som bidrar til reduksjon i klimagassutslipp.

Livsløpsanalysene viser at innføring av delt bindingsverk i seg selv medfører like store klimagassbesparelser som den totale omprosjekteringen. Installasjon av solcellepanelene, medfører derimot en økning i totale klimagassutslipp, grunnet erstatning av allerede ren energi. For å få et nullenergibygg er en imidlertid avhengig av en kombinasjon av solcelleanlegget og alle de energieffektiviserende tiltakene. Huset får da en total nedgang i klimagassutslipp samtidig som det produserer nok strøm til å havne i kategorien nullenergibygg.

Gjennom kostnadsestimater og enkle økonomiske beregninger har en sett at investeringen som den foreslåtte omprosjekteringen krever, oppnår en positiv nåverdi, og at tilbakebetalingstid ligger innenfor den økonomiske levetiden. Selv om tiltakene medfører en stor startinvestering, vil de altså være lønnsomme i det lange løp. Den totale investeringssummen antas å være oppnåelig for en vanlig familie, men kan nok fort nedprioriteres dersom tiltakene er frivillige. Derfor kreves det fortsatt noen grep fra myndigheter for at nullenergibygg skal bli et mer attraktivt valg. Dette kan for eksempel innebære insentiver for valg av nødvendige energieffektiviserende tiltak. Et alternativ er selvsagt lovpålagte tiltak, noe som allerede kan nærme seg gjennom forventede innstramminger i byggteknisk forskrift.

Nullenergibygg medfører betydelige besparelser i energibruk og klimapåvirkninger. Slik situasjonen er i Norge i dag, vil det ha større klimaeffekt å kun innføre energibesparende tiltak, enn å også skulle installere solceller for å få den egenproduserte strømmen som kreves i et nullenergibygg. I en fremtid der samfunnet stadig elektrifiseres og strømmarkedet blir mer globalisert, kan klimaeffekten av besparelsene øke, noe som vil gjøre nullenergibygg mer aktuelt.

9 Videre arbeid

Denne oppgaven har vist at det teoretisk vil være mulig å omprosjektere en standard norsk enebolig til å bli et nullenergibygg. Løsningen som foreslås i denne oppgaven viser seg å gi en stor reduksjon av klimagassutslipp. Ved en videreføring av denne oppgaven bør det gjennomføres en detaljprosjektering av forslaget som er lagt fram. Når detaljprosjekteringen er gjennomført bør det utføres nye, og mer omfattende analyser av både energiforbruk, klimagassutslipp og kostnader for å danne et mer nøyaktig bilde av hvordan huset vil prestere, og hvilket prisnivå omprosjekteringen havner på. Etter at detaljprosjekteringen med tilhørende analyser er gjennomført vil neste steg i prosessen være å bygge huset på en av de undersøkte lokasjonene. Etter bygging vil det være interessant å holde øye med husets energiregnskap for å kontrollere om huset presterer på lik linje med resultatene fra undersøkelsene.

Figurer

Figur 1: Dråpen original (10) 5
Figur 2: Energibruk i norske husholdninger fordelt på forbruksposter (14) 6
Figur 3: Virkemåten til en solcelle (23) 8
Figur 4: Solfangeranlegg for indirekte oppvarming av varmtvann (19) 9
Figur 5: Typisk virkningsgrad for ulike typer solfangere (19) 9
Figur 6: Roterende varmegjenvinner (31) 10
Figur 7: Kretsløpet i en varmepumpe (33) 11
Figur 8: Energibesparende tappearmatur (36) 11
Figur 9: Vannbesparende tappearmatur (36) 12
Figur 10: Stående direktevirkende rørgjenvinner (40) 12
Figur 11: Lagertank med rørspiral (41) 13
Figur 12: Ulike typer kuldebroer. Illustrert av: Sakya, M.A. 14
Figur 13: Bindingsverksvegg med heltrestendere Illustrasjon: Sakya, M.A. 16
Figur 14: Bindingsverksvegg med skumisolerte trestender Illustrasjon: Sakya, M.A. 16
Figur 15: Bindingsverksvegg med I-profiler Illustrasjon: Sakya, M.A. 17
Figur 16: Todelt bindingsverksvegg Illustrasjon: Sakya, M.A. 17
Figur 17: Månedlig produksjonspotensial for de undersøkte byene 44
Figur 18: Oversikt over månedlig netto energibehov for scenario E.2 48
Figur 19: Varmetapsbudsjett for scenario A, B.1, E.1 og E.2 49
Figur 20: Totalkostnader for de ulike ytterveggskonstruksjonene 53
Figur 21: Merkostnader for de ulike ytterveggskonstruksjonene, som totalpris fratrukket pris av utgangspunkt i scenario A 53
Figur 22: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer for originalversjonen av Dråpen 57
Figur 23: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler for originalversjonen av Dråpen 57
Figur 24: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer ved innføring av de norskproduserte solcellepanelene 58
Figur 25: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler ved innføring av de norskproduserte solcellepanelene 58
Figur 26: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer ved innføring av de tekniske installasjonene 59

