

Konsekvenser for miljø, kostnad og helse ved omklassifisering av småhus.

Environmental-, cost- and health- consequences by upgrading energy efficiency in small houses.

Trondheim Mai 2023

Ole Martin Størseth

Martin Weidemann

Intern veileder:
Terje K. Fossheim

Ekstern veileder:
Lag Entreprenør

Prosjektnr:
2023-8

Rapporten er Åpen



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Rapporten er ÅPEN

Prosjektet er flere rekkehus på Tiller-sletten som er bygget i enkelt reisverk. Det er rett under 100 boenheter som skal settes opp. Prosjektet skal overleveres i løpet av 2023.

Oppgaven vår er: Hva må til for at bygningen skal kunne klassifiseres som et passivhus, og vil den mulige ekstrakostnaden kunne innspares i løpet av levetiden, og vil denne endringen gå på bekostning av inneklime og helse? Denne oppgaven kan være interessant fordi den berører mange viktige aspekter ved ny bebyggelse. Spesielt kan denne oppgaven være gøy da rekkehusene er prosjektert til å bli billig og innenfor minimums-krav. Hva er den reelle miljømessige gevinsten og den økonomiske merkostnaden det følger å bygge til kravene for passivhus. Vi skal finne krysningpunktet for når kostnaden for huseierne er inntjent og når klimagassutslippet tipper i favør passivhus. Vi ønsker å levere et produkt som bedriften har bruk for. Dette er en mulighet for bedriften til å få noe gratis arbeid ut av oss studenter. Samtidig får vi vist frem hva vi kan og lære nye ting på veien.

Stikkord:

Passivhus, lavenergihus, TEK17, NS3700, NS3031, klimagass, kostnad, miljø, CO₂, inneklime, helse, ventilasjon, varmetap, energi, global oppvarming, småhus, rekkehus, oppvarming, fjernvarme, bygningskropp

FORORD

Denne bacheloroppgaven er utført ved institutt for Bygg og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim våren 2023. Oppgaven har som mål å omprosjekttere et rekkehus på Tiller til passivhus, og avdekke eventuelle utfordringer.

Vi har vært avhengige av god hjelp for å gjennomføre prosjektet, og ønsker i den anledning å takke alle som har bidratt til å gjøre dette mulig. Først og fremst vil vi rette en stor takk til vår veileder Terje K. Fossheim, som med sin ekspertise og oppmuntring har støttet oss i utfordrende øyeblikk og gitt oss inspirasjon i veien mot målet. Vi ønsker også å applaudere eksterne bedrift Lag Entreprenør med Ole J. Wold i spissen. Han har vært utrolig dyktig og behjelpelig ved alle spørsmål og ting vi har lurt på. Terje og Ole's innspill og konstruktive tilbakemeldinger har vært uvurderlige, disse har fått oss til å forbedre og utvide vår kunnskap innenfor fagfeltet. Vi ønsker også å rette en takk til våre medstudenter som hele veien har motivert og støttet oss.

SUMMARY

The energy crisis and the potentially harmful warming of the planet require every sector that emits greenhouse gases to reduce their emissions. The residential energy expenditure accounts for 22% of all energy spent in Norway. It is estimated nearly 80% of this is for heating and warm water (Olje- og energidepartementet, 2021). A passive house can reduce energy expenditure by up to 80% compared to post war homes, and 25% in comparison to today's standards (MIM, 2017). The aim of this report is to estimate the cost and savings of upgrading a chained house in Trondheim to a passive house standard, calculate CO₂e emissions and discuss indoor climate and health with the general tightening of building envelopes.

The emissions from production, transportation, construction, use and end of life of additional materials are less than the emissions saved on the use of energy in the building's lifetime. CO₂ equivalent emission is reduced by 26,000 kg during the expected 60-year lifespan of the building. Extra emissions from additional insulation and wood is estimated at 16,500 kg, and the reduced greenhouse gases from district heating and electricity is just over 700 kg per year. This reduction is done by lowering the district heating and direct electricity by 14,700 and 4,200 kWh respectively.

The cost of materials and installation is less than the savings from reduced energy spend during the lifetime of the building (with energy price of 1 NOK/kWh). The cost of upgrading the house is nearly 900,000 NOK. The calculated reduction of energy delivered is 18912 kWh per year. With a constant price of 1 NOK/kWh the possible savings amounts to 244,350 NOK over 60 years.

Indoor climate, and health is a concern for many, especially the tightness of the building and the possible reduction of air flow. Air leakage in buildings is drastically reduced as a consequence of the tight building envelope and strengthened regulations in later years. The requirements for fresh air supply have on the other hand not changed since before 1999. "Tekniske forskrifter til plan og bygningsloven 1999" demands that outside air must equal the collective amount of extracted air and secure an air change of 0,5 per hour. This corresponds to 1,2 cubic air an hour per square meter (STATENS BYGNINGSTEKNISKE ETAT, 1999)

SAMMENDRAG

Energikrisen og global oppvarming krever at alle sektorer som slipper ut klimagasser reduserer sitt menneskeskapte utslipp. Energibruk i boliger står for 22% av all bruk av energi i Norge. Det er estimert at nesten 80% av dette går oppvarming og varmt vann (Olje- og energidepartementet, 2021). Et passivhus kan redusere energibruken opp til 80% sammenlignet med hus bygd på 60-tallet, og 25% sammenlignet med dagens standard (MIM, 2017). Målene med denne rapporten er å estimere kostnad og sparing ved oppgradering av et rekkehus på Tiller til passivhusstandard, kalkulere ekstra utslipp av CO₂ ekvivalenter, og diskutere inneklimate og helse relatert til tetting av bygningskroppen.

Utslippene fra produksjon, transport, konstruksjon, bruk og avhending/gjenbruk av materialer er mindre enn utslippene spart fra energibruk i bygningens levetid. CO₂ ekvivalente utslipp reduseres med nesten 26 tonn gjennom bygningens 60 år levetid. Ekstra utslipp fra tillegg i isolasjon og trevirke er beregnet til 16,5 tonn, og redusert utslipp fra CO₂ ekvivalente gasser fra fjernvarme og direkte el er like over 700 kg per år. Denne reduksjonen er mulig ved å senke energibruken med 4,200 og 14,700 kWh fra henholdsvis direkte el og fjernvarme.

Kostnaden for oppgradering er litt mindre enn besparelsen fra redusert energibruk over livsløpet til en bygning hvis man regner med en konstant energipris på 1 NOK/kWh. Oppgraderingen av huset er antatt å koste nesten 900,000 NOK, og den kalkulerte reduksjon av levert energi er 18912 kWh per år. Dette gjør den mulige besparelsen over 60 års levetid til 244,350,- NOK.

Inneklimate og helse i lavenergi og tette boliger er en bekymring for mange. En av de viktigste årsakene til skepsisen er om bygningen blir for tett og sirkulasjonen av luft reduseres.

Luftlekkasjer i bygg er kraftig redusert med den tette bygningskroppen med innskjerpede krav de siste årene. Krav til frisklufttilførsel i ventilasjon er derimot ikke endret siden før 1999. Tekniske forskrifter til plan og bygningsloven 1999 krever at en uteluftmengde tilsvarende samlet avtrekk må sikre en luftveksling på 0,5 per time. Dette tilsvarer 1,2 kubikk luft i timen per kvadratmeter. (STATENS BYGNINGSTEKNISKE ETAT, 1999)

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	II
SUMMARY	III
SAMMENDRAG	IV
INNHALDSFORTEGNELSE	V
FIGUR LISTE	VII
TABELL LISTE	VIII
FORMEL LISTE	IX
1 INNLEDNING	1
1.1 PROBLEMSTILLING	2
1.2 BAKGRUNN	2
1.3 AVGRENSNINGER	4
2 TEORI	6
2.1 BYGGEREGLER I NORGE	6
2.2 ENERGIKRAV I TEKNISK FORSKRIFT	6
2.2.1 ENERGITILTAK	6
2.2.2 ENERGIRAMME	7
2.2.3 MINSTEKRAV	8
2.2.4 UNNTAK FRA REGLENE	9
2.2.5 ENERGIFORSYNING	9
2.2.6 ENERGIMERKING	10
2.3 ENERGIHUS	10
2.3.1 LAVENERGIHUS	11
2.3.2 NULLHUS	11
2.3.3 PLUSSHUS	11
2.4 PASSIVHUS	12
2.4.1 KONSEPT	12
2.4.2 NS 3700:2013 KRITERIER FOR PASSIVHUS OG LAVENERGIBYGNINGER, BOLIGBYGNINGER	12
2.4.3 MAKSIMALT VARMETAPSTALL	13
2.4.4 KRAV TIL OPPVARMING	13
2.4.5 KRAV TIL BYGNINGSDELER, KOMPONENTER OG LEKKASJER I PASSIVHUS OG LAVENERGIBYGG	14
2.4.6 U-VERDI	15

2.4.7	KULDEBRO	16
2.4.8	LUFTLEKKASJER	17
2.4.9	VENTILASJON	18
2.4.10	KRAV TIL ENERGIFORSYNING	20
2.4.11	VARMEPUMPE OG GRUNNVARME	20
2.4.12	FJERNVARME	21
2.5	SOLENERGI	22
2.5.1	PASSIV SOLVARME	23
2.5.2	AKTIV SOLVARME	23
2.6	ESTIMERING AV LEVETID	24
2.6.1	LEVETID PÅ NYBYGG	24
2.6.2	DIMENSJONERENDE LEVETID	25
2.6.3	FAKTORMETODEN	25
2.6.4	KLIMAGASSREGNSKAP	26
2.6.5	EPD	26
2.7	MILJØ	27
2.7.1	BYGNINGSMASSE	27
2.7.2	BYGNINGENS FORSKRIFTSKRAV OG VARMETILSKUDD	28
2.7.3	PASSIVHUS OG ENERGIBEHOV	29
2.8	INNEKLIMA OG HELSE	30
2.8.1	LUFTKVALITET	31
2.8.2	INNEKLIMA I PASSIVHUS	32
2.8.3	ERFARINGER MED PASSIVHUS	34
2.9	SIMIEN	35
2.10	HOLTE	35
2.10.1	KOSTNAD	36
3	METODE	38
<hr/>		
3.1	LOKALITET OG BOLIGTYPE	38
3.1.1	BOLIGENS UTGANGSPUNKT	39
3.1.2	TEKNISKE	40
3.1.3	TOMTEN	41
3.1.4	KLIMADATA	41
3.1.5	ENERGIFORSYNING	42
3.1.6	MENGDEUTTAK	44
3.2	KONSTRUKSJON OG U-VERDIER SOM BYGGET	46
3.2.2	SKILLEVEGG	47
3.2.3	GULV MOT GRUNN	47
3.2.4	TAKKONSTRUKSJON	48
3.2.5	VINDUER	48
3.2.6	VARMETAP	48
3.3	TILTAK FOR PASSIVHUSKRAV	49
3.3.1	KOMPONENTER OG VARMETAP	49
3.3.2	KULDEBROBEREGNING	57
3.3.3	ENERGIBEHOV ROMOPPVARMING	60
3.4	ROMOPPVARMING	66

FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.

3.4.1	OPPVARMING AV FORBRUKSVANN	67
3.4.2	BEREGNING AV INNSTRÅLING	67
4	RESULTATER	70
4.1	MILJØ	70
4.2	SIMIEN	70
4.2.1	KRAV TIL BYGNINGSKOMPONENTER	71
4.2.2	KRAV TIL VARMETAPSTALL	71
4.2.3	KRAV TIL OPPVARMING	72
4.2.4	TEMPERATUR OG INNEKLIMA	74
4.2.5	ENERGIMERKING AV BYGGET.	74
4.3	KOSTNADER	75
4.3.1	SOM BYGGET	75
4.3.2	FORESLÅTT BYGGET TIL PASSIVHUSKRAV	75
4.3.3	INNSPARINGSTID AV FORESLÅTTE TILTAK	76
5	DISKUSJON:	79
5.1	MULIGE FEILKILDER:	79
5.1.1	VALG AV BOLIG	79
5.1.2	BYGGETEKNISK	79
5.1.3	LØSNINGER FOR OPPVARMING	80
5.1.4	SOLINNSTRÅLING	80
5.1.5	KOSTNAD	81
6	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	83
7	VIDERE ARBEID	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
8	REFERANSER	85
9.	VEDLEGG	91

FIGUR LISTE

FIGUR 1 HENTET FRA (OLJE- OG ENERGIDEPARTEMENTET, 2021)	3
FIGUR 2 EKSEMPEL PÅ ENERGIMERKING AV BOLIG, FIGUREN ER HENTET FRA (ENOVA SF, 2011)	10
FIGUR 3 ILLUSTRASJON PÅ HVORDAN PLUSSHUS FUNGERER. BILDE HENTET FRA (KJERSTI MAGNUSSEN, 2014)	12
FIGUR 4 MÅLEPRINSIPP FOR LUFTLEKKASJER, HENTET FRA (SINTEF, 2014)	18
FIGUR 5 PRINSIPP PÅ HVORDAN EN VARMEGJENVINNER FUNGERER	19

FIGUR 6 ILLUSTRASJON AV PROSJEKTET PÅ TILLER-RINGEN	38
FIGUR 7 PLANTEGNING FOR EN AV BOENHETENE	40
FIGUR 8 TEKNISKE INSTALLASJONER, SOM BYGGET HENTET FRA SIMIEN, SOM OPPRINNELIG BYGGET	40
FIGUR 9 PLASSERING AV BOLIG	41
FIGUR 10 ÅRLIG LEVERT ENERGI OG ÅRLIG ENERGIBUDSJETT FOR HELE BYGGET SOM BYGGET, FIGUR HENTET FRA SIMIEN SOM BYGGET	43
FIGUR 11 ENERGIMERKE AV EKSISTERENDE BOLIG	43
FIGUR 12 ILLUSTRASJON AV YTTERVEGG OPPBYGGING	47
FIGUR 13 ILLUSTRASJON AV SKILLEVEGG OPPBYGGING	47
FIGUR 14 VISER EN DETALJTEGNING HVORDAN ETASJESKILLER BYGGES FOR Å FORHINDRE KULEBRO,	51
FIGUR 15 VISER PROSJEKTERT VINDUSDETALJ I DOBBELT REISVERK.	56
FIGUR 16 VARMETAPSBUDSJETT MED FORDELING AV VARMETAPET %	72
FIGUR 17 ÅRLIG ENERGIBUDSJETT	73
FIGUR 18 ENERGIMERKING AV KONSTRUKSJONEN MED FORESLÅTTE TILTAK	74
FIGUR 19 VISER HVOR LANG TID FØR FORSKJELLIGE SPARETILTAK BLIR INNTJENT KUN PÅ SPART STRØM	77
FIGUR 20 VISER POTENSIELL ENERGIMERKING FOR PASSIVHUSSTAND OG SOLCELLE	78

TABELL LISTE

TABELL 1 VISER ULIKE TILTAK OG KRAV TIL TILTAKENE. TABELLEN ER GJENGITT FRA TEK 17 KAPITTEL 14 ENERGI § 14-2. KRAV TIL ENERGIEFFEKTIVITET.(ENERGI & § 14-2. KRAV TIL ENERGIEFFEKTIVITET, 2020)	7
TABELL 2 VISER ULIKE KLASSER AV TILTAK OG KRAV TIL TILTAKENE. TABELLEN ER GJENGITT FRA TEK17. KAPITTEL ENERGI § 14-2. ENERGIRAMMER (ENERGI & § 14-2. KRAV TIL ENERGIEFFEKTIVITET, 2020)	8
TABELL 3 MINSTEKRAV FOR VARMEGJENNOMGANG OG TETTHET FOR BÅDE TILTAKS- OG RAMMEMETODEN (TEK 17§ 14-3(1), TABELL A)(DIREKTORATET FOR BYGGEKVALITET, 2018)	9
TABELL 4 KRAV TIL VARMETAPSTALL I PASSIVHUS, GJENGITT FRA NS3700:2013 TABELL 2 (STANDARD NORGE, 2013)	13
TABELL 5 KRAV TIL HØYESTE BEREGNEDE NETTO ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING GJENGITT FRA NS3700:2013 (STANDARD NORGE, 2013)	14
TABELL 6 VISER KRAV TIL BYGNINGSDELER, KOMPONENTER OG LEKKASJER. GJENGITT FRA (STANDARD NORGE, 2013)	14
TABELL 7 BEREGNING AV KULDEBROER Ψ	16
TABELL 8 SFP FAKTOR (MADS MYSEN M.FL . & SINTEF, 1999)	20
TABELL 9 EFFEKT- OG ENERGIBEHOV OG VARMETILSKUDD FRA BELYSNING, UTSTYR, VARMTVANN OG PERSONER. TABELLEN ER GJENGITT FRA TABELL A.1 FRA NS 3700	28
TABELL 10 INFORMASJON OM BOENHETENE	39
TABELL 11 KLIMADATA FRA SIMIEN	41
TABELL 12 DOKUMENTASJON AV SENTRALE INNDATA, HENTET FRA SIMIEN	44
TABELL 13 VINDUSLISTE TEGNINGS NR: R02-A-20511	44
TABELL 14 DØRLISTE TEGNINGSNR: R02-A-20521	45
TABELL 15 VEGGTYPELISTE, TEGNINGSNR :R02-A-20561	45
TABELL 16 HEB LISTE, ARBEIDSNR 296403 22 (25) 30.09.2022	45
TABELL 17 TRE SØYLER- OG DRAGERE, HENTET FRA ARBEIDSNR 296403 22 (25) 30.09.2022	46
TABELL 18 OPPBYGGING AV YTTERVEGG	46
TABELL 19 VISER OPPBYGGING OG TYKKELSE AV SKILLEVEGG	47
TABELL 20 OPPBYGGING OG TYKKELSE AV GULVET PÅ GRUNN	47
TABELL 21 VISER OPPBYGGING OG TYKKELSE AV TAK	48
TABELL 22 U-VERDI BEREGNING FOR YTTERVEGG A VERDIER ER HENTET IFRA NS-EN ISO 6946, NORDGIPS OG GLAVA SINE NETTSIDER FOR SPESIFISERTE PRODUKTER.	49
TABELL 23 U-VERDI BEREGNING FOR TAK A VERDIER ER HENTET IFRA NS-EN ISO 6946, HUNTON OG GLAVA SINE NETTSIDER FOR SPESIFISERTE PRODUKTER.	51