Figur 27: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler ved innføring av de tekniske installasjonene 59
Figur 28: Totale utslipp av CO_2e for de ulike scenarioene som er vurdert, fordelt på ulike utslippsfaser 61
Figur 29: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer for scenario E.2.5 62
Figur 30: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler for scenario E.2.5 62
Figur 31: Klimagassutslipp fordelt på ressurs-typer ved foreslått omprosjektering 63
Figur 32: Klimagassutslipp gruppert etter klassifikasjoner, fordelt på utslippsdeler ved foreslått omprosjektering 63
Figur 33: Totale beregnede klimagassutslipp 64
Figur 34: Årlig temperaturvarighet og antall timer over 26°C for scenario A 66

Tabeller

Tabell 1: Månedlige kraftpriser for Oslo, Sørøst-Norge, fra 2015 til 2020, samt gjennomsnitt for de seks årene [øre/kWh] (52). 20
Tabell 2: Enovastøtte for ulike energitiltak (58) 21
Tabell 3: Oversikt over alle scenarioene som undersøkes, nummerert etter U-verdi, normalisert kuldebroverdi og konstruksjonstype 27
Tabell 4: Maksimal installert effekt for undersøkte paneler 31
Tabell 5: Sentral inndata for energisimuleringen av utgangspunktet 33
Tabell 6: Besparelser og midlere effekt for tappevannsforbruk ved bruk av vann- og energibesparende tappearmatur (79) 35
Tabell 7: Besparelser og midlere effekt for tappevannsforbruk ved bruk av varmegjenvinner for gråvann 35
Tabell 8: U-verdier og normaliserte kuldebroverdier for de ulike scenarioene 37
Tabell 9: Priser for de tekniske installasjonene 38
Tabell 10: Økonomisk levetid for tiltakene som undersøkes 40
Tabell 11: Arealer benyttet i mengdebeskrivelsene i livsløpsanalysen 42
Tabell 12: Produksjonspotensial for de undersøkte byene 44
Tabell 13: Energibudsjett for originalversjonen av Dråpen 45
Tabell 14: Energibudsjett ved forbedret SFP (1,5→1,2 [kW/(m^3/s)]) og virkningsgrad for varmegjenvinner (80→85[%]) 45
Tabell 15: Energibudsjett ved redusert lekkasjetall (1,0→0,6 [h^{-1}]) 46
Tabell 16: Energibudsjett ved innføring av geotermisk-varmepumpe og vannbåren gulvvarme 46
Tabell 17: Energibudsjett ved innføring av vann- og energibesparende tappearmatur 47
Tabell 18: Energibudsjett ved innføring av stående direkte rørgjenvinner for varmegjenvinning av gråvann 47
Tabell 19: Energibehov ved de ulike scenarioene 48
Tabell 20: Pris per Wp for 42 stk. 330W og 370W solcellepaneler 50
Tabell 21: Månedlig inntjening fra solcelleanlegget 50
Tabell 22: Nåverdi og tilbakebetalingstid for solcelleanlegget 50
Tabell 23: Månedlig inntjening grunnet de tekniske installasjonene 51
Tabell 24: Nåverdi og tilbakebetalingstid for de tekniske installasjonene 51
Tabell 25: Merkostnader for ytterveggene i alle scenarioene 52

Tabell 26: Månedlig inntjening grunnet den valgte ytterveggløsningen 54
Tabell 27: Nåverdi og tilbakebetalingstid for den valgte ytterveggløsningen 54
Tabell 28: Månedlige kostnadsbesparelser, inntekt og total inntjening ved foreslått omprosjektering 55
Tabell 29: Nåverdi og tilbakebetalingstid for foreslått omprosjektering 55
Tabell 30: Totale klimagassutslipp for originalversjonen av Dråpen 57
Tabell 31: Totale klimagassutslipp ved innføring av de ulike solcellepanelene 58
Tabell 32: Totale klimagassutslipp ved innføring av de tekniske installasjonene 59
Tabell 33: Klimagassutslipp for de undersøkte veggkonstruksjonene 60
Tabell 34: Totale klimagassutslipp for scenario E.2.5 62
Tabell 35: Totale klimagassutslipp ved foreslått omprosjektering 63
Tabell 36: Endringer i klimagassutslipp ved innføring av de ulike tiltakene i forhold til originalversjonen av Dråpen 64
Tabell 37: Poengmatrise for ytterveggscenarioer som viser resultat av samlet vurdering 65
Tabell 38: Netto energiforbruk for den foreslåtte omprosjekteringen i de undersøkte byene 66
Tabell 39: Resultater for termisk komfort og dagslys hentet fra Tony-Andreas Arntsen sitt studie 66
Tabell 40: Sammenligning av resultater. 81
Tabell 41: Energiregnskap for de undersøkte byene. 86
Tabell 42: Netto pris og årlig inntjening for tiltakene. 86
Tabell 43: Nåverdi og tilbakebetalingstid. 86
Tabell 44: Beregnede klimagassutslipp for Dråpen. 86

Referanser

1. Helle K-E. Klimagassutslippet fra ulike reisemåter [Internett]. Oslo: Framtiden i våre hender; 2020 [updated 04. august 2020; cited 2021 09. mai]. Available from: https://www.framtiden.no/gronne-tips/reise-og-transport/klimagassutslippet-fra-ulike-reisemater.html.
2. SINTEF. Mer lønnsomt å etterisolere [Internett]. Trondheim: SINTEF; 2010 [cited 2021 13. mai]. Available from: https://www.sintef.no/siste-nytt/2010/mer-lonnsomt-a-etterisolere/.
3. Dokka TH, Lisø KR, Andresen I. Passivhus, nullenergibygg og kunnskapsbehov [Internett]. Trondheim: Sintef Byggforsk; 2010 [cited 2021 11. mai]. Available from: https://www.byggforsk.no/file/index/381.
4. European Commission. nzeb [Internett]. Brussel: European Commission; [cited 2021 11. mai]. Available from: https://ec.europa.eu/energy/content/nzeb-24_en.
5. ENGLAND IG. DiBKs arbeid med definisjon av nesten nullenergi bygg (nNEB) [Internett]. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet; 2019 [updated 21. mai 2019; cited 2021 11. mai]. Available from: https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/moter-og-seminarer/frokostmoter-presentasjoner/190521-nesten-nullenergibygg/190521-definisjon-nneb-dialogmote-21.05.2019.pdf.
6. Killingland M, Lånke AF, Ragnøy MM, Aga P, Smits F, Andresen I, et al. NESTEN NULLENERGIBYGG FORSLAG TIL NASJONAL DEFINISJON [Internett]. Oslo: Rambøll; 2013 [updated 5. november 2013; cited 2021 14. mai]. Available from: https://dibk.no/globalassets/energi/nesten_nullenergibygg_for_norge_ramboll_og_link_versjon2.pdf.
7. The Joint Research Centre. The PVGIS project, a bit of background Europa: European Commission; 2019 [updated 02. desember 2019; cited 2021 16. mars]. Available from: https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/about/who.
8. Dokka KA. Validering [Internett]. Skollenborg: ProgramByggerne; 2019 [updated 28. oktober 2019; cited 2021 11. mars]. Available from: https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering.
9. Shaun. NS 3720 Klimagassverktøyet One Click LCA Norge [Internett]. Helsinki: Bionova Ltd.; 2021 [updated 13. mars 2021; cited 2021 13. mai]. Available from: https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014964920-NS-3720-Klimagassverkt%C3%B8yet-One-Click-LCA-Norge.