TABELL 24 U-VERDI BEREGNING FOR GULV MOT GRUNN A VERDIER ER HENTET IFRA NS-EN ISO 6946, JACKSON OG GLAVA SINE NETTSIDER FOR SPESIFISERTE PRODUKTER	52
TABELL 25 U-VERDI BEREGNING FOR TAKALTAN A VERDIER ER HENTET FRA ((SINTEF, 2020) NS-EN ISO 6946 OG GLAVA SINE NETTSIDER FOR SPESIFISERTE PRODUKTER)	54
TABELL 26 VISER MANUELL KULDEBRO BEREGNING FOR ETTER PASSIVHUSSTAND	58
TABELL 27 MINSTEKRAV TIL ENKELTKOMPONENTER SAMMENLIGNING MED KRAVENE TIL PASSIVHUS	71
TABELL 28 VARMETAPSBUDJETT SAMMENLIGNING MED KRAVENE TIL PASSIVHUS	71
TABELL 29 VISER ENERGIYTELSE I BYGNINGEN	72
TABELL 30 VISER LEVERT ENERGI TIL BYGNINGEN ETTER NS 3700	73
TABELL 31 TEMPERATURDATA PER MÅNED	74
TABELL 32 VISER SELVKOSTEN OG LEVERT ENERGI TIL BYGGET SOM ER BYGGET	75
TABELL 33 VISER SELVKOSTEN OG LEVERT ENERGI TIL BYGGET I PASSIVHUSSTAND	75
TABELL 34 VISER EN OVERSIKT OVER KOSTNADER	76

FORMEL LISTE

FORMEL 1 HVORDAN BEREGNE U-VERDI	15
FORMEL 2 FAKTORMETODEN	26
FORMEL 3 VISER NETTO ENERGIBEHOV PER ÅR.	28
FORMEL 4 VISER BEREGNING FOR MAKSIMALT OPPVARMINGSBEHOV kWh/m^2	28
FORMEL 5 VISER BEREGNING AV NORMALISERT KULDEBRO	57
FORMEL 6 VARMETRANSPORTKOEFFICIENT FOR TRANSMISJONSVARMETAP	61
FORMEL 7 DIREKTE VARMETRANSMISJONSTAP FOR BYGNINGSDELER	61
FORMEL 8 BEREGNET VARMETAP	61
FORMEL 9 VISER BEREGNING AV VARMETAP GJENNOM VINDUER	62
FORMEL 10 SPESIFIKT VARMETAP FOR ELEMENTER MOT UOPPVARMET SONER	62
FORMEL 11 VARMETAPSFAKTOR	63
FORMEL 12 VARMETAP MOT GRUNN	63
FORMEL 13 U-VERDI FOR VELISOLERTE GULV	64
FORMEL 14 TERMISK RESISTANSE	64
FORMEL 15 BEREGNING AV KARAKTERISTISK DIMENSJON AV GULV	64
FORMEL 16 VARMETRANSPORTKOEFFICIENTEN FOR INFILTRASJON	65
FORMEL 17 LUFTSKIFTE FOR INFILTRASJON	65
FORMEL 18 BEREGNET INFILTRASJONSVARMETAP	65
FORMEL 19 VARMETRANSPORTKOEFFICIENT FOR VENTILASJON	65
FORMEL 20 BEREGNING AV SAMLET VARMETAPSTALL	66
FORMEL 21 BEREGNING AV INNSTRÅLING	67
FORMEL 22 VINDUSAREAL FOR SOLTILSKUDD	67
FORMEL 23 AVSKJERMINGSFAKTOR	68
FORMEL 24 INNSTRÅLING NORD, JANUAR	68
FORMEL 25 INNSTRÅLING SØR, JANUAR	69
FORMEL 26 INNSTRÅLING NORD, JULI	69
FORMEL 27 INNSTRÅLING SØR, JULI	69
FORMEL 28 INNSPARINGSTID MED PASSIVHUS TILTAK OG OPPRINNELIG STANDARD	76
FORMEL 29 INNSPARINGSTID PROSJEKTERT PASSIVHUS TILTAK	76
FORMEL 30 INNSPARINGSTID PASSIVHUS MED SOLCELLE PÅ TAKET.	77
FORMEL 31 INNSPARINGSTID FOR OPPRINNELIG BYGGET MED SOLCELLE PÅ TAKET	77

1 INNLEDNING

Klimautfordringer er kanskje den største globale utfordringen verden står ovenfor akkurat nå. Dette skyldes en rekke faktorer, og har en mengde alvorlige påvirkninger på planetens økosystemer og miljø. Større konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren og utslipp av kjemikalier fører til en økende frekvenser av naturkatastrofer og høyere luftforurensning. Ifølge forskere fra FNs klimapanel er det en stor sannsynlighet for at menneskelig aktiviteter, spesielt utslipp av drivhusgasser, er den primære årsaken til den globale oppvarmingen som er observert de siste tiårene (Mukherji et al., 2023).

Konsekvensen av klimaendringene påvirker alle samfunn og økosystemer, men det er de mest sårbare samfunnene i verden som rammes hardest. Ifølge verdens helse organisasjon har luftforurensning blitt den femte største risikofaktoren for dødelighet i verden (Stein-Owe Hansen, 2020).

Derfor er det avgjørende at alle parter i samfunnet samarbeider om å få redusert utslippene av klimagasser og påvirke de negative innvirkningene klimaendringene har. I 2020 brukte verdens befolkning årlige ressurser tilsvarende 1,6 jordkloder. Vi lever på bekostning av fremtidige generasjoner som også skal leve på den samme planeten som oss (WWF, 2020).

Norge og resten av Europa har opplevd en stor oppgang i prisen på energi de siste årene. Flere husstander har opplevd en mangedobling av strømprisen. Denne Bachelor oppgaven vil ta for seg tematikken miljø- og energiforbruk i bygg. Dette er noe som er virkelig aktuelt i dag, og vil fortsette å være det i årene fremover. Det er mange forskjellige måter å se på dette problemet, og gruppen har valgt å se nærmere på om og i hvilken grad man kan redusere oppvarmingskostnadene og klimagassutslipp av bygg. For å se om det kan lønne seg å bygge etter passivhus standarden NS3700 uten at det går på bekostning av helse og innneklima.

1.1 Problemstilling

Denne oppgavens hovedmål er å finne tiltak som tilfredsstiller passivhusstandard for et byggeprosjekt på Tiller-ringen i Trondheim kommune. Lag Entreprenør oppfører rekkehus på Tiller i henhold til krav fra TEK17. Denne oppgaven vurderer tiltakene som må gjøres for å omklassifisere ett av rekkehusene til passivhusstandard, og for å se om sparetiltakene kunne vært benyttet på realistisk- og økonomiske grunnlag. Oppgaven skal sjekke hva kostnaden vil bli for å oppfylle denne standarden og om energikostnaden kan bli innspart i løpet av byggets levetid.

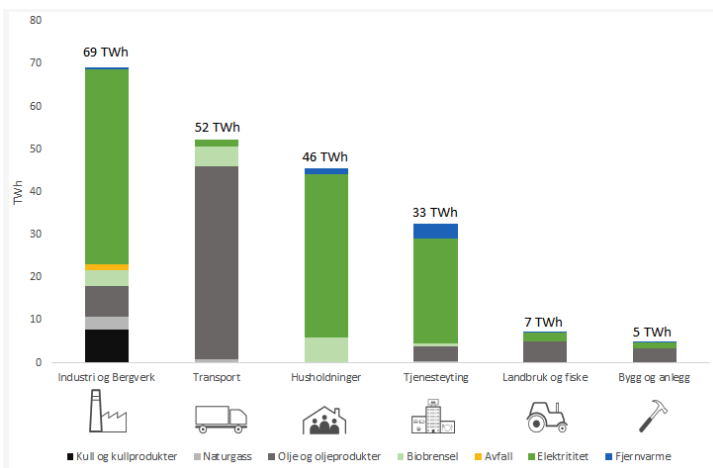
Sintef har i en rapport fra 2012 brukt studier fra Norge og utlandet til å anta en økt kostnad for passivhus i forhold til konvensjonell boligbygging til 5-10%. Kostnadene kan være noe større for boliger uten mekanisk ventilasjon, mindre merkostnader for boliger som allerede har balansert ventilasjon, og til og med lavere kostnader enn lavenergiboliger med et komplekst oppvarmingssystem (Michael Klinski et al., 2012).

Klimagassutslipp, og inneklima og helse er også en sentral del av oppgaven. Intensjonen med energiltak i bygninger er å redusere miljøpåvirkningen, og spesielt klimagassutslipp, men samtidig sørge for et godt inneklima som ikke bidrar til økt risiko for helseproblemer. Er besparelsen på energikostnader verd investeringen.

1.2 Bakgrunn

Et av de mest sentrale temaene i norsk bygningspolitikk er energibruk i bygninger. I Norge utgjør energibruken i husholdninger Ca. 22% av det totale energiforbruket.

Norske boliger har et høyt energiforbruk, og spesielt på oppvarming, det er estimert at hele 78% går til oppvarming, enten av selve oppvarming av bygget eller til varmtvann. Dette gir rom for et enormt sparepotensial (Olje- og energidepartementet, 2021).



Figur 1 hentet fra (Olje- og energidepartementet, 2021)

Siden midten av totusen tallet har det blitt introdusert nye begreper knyttet til bolig og næringsbygg i Norge. Det første passivhuset i Norge ble bygget i 2007, og siden den tid har begrepene passiv, null- og plusshus blitt en del av vokabularet til politikerne og befolkningen. Disse nye uttrykkene representerer en trend til å bygge mer energieffektive bygninger, som bruker minimalt med energi, eller til og med produserer energi. Man håper dette kan være med på å redusere klimagassutslipp tilknyttet byggenæringen.

På grunn av fokuset på å bygge energieffektive bygg, har regelverket blitt revidert flere ganger. Det kom både i 2007, 2010 og 2017 nye tekniske forskrifter som alle nybygg skal følge. I 2010 ble det i tillegg utgitt standarden NS 3700 som angir kriteriene til passivhus som boligbygg, denne ble videreutviklet i 2013 til passivhus og lavenergibyggninger NS 3700:2013. På grunnlag av NS 3700 er det en tilsvarende standard for yrkesbygg, kriterier for passivhus og lavenergibyggninger yrkesbygninger 3701:2012.

Den 03.11.22 presenterte regjeringen en ny klimamelding der Norge skal ha et forsterket klimamål. Det forsterkede klimamålet er minst 55% klimareduksjon fra 1990 til 2030 (Statsministerens kontor, 2022).

For å oppnå disse klimamålene må energibruken tilknyttet husholdninger betraktelig ned, da energi tilknyttet bygninger er en av de største bidragsyterne med 40% av Norges energiforbruk

(*Bærekraftige bygg*, 2019). Fremtidens bygge-bransje i Norge vil uten tvil være preget av energieffektive løsninger så derfor er oppgavens tematikk veldig aktuell.

Denne oppgaven er utført i samarbeid med en seriøs og en av de største aktørene innenfor bygging i Midt-Norge regionen, Lag Entreprenør. Selskapet har lang erfaring innen bygging og renovering av boliger, institusjoner og næringsbygg i Norge (Lag Entreprenør, 2023). Lag er kjent for å ha vært med å bidra til å sette høye standarder til utbygging av bygninger.

1.3 Avgrensninger

Opgavens tematikk er omfattende og problemstillingen gir rom for brede undersøkelser, derfor er det viktig å sette spesifiserte, tydelige grenser på utarbeidelse av denne bacheloroppgaven.

Undersøkelsene i denne oppgaven er basert på et rekkehus som er under oppføring på Tiller-ringen i Trondheim kommune, som beskrevet i kapitlene 3.1 - 3.4.2. Det er brukt den samme arkitektur, tomt, beliggenhet og retning i passivhusprosjekteringen som det opprinnelige prosjektet. Dette er fordi tiltak som evalueres skal kunne gjennomføres enklest mulig, med hensyn til Lag entreprenørs ønsker, og omfanget av rapporten. Formålet med oppgaven er derfor å finne gunstige løsninger som tar hensyn til begrensningene og oppfyller prosjektets mål.

Det er blitt gjort en rekke tiltak som påvirker energiytelsen i bygningen, men det er mange flere muligheter enn de som blir belyst i denne oppgaven. Utvalget av tiltak er basert på kunnskap som er opparbeidet gjennom en treårig høyere utdanning innenfor byggfag, samt antagelser som er basert på andre byggeprosjekt og studier, rådgøring med prosjektleder på byggeplassen og veileder internt på studiet. Det er ikke blitt evaluert løsning i forhold til fukttegenskaper, men det er blitt undersøkt varmegjennomgangs- og kuldebro-egenskaper.

Utrekningene er stort sett gjort med programvare, som SIMIEN og Holte, med noen manuelle beregninger for kontroll av resultatene og for å vise prinsippene og fremgangsmåten for

beregninger. Det er ikke blitt gjort tiltak knyttet til brukerstyring av komponenter i boligen, selv om slike tiltak som gjøres av den enkelte beboer kan ha stor innvirkning på det totale energiforbruket. Det er mulig å påvirke i simuleringsprogrammet som er brukt i oppgaven, men for å karakterisere huset som et passivhus, må man bruke de samme forutsetningene som er brukt i forskriftene.

Økonomi er en viktig del av oppgaven. Lag entreprenør er en utbygger som ønsker å bygge med god kvalitet for å ivareta sitt gode rykte, og de ønsker dermed å vite mer om kostnadene ved å ombygge småhus med høyere energieffektivitet. Merkostnaden er derfor viktig for oppgavens økonomiske resultat, som brukes for å regne ut ekstra kostnad for utbyggeren i byggefasen. Det er imidlertid ikke riktig å si at oppgaven omfatter begrepet lønnsomhet, siden resultatet kun viser selvkost. Noen av tiltakene krever mer midler til drift enn andre, for eksempel i form av elektrisitet og andre driftsutgifter, og dette må også tas med i betraktningen hvis man sammenligner lønnsomheten. Et annet moment som ikke er vurdert er tapt boareal som følge av tiltakene. Dersom tomteutnyttelsen er høy, vil tykkere vegger føre til tapt salgsareal. Prisene som er brukt som beregningsgrunnlag er hentet fra Holte sin database, bortsett fra vinduer, dører og solcellepanel da holte ikke har tilsvarende produkter med rett U-verdier og dimensjoner. Disse er da hentet fra Windoornet og benytter Nordan sine produkter (Windoornet, 2023a). Solceller er hentet fra Midt Energi sin kalkulator om estimerte anslag. (Midt Energi & Larsen Silje Nystrand, 2023)

Denne rapporten har kun tatt hensyn til klimagasser og brukt CO₂ ekvivalenter når det vurderes byggets påvirkning på miljø. En livsløpsanalyse (LCA) er en viktig del i å vurdere utslipp og en eventuell reduksjon i klimagassutslipp. I denne rapporten er det ikke gjort en fullstendig livsløpsanalyse av bygget som det var eller som det blir prosjektert, men heller en enkel vurdering av tilleggsutslippet som kommer fra økt mengde isolasjon og treverk i bindingsverk. Hensyn til endring i fundament er ikke tatt hensyn til i livsløpsanalysen, annet enn økt isolasjonsmengde. Ingen målinger av inneluft eller uteluftkvalitet i området er foretatt. Denne rapporten baserer seg på oppgitte luftmengder og krav til inneklime i TEK17 og NS3700, og tidligere studier om fukt og luftforhold i bygninger.

2 TEORI

2.1 Byggeregler i Norge

I Norge gjelder Plan- og bygningsloven som er en del av Byggteknisk forskrift og en stor del av reguleringen for bygging i Norge. Forskriften inneholder krav til byggverk, og er til for å sikre at byggverkene er sikre, tilfredsstillende -og trygge å bruke. TEK er et dokument som revideres med jevne mellomrom for å følge opp den teknologiske utviklingen og nye forskningsresultater. TEK omfatter alle typer byggverk og gir regler for alt innenfor konstruksjon, ventilasjon, brannsikkerhet, energieffektivitet og utforming til miljø og byggematerialer. Kravene i forskriften varierer ut fra type byggverk, størrelse, formål og bruk. TEK er utviklet for å beskytte mennesker og miljø. Forskriften stiller også krav til byggverkets levetid, sikkerhet og miljøpåvirkning. Byggverk som ikke oppfyller TEK krav vil ikke få godkjent byggetillatelse. (Direktoratet for byggkvalitet, 2022b; Plan- og bygningsloven – pbl, 2008)

2.2 Energikrav i teknisk forskrift

TEK stiller krav til energieffektivitet og energiforsyning. TEK 17 er bygget på prinsippene fra TEK 10, men med høyere krav til energibruk. Det er to hovedprinsipper for å dokumentere at bygget tilfredsstillende kravene til energieffektivitet. Tiltaks- og energirammemetoden det skiller mellom bygg til boligformål og andre bygg. Der kravene er gitt etter bygningstype, småhus betegner en gruppe boliger som kjedehus, rekkehus, eneboliger, to-til firemannsboliger.

2.2.1 Energiltak

Den første måten å tilfredsstillende kravene til energiltak et at bygningen må tilfredsstillende flere enkelttiltak. Tiltak er delt inn i transmisjonsvarmetap, infiltrasjons- og ventilasjons-varmetap, og øvrige tiltak (se tabell 1 for tiltak). Det er mulig å unngå noen av tiltakene, men da må andre tiltak forbedres slik at den samlede verdien for varmetap ikke øker. Varmetapstallet er varmetransportkoeffisienten for transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon delt på oppvarmet del av BRA, og er gitt ved $W/m^2 * K$.

Småhus kan endre på hvor varmetapet fordeler seg gjennom infiltrasjon, vindu, tak/vegger/gulv og

varmegjenvinner. Andre bygninger kan kun endre på tiltak som er knyttet opp imot varmetapet (Standard Norge, 2013a) (Energikrav til boligbygninger ved energitiltak og omfordeling av varmetap, 2016).

Tabell 1 Viser ulike tiltak og krav til tiltakene. Tabellen er gjengitt fra TEK 17 kapittel 14 Energi § 14-2. Krav til energieffektivitet.(Energi & § 14-2. Krav til energieffektivitet, 2020)

Energitiltak § 14-2	
A) Transmisjonsvarmetap:	
Andel vindus- og dørareal \leq 25% av oppvarmet BRA	
U-verdi yttervegg \leq 0.18 W/(m ² K)	
U-verdi tak \leq 0.13W/(m ² K)	
U-verdi gulv \leq 0.10 W/(m ² K)	
U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme \leq 0,80 W/(m ² K)	
<i>Normalisert kuldebroverdi, der m² angis som oppvarmet BRA:</i>	
Småhus \leq 0,05 W/(m ² K)	
Boligblokk \leq 0,07 W/(m ² K)	
B) Infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap:	
<i>Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell:</i>	
Småhus \leq 0,6 luftvekslinger Pr .time	
Boligblokk \leq 0,6 luftvekslinger Pr. time	
C) Øvrige tiltak:	
<i>Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP):</i>	
Småhus \leq 1,5 kW/(m ³ /s)	
Boligblokk \leq 1,5 kW/(m ³ /s)	

2.2.2 Energiramme

Den andre metoden som brukes for å tilfredsstille kravene til energieffektivitet er energirammemetoden. Dette er en metode for å beregne energiytelsen til bygninger, ved en fullstendig energisimulering etter SN-NSPEK 3031:2021 "Tillegg T, kvalitetssikring av energiberegninger" (Standard Norge, 2021). Energirammekravet er avhengig av type bygning, og

en maksimalverdi for samlet netto energibehov oppgitt i kWh/m² av oppvarmet BRA. Se tabell 2 for krav til energirammer. Tallene i parentes () er areal krav for bygninger der varmegjenvinning av ventilasjonsluft kan medføre risiko for spredning av smitte eller forurensning.

Det samlede netto energibehovet er alle energipostene som bygget vil benytte. Dette inngår i standardverdier for oppvarming, referanseklima, energi til ventilasjonsanlegg, energitilskudd fra solen og brukerstyrte poster som er oppgitt i tillegg A.3 i SN-NSPEK 3031:2021.

Tabell 2 Viser ulike klasser av tiltak og krav til tiltakene. Tabellen er gjengitt fra TEK17. Kapittel Energi § 14-2. Energirammer (Energi & § 14-2. Krav til energieffektivitet, 2020)

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

Når byggets samlede netto energibehov beregnes vil ting som geometri, lokasjon og vindusplassering ha innvirkning av beregningen. En gunstig plassert bygning med mye vindusareal mot sør og solens stråling, vil virke positivt inn på samlet netto energiberegning.

2.2.3 Minstekrav

Uansett om det følges energiltak eller energiramme modellen, må det følge gitte minstekrav. Dette er for å unngå at bygningene som blir bygget har veldig ujevn kvalitet. Dermed er det krav til tetthet og varmegjennomgang (se tabell 3). Det stilles også krav til at komponenter som brukes i forbindelse med varmedistribusjonsnett isoleres.

Tabell 3 Minstekrav for varmegjennomgang og tetthet for både tiltaks- og rammemetoden (TEK 17§ 14-3(1), tabell a)(Direktoratet for byggekvalitet, 2018)

Konstruksjonsdel	Krav	Type	Enhet
Yttervegg	$\leq 0,22$	U-verdi	W/(m ² K)
Tak	$\leq 0,18$	U-verdi	W/(m ² K)
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri	$\leq 0,18$	U-verdi	W/(m ² K)
U-verdi vindu og dør inkl. karm og ramme	$\leq 1,2$	U-verdi	W/(m ² K)
Lekkasjetall ved 50 Pascal trykkforskjell (luftveksling per time)	$\leq 1,5$	Luftveksling pr. time	n ₅₀

2.2.4 Unntak fra reglene

Unntak og krav til energi kan fravikes i særskilte tiltak. Dette gjelder for det meste konstruksjoner med spesielt bruk, dårlig geometri og kulturminner. Det er reduserte krav for frittstående boliger under 70 m² oppvarmet BRA. Fritidsbolig med størrelse 70 m² til 150 m² oppvarmet BRA, og større fritidsboliger med kun en boenhet. Nevnte trenger kun å holde seg innenfor minstekravene som er oppgitt i tabell 3 ovenfor. Laftede bygninger har også egne energikrav som er gitt i "TEK17 §14-5 Unntak og krav til særskilte tiltak" (Direktoratet for byggkvalitet, 2020)

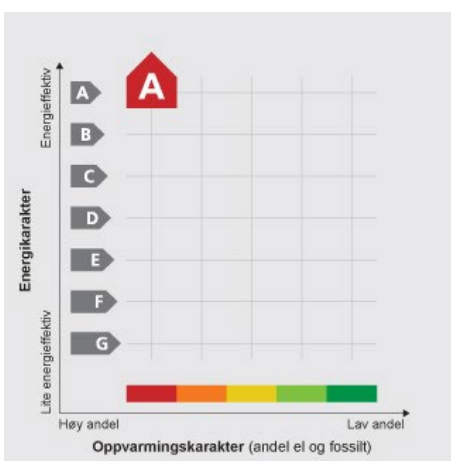
2.2.5 Energiforsyning

Energiforsyning består av alle deler av energisektoren som produserer, omsetter og frakter energi til sluttbrukere. I Norge utgjør kraftproduksjon den klart største delen, med vannkraft som bærende produksjon av fornybar kraft (Energifakta, 2023). Energiforsyningen i husholdninger i Norge består i hovedsak av elektrisitet fra norske vannkraftverk. Behovet for varme i et bygg kan deles opp i to; spisslaster og grunnlast. Grunnlasten er effekten som brukes for å dekke mesteparten av oppvarmingsbehovet. Grunnet økonomiske hensyn er det ikke lønnsomt å ha et varmeanlegg som dekker hele varmebehovet. Det er derfor mer økonomisk å velge en energiforsyning som klarer grunnlasten, og en øvrig energiforsyning som dekker resterende på de kaldeste dagene.

2.2.6 Energimerking

I 1993 ble det lovpålagt i Europa å merke enkelte elektriske apparater til å ha energimerking. Denne ordningen kom til Norge i 1996 («Energimerking av forbruksartikler», 2022). Denne energimerkingen ble videreført i EUs bygningsdirektiv i 2003, som førte til påbud på energimerking av enkelte bygninger, som igjen førte til ett krav til å energimerke enkelte bygninger i Norge fra 1.januar 2010. (Energimerkeforskriften for bygninger, 2009).

Energimerkingskalaen går fra bokstavkarakter A til G i alfabetisk rekkefølge der A er mest energieffektiv, og G er minst. Fargekodene går fra rød til grønn, der rød er høy andel el og fossil energi til oppvarming. Grønn er lav andel el og fossil energi brukt til oppvarming. En grønn karakter har ofte fornybare kilder tilknyttet bygningen.



Figur 2 eksempel på energimerking av bolig, figuren er hentet fra (Enova SF, 2011)

2.3 Energihus

Energihus er en samlebetegnelse for alle typer konstruksjoner som er utformet for å være svært energieffektive, og bruker langt mindre energi enn vanlige bygninger som er bygget etter minstekravene til TEK. Energihus har ulike nivåer av energieffektivitet, men de mest vanlige klassifiseringene er lavenergihus, nullhus, plusshus og passivhus. Energihus kan være en viktig del av overgangen til en mer bærekraftig og klimavennlig fremtid (SINTEF, 2015a).

2.3.1 Lavenergihus

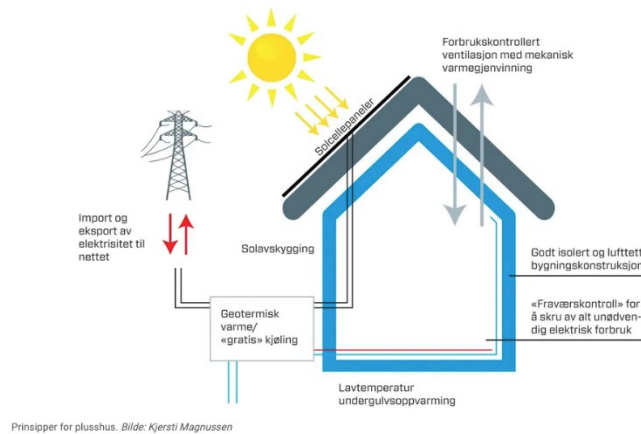
Lavenergihus er en konstruksjon som er utformet til å redusere energibehovet og øke energieffektiviteten. Denne type konstruksjon er utgangspunkt for gjeldende krav i TEK17 og de har samme minstekrav til varmetap. For at konstruksjonen skal bli klassifisert som lavenergihus må energiforbruket være lavere enn 100 kWh/m²*år. Energiforbruket og innneklima må sees i sammenheng med byggetekniske løsninger, tekniske installasjoner, arkitektur og ytre klima (Lavenergiboliger.no, 2023).

2.3.2 Nullhus

Nullutslippsbygning eller Zero Emission Building (ZEB) på engelsk, er en type konstruksjon som er designet for å produsere like mye energi som den bruker i løpet av levetiden. Det skal eksporteres fornybar energi produsert på tomten der konstruksjonen er. Dette skal kompensere for klimagassutslippene forårsaket fra samme bygning. For å oppnå nullenergi standarden, er det viktig å tenke helheten av byggingen. Det vil si å tenke på hvordan bygningen blir designet, materialvalg, størrelse på vinduer, orientering, og hvilke fornybare energisystemer som brukes. (SINTEF, 2017a). Nullhus er en mellomting mellom plusshus og passivhus (Energiverket, 2019).

2.3.3 Plusshus

Plusshus bygger på de samme prinsippene som Nullhus. Bare at dette er en type bygning som er designet for å produsere mer energi enn det som forbrukes av beboere og systemer i løpet av levetiden. For å oppnå plusshustandard må bygningen ha et netto energibehov mindre enn null, at de produserer mer energi enn de bruker gjennom fornybare energikilder som solceller, vindkraft eller geotermisk energi. I tillegg må plusshus være utformet for å ha lavt vannforbruk og redusert avfall, og et godt innneklima med fokus på god ventilasjon og bruk av naturlig lys. Plusshus kan være en effektiv måte å redusere klimagassutslippene fra bygninger på, og kan også bidra til å øke andelen fornybar energi i det lokale kraftnettverket (Brandslet, 2022).



Figur 3 Illustrasjon på hvordan plusshus fungerer. Bilde hentet fra (Kjersti Magnusen, 2014)

2.4 Passivhus

2.4.1 Konsept

Passivhus er en type konstruksjon som er utarbeidet for å ha minimalt energibehov og opprettholde et bra innklima uten behov kjøling. Dette oppnås ved å maksimere isolasjon, ha effektiv varmegjenvinning fra ventilasjon, utnytte solens varmestråler, minimere varmetapet, minske kuldebro- og luftlekkasjer. Disse passive tiltakene skal sørge for en lang levetid og langt mindre energibehov. Dermed må tiltakene sees på som en investering for den langsiktige levetiden til bygningen.

2.4.2 NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, boligbygninger

Passivhusbygg har vært til stede i flere år, og ble opprinnelig lansert av passivhusinstituttet i Tyskland. I Norge var det stor forvirring rundt begrepet passivhus. Store forskjeller på klima og byggemetode rundt omkring i verden gjør at passivhus begrepet ikke kan defineres på internasjonalt nivå. Regjeringen i Norge ønsket å befrukte det norske boligmarkedet med boliger som har lavt energiforbruk. Derfor kom standarden NS3700 i 2010 som senere ble revidert til NS3700:2013. På grunnlag av denne standarden kom det en tilsvarende standard for industribygg NS3701:2013. NS3700 inneholder kriteriene til Passivhus, lavenergiklasse 1 og lavenergiklasse 2 («Passivhus», 2023).

2.4.3 Maksimalt varmetapstall

Det totale varmetapstallet til en bygning tar hensyn til transmisjon- og infiltrasjonstap. Passivhuskravene til maksimalt varmetapstall vises i tabell 4 og måles i W/m^2K , hvor A_{fl} er oppvarmet del av BRA.

Tabell 4 Krav til varmetapstall i passivhus, gjengitt fra NS3700:2013 Tabell 2 (Standard Norge, 2013)

Varmetapstall			
Størrelse	Boligbygging der $A_{fl} < 100 \text{ m}^2$	Boligbygging der $100 \text{ m}^2 \leq A_{fl} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygging der $A_{fl} \geq 250 \text{ m}^2$
Passivhus	0,53	0,48	0,43
$A_{fl} = \text{Oppvarmet BRA}$			

2.4.4 Krav til oppvarming

Passivhus har strenge krav til energiforbruket som brukes til oppvarming. De standardiserte oppvarmingsbehovene i et passivhus vil variere med størrelsen på boligen, årsmiddeltemperaturen og områdets lokale forhold. I Norge brukes årsmiddel-temperaturer som varierer rundt $6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ og det er de lokale forholdene som bestemmer verdiene som gjelder for bygget.

For at det skal være komfortabelt å bo i et passivhus, bør lufttemperaturen være jevn. vanligvis vil temperaturen ligge mellom 20 til $22 \text{ }^\circ\text{C}$ på dagtid, og litt lavere om natten (Norges Astma- og Allergiforbund, 2023). Oppvarming av rom i passivhus skjer for det meste gjennom passiv solvarme, så lenge det er tilgjengelig. På dager med høy utvendig temperatur og mye direkte solstråling, bør solskjerming benyttes for å hindre den innvendige temperaturen å stige for høyt. Passivhus har også krav til energiforsyning, som er beskrevet i kapittel 2.4.10. Totalt sett er passivhus en form for bærekraftig bygning som krever lite energi for oppvarming og som har en høy grad av komfort for beboerne.