10. Norgeshus. Dråpen [Internett]. Melhus: Norgeshus; 2021 [updated 2021; cited 2021 5. april]. Available from: https://norgeshus.no/no/bygge+hus/moderne+hus/drapen.html.
11. NASA. Global Temperature [Internett]. California Institute of Technology: NASA; 2021 [updated 06. mai 2021; cited 2021 04. mai]. Available from: https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/.
12. NASA. Scientific Consensus: Earth's Climate Is Warming [Internett]. California Institute of Technology: NASA; 2021 [updated 06. mai 2021; cited 2021 04. mai]. Available from: https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/.
13. Bøeng AC. Vi brukte mindre energi i fjor [Internett]. Oslo: Statistisk sentralbyrå; 2020 [updated 18. juni 2020; cited 2021 15. mars]. Available from: https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/vi-brukte-mindre-energi-i-fjor.
14. Norges vassdrags- og energidirektorat. Energibruk i bygg [Internett]. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat; 17. september 2019 [updated 27. oktober 2020; cited 2021 15. mars]. Available from: https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu.
15. energidirektorat Nv-o. Strømforbruk i Norge har lavt klimagassutslipp [Internett]. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat; 2020 [updated 23. februar 2021; cited 2021 15. mars]. Available from: https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromforbruk-i-norge-har-lavt-klimagassutslipp/.
16. Statistisk sentralbyrå. Utslipp til luft [Internett]. Oslo: Statistisk sentralbyrå; 2020 [updated 4. november 2020; cited 2021 15. mars]. Available from: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/.
17. Næringslivets Hovedorganisasjon. Verden og oss. Næringslivets perspektivmelding 2018 [Internett]. Næringslivets Hovedorganisasjon,; 2018 [updated september 2018; cited 2021 12. mai]. Available from: https://www.nho.no/siteassets/publikasjoner/naringslivets-perspektivmelding/pdf-er-30okt18/nho_perspektivmeldingen_hele_web_lowres.pdf.
18. Statkraft. Statkrafts Lavutslippsscenario 2020 [Internett]. Oslo: Statkraft; 2020 [updated 2. september 2020; cited 2021 14. mai]. Available from: https://www.statkraft.no/globalassets/0/.no/nyheter/lavutslippsscenario/lavutslippsscenarioet-2020_a4.pdf.
19. Andresen I. Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon. Prosjektrapport nr. 22 [Internett]. Oslo: SINTEF Byggforsk; 2008 [cited 2021 24. mars]. Available from: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_22.pdf.

20. Enova SF. Kjøpsveileder - Solceller [Internett]. Trondheim: Enova SF; 2016 [updated 27. desember 2016; cited 2021 24. mars]. Available from: https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/el-produksjon-/.

21. Green MA. Photovoltaics: technology overview. Energy Policy. 2000;28(14):989-98.

22. Rossing NK, Storli P-TS, Völler S, Fagerli T. Fornybar energi [Internett]. Trondheim: Skolelaboratoriet ved NTNU; 2020 [cited 2021 29. mars].

23. Langdalen A. Virkemåten til en solcelle av silisium. [Internett]. Senit SF; [cited 2021 25. mars]. Available from: http://web2.gyldendal.no/undervisning/felles/pixdir20/data/archive_specific/senit_sf/image_fullsize/06_36.jpg.

24. Tuv T-C. Solenergibloggen [Internet]. Oslo: FUSen. 04. februar 2020. [cited 2021]. Available from: https://blogg.fusen.no/hvor-blir-solenergien-av-6-trinn-som-forklarer.

25. The Joint Research Centre. PVGIS user manual [Internett]. European Comission; [updated 29. september 2020; cited 2021 01. april]. Available from: https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual.

26. Norsk solenergiforening. Solceller [Internett]. Norsk solenergiforening; [cited 2021 25. mars]. Available from: https://www.solenergi.no/solstrm.

27. Kvalitetssjef. Solenergibloggen [Internet]. Oslo: FUSen. 12. juni 2018. [cited 2021]. Available from: https://blogg.fusen.no/forventet-levetid-solcellepaneler.

28. Norsk solenergiforening, Sørensen ÅL, Torp CB, Nylund HK. SOLVARME

I KOMBINASJON MED ANDRE VARMEKILDER [Internett]. Norsk solenergiforening; august 2017 [updated august 2017; cited 2021 24. mars]. Available from: https://static1.squarespace.com/static/597512eb579fb3d3de0207aa/t/59afb36de3df28513645e6dd/1504686997570/NorskSolenergi_ha%CC%8Andbok_solvarme_A4_web.pdf.

29. SINTEF Byggforsk. 552.303 Balansert ventilasjon i småhus [Internett]. SINTEF Byggforsk,; 2015 [updated oktober 2015; cited 2021 20. april]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/529/balansert_ventilasjon_i_smaahus#historicalDocuments.

30. SINTEF Byggforsk. 552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2002 [updated Høst 2002; cited 2021 20. april]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere_i_ventilasjonsanlegg.

31. SINTEF Byggforsk, Rambøll. Prosjektering av passivhus. Oslo: Lavenergiprogrammet; 2. opplag 2013.

32. Direktoratet for byggkvalitet. § 14-2. Krav til energieffektivitet [Internett]. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet,; 2017 [updated 01. oktober 2020; cited 2021 10. mai]. Available from: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/.

33. Bedin T. En runde i varmepumpa [Internett]. Norge: Nasjonal digital læringsarena; [cited 2021 11. mai]. Available from: https://ndla.no/subject:21/topic:1:183351/topic:1:21827/resource:1:19060?filters=urn:filter:410c2790-c62c-4dc1-a30c-49ecd1063690.

34. Toshiba. Hvordan virker en varmepumpe [Internett]. Oslo: Toshiba; [cited 2021 21. april]. Available from: https://www.toshibavarmepumper.no/sporsmal-og-svar/hvordan-virker-en-varmepumpe/.

35. Ericson T, Fidje A, Fonneløp JE, Langseth B, Magnussen IH, Rode WW, et al. Varmepumper i energisystemet. Rapport nr 60 [Internett]. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat; 2016 [cited 2021 21. april]. Available from: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf.

36. Gustavsberg. Energiklassifisering blandebatterier [Internett]. Gustavsberg; 2012 [updated mars 2012; cited 2021 29. mars]. Available from: https://docplayer.me/3063549-Energiklassifisering-blandebatterier.html.

37. Norgesenergi. Slik fungerer sparedusjen [Internett]. Kristiansand: Norgesenergi; 2019 [updated 22. august; cited 2021 29. mars]. Available from: https://norgesenergi.no/stromsmart/slik-fungerer-sparedusjen/.

38. Enova. Kjøpsveileder - Varmegjenvinning av gråvann [Internett]. Trondheim: Enova; 2016 [updated 27. desember 2016; cited 2021 13. mai]. Available from: https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmegjenvinning/varmegjenvinning-av-gravann-/.

39. VVSForum. Varmegjenvinning; gråvann til varmtvann [Internett]. Sarpsborg: VVSForum; 19. januar 2015 [updated 19. januar 2015; cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.vvsforum.no/2015/varmegjenvinning-gravann-til-varmtvann/.

40. Słyś D, Kordana S. Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing [internett]. Energy and Buildings. 2014;71:1-11.

41. SINTEF Byggforsk. 553.163 Energieffektive og vannbesparende sanitærinstallasjoner [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2015 [updated desember 2015; cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/3218/energieffektive_og_vannbesparende_sanitaerinstallasjoner.

42. SINTEF Byggforsk. 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946 [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2018 [updated 15. april 2021; cited 2021 20. april]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/208.

43. Gustavsen A, Thue JV, Blom P, Dalehaug A, Aurlien T, Grynning S, et al. Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på

energibruk. Prosjektrapport 25 [Internett]. Oslo: SINTEF Byggforsk; 2008 [cited 2021 21. april]. Available from: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_25.pdf.

44. SINTEF Byggforsk. 474.621 Framgangsmåte ved luftlekkasjemåling av bygninger [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2014 [updated Desember 2014; cited 2021 21. april]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/4125/framgangsmaate_ved_luftlekkasjemaaling_av_bygninger.

45. Direktoratet for byggkvalitet. § 14-3. Minimumskrav til energieffektivitet [Internett]. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet; 2017 [updated 01. januar 2018; cited 2021 10. mai]. Available from: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/.

46. SINTEF Byggforsk. 520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2013 [updated Desember 2013; cited 2021 21. april]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/4110/lufttetting_av_bygninger_framgangsmaate_for_aa_oppnaa_lavt_lekkasjetall.

47. Moelven. Iso3 - Skumisolert trestender [Internett]. Moelv: Moelven; 2021 [cited 2021 11. mai]. Available from: https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/byggtre-og-konstruksjonsvirke/iso3-skumisolert-trestender/.