Tabell 5 Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gjengitt fra NS3700:2013 (Standard Norge, 2013)

Årsmiddel- Temperatur, q_{ym}	Høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming kWt/(m ² * år)	
	Boligbygning der $A_{fl} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{fl} \geq 250 \text{ m}^2$
$\geq 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}$	15
$< 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100} + (2,1 + 0,59 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}) \times (6,3 - q_{ym})$	$15 + 2,1 \times (6,3 - q_{ym})$

2.4.5 Krav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjer i passivhus og lavenergibygg

Tabell 6 Viser krav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjer. Gjengitt fra (Standard Norge, 2013)

Egenskaper	Lavenergihus		Passivhus	Type	Enhet
	Klasse 1	Klasse 2			
Yttervegg	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 0,15$	U-verdi	W/(m ² K)
Gulv	$\leq 0,13$	$\leq 0,13$	$\leq 0,13$	U-verdi	W/(m ² K)
Tak	$\leq 0,15$	$\leq 0,15$	$\leq 0,15$	U-verdi	W/(m ² K)
Vindu og dør	$\leq 1,2$	$\leq 1,6$	$\leq 0,80$	U-verdi	W/(m ² K)
Normalisert kuldebroverdi	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$	$\leq 0,03$	Kuldebro	W/(m ² K)
Virkningsgrad for varmegjenvinner	≥ 70	≥ 70	≥ 80		%
SFP-faktor for ventilasjonsanlegg	$\leq 2,0$	$\leq 2,0$	$\leq 1,5$		kW/(m ³ /s)
Lekkasjetall ved 50 Pa. N_{50}	$\leq 1,0$	$\leq 3,0$	$\leq 0,6$	Luftveksling per. time	h ⁻¹

2.4.6 U-verdi

For å beregne varmetapet i en konstruksjon brukes varmetransmisjon, også kalt U-verdi. Dette kan beskrives som materialets evne til å holde på varmeisoleringssevnen. U-verdien er en måleenhet som angir hvor mye varmeenergi som overføres gjennom en overflate på 1 m² ved en temperaturforskjell på 1 Kelvin. Enheten for U-verdi er W/m²K. Desto lavere U-verdi, desto bedre isolasjonsevne har bygningskomponenten. U-verdien beregnes for ulike deler av bygningen, som yttervegger, vinduer, dører, tak og gulv mot grunn. Med lavere U-verdier reduseres bygningens varmetap, noe som fører til lavere oppvarmingsbehov (SINTEF, 2018a).

For å beregne U-verdien til en vegg som består av ulike materialer, må man først finne R-verdien til hvert enkelt materiale. R-verdien angir materialenes motstand mot varmetap og er gitt ved tykkelse og termisk konduktivitet. U-verdien for veggene kan beregnes ved å summere R-verdiene for hvert materiale og deretter dele 1 på denne summen. Dette gir U-verdien som beskrevet i Formel 1.

$$\frac{\lambda}{d} = R = \frac{1}{R_{tot}} = U$$

Formel 1 hvordan beregne U-verdi

$$R = d / \lambda \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

$$U = 1 / (R_{si} + R_t + R_{se}) \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$R_t = R \text{ for hvert materialsjikt} = (d_1 / \lambda_1) + (d_2 / \lambda_2) + \dots + (d_n / \lambda_n) \text{ [m}^2\text{K/w]}$$

U-verdien er også viktig å ta hensyn til når man gjør en helhetlig energiberegning for vinduer og dører i en bygning. U-verdier for vinduer vil variere avhengig av antall lag og fyllmateriale mellom glassene. Argonfylte vinduer er det vanligste i vinduer da det er endel rimeligere enn alternativene.

Argonfylte vinduer vil typisk ha en λ -verdi $0,017 \frac{W}{(mK)}$, mens de tyngre, litt dyrere edelgassene

krypton har λ -verdi $0,0090 \frac{W}{(mK)}$ og xenon har λ -verdi $0,0054 \frac{W}{(mK)}$

(Jan Vincent Thue, 2016, s. 199)

Med dagens teknologi for vinduer er det vanligvis vinduer med tre eller flere lag som oppfyller passivhuskravet med en U-verdi på $\leq 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Når man beregner U-verdi for dører og vinduer må man ta hensyn til karmer, rammer og sprosser. En isolerrute vil normalt ha lavere U-verdi på glassarealet enn ved karmen og innfesting i vegg. Et stort vindu med lav karmandel vil ha bedre U-verdi enn et lite vindu med høy karmandel (SINTEF, 2016c). Samlet sett er U-verdien en viktig parameter for å kunne evaluere bygningsstrukturens isolasjonsevne, og det er viktig å ta hensyn til U-verdien for både vinduer og dører når man gjør en helhetlig energiberegning.

2.4.7 Kuldebro

En kuldebro er et område i en bygningskomponent som har en høyere varmeledningsevne enn områder rundt. Dette fører til at varme unnslipper lettere gjennom dette området, og dermed forårsaker varmetap. Kuldebroer kan oppstå på grunn av materialvalg, konstruksjonsmetoder eller designfeil. En av de vanligste årsakene til kuldebroer er betongkonstruksjoner som strekker seg gjennom isolasjonslaget i bygningskomponenter. Kuldebroer kan beregnes ved hjelp av numeriske simuleringer eller ved hjelp av standarder og retningslinjer. Den mest vanlige metoden for beregning av kuldebroer er å bruke lineære varmetransmisjonskoeffisienter (Ψ -verdier). Ψ -verdi beregnes ved å multiplisere varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdi) av kuldebroen med den totale lengden av kuldebroen.

Tabell 7 beregning av kuldebroer Ψ

$\Psi = q_i - U * R_{si} * (q_i - q_e)$
R_{si} = innvendig overgangsmotstand
q_i og q_e er innvendig og utvendig temperatur

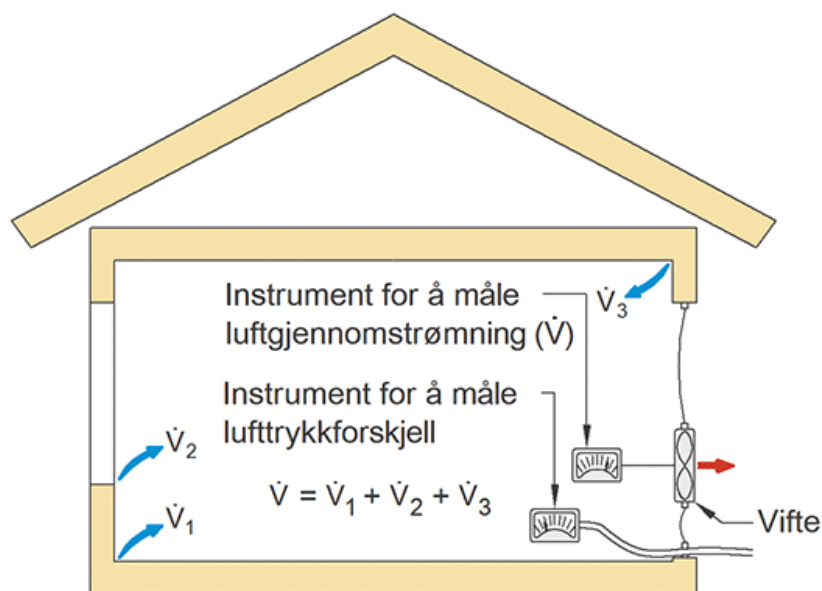
Det er viktig å ta hensyn til kuldebroer når man designer og bygger passivhus, da selv små kuldebroer kan ha stor innvirkning på bygningens energieffektivitet og komfortnivå. Passivhus har derfor strenge krav til kuldebroer, maksimal Ψ -verdi på $0,03 \text{ W/mK}$.(SINTEF, 2019a)

Det finnes en rekke teknologiske løsninger for å redusere kuldebroer i bygninger, for eksempel ved bruk av isoleringsmaterialer med lav varmeledningsevne, avbrytelser i konstruksjonen eller ved bruk av spesielle feste- og monteringsmetoder. (Tor Helge Dokka et al., 2006)

2.4.8 Luftlekkasjer

Luftlekkasjer er en utveksling av luft fra ute til innemiljøet i en konstruksjon. Dette skjer gjennom sprekker, hull eller andre utettheter i konstruksjonen. Dette er en belastning for inneklimaet og kan føre til uønsket varmetap, redusert luftkvalitet og økt behov for energi som fører til økte energikostnader.

Luftlekkasjer kan beregnes ved hjelp av lufttetthetsmålinger og trykktesting. Trykktesting kan utføres ved å tette bygget helt, montere en vifte i en døråpning og øke trykket inne i bygningen til å skape undertrykk. Når undertrykket har nådd 50 Pascal estimeres hvor mange ganger luften skifter inne i konstruksjonen i løpet av en time (h^{-1}). (Takstmann byggmester Borgar Bernhardsen AS, 2023). I passivhus er det viktig å minimere luftlekkasjer for å oppnå høy energieffektivitet og godt inneklima. Passivhus stiller derfor strenge krav til lufttetthet; $< 0,6 (h^{-1})$ (Standard Norge, 2013). For å redusere luftlekkasjer i bygninger, er det viktig med godt håndverk, gode kvalitetsprodukter og løsninger. Det er også viktig å sikre at ventilasjonsanlegg er riktig dimensjonert, montert og tettet for å unngå trykkforskjeller som kan forårsake luftlekkasjer. ((SINTEF, 2014)



Figur 4 Måleprinsipp for luftlekkasjer, hentet fra (SINTEF, 2014)

2.4.9 Ventilasjon

Godt inneklima er avgjørende for helse og komfort i bygninger. Utskiftningen av luft i bygninger er en viktig faktor for å oppnå et godt inneklima, og ventilasjonsanlegg er en vanlig måte å oppnå dette på. Ventilasjonens formål er å sikre tilfredsstillende luftkvalitet, og begrense luftfuktigheten innendørs. Ventilasjonsanlegg skal erstatte brukt luft med tilstrekkelig mengde frisk uteluft i bygningen. Det er tre hovedtyper ventilasjon; naturlig-, mekanisk-, og balansert.

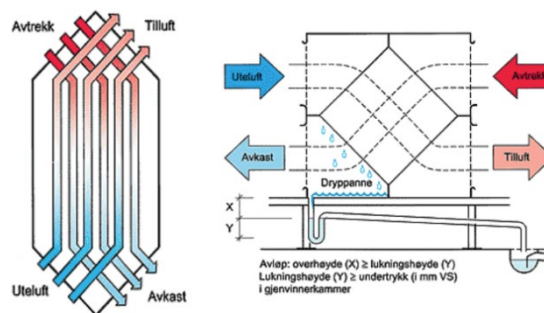
Naturlig ventilasjon bruker åpninger i bygningskroppen, som vinduer eller ventiler til utskifting av luft.

Mekanisk ventilasjon er et system som drar luft ut av bygningen ved hjelp av mekaniske vifter.

Balansert ventilasjonssystem har mulighet til enkelt å varme opp den friske luften som trekkes inn i bygningen av den brukte luften som blåses ut. Den klart foretrukne måten er balansert ventilasjon, der det går like mye luft inn som ut, den har varmegjenvinner som kan gjenvinne varmen fra avtrekksluft med en virkningsgrad på nærmere 90%, og den har mulighet til å kontrollere ventilasjonsmengden (Se figur 5 for beskrivelse). I tillegg kan det monteres filter som filtrerer bort uønskede helseskadelige partikler. (SINTEF, 2017c)

2.4.9.1 Varmegjenvinning i ventilasjon

Varmegjenvinning i ventilasjon er en teknologi som gjør det mulig å gjenbruke varmen fra avtrekksluften. Ventilasjonssystemet tar den gamle brukte luften ut av konstruksjonen og erstatter den med ny frisk luft, som varmes av avtrekksluften. En typisk komfort innetemperatur er 20-22 °C (Asma og allergiforbundet, 2023). For et passivhus må virkningsgraden på en varmegjenvinner være $\leq 80\%$, som er graden av varme som gjenvinnes fra avtrekksluften. Når det er kaldere perioder der varmegjenvinneren ikke klarer å opprettholde virkningsgraden så kan et varmebatteri brukes for å tilføre varme til luften for ønsket lufttemperatur (SINTEF, 2015b).



Figur 5 prinsipp på hvordan en varmegjenvinner fungerer

2.4.9.2 Spesifikk vifteeffekt

For passivhus er det spesielle krav til ventilasjonssystemene for å sikre en energieffektiv drift. SFP-faktoren, som står for "Specific Fan Power", gir en indikasjon på hvor effektivt ventilasjonsanlegget flytter luft gjennom systemet. Lav SFP-faktor betyr at ventilasjonsanlegget bruker mindre energi på å flytte samme mengde luft (SINTEF, 2000).

Det er et krav i NS3700 om maksimal SFP-faktor på 1,5 kW/(m³/s) i driftsfasen til anlegget. Passivhus med en tett klimaskjerm vil være avhengig av et effektivt ventilasjonssystem med lav SFP-faktor for å sikre godt inneklima og et energieffektivt bygg. Det er derfor viktig å velge anlegg som kan behovsstyres, slik at SFP-faktoren ikke blir for høy. Dette vil bidra til å redusere energiforbruket og driftskostnadene. Samtidig må man sørge for at systemet er tilpasset bygningens behov, slik at det sikrer et godt inneklima. (Mads Mysen m.fl. & SINTEF, 1999)

Tabell 8 SFP faktor (Mads Mysen m.fl. & SINTEF, 1999)

$SFP = \frac{\sum P}{V} \left[\frac{kW}{\frac{m^3}{s}} \right]$
SP= Summen av alle vifteeffekter, [kW]
V= Total sirkulert luftmengde (netto), [m ³ /s]. Her velges største luftmengde av til luft og avtrekk.
SFP < 2,0 for nye bygg med begrenset driftstid (under 4000 timer/år).
SFP < 1,5 for nye bygg med døgkontinuerlig drift.
for VAV-anlegg økes SFP med 1,0 ved maksimal luftmengde.
SFP < 2,5 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygg
SFP < 4,0 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygg med spesielt trange tekniske rom og vanskelige føringer.

2.4.10 krav til energiforsyning

Kravet til energiforsyning handler om å sikre at bygninger forbruker minimalt med energi fra ikke-fornybare kilder, og istedenfor henter mesteparten av energien fra fornybare energikilder. Det er for eksempel ikke tillatt å installere varmeinstallasjoner for fossilt brensel (SINTEF, 2016a). For å oppnå dette er det nødvendig å vurdere løsninger for levering av fornybar energi. NS3700 sier at beregnet mengde levert energi til bygningen, utenom elektrisk og fossil energi må være større enn 50% av netto energibehov for varmtvann (SINTEF, 2013f).

For å oppfylle kravene til energiforsyning i et passivhus er det viktig å bruke energieffektive løsninger. Passivhus har for eksempel minimalt med luftlekkasjer, som betyr at det er mindre varmetap fra bygningen. Dette kan også føre til en reduksjon i størrelsen på varmesystemet som trengs for å holde bygningen varm. I tillegg vil kravet om maksimal mengde levert elektrisk og fossil energi føre til at fjernvarme, solfangere og andre teknologier for fornybar energi kan bidra til å øke effektiviteten til energiforsyningen i passivhus (Standard Norge, 2013).

2.4.11 Varmepumpe og grunnvarme

Varmepumper bruker strøm til å flytte energi fra ett sted til et annet. Dette er en energieffektiv måte å varme eller kjøle ned en bygning. Den kan hente varme fra bakken, vann eller utendørs luft

og bruke den til å varme opp bygninger. Uavhengig av bygning kan en varmpumpe være gunstig da den er svært energieffektiv i forhold til konvensjonelle oppvarmingssystemer (U.S. Department of Energy, 2011). Om man ikke har fjernvarme, grunnvarme eller andre løsninger som minimerer bruken av direktevirkende el, vil en varmpumpe være essensiell i et passivhus som krever en stabil temperatur og et minimalt energiforbruk.

Grunnvarme, eller geotermisk energi bruker varme som er lagret i jorden og omdanner det til elektrisitet eller direkte varme inn til bygninger. En varmpumpe basert på grunnvarme utnytter seg av varmen som er lagret i jorden ved at en serie rør som er tilknyttet hverandre sirkulerer en veske som tar til seg eller gir fra seg varme fra bakken. På kalde dager vil varmpumpen ta varme fra vesken i rørene, konsentrere den og overføre den til bygningen. Når temperaturen i bygningen er høyere enn i bakken kan pumpen overføre varme fra bygningen til under jorden. Dette er en ren og fornybar energikilde som kan utnyttes med minimalt varmetap og er en attraktiv løsning for oppvarming i passivhus. Geotermiske varmpumper og direkte utnyttelse av varme fra dype borehull er to av mange løsninger for grunnvarme (U.S department of energy, 2011).

Fordelene med varmpumpe og grunnvarme er at de bruker lite energi i forhold til levert energi, de gir en jevn temperatur og godt innneklima, og de kan redusere behovet for andre oppvarmingskilder. Dette kan bidra til å redusere energiutgiftene og ha en positiv innvirkning på miljø. (Varmepumpeforeningen, 2023).

2.4.12 Fjernvarme

Fjernvarme er et system der energi i form av varmt vann overføres fra en fjernvarmesentral til boligområder og andre bygninger gjennom isolerte rør. Denne varmen sendes til forbrukerne gjennom radiatorer eller vannbåren varme som romoppvarming og/eller brukes til varmt forbruksvann med en varmeveksler. Energikildene i et fjernvarmesystem kan være gass, olje, flis, strøm, overskuddsvarme fra industri, og avfallsbrenning; som står for rundt halvparten av netto energiproduksjon. Det er flere fordeler med et større fjernvarmeanlegg kontra mange små

fyringsanlegg. Blant annet lavere investerings- og brenselkostnader, bedre virkningsgrad og lavere utslipp.