48. SINTEF Byggforsk. 523.255 Yttervegger av bindingsverk. Varmeisolering og tetting [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2020 [updated september 2020; cited 2021 11. mai]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/361/yttervegger_av_bindingsverk_varmeisolering_og_tetting.

49. Clementz CA, Nore K, Steiner Y, Geir Glasø SE, Bysheim K, Brunsell JT. Energieffektive trekonstruksjoner, delrapport 2. Rapport 84 [Internett]. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2011 [cited 2021 10. april]. Available from: http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-84.pdf.

50. Sintef. Enøk i bygninger. 3 ed. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS; 2007.

51. Energifakta Norge. Kraftmarkedet [Internett]. Oslo: Olje- og energidepartementet; [updated 30. april 2021; cited 2021 29. mars]. Available from: https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/.
52. LOS. Historiske strømpriser [Internett]. Kristiansand: LOS; 2021 [cited 2021 12. mai]. Available from: https://www.los.no/dagens-strompris/historiske-strompriser/.
53. Statistisk sentralbyrå. Veldig lav strømpris i 2020 [Internett]. Oslo: Statistisk sentralbyrå; 2021 [updated 15. februar 2021; cited 2021 12. mai]. Available from: https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/veldig-lav-strompris-i-2020.
54. Fjordkraft. Solstrøm - Strømavtalen for deg som produserer solkraft [Internett]. Fjordkraft; [cited 2021 30. april]. Available from: https://www.fjordkraft.no/strom/stromavtale/solkraft/.
55. Regjeringen. ENOVA [Internett]. Oslo: Regjeringen; [cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.regjeringen.no/no/dep/kld/organisasjon/etater-virksomheter/enova/id2599611/.
56. Enova SF. Endringer i tilbudet til boligeiere utsatt til 1. juli 2021 [Internett]. Trondheim: Enova SF; [cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.enova.no/privat/.
57. Enova SF. Enova justerer støttetilbudet til boligeiere [Internett]. Trondheim: Enova SF; 2019 [updated 25. september 2019; cited 2021 30. mars]. Available from: https://presse.enova.no/pressreleases/enova-justerer-stoettetilbudet-til-boligeiere-2924188.
58. Enova SF. Alle energitiltak [Internett]. Trondheim: Enova SF; [cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/.
59. Enova SF. Solfanger [Internett]. Trondheim: Enova SF; 2016 [cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/solfanger-/.
60. Enova SF. El-produksjon [Internett]. Trondheim: Enova SF; 2016 [cited 2021 30. mars]. Available from: https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/el-produksjon-/.
61. Standard Norge. Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006) [Internett]. Oslo: Standard Norge; 2006 [updated 1. september 2006; cited 2021 13. mai]. Available from: https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=236802.
62. Bar EMS. Livsløpsanalyse - LCA [upubliserte forelesningsnotater]. TBYG3021: Ingeniørfaglig systemtenkning. Trondheim: NTNU Forelesning holdt 21. januar 2021.
63. SINTEF Byggforsk. Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper [Internett]. Trondheim: SINTEF Byggforsk; 2014 [updated september 2014; cited 2021 13. mai]. Available from:

https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper.
64. SINTEF Byggforsk. Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer [Internett]. Trondheim: SINTEF Byggforsk; 2014 [updated september 2014; cited 2021 13. mai]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner_epd_av_byggevarer.
65. Hva er en EPD? [Internett]. Oslo: EPD-Norge; 2021 [cited 2021 10. mai]. Available from: https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd_2/.
66. SINTEF Byggforsk. 421.501 Termisk inneklima. Betingelser, tilrettelegging og målinger [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2017 [updated oktober 2017; cited 2021 04. mai]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/193/termisk_inneklima_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger.
67. SINTEF Byggforsk. 421.602 Dagslys.Egenskaper og betydning [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2001 [updated vår 2001; cited 2021 04. mai]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/200/dagslys_egenskaper_og_betydning.
68. Direktoratet for byggkvalitet. Termisk inneklima [Internett]. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet; 2017 [updated 1. oktober 2020; cited 2021 10. mai]. Available from: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/ii/13-4/.
69. Direktoratet for byggkvalitet. Lys [Internett]. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet; 2017 [updated 1. oktober 2020; cited 2021 10. mai]. Available from: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/v/13-7/.
70. Enova SF. Hjelp til deg som skal kjøpe vedovn [Internett]. Trondheim: Enova SF; 2012 [cited 2021 31. mars]. Available from: https://www.enova.no/upload_images/B33DD53AB8734E47BA5188178F174248.pdf.
71. Enova SF. Kjøpsveileder - Solfanger [Internett]. Trondheim: Enova SF; 2016 [updated 27. desember 2016; cited 2021 24. mars]. Available from: https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/solfanger-/.
72. Larsen J. Vedlikehold og service på varmepumper: Hva må gjøres – og hvor ofte? [Internett]. Støren: VB Bloggen; 2020 [updated 3. september 2020; cited 2021 18. mai]. Available from: https://blogg.vb.no/privat/vedlikehold-og-service-pa-varmepumper-hva-ma-gjores-og-hvor-ofte.
73. Kongslie DE. Slik velger du riktig varmepumpe [Internett]. Oslo: Huseiernes Landsforbund; 2019 [updated 23. oktober 2020; cited 2021 18. mai]. Available from: https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/oppvarming/slik-velger-du-riktig-varmepumpe/.

74. Varmepumpe.no. Væske-til-vann-varmepumpe [Internett]. Oslo: Nettbureau; [cited 2021 18. mai]. Available from: https://varmepumpe.no/v%C3%A6ske-vann-varmepumpe?utm_source=adwords_c&utm_medium=sok_g&utm_campaign=dynamic&utm_content=_&utm_term=_b&gclid=CjwKCAjwy42FBhB2EiwAJY0yQsD-cPHghnBngwPPyFmQ_mBr_V73azNwKK7LTGjJ2melNZtGb2xT0xoCyOsQAvD_BwE.
75. Direktoratet for byggkvalitet. § 14-4. Krav til løsninger for energiforsyning [Internett]. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet; 2017 [updated 01. oktober 2020; cited 2021 10. mai]. Available from: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-4/.
76. VVSForum. Varmepumpevettreglene [Internett]. VVSForum; 2014 [updated 25. november 2014; cited 2021 21. april]. Available from: https://www.vvsforum.no/2014/varmepumpevettreglene/.
77. Zanetti I, Bonomo P, Frontini F, Saretta E, Verberne G, Vossen FM, et al. Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins [Internett]. Manno; 2017 [cited 2021 29. mars]. Available from: https://resources.solarbusinesshub.com/images/reports/179.pdf.
78. GSE Integration. THE NEW VISION OF NEW HOMES THROUGHOUT EUROPE IS COMPLEMENTED BY RESPONSIBLE, INNOVATIVE AND ACCESSIBLE PHOTOVOLTAIC SOLUTIONS [Internett]. Paris: GSE Integration; 2020 [cited 2021 13. april]. Available from: https://www.gseintegration.com/en/InRoof.html.
79. Dokka KA. SIMIEN Wiki [Internett]. Skollenborg: ProgramByggerne; [updated 28. mai 2020; cited 2021 22. mars]. Available from: https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/.
80. Standard Norge. NS-EN ISO 6946:2017 Bygningskomponenter og -elementer - Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient - Beregningsmetoder (ISO 6946:2017) [Internett]. Oslo: Standard Norge; 2017 [cited 2021 01. mars]. Available from: https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=941536.
81. Standard Norge. NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger [Internett]. Oslo: Standard Norge; 2013 [cited 2021 01. mars]. Available from: https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=636902.
82. Krog B-R, Harstad P, Schild PG. Nordre gran borettslag: Sanitæranlegget [Internett]. Oslo: SINTEF Byggforsk; 2012 [cited 2021 20. mars]. Available from: http://biblioteket.husbanken.no/arkiv/dok/Komp/Nordre%20Gran/Delrapport_sanitar.pdf.
83. Standard Norge. NS 3031:2014

Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data [Internett]. Oslo: Standard Norge; 2014 [cited 2021 01. mars]. Available from: https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386.

84. Standard Norge. SN-NSPEK 3031:2020

Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning [Internett]. Oslo: Standard Norge; 2020 [cited 2021 01. mars]. Available from: https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1124340.

85. SINTEF Byggforsk. 471.401 U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere [Internett]. SINTEF Byggforsk; 2012 [updated desember 2012; cited 2021 01. mars]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier_vegger_over_terreng_med_bindingsverk_av_tre_med_gjennomgaaende_stendere.

86. Pedersen R. Renten de siste årene [Internett]. SMARTE PENGER; 2021 [updated 8. februar 2021; cited 2021 16. mai]. Available from: https://www.smartepenger.no/lan/300-renten-de-siste-arene.

87. Regjeringen. Ny forskrift for pengepolitikken [Internett]. Oslo: Regjeringen; 2018 [updated 2. mars 2018; cited 2021 12. mai]. Available from: https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-forskrift-for-pengepolitikken/id2592551/.

88. Statistisk sentralbyrå. Hva viser de ulike elektrisitetsstatistikkene? [Internett]. Oslo: Statistisk sentralbyrå; 2016 [updated 18. november 2016; cited 2021 12. mai]. Available from: https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/hva-viser-de-ulike-statistikkene.

89. Dokka TH, Hauge G, Thyholt M, Klinski M, Kirkhus A. Energieffektivisering i bygninger – mye miljø for pengene! Prosjektrapport 40 [Internett]. Oslo: SINTEF Byggforsk; 2009 [cited 2021 14. mai]. Available from: https://www.sintef.no/globalassets/upload/sb-prrapp-40.pdf.

90. International Energy Agency. Energy Policies of IEA Countries - Norway 2017 Review [Internett]. Paris: IEA Publications; 2017 [cited 2021 13. mai]. Available from: https://iea.blob.core.windows.net/assets/7113f933-b252-434c-aa15-67c460475bc3/EnergyPoliciesofIEACountriesNorway2017.pdf.

91. Brandslet S. Nytt materiale gjør solceller enda mer miljøvennlige [Internett]. Trondheim: Sintef.no; 2021 [updated 22. januar 2021; cited 2021 9. mai]. Available from: https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/nytt-materiale-gjor-solceller-enda-mer-miljovennlige/.

92. IEA. Evolution of solar PV module cost by data source, 1970-2020 [Internett]. Paris: IEA; 2020 [updated 30. juni 2020; cited 2021 30. mars]. Available from:

https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-solar-pv-module-cost-by-data-source-1970-2020.

93. REC Solar. Premium quality, empowering warranty [Internett]. Singapore: REC Solar; 2018 [updated 1 oktober 2018; cited 2021 14. mai]. Available from: https://www.recgroup.com/en/premium-quality-empowering-warranty.

94. Andresen B. Nesten 1 av 10 personbiler er en elbil [Internett]. Oslo: Statistisk sentralbyrå; 2020 [updated 31. mars 2021; cited 2021 09. mai]. Available from: https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/artikler-og-publikasjoner/nesten-1-av-10-personbiler-er-en-elbil.

95. Myklebust M. Hvorfor lønner det seg å kaste bilen [Internett]. NRK; 2021 [updated 06. januar 2021; cited 2021 09. mai]. Available from: https://www.nrk.no/dokumentar/xl/hvorfor-lonner-det-seg-a-kaste-bilen_-1.15232892.

96. Volkswagen. Nytt liv til brukte batterier [Internett]. Wolfsburg: Volkswagen; 2021 [cited 2021 15. mai]. Available from: https://www.volkswagen.no/no/elbil/baerekraftig-elbil-mobilitet/gjenbruk-av-elbil-batterier.html.

97. Loftås BE. - Skal gjenvinne minst 90 prosent [Internett]. Oslo: Elbil24; 2021 [updated 10. januar 2021; cited 2021 09. mai]. Available from: https://www.elbil24.no/nyttig/skal-gjenvinne-minst-90-prosent/73255996.

98. Omland E. Gamle elbilbatterier lyser opp Bislett stadion [Internett]. Oslo: Klima Oslo; 2019 [updated 13. mai 2019; cited 2021 16. mai]. Available from: https://www.klimaoslo.no/2019/05/13/gamle-elbilbatterier-brukes-bislett-stadion/.

Vedlegg

Vedlegg 1: Artikkel

Vedlegg 2: Plakat A4

Vedlegg 3: Plakat A3

Vedlegg 4: Resultatutskrift fra PVGIS

Vedlegg 5: Resultatutdrag fra SIMIEN

Vedlegg 6: Resultatutdrag fra One Click LCA

Vedlegg 7: Regneeksempel U-verdi