Anlegg basert på avfallsforbrenning gjør at sluttavfallsmengden til deponi blir vesentlig redusert. (Rosvold, 2021). Rekkehusene på Tiller-ringen er sammen med mer enn 8000 boliger og flere hundre bedrifter og offentlige bygninger i Trondheim, tilknyttet Statkraft sitt fjernvarmeverk på Heimdal. Varmeverket har kapasitet til å motta 170,000 tonn søppel årlig og rundt 75% av den produserte energien kommer fra avfallsforbrenning. Trondheim er, sammen med Oslo ledende på bruk av fjernvarme i Norge. Fjernvarmeanlegget på Tiller dekker mer enn 30% av oppvarmingsbehovet i Trondheim og Klæbu (Rosvold, 2018).

2.5 Solenergi

Alt liv på jorden er avhengig av solens stråler, og er følgelig en utmerket kilde til energi. Ved atmosfærens ytre har strålingen, kalt solarkonstant, en intensitet på rundt 1353 W/m^2 . Jordens atmosfære reflekterer noe av denne strålingen ut igjen i rommet, mens resten blir absorbert på jordoverflaten som direkte eller diffus stråling. På en klarværsdag vil det meste av strålingen være direkte, diffus stråling er når strålingen blir spredt fra partikler i atmosfæren, og spesielt fra skyer. Summen av direkte og diffus stråling kalles globalstråling og måles normalt i W/m^2 på en horisontalflate (SINTEF, 1991).

Hvilken breddegrad man befinner seg på avgjør i hovedsak hvor mye solinnstråling som treffer jordoverflaten. Ved sydlige deler i Europa kan årlig solinnstråling mot horisontalplanet være så høyt som 2200 kWt/m^2 mens den i Norge er rundt 1100 kWt/m^2 i sør og 700 kWt/m^2 i nord (Heen, 2018). Solenergien som treffer jordoverflaten er så stor at den kan forsyne 15000 jordkloder med energi (Hofstad, 2023). I tillegg til å varme opp jordkloden, bygninger, varmtvann og annet, kan solenergi omdannes til elektrisitet ved for eksempel solceller. Solenergi har et enormt potensial og i byggenæringen har man begynt å se etter måter å utnytte seg av dette.

2.5.1 Passiv solvarme

En viktig del i å skape energieffektive bygninger er bruken av passiv solvarme. Sola kan brukes som en kilde til god oppvarming gjennom smarte materialvalg og løsninger, gjennomtenkt bygningsdesign og plassering av vinduer. Orienteringen til bygningen, plassering og størrelse på vinduer, og materialvalg er viktige hensyn å ta når man bygger passivhus. Solstrålene utnyttes best mot sør eller sørvestvendte vinduer, med høy varmeoverføringskoeffisient og stort overflateareal. Lavemissivt belegg i vindusglass reduserer varmetapet og øker solabsorpsjon. Valg av materialer kan også påvirke passiv solvarme. Mineralull og andre materialer med lav termisk ledningsevne reduserer varmetap og tilskudd gjennom bygningskroppen, mens for eksempel betong kan absorbere solenergi og frigjøre varme senere når solstrålene forsvinner.

Passiv solvarme kan skape et problem med overoppheting, og derfor vil det være viktig å ta hensyn til solskjermingsløsninger for å unngå for mye solinnstråling på varme dager (SINTEF, 2017b). Passiv solvarme kan også forbedre bygningskomfort og luftkvalitet i tillegg til reduserte kostnader og lavere energibruk. Naturlig sollys er å foretrekke og samtidig vil det redusere behovet for elektrisk belysning.

2.5.2 Aktiv solvarme

Aktiv solvarme er en teknologi som utnytter solens stråling og konverterer det til varme eller elektrisk energi gjennom solceller eller solfangere. Solvarmesystemer kan implementeres direkte i bygningen eller i store anlegg som forsyner et område med strøm eller oppvarmet vann. Solenergi kan også brukes til å kjøle ned bygninger gjennom solkjølingssystemer som bruker solenergi til å produsere kaldt vann. Disse kan være nyttige i passivhus for å oppnå maksimal energieffektivitet. For å øke effektiviteten ytterligere kan aktiv solvarme kombineres med varmepumper eller andre teknologier. I kombinasjon med varmepumpeteknologi kan solvarme brukes som primær eller sekundær varmekilde. Varmepumpen forsterker effekten fra solfangerne og leverer energi til bygningen. NRLE publiserte en meta-analyse i 2013 av rapporter som tok for seg CO₂ ekvivalente utslipp for ulike fornybare og fossile energikilder. Solceller slipper typisk ut 50g CO₂ ekvivalenter per kWh over dens levetid, mens utslipp fra naturgass og kull ligger på henholdsvis rett under 500 gram og så mye som 1000 gram per kWh (Nicholson & Heath, 2013). Solens stråling og teknologi

som utnytter seg av solvarme vil være en viktig bidragsyter for å oppnå bærekraftige byer og bygninger.

2.6 Estimering av levetid

2.6.1 Levetid på nybygg

Levetid defineres som tiden det tar før bygget ikke lenger tilfredsstiller gitte minimumskrav. Levetid er ikke en gitt egenskap for den aktuelle bygningen eller bygningsdelen, men relateres til funksjonalitet; om bygget oppfyller krav til ønsket funksjon (Svein Bjørnberg, 2009). Levetidsdata er avgjørende som grunnlag for verdifastsettelse av bygninger, tilstandsvurdering, forsvarlig vedlikehold, bruk av livssykluskostnader, livsløpsanalyser og miljødeklarasjoner m.m. Man kan skille mellom ulike levetider, som teknisk, økonomisk, estetisk og flere, men (SINTEF, 2004) refererer til funksjonsbaserte definisjoner med tilhørende ytelseskrav. Det finnes ingen eksakt pålitelig måte å regne levetid for en bygning, det beror på mange faktorer, som lokalt klima, materialbruk, utførelse m.m. Man kan gjøre anslag basert på tidligere erfaringer, og gjennom observasjon og målinger av lignende bygninger. Standard Norge anbefaler nødvendig nivå av pålitelighet for levetidsanslag til å være 80%, men er avhengig av risikoen ved feil. Ved for eksempel fare for liv og helse bør anslagene være høyere (Standard Norge, 2014a).

Levetid for småhus kan settes til 60 år, som er estimert levetid for bindingsverk og etasjeskiller av tre og betonggulv på isolasjon før reparasjon eller utskifting av deler er nødvendig (SINTEF, 2017d). Sintef baserer intervaller i levetid for bygningsdeler i hovedsak på teknisk levetid, men noen intervaller kan være kortere på grunn av nye løsninger som forbedrer inneklime, trivsel, senker utgifter eller lignende. Mange bygningsdeler krever omfattende reparasjon eller utskifting, vesentlig tidligere enn 60 år og man må regne med løpende arbeid på en bygning når man regner på spesielt kostnader og klimagasspåvirkning. I tillegg kommer arbeid, utstyr og transport i forbindelse med vedlikehold.

2.6.2 Dimensjonerende levetid

Bindingsverk, etasjeskiller og gulv på grunn er kun en liten del av bygningsmassen. Tak bør eksempelvis omlegges etter 30-60 år avhengig av taktekning. Omlegging involverer utskifting av tekning, sløyfer, lekter og undertaksbelegg mens skader på undertak repareres. Utvendig tre bordkledning estimeres å måtte males etter 8 år og utskiftes etter 50, mens utvendige beslag, gesims, nedløp, takrenner bør skiftes ut etter 25 år. Vinduer har en estimert levetid på 40 år, men utviklingen av ny teknologi og stadig nye krav til redusert U-verdi gjør at den funksjonelle levetiden til vinduer kanskje er så lite som 20 år (SINTEF, 2017d). Våtrom og kjøkken oppgraderes gjerne to eller flere ganger i byggets levetid, både med tanke på teknisk levetid, nye løsninger og estetikk. Man må regne med å male og vedlikeholde en stor del av bygningsmassen opptil flere ganger i løpet av et byggs levetid, samt skifte ut flere bygningsdeler både to og tre ganger.

Det er grunn til å tro at passivhus har enda lengre levetid enn antatt dimensjonerende levetid. En fordel med lavenergihus og passivhus er bedre kvalitet på bygningen. Det er stor sannsynlighet for å få et bygg med høyere kvalitet og mindre feil da bygningskropp, vindtetting og utforming av detaljer normalt vil bli prosjektert bedre og utførelsen er av bedre kvalitet enn vanlige hus (Tor Helge Dokka et al., 2006). Som nevnt tidligere er det stor variasjon i faktorene som spiller inn i beregning av levetid. Dataene har i betydelig grad vært basert på erfaringer og foregått usystematisk. (SINTEF, 2017d) mener det er et stort behov for forbedrede levetidsdata skaffet gjennom observasjon og målinger.

2.6.3 Faktormetoden

En metode som benytter seg av påvirkningsfaktorer for å modifisere referanselevetiden til et bygg. Estimert levetid bygg er referanselevetid multiplisert med 8 faktorer som vurderer nedbrytningsfaktorer relatert til oppnådd kvalitet (A,B og C), eksponeringsmiljø (D1-3) og driftsbetingelser (E og F). En bygningsdel det er angitt referanselevetid til kommer med referansebetingelser som vurderer levetiden og alle faktorene er lik 1,0. Hvis betingelsene endres, er faktormetoden en god måte å angi estimert levetid. Faktorverdiene er vanligvis mellom 0,8 og 1,2, der høye verdier er med på å øke estimert levetid på bygningsdelen og lave verdier senker levetiden (SINTEF, 2004).

$$ELB = RLB \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D_{1-3} \cdot E \cdot F$$

Formel 2 Faktormetoden

2.6.4 Klimagassregnskap

Fra 1. juli 2022 er det krav om regnskap for klimagassutslipp fra materialer for oppføring og hovedombygging av boligblokker og yrkesbygninger. Klimagassregnskapet skal være basert på NS3720:2018, og er begrenset til utslipp knyttet til materialer, det behøver altså ikke være et fullt livsløpsregnskap (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a). Dette kravet gjelder ikke småhus, enda i hvert fall, men det kan være greit å vurdere klimagassutslipp i forhold til i hvilken grad man skal legge til/endre materialer til en bygning for å redusere klimagassutslipp fra levert energi. Hvis utslipp fra materialer overgår redusert utslipp fra energiforsyning, vil det være lite hensiktsmessig å oppføre eller ombygge til energieffektive bygg. Det anbefales å bruke tredjepartsgodkjent, standardisert og livsløpsbasert dokumentasjon for klimagassutslipp. Miljødeklarasjoner, som omtales som EPD er den viktigste kilden til dokumentasjon for byggevarer (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a).

2.6.5 EPD

En miljødeklarasjon (EPD) er et dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte. En EPD beskriver målte miljødata til et materiale eller produkt gjennom hele livssyklusen. En EPD lages på grunnlag av en livsløpsanalyse med standardiserte metoder som sikrer at miljøinformasjon innen samme produktkategori som lar seg sammenlikne produkt til produkt, uavhengig av land eller region (Statsbygg veileder EPD, Oslo). I tillegg til globalt oppvarmingspotensial (GWP, angis som CO₂-ekvivalenter) er andre miljøegenskaper oppgitt, som forurensningspotensial, potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon, overgjødslingspotensial o.l. En EPD kan inneholde verdier fra hele livsløpet, men mange omfatter kun produktstadiet. Produksjonsstadiet (A1-A3) inneholder uttak- og transport av råvarer, og produksjon. Gjennomføringsstadiet (A4-A5) er for transport til byggeplass og monteringsarbeid. B1-B8 er bruksstadiet og inneholder bl.a. vedlikehold, reparasjon og utskifting. C1-C4 er livsløpets slutt med fasene riving, transport, avfallsbehandling og avhending. Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer og eksport av egenprodusert

energi er tilleggsinformasjon for konsekvenser utover systemgrensen, fase D (Statsbygg veileder EPD, Oslo).

2.7 Miljø

Formålet med energieffektivisering er, som nevnt i innledningen, knyttet til miljø og spesielt klimagassutslipp. Fortetting av bygningskroppen og nye teknologiske løsninger reduserer behovet for energi og dermed energibruken. Den høyt isolerte bygningskroppen, sammen med varmegjenvinning i ventilasjon og aktiv- og passiv bruk av solenergi reduserer nødvendigheten av fossilt brensel, samt andre kilder til energi som slipper ut klimagasser og andre skadelige stoffer. Elektrisitet i Norge er forholdsvis klimavennlig, men energieffektivisering kan redusere effektbehovet og gi lavere belastning på strømmettet. Det demper da behovet for import av uren energi fra utlandet, og eksport av ren norsk strøm kan erstatte fossile energikilder på kontinentet. I tillegg vil det ikke være nødvendig å bygge ut vannkraftverk i like stor grad. Dette gjør at utslipp i forbindelse med bygging/rehabilitering og å drifte kraftverkene reduseres, og hindrer samtidig tap av uberørt natur.

På den andre siden kan tiltak for energieffektivisering ha negative konsekvenser for miljøet. Bygningskroppen trenger mer isolasjon og materialer, og utslippene knyttet til produksjon og transport av disse vil være med å øke miljøbelastningen. Materialer til ventilasjon, varmpumper og andre teknologiske energisparere vil kanskje øke utslipp av klimagasser, kjemikalier og andre miljøskadelige stoffer (NVE, 2022).

2.7.1 Bygningsmasse

Småhus står for over 50% av arealet av den samlede bygningsmassen i Norge og mer enn 40% av det modellerte energibehovet. Energibærerne i privatboliger er i hovedsak med 84% av energibruken, mens resten er bioenergi og fjernvarme. Andelen av energibehovet i boliger kommer i hovedsak i form av romoppvarming (Ca. 28TWh), tappevann (Ca. 9 TWh) og el spesifikt utstyr som lys og apparater (Ca. 7 TWh) (Utredning for Kommunal- og distriktsdepartementet og & Olje- og energidepartementet, 2022).

2.7.2 Bygningens forskriftskrav og varmetilskudd

Denne rapporten tar utgangspunkt i et rekkehus på Tiller i Trondheim med bruttoareal 847 m² fordelt på 7 boliger, tre etasjer. Forskriftskrav netto energibehov er beregnet 102 kWh per kvadratmeter oppvarmet BRA per år.

$$100 + \frac{1600}{BRA} = 100 + \frac{1600}{847} = 101,89 \text{ kWh per m}^2$$

Formel 3 viser Netto energibehov per år.

For passivhus er utregningen noe mer komplisert da det ikke er spesifikt krav om maksimalt energibehov. I stedet er det blant annet krav om energibehov for oppvarming og energiforsyning (Standard Norge, 2013). Ifølge NS3700 tabell A.1.3 er standardverdi for varmtvann lik 29,8 kW/m² per år. Netto energibehov fra annet enn elektrisk og fossile kilder må derfor være mer enn 14,9 kWh/m². Oppvarmingsbehovet regnes ut etter krav om 15kWh/m² pluss arealkorrigeringsledd og årsmiddeltemperatur. For et rekkehus i Trondheim med årsmiddeltemperatur 5,8°C og et areal på 847 m² betyr det et oppvarmingsbehov på maksimalt 16,05 kWh/m².

$$15 + 2,1 * (6,3 - \theta_{ym}) = 16,05$$

Formel 4 viser beregning for maksimalt oppvarmingsbehov kWh/m²

Direktevirkende elektrisitet til romoppvarming og varmtvann blir 31 kWh/m² per år. I tillegg kommer energi til utstyr og belysning, hhv 17,5 og 11,4 kWh/m². Varmetilskuddet fra disse er med i beregningene for energibehov (100% for belysning og 60% for utstyr), men ikke inkludert i kravet til oppvarming (Standard Norge, 2013). Kravene er de samme som gjelder for NS 3031. For passivhus og lavenergibygning forutsettes det at man benytter energieffektiv belysning og utstyr med et enkelt styringssystem, som gir lavt internt varmetilskudd (Standard Norge, 2013) .

Tabell 9 Effekt- og energibehov og varmetilskudd fra belysning, utstyr, varmtvann og personer. Tabellen er gjengitt fra tabell A.1 fra NS 3700

	Driftstid	Netto effektbehov (i driftstiden)	Årlig netto energibehov	Varmetilskudd (i driftstiden)
--	------------------	--	--------------------------------	--------------------------------------

	Timer/døgn/uker	W/m ²	kWh/(m ² *år)	W/m ²
Belysning	16/7/52	1,95	11,4	1,95
Utstyr	16/7/52	3,00	17,5	1,80
Varmtvann	16/7/52	5,10	29,8	0,00
Personer	24/7/52	-	-	1,50
Sum	-	-	58,7	-
MERKNAD Det er forutsatt att 100 % av effekt- og energibruken til belysning og 60 % av effekt og energibruken til utstyr går over til varme i bygningen, og resten av varmen går tapt i sluk og avluft ved bruk av utstyr som vaskemaskin, oppvaskmaskin og tørketrommel				

Samlet energibehov for en normal bolig i passivhusstandard i Trondheim vil da være rundt 70 kWh/m² per år. Noe som er omkring 70% av en tilsvarende bolig bygd etter TEK17 krav.

2.7.3 Passivhus og energibehov

En av utfordringene med passivhus er at den likestiller all elektrisitetsbruk, uavhengig om den går til panelovner, varmekabler, varmpumpe, eller el-kjel i et vannbårent varmeanlegg (Lars Myhre et al., 2012). NS 3700 og TEK bruker netto energibehov som referanse, mens energimerkeordningen bruker levert energibehov som referanse. NS 3700 tar ikke hensyn til virkningsgrader i varmesystemet, som betyr at passivhus med installert varmpumpe og/eller solfanger normalt vil få energikarakter A. Mens passivhus med fjernvarme eller biobrensel som varmforsyning normalt vil kunne få energikarakter B. (Lars Myhre et al., 2012).

Beregnet energibehov og levert energi samsvarer ofte ikke. Rapporter som undersøker energibruk estimerer høyere leverte energi enn beregnet. I en undersøkelse finner man at oppvarmingen i 38 av 57 bygg er målt høyere enn forventet (Eivind Selvig, 2013). I en prosjektrapport fra Sintef som har systematisert erfaringer med passivhus finner de til dels store avvik mellom målt og forventet energibruk. Noen bygg har lavere energibruk enn forventet mens mange har høyere. I de fleste undersøkelsene er det dog innsamlet data fra like etter overtakelse, og erfaringer sier at energiforbruket jevner seg ut og reduseres når brukere blir vant til huset og dens tekniske kapabilitet. Dette er uansett ikke et problem eksklusivt for passivhus, variasjon mellom identiske boliger er stor på grunn av ulik bruk (Michael Klinski et al., 2012).

2.8 Inneklima og helse

Inneklima er et begrep som beskriver omgivelsene innendørs og har stor betydning for trivsel, helse og produktivitet. I Norge oppholder man seg innendørs i gjennomsnitt 90% av tiden og et godt inneklima er derfor avgjørende i bygninger, og spesielt i bolighus. (Arbeidstilsynet (Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen), 2023)

Internasjonale studier viser at energieffektivisering av bygninger er det enkleste og mest kostnadseffektive klimatiltaket da det reduserer behov for kraftproduksjon. Passivhus kjennetegnes ved at de har mer isolasjon, er mer lufttette og er utstyrt med balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Passivhus er et relativt nytt konsept og vil naturlig skape en viss skepsis i forhold til om søkelyset på energisparing vil gjøre boliger for tette og ha en negativ effekt på inneklima og beboeres helse. Noe av usikkerheten knyttes til luftskiftet, og om lufttette hus resirkulerer inneluften godt nok til å fjerne fukt, gasser, partikler og mikroorganismer. Om den høyere isolasjonstykkelsen øker temperaturen for mye på varme sommerdager og høyner risikoen for fuktskade. En annen utfordring kan være støy og vibrasjoner, eller risiko for mikrobiologisk vekst i ventilasjonsanlegget (Thomsen, Judith & Judith; Berge, Magnar, 2012).

Allerede på slutten av 1800-tallet var det fokus på innendørs miljø og helse. En studie fra 1887 fant en sammenheng mellom antall dødsfall og størrelse på leilighet, antall personer og luftbårne forurensende stoffer. Dødsfall som diare, meslinger, feberkramper, ulykker, prematuritet, bronkitt og kikhoste kunne kobles til leveforhold som høy persontetthet i leiligheter og stor andel forurensende stoffer i luften.(J. Sundell, 2004). Innendørs miljø ble oversett i en lang periode da alles øyne var på forurensing og utendørs luftkvalitet. På slutten av 1900-tallet ble temaet mer aktuelt igjen, men det var ikke før 2000 verdens helseorganisasjon publiserte sine første rapporter om retningslinjer for noen få utvalgte forurensende og helseskadelige stoffer i innendørs luft (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2010).

En rekke studier (som inkluderer mer enn 100,000 personer) har funnet en link mellom å leve eller jobbe i fuktige bygninger, og utvikle helseplager, som hoste, hvesing, allergier og astma. Det finnes også indikasjon på at luftveissykdommer, irritasjoner i luftveiene og generelle symptomer som tretthet, hodepine osv er assosiert med “dampness” (fuktighet) (J. Sundell, 2004, s. 51.58).

Støy og mangel på dagslys kan også ha innvirkning på komfort og helse for mange. Mangel på dagslys kan medføre økt risiko for fedme, diabetes og annen sykkelighet. Dagslys er nødvendig for å styre døgnrytmen og holde oss våkne og opplagte (Sverre Holøs et al., 2013).

2.8.1 Luftkvalitet

2.8.1.1 Innendørs luftkvalitet

Luftkvaliteten i innendørs omgivelser er en signifikant faktor for helse og velvære i befolkningen. Flere studier finner en sammenheng mellom positive helse-effekter og bedret klima innendørs. Mens dårlig luftkvalitet resulterer i uønskede helsetilstander og i noen tilfeller død (Mannan & Al-Ghamdi, 2021).

Ventilasjon i boliger skal tjene to hovedformål:

- Sikre tilfredsstillende luftkvalitet for brukerne med hensyn til helse og komfort.
- Begrense luftfuktigheten innendørs, og dermed hindre kondens og fuktskader på innvendige overflater og i bygningskonstruksjonene. (SINTEF, 2017c)

Ventilasjonen bør være tilstrekkelig nok til at kondens ikke dannes i bygningen og at fukt blir ført ut av bygningen, samtidig som luftforurensninger fra innendørs kilder fjernes (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2009). I en studie fra 2020 finner man en sammenheng mellom luftskifte, og muggvekst, og økning i støvmidd. Det anbefales minimum 0,5 luftskifter for å redusere muggvekst og 0,8 for å unngå økning i støvmidd. Videre er en ventilasjonsrate på 15 l/s per person assosiert med bedre helse. (Arianna Brambilla, 2020)

En annen studie viser til litteratur som sier at en ventilasjonsrate under 25 l/s per person i kommersielle og institusjonelle bygninger øker sjansen for SBS (Sick building syndrome), kort tids sykefravær og redusert produktivitet. I tillegg er det tegn på at redusert ventilasjon i bygninger, spesielt i nordiske land de siste årtiene er årsak til den økende forekomsten av allergier. I øst Europa samsvarer også økende allergiske sykdommer med fortetting av bygningskropp (J. Sundell, 2004).

Økte kostnader for energi i USA i 1973 etter olje embargoen i arabiske land førte til en tetting av bygningskroppen og reduserte ventilasjonsmengder. Den reduserte ventilasjonsmengden sammenfaller i tid med en økning i allergiske sykdommer (Dimitroulopoulou, 2012).

2.8.1.2 Utendørs luftkvalitet

Ifølge World Health Organization (WHO) lever 99% av verdens befolkning i områder der deres «*Air quality guideline levels*» ikke oppfylles (UN environment programme, 2021). I Norge er nivået av fine partikler i luften marginalt høyere enn anbefalt mengde fra WHO. I noen deler av landet kan forekomsten av skadelige partikler være så høye at filtrering av uteluft er fordelaktig. I deler av Østlandet og Vestlandet er forekomstene av «Particulate matter» høyere enn anbefalt (explore.openaq.org) og et balansert ventilasjonsanlegg med filter kan bidra til å forbedre innendørs luftkvalitet.

2.8.2 Inneklima i passivhus

2.8.2.1 Termisk inneklima

Det er flere fordeler med passivhus, og nivået av følt komfort kan bedres med lavere varmegjennomgang i bygningskallet. Kaldstråling og kaldras fra vinduer elimineres med lave U-verdier på glassflater, og høye overflatetemperaturer på vegger, himling og gulv fører til at strålingstemperaturen er høyere enn vanlige hus. Lufttemperaturen kan dermed senkes uten at det går utover termisk komfort, lavere lufttemperatur fører til at luften oppleves friskere (Tor Helge Dokka et al., 2006).

2.8.2.2 Fukt

Fukt er den vanligste årsaken til byggskader, og det er bred enighet om at fuktskader er en viktig risikofaktor i innemiljø. I passivhus er faren for innvendig kondensdannelse betydelig redusert på grunn av det velisolerte bygningskallet. Kondensskader inne i konstruksjonen er også redusert da kravene til lufttetthet er strenge. Økte isolasjonsmengder og økende temperaturfall over ytterkonstruksjon, gjør at det er plass til mer fukt og opptørking skjer langsommere. Det er ingen indikasjoner på at dette er problematisk ved fuktsikker bygging og normal drift. Noen typer

yttervegger anbefales dog ikke, som noen typer teglfasader, konstruksjoner under bakkenivå med innvendig isolering, og uluftede fasader med lite dampåpne materialer (Sverre Holøs et al., 2013).

2.8.2.3 Støy og dagslys

Støy kan være et betydelig helseproblem for noen, og plagsom for mange. Passivhus er med sin lufttetthet og godt isolerte bygningskropp som regel godt isolert også mot støy utenfra, selv om innendørs støy kan oppleves mer merkbart (Sverre Holøs et al., 2013). Lavenergiboliger har i noen tilfeller utfordringer med å oppnå godt nok dagslys og utsyn. Lave U-verdier på vindu samsvarer ofte med lavt dagslysinnslipp, og kravene om varmetap gjennom ytterkonstruksjon kan bidra til at vinduene utgjør en mindre del av veggarealet. Det vil være spesielt viktig i designet av lavenergiboliger å sørge for tilstrekkelig dagslysinnslipp i rom med varig opphold og samtidig hindre for mye solstråling på varme sommerdager.

2.8.2.4 Ventilasjon

Den lufttette bygningskroppen til lavenergiboliger gjør det helt nødvendig med balansert ventilasjon med varmegjenvinner for å opprettholde god kvalitet på innelufta. Kravene for ventilasjonsmengder i boliger er de samme i TEK17 som i passivhus. Generelle krav er blant annet at inneluften ikke inneholder forurensning i konsentrasjoner som kan gi helseskade eller irritasjon. (TEK17) Dimensjonerende luftmengde er den største luftmengden av; minimum gjennomsnittlig frisklufttilførsel, minimum frisklufttilførsel per sengeplass, eller minimum avtrekksluftmengde fra kjøkken og våtrom (SINTEF, 2017c). Med et krav på minimum 1,2 kubikk luft per time for hver kvadratmeter BRA vil det i en rekkehusleilighet på 125 m² og fem soveromsplasser bety en dimensjonerende tilluftmengde på 150 m³ per time, eller 42 liter per sekund. Dette tilsvarer et luftskifte gjennom ventilasjon på 0,5 i timen. Krav til frisklufttilførsel i ventilasjon er ikke endret siden før 1999. Tekniske forskrifter til plan og bygningsloven 1999 krever at en uteluftmengde tilsvarende samlet avtrekk må sikre en luftveksling på 0,5 per time. (STATENS BYGNINGSTEKNISKE ETAT, 1999) Krav til varmetap og luftlekkasjer er derimot skjerpet betraktelig. Største lekkasjetall for småhus i 1999 var 4 luftskifter per time.

Anbefalt mengde fra Sintef sin byggforsk serie er 1,44m³/h*m² (SINTEF, 2017c). Minstekrav for lekkasjetall passivhus er 0,6 luftvekslinger per time, mens det er 1,5 i TEK17. Det bemerkes at

kravene til ventilasjonsmengder i bolig er lavere enn andre bygningskategorier. Dette fordi det antas at boliger ventileres mer gjennom dører og vinduer, og at persontettheten er relativt lav. Men for å oppnå full effekt av passivhus skal det i utgangspunktet ikke ventileres gjennom dører og vinduer. Noen ulemper med balansert ventilasjon er økt vedlikeholdsbehov og større fare for betydelig funksjonssvikt ved manglende vedlikehold eller strømbrudd (SINTEF, 2017c).

2.8.3 Erfaringer med passivhus

2.8.3.1 Lavenergibygninger og produktivitet

Lavenergi bygninger i passivhus- eller ZEB- standard kan øke produktiviteten til arbeidere som bor og/eller oppholder seg i disse bygningene som et resultat av færre sykedager. En studie gjort i Tyskland og Ungarn finner at man kan redusere sykefraværet med henholdsvis 5,2 og 2,2 dager i året ved å bo i et lavenergi hus, mens for å oppholde seg på arbeidsplass/kontor av lavenergistandard er tallet 2,4 og 1 dager mindre fravær. Videre viser studien at man kan øke produktiviteten ved å jobbe i lavenergi bygninger ved å styrke mental helse (Chatterjee & Ürgen-Vorsatz, 2021).

2.8.3.2 Lavenergi yrkesbygg

Civitas har i sin undersøkelse ikke avdekket noen overhyppighet av klager på inneklimateforhold, annet enn en høyere andel klager på støy og belysning og flere klager rundt allmennsymptomer, som tretthet og hodepine. Overhyppighet av allmennsymptomer kan være tegn på dårlig luftkvalitet, men resultatene viser ikke flere enn normalt klager på innestengt og dårlig luft. Det antydes at støy og dårlig belysning kan være årsak til tretthet og hodepine. Civitas mener en del av klagene kan tilskrives innkjørings- og driftsproblemer som kan påvirke inneklimate (Eivind Selvig, 2013).

2.8.3.3 Sintef Byggforsk

I Sintef's rapport tyder det på at de fleste brukerne er fornøyde med å bo i passivhus. Mange studier rapporterer likevel om inneklimateproblemer, og spesielt overtemperatur. Det problemet ser ut til å være knyttet til manglende solskjerming med store vinduer, og dels dårlige muligheter for vinduslufting. Noen problemer med lave vintertemperaturer avdekkes, disse kan tilskrives

igangkjøringsproblemer, feil på tekniske anlegg eller at brukerne foretrekker høyere temperaturer enn det som forutsettes ved prosjektering (Michael Klinski et al., 2012).

2.9 SIMIEN

SIMIEN er et forskningsprosjekt som har som mål å analysere hvordan ulike faktorer påvirker innovasjon og entreprenørskap i regioner i Nord-Europa. En sentral del av prosjektet er et simuleringsprogram som beregner energibehov og forbruk. Programmet er utviklet for å simulere behovet for energi, validere inneklime, og dimensjonere oppvarming, ventilasjonsanlegg og romkjøling. SIMIEN er validert etter *NS-EN 15265:2007, en metode for å undersøke nøyaktigheten til dataprogrammer som beregner energibruk i bygninger*. og er klassifisert med karakteren B som tilsier programvaren har et maksimalt avvik på $\pm 10\%$.

Programvaren evaluerer bygninger mot forskrifter i TEK 07, TEK 10, TEK 16 og passivhus og lavenergikriterier gitt etter NS3700. Programmet bruker dynamisk beregningsmetode beskrevet i NS3031.

SIMIEN evaluerer energimerking av bygningen, simulerer bygningers ytelse; over et år, eller en tidsperiode på sommer og vinter for å dimensjonere varme- og kjøleanlegg, Programvaren kan og beregne lønnsomhet, inkludert energibesparelse og eventuelt reduksjon i klimagassutslipp. (Simenergi.no, 2023)

2.10 Holte

Holte er et norsk selskap som utvikler og leverer løsninger for bygg og anleggsbransjen. Selskapet ble etablert i 1984 og har vokst til å bli en ledende leverandør av programvare løsninger til bygg- og anleggsbransjen. Holte har et bredt utvalg av mange forskjellige relevante løsninger som dekker alt innenfor kalkulasjon og prosjektstyring til HMS og dokumentasjon. (Holte, 2023)

Holte sitt kalkulasjonsprogram er utviklet for å hjelpe entreprenører for å kalkulere priser og tilbud. Man kan enkelt og nøyaktig beregne kostnader av materialer, arbeidskraft, utstyr og andre relevante faktorer. Dette hentes ut ifra et bibliotek med standardiserte enhetspriser og kan tilpasses til å dekke ulike behov (Holte portalen, 2023).

2.10.1 Kostnad

Ved energieffektivisering av småhus kan man forvente en nedgang i utgifter til levert energi, mens Byggekostnadene øker. I utgangspunktet vil man aldri klare å forutse eksakt kostnad og lønnsomhet ved energieffektivisering. Byggekostnadene vil variere med forskjellige utbyggere, samt kostnad forbundet med transport og materialer. Utgifter til levert energi er ulik for hvilket område bygget befinner seg, samt leverandør, og tid på døgnet og året. Uforutsette hendelser, som krig og politiske beslutninger har vist seg å ha en ekstrem påvirkning på prisen på strøm og energi i Norge.

I en omstillingsperiode der EU-landene faser ut fossile energikilder etter mål under Paris-avtalen har gass vært en viktig kilde til energi. EU-landene har intensjon om å fase ut kullkraftverk før 2030, og Tyskland har begynt å fase ut atomkraftverk og avslutter kjernekraft i 2023. Det pågår en oppbygging av sol- og vindkraft i Europa, men samtidig har Russland, som stod for mer enn 40% av EU-landene sine gassleveranser redusert mesteparten av leveransene av gass de siste to årene. Dette sammen med problemer knyttet til blant annet vind- og vannkraft har påvirket energiforsyningen så mye at Norge og Europa har opplevd rekordhøye priser på strøm (Regjeringen, 2023).

Ifølge Fjordkraft har strømprisene i noen måneder i region øst, vest og sør mer enn ti-doblet seg i 2022 sammenlignet med årene 2013-2019. I eksempelvis desember har prisen gått fra rundt 30-40 øre i snitt de siste årene til rundt 340 øre i 2022 for sone NO1, NO2 og NO5. I sone midt og nord har prisstigningen vært mer edruelig, men man ser fortsatt en markant økning i pris fra årene 2013-2020 til 2022 (Fjordkraft, 2023).

Pris på materialer og arbeid har også steget mye de siste årene. Byggekostnadsindeksen i starten av 2020 var 112.8, mens den var 139.2 i mars 2023. En stigning på over 20% de siste tre årene er en betydelig økning i kostnad for byggherrer og boligkjøpere (ssb.no, 2023). Incentivene for å oppgradere bolig til passivhusstandard er forsterket med prisveksten på elektrisitet, men svekket med den økte prisen på materialer og arbeid. Grunnet utfordringene med å estimere kostnad vil denne oppgaven basere seg på anslag av bygge- og energi-kostnader.

3 METODE

3.1 Lokalitet og boligtype

Oppgavens bolig, illustrert i figur 6, er plassert i Trondheim Kommune i Trøndelag. Rekkehuset er en del av 89 nye boliger og er plassert på en lokasjon med relativt høy gjennomsnittlig innstråling og har dermed mange soltimer i løpet av et år. Topografien av stedet gjør det mulig å utnytte seg av solenergi.

Tabell 11 viser gjennomsnittlig månedlig innstråling og temperatur for værstasjonen som ligger inne i SIMIEN sin database for lokasjonen.



Figur 6 Illustrasjon av prosjektet på Tiller-ringen

Totalentreprenør: Lag Entreprenør

Prosjektmeidler: Heimdal eiendomsmegling AS

Boligutvikler: Opphus AS

Arkitekt: Archus arkitekter

Gnr/bnr: 324/208

Rekkehuset er prosjektert etter TEK17 sine minstekrav, og energiytelsen tilfredsstiller tiltaksmetoden ved hjelp av omfordeling. Konstruksjonen er bygget i enkelt bindingsverk og satt på et isolert ringmurselement. Gulv på grunn består av 100mm betongplate med 300mm

EPS/steinull (kl,37).

Gjennom prosjektleder Ole Jørgen Wold i Lag Entreprenør er nødvendig informasjon om boligens tekniske informasjon innhentet.

3.1.1 Boligens utgangspunkt

Det er sju leiligheter i rekkehuset som alle går over tre plan. Leilighetene består av fire soverom, to bad, inngangsparti, takterrasse over plan to, og en åpen stue kjøkkenløsning over hele plan to, de tre minste leilighetene har bod i boenheten og resterende har bod i p-kjelleren. Bruksarealet, BRA 123,8 m² til 130,6 m² BRA, se tabell 10 for nøyaktig oversikt.

All BRA er oppvarmet slik at BRA tilsvarende A_{fl} som brukes i NS3700.

Tabell 10 Informasjon om boenhetene

Leilighet id	BTA	Yttervegg m ²	Tak m ²	Gulv m ²	Vindu og dør m ²	Oppvarmet BRA m ²	Oppvarmet luftvolum m ³	Lekkasjetall n ₅₀
10	123,8	156	54	58	22	118	303	0,6
11	123,8	77	54	58	22	117	303	0,6
12	123,8	108	54	58	22	117	303	0,6
13	130,6	76	54	57	24	124	323	0,6
14	130,6	68	54	57	24	124	323	0,6
15	130,6	68	54	57	24	124	323	0,6
16	130,6	153	54	57	24	124	323	0,6

Standarden på boenhetene er etter salgsprospektet en moderne bolig med arealeffektive planløsninger. Store vindusflater sørger for godt lysinnslipp, lyse boenheter, som inviterer til både lek, avslapning og hagefester. Figur 7 viser plantegningen for en av leilighetene.



Figur 7 Plantegning for en av boenhetene

3.1.2 Tekniske

Boligene leveres med hvert sitt eget balanserte ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner.

Ventilasjonsanlegget er delt opp etter boligsoner. Så hver enkelt enhet har egen kontroll over

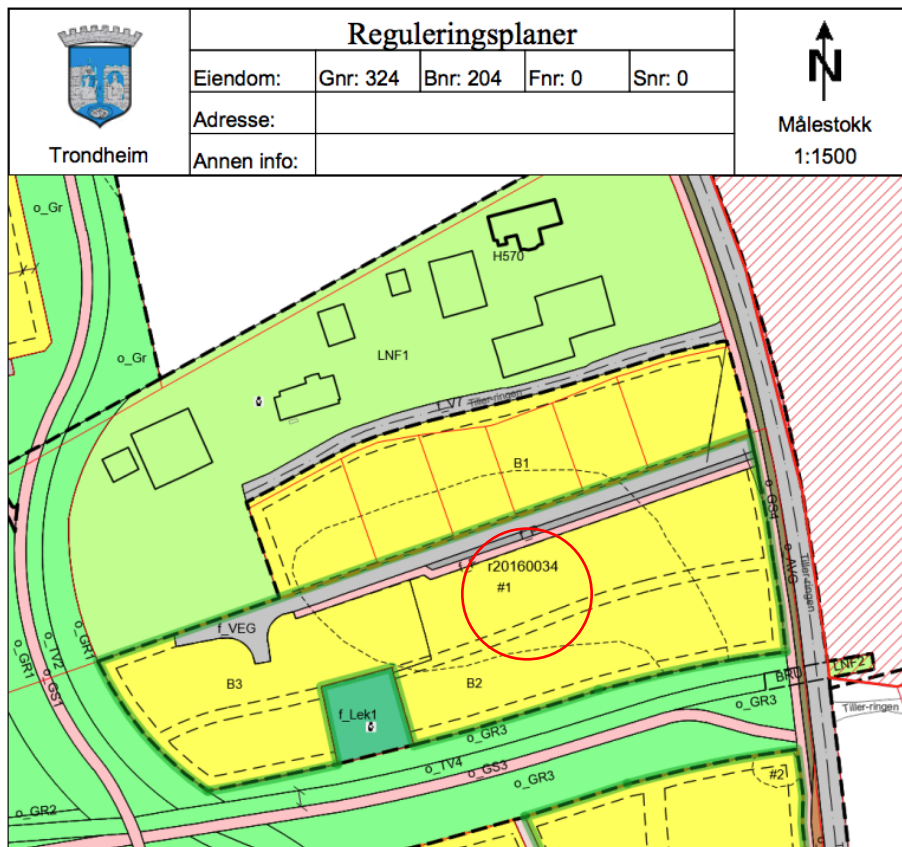
anlegget. Varmegjenvinner har 82% virkningsgrad. Det er tilluft i alle oppholdsrom og avtrekk på kjøkken og våtrom. Boenhetene oppvarmes primært med radiatorer fra fjernvarme fra Heimdal forbrenningsanlegg og har elektriske varmekabler på bad. All oppvarming av varmtvann skjer ved fjernvarme.

Beskrivelse	Inndata energiforsyning	Verdi
1a Direkte el.		Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,81 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,98 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,88 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 130 g/kWh Andel romoppvarming: 20,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme		Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,83 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,98 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,90 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,75 kr/kWh CO2-utslipp: 75 g/kWh Andel romoppvarming: 80,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Figur 8 Tekniske installasjoner, som bygget hentet fra SIMIEN, som opprinnelig bygget

3.1.3 Tomten

Prosjektet ligger på Tiller-ringen, 15 minutters kjøretur fra Trondheim sentrum. Tomten har god utsikt mot naturen som ligger sør for boligene, og ligger rolig i utkanten av bebyggelse. Tomten er på 10740 m² og boligene ligger 157 M.o.h (Kartverket.no, 2023)



Figur 9 Plassering av bolig

3.1.4 Klimadata

SIMIEN bruker værdata fra oppgitt lokasjon som ligger inn i databasen for programverktøyet.

Tabell 11 Klimadata fra SIMIEN

Klimadata	Trondheim	Enhet
Midlere temp. Dim sommer	19,8	°C
Midlere temp. Dim vinter	-18,5	°C

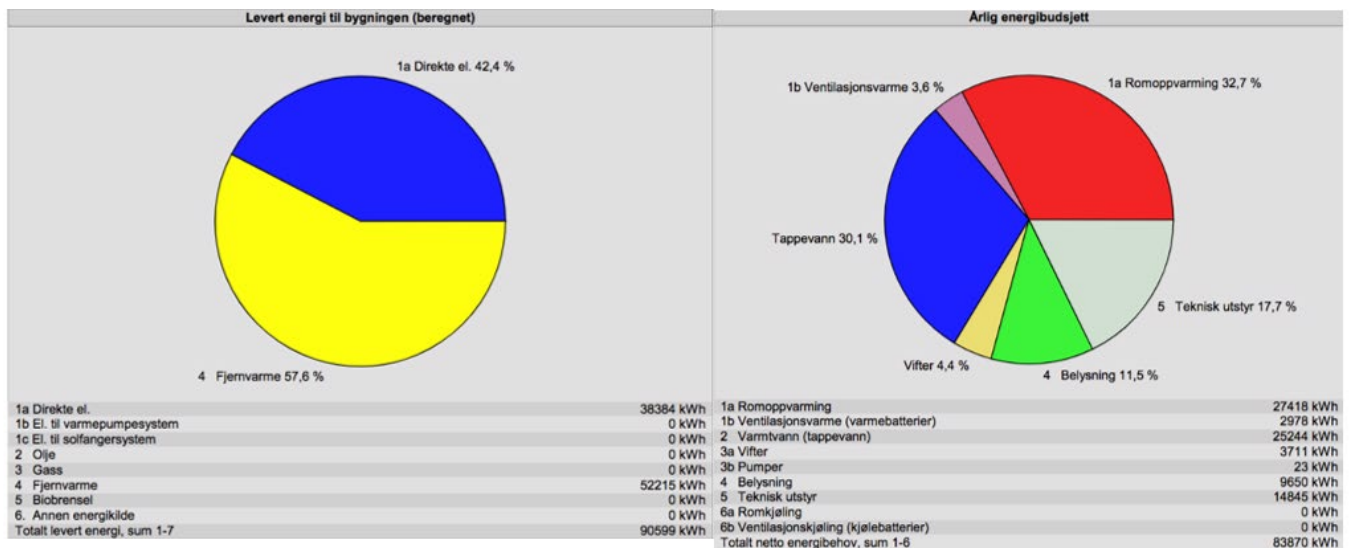
Årsmiddeltemperaturen	5,1	°C
Midlere horisontal solfluks	101,6	W/m ²
Årsmiddel relativ luftfuktighet	77,2	%
Årsmiddel vindhastighet	4,6	m/s
Andre data		
Høyde over havet	153	M
Breddegrad	63°30°	°
Lengdegrad	10°22°	°

3.1.5 Energiforsyning

Energiforsyningen i rekkehusene er direktevirkende el og fjernvarme fra Statkrafts forbrenningsanlegg på Heimdal. Det er i dag krav om tilknytning til fjernvarme i Trondheim for utbygging eller hovedombygging over 500 m² BRA og bebyggelsen ligger innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme (Trondheim Kommune, 2023).

Beregnet netto energibehov for en leilighet er nesten 84000 kWh, mens levert energi er beregnet til 90600 kWh. Det tas høyde for tap i distribusjonssystem og reguleringstap, og virkningsgrad for energiforsyningen som gjør at levert energi er nesten 7000 kWh høyere enn energibehovet (Standard Norge, 2021).

Boligen får 58% av sin leverte energi fra fjernvarme, og nesten alt av energi til romoppvarming og varmtvann. Netto energibehov for romoppvarming og varmtvann er tilnærmet lik levert energi fra fjernvarme, men på grunn av virkningsgrad og andre tap i fjernvarmesystemet, samt reguleringstap vil direktevirkende elektrisitet stå for noe av oppvarmingen i leiligheten. I forhold til passivhuskriteriene i NS3700:2013 er Tiller-ringen godt innenfor kravet om minst 50% av netto energibehov til varmtvann fra annet enn elektrisk og fossil energi. Se figur 10 for detaljert informasjon om levert energi til bygningen.

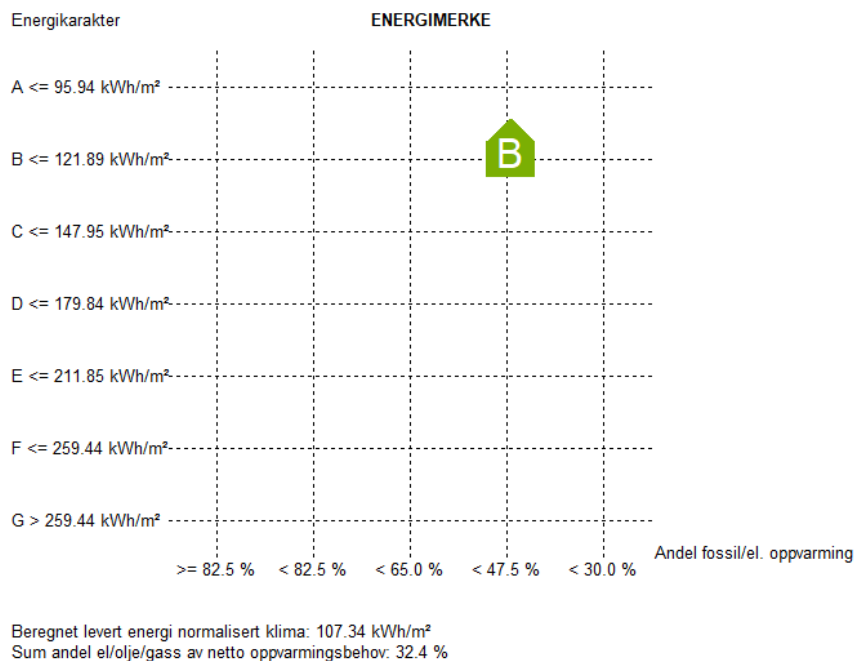


Figur 10 Årlig levert energi og årlig energibudsjett for hele bygget som bygget, figur hentet fra SIMIEN som bygget

3.1.5.1 Energimerking av prosjektert bolig

Energimerking av bygget har i utgangspunktet Energikarakter lysegrønn B, med beregnet levert energi normalisert klima = 107,34 kWh/m²

Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov 32,4%



Figur 11 Energimerke av eksisterende bolig

3.1.6 Mengdeuttak

I dette delkapittelet hentes mengder fra det eksisterende bygget og presenterer det i div tabeller. Mengdene er hentet internt fra prosjektets database inne i Streambim og SIMIEN.

3.1.6.1 Mengdeuttak av sentrale inndata

Tabell 12 Dokumentasjon av sentrale inndata, hentet fra SIMIEN

Dokumentasjon av sentrale inndata		
Beskrivelse	Verdi	Enhet
Areal yttervegger	706	m ²
Areal tak	375	m ²
Areal gulv	399	m ²
Areal vinduer og ytterdører	164	m ²
Oppvarmet bruksareal (BRA)	847	m ²
Oppvarmet luftrom	2203	m ³
U-verdi yttervegg	0,22	W/m ² K
U-verdi tak	0,13	W/m ² K
U-verdi gulv	0,11	W/m ² K
U-verdi vinduer og ytterdører	0,88	W/m ² K
Areal vinduer og dører delt på bruksareal	19,4	%
Normalisert kuldebroverdi	0,05	W/m ² K
Normalisert varmekapasitet	56	Wh/m ² K
Lekkasjetall (n ₅₀)	0,60	n ⁻¹
Temperaturvirkningsgrad varmegjennvinner	82	%

3.1.6.2 Mengdeuttak av vinduer

Tabell 13 Vindusliste tegningsnr: R02-A-20511

Type	Dimensjon	Antall
Fastvindu	0,890x1,290	4
Fastvindu	2,290x0,990	7
Vindu 3 felt med 1 åpning	2,390x1,890	7
Åpningsvindu	1,290x1,290	19
Åpningsvindu	0,990x1,290	12
Åpningsvindu	0,990x0,990	3
Åpningsvindu	0,890x0,990	4

3.1.6.3 Mengdeuttak av dører

Tabell 14 Dørliste tegningsnr: R02-A-20521

Type	Dimensjon	Antall
Enfløyet ytterdør	0,990x2,090	7
Enfløyet bod-dør	0,990x2,090	3
Enfløyet glassfelt	0,990x2,090	14
Enfløyet innerdør	0,890x2,090	43
Enfløyet innerdør	0,790x2,090	7
Enfløyet innerdør	0,990x2,090	3
Enfløyet innerdør	0,590x2,090	1

3.1.6.4 Mengdeuttak av veggtyper

Tabell 15 Veggtypeliste, tegningsnr :R02-A-20561

Type	Dimensjoner (M)	Tykkelse	Areal m ²	Kommentar
IV2	0,098	0,122	309,4	Innervegg
IV2-e	0,098+0,098	0,220	4,0	Innervegg
IV3	0,148	0,172	130,9	Innervegg
IV4.	0,198	0,222	186,2	Innervegg
IV5	0,098+0,098	0,274	432,1	Innervegg
IV5e	0,098+0,098+0,048	0,322	14,8	Innervegg
YV1	0,148+0,048	0,276	679,2	Yttervegg
YV4	0,1	0,1	21,1	Skjermvegg
YV5	0,073	0,073	72,6	Rekkverk
YV6	0,073	0,141mm	81,2	Gesims

3.1.6.5 Mengdeuttak av Stål dragere (HEB)

Tabell 16 HEB liste, Arbeidsnr 296403 22 (25) 30.09.2022

Profil	kvalitet	Lengde (M)	Vekt (Kg)	Antall
HEB 140	S355	3,810	385,46	3
HEB 160	S355	4,160	531,48	3
HEB 160	S355	4,282	182,35	1
HEB 180	S355	4,160	639,24	3

HEB 180	S355	4,282	219,33	1
HEB 180	S355	4,148	424,93	2
HEB 180	S355	4,235	216,92	1

3.1.6.6 Mengdeuttak av tre søyler- og dragere

Tabell 17 Tre søyler- og dragere, hentet fra Arbeidsnr 296403 22 (25) 30.09.2022

Kvalitet	Antall	Netto volum (m ³)	Vekt (Kg)
C24	180	3,54	1488,49
C30	6	0,17	76,87
GL30c	24	0,59	251,67
GL30c#1	1	0,04	15,2

3.2 Konstruksjon og u-verdier som bygget

Konstruksjonen står på ringmur og har en bunnplate på mark, med enkelt konstruksjonsvirke i vegger, søyler og dragere av tre- og stål. Taket er av typen kompakt flatt tak og etasjeskillere er av typen I-bjelker med varierende dimensjoner.

Dette delkapitlet tar for seg opprinnelig konstruksjon.

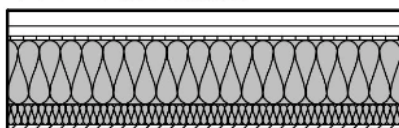
3.2.1.1 Yttervegg

Tabell 18 Oppbygging av yttervegg

Materiale	Tykkelse (M)
Liggende kledning	0,019
Lekt	0,023
GU-plate	0,009
Bindingsverk med mineralull 36x148	0,148
Dampsperre, PE folie	0,00015
Sløyfer med mineralull 48x48	0,048
Gips	0,0125
Total	0,2625

U-verdi	0,18 W/(m ² K)
----------------	---------------------------

YV1 - 148+48mm



19 mm	Liggende kledning
23 mm	Lekter
9 mm	GU plate
148 mm	Bindingsverk
48 mm	Påforing
12 mm	Gips

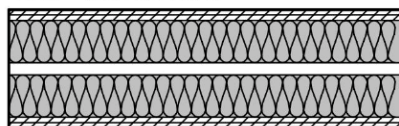
Figur 12 Illustrasjon av yttervegg oppbygging

3.2.2 Skillevegg

Tabell 19 Viser oppbygging og tykkelse av skillevegg

Materiale	Tykkelse (M)
Gips 2 lag	0,0250
Bindingsverk med mineralull 36x98	0,098
Luftsjikt	0,028
Bindingsverk med mineralull 36x98	0,098
Gips 2 lag	0,0250
Sum	0,274

IV5 - 98+98mm



25 mm	2-lags platekledning
98 mm	Bindingsverk
28 mm	Luftsjikt
98 mm	Bindingsverk
25 mm	2-lags platekledning

Figur 13 illustrasjon av skillevegg oppbygging

3.2.3 Gulv mot grunn

Tabell 20 Oppbygging og tykkelse av gulvet på grunn

Materiale	Tykkelse (M)
------------------	---------------------

Trestavs parkett	0,0180
Betongplate	0,100
Eps (kl.37)	0,300
Sum	0,418mm
U-verdi	0,11 W/(m ² K)

3.2.4 Takkonstruksjon

Tabell 21 Viser oppbygging og tykkelse av tak

Materiale	Tykkelse (M)
Taktekningspapp	0,0015
Taktro	0,015
Lufting	0,048
Undertak og vindsperre	0,0018
Porøs trefiberplate	0,0015
I-bjelke med mineralull	0,400
Dampsperre	0,00015
Nedlektning med mineralull	0,048
Gips	0,0012
Sum	0,564
U-verdi	0,13 W/(m ² K)

3.2.5 vinduer

Vinduene som er benyttet har gjennomsnittlig u-verdi på 0,88. For å oppnå passivhuskrav er de nødt til ha u-verdi $\leq 0,8$. Det er valgt vinduer og dører med gjennomsnittlig U-verdi på 0,72 for å begrense mengde isolasjon i bygget.

3.3 Tiltak for passivhuskrav

3.3.1 komponenter og varmetap

Dette delkapittelet vil redegjøre for nødvendige endringer som må til for å oppfylle kravene gitt i delkapittel 2.4.

Resultater av evalueringen	
Evalueringskriterium	Beskrivelse
Evalueringskriterium mot NS 3700:2013	
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstillende ikke kravet for varmetapsramme
Energiytelse	Bygningen tilfredsstillende ikke krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillende ikke minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillende minstekrav gitt i NS3700:2013
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillende ikke alle krav til passivhus

Figur 13 viser SIMIEN beregninger som opprinnelig bygget, visning til hva som må forbedres for å oppnå passivhus standard

3.3.1.1 Yttervegg

Tabell 22 U-verdi beregning for yttervegg λ verdier er hentet ifra NS-EN ISO 6946, nordgips og glava sine nettsider for spesifiserte produkter.

Materialer	Tykkelse, d	Termisk konduktivitet λ W/(mK)	Termisk motstand R_t $= d_n / \lambda_n$ (m ² K/W)
Utvendig varmemotstand (R_{se})	-	-	0,040
Bordkledning	0,019	0,12	0,158
Lekt (lufting)	0,023	0,13	0,19
GU vindsperre	0,009	0,22	0,040
Bindingsverk med Glava 34, 36x98	0,98	0,034	2,882
Glava proff 34 uavbrutt mineralull	0,148	0,034	4,352
Bindingsverk med mineralull, 36x198	0,198	0,034	5,823
Gips	0,013	0,21	0,061
Innvendig horisontal overgangsmotstand (R_{si})	-	-	0,13
Total	0,508		13,675

U-verdi		$1/13,675=$	0,07
----------------	--	-------------	------

For å oppnå ønsket U-verdi og minstekrav til netto oppvarmingsbehov for passivhus, må veggoppbyggingen endres. Oppbyggingen av veggen økes til dobbelt stenderverk og et uavbrutt isolasjonslag av 98mm i senter, totalt 450mm isolasjon for å få netto oppvarmings behov innenfor kravet. Mineralullen som blir brukt er av typen Glava proff 34 som har $\lambda= 0,0034$ (Glava AS, 2021). Oppbyggingen av veggen blir vist i tabell 22 og illustrert i figur 13. Med denne endringen blir U-verdi for veggen 0,07 (se vedlegg K Passivhusevaluering)

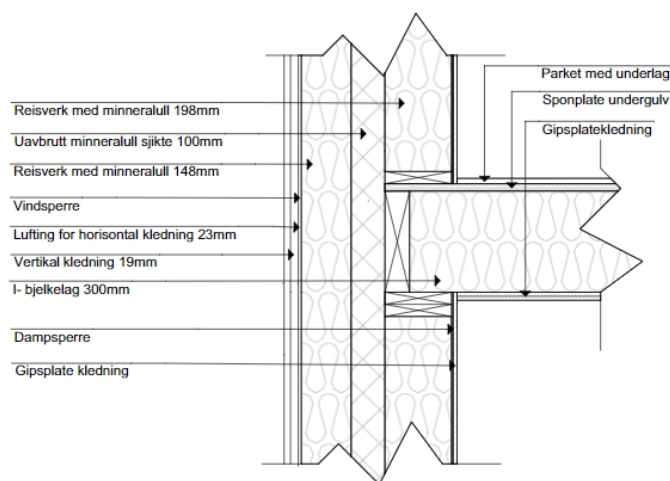


Figur 13 prinsipp av forlaget til oppbygging av vegg

Figur 13 viser prinsippet på oppbyggingen av ytterveggen. Fra utsiden er det ventilert kledning etterfulgt av en vindsperre fra Nordgips GU. Vindsperren er diffusjonsåpen og har en $S_d 0,05$, og er innenfor kravet på $<0,5 S_d$, vertikalt reisverk med dimensjonen 48x148mm bygges i ytterste sjiktet. Sjikt to, det midterste sjiktet består av 98mm uavbrutt mineralull. Sjikt tre består av 48x198mm reisverk mot dampsperren (PE-folie). Andelen treverk i veggen utgjør ca 22%. (SINTEF, 2013g)

For å redusere luftlekkasjer fra vegg til gulv og vegg til etasjeskiller/tak, er det ekstremt viktig at både vind og dampsperre er etter produsentens monteringsanvisning. Dette sørger for at sjiktene er helt tette for å unngå fukt og varmetap i mineralullen. Fra vegg til etasjeskiller er det stor fare for en kuldebro, derfor er det viktig med en kuldebro bryter.

I vegger som har doble reisverk kan bæringen velges om det legges på det indre eller ytre reisverk. I forslaget som blir lagt frem er det mest naturlig å velge det innerste sjiktet som er av 48x198 mm reisverk. Dette fordi bæreevnen er størst i innerste sjikt og fordi det trengs en kuldebrobryter i etasjeskilleren. Med over 250mm isolasjon i forkant av bjelkelag blir kuldebroverdien λ_0 over etasjeskiller, med 400 mm mineralull totalt i veggen, ifølge (SINTEF, 2013c, tab. 31) . Med uavbrutt mineralull sjikt mellom reisverkene, reduseres risikoen for kuldebroer betraktelig og U-verdien senkes.



Figur 14 Viser en detaljtegning hvordan etasjeskiller bygges for å forhindre kulebro,

Kvaliteten på håndverket som benyttes er veldig viktig. Gjennomføringer er den største årsaken til luftlekkasjer, derfor er det meget viktig å tette gjennomføringene, dette kan gjøres med klebende mansjetter både på vindspærren og dampspærren.

3.3.1.2 Takkonstruksjon

Tabell 23 U-verdi beregning for tak λ verdier er hentet ifra NS-EN ISO 6946, Hunton og Glava sine nettsider for spesifiserte produkter.

Materialer	Tykkelse, d	Termisk konduktivitet λ W/(mK)	Termisk motstand R_t $= d_n / \lambda_n$ (m^2K/W)
Utvendig varmemotstand (R_{se})	-	-	0,040

Takbelegg 2 lag	0,0015	ukjent	ukjent
Taktro av vannfast finér	0,015	0,13	0,115
Oppføring av tak for luftespalte	0,048	0,13	0,369
Sperretak I-bjelke med mineralull	0,400	0,034	11,764
Nedlektning av himling med mineralull	0,048	0,034	1,411
Gips	0,013	0,21	0,061
Innvendig nedgående overgangsmotstand (R_{si})	-	-	0,17
Total	0,523		13,93
U-verdi		1/13,93=	0,07

Taket som opprinnelig er bygget bruker i-bjelker med dimensjonen 400mm. 450mm isolasjon er tilstrekkelig for å oppnå passivhuskrav og ingen endringer er gjort.

3.3.1.3 Gulv mot grunn

Tabell 24 U-verdi beregning for gulv mot grunn λ verdier er hentet ifra NS-EN ISO 6946, Jackson og Glava sine nettsider for spesifiserte produkter

Materialer	Tykkelse, d	Termisk konduktivitet λ W/(mK)	Termisk motstand $R_t = d_n / \lambda_n$ (m^2K/W)
Utvendig varmemotstand (R_{se})	-	-	0,040
Jackson super EPS 150	0,250	0,033	7,57
Jackson super EPS 150	0,100	0,033	3,03
Betongdekke	0,200	2,2	0,09
Parkett underlag	0,0015	0,1	0,015
Parkett eik	0,015	0,11	0,13
Innvendig nedgående overgangsmotstand (R_{si})	-	-	0,17

Total	0,566		11,04
U-verdi		$1/11,04=$	0,09

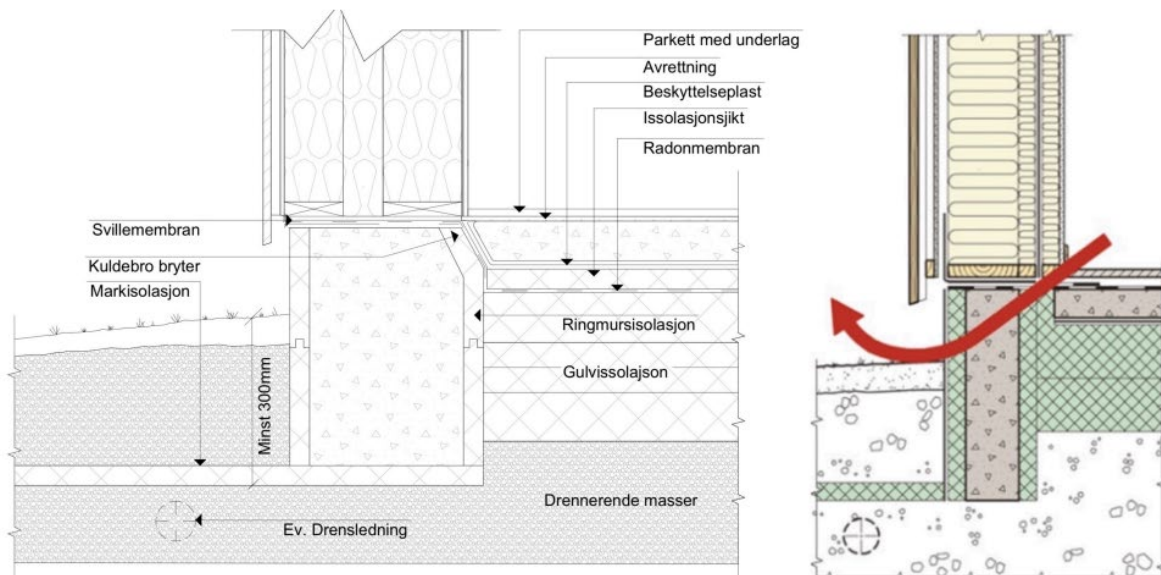
Produktdatainformasjon hentet fra:

(SINTEF, 2020, tab. 32)

(SINTEF, 2020, tittel 41)

60: NO-JS60-CPR-02

Ved å endre oppbyggingen av gulvet mot grunnen blir U-verdien redusert, og kravet om netto oppvarmingsbehov blir nådd. Ved denne oppbyggingen av gulvet vil kalkulert U-verdi bli 0,09. Dette er da uten varmemotstand i grunnen.

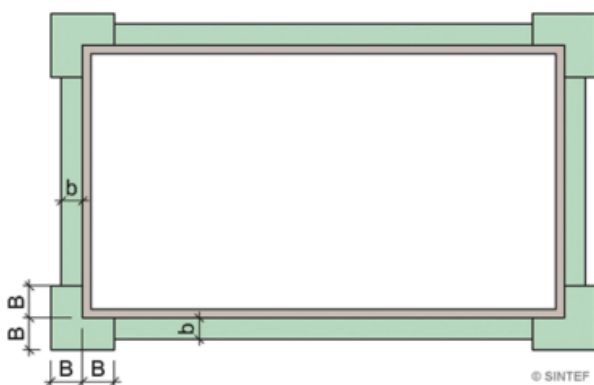


Figur 14 Illustrasjon av oppbyggingen av gulv mot grunn med illustrasjon av hvor kuldebroen er og hvordan den elimineres. (vedlegg G),

Gulvet mot grunnen vil bestå av 100mm og 250mm EPS 150 plater mot grunnen, med 200mm betong, radonmembran dersom grunnforholdene tilsier dette og 14mm parkett med underlag.

Gulvet vil være tilknyttet en 400 mm godt isolert ringmur av betong. Ringmuren vil være godt isolert på begge sider, med en kuldebrobryter. Dette er for å redusere kuldebroen i tilslutningen mellom golv og ringmur.

Markisolasjonen legges minimum 300 mm ned fra overflaten og tilsluttes ringmuren i ytterkanten. Både markisolasjonen og ringmursisolasjonen hindrer at det blir minusgrader under fundamentet og under gulvet. Dimensjoneringen på markisolasjonen bestemmes ut fra lokale forhold. Mengden av markisolasjonen er avhengig en rekke betingelser som grunnens termiske egenskaper, hvor godt gulvet- og ringmuren er isolert, dimensjonerende innetemperatur, årsmiddeltemperatur og forstmengde. Både telesikring og varmeisolering er regulert av byggt teknisk forskrift.



Frostmengde (h°C)	Markisolasjon (XPS)		Ringmursisolasjon (EPS)
	Inntil	Tykkelse ²⁾ (mm)	Tykkelse
15 000	50	Vegg (b) / hjørne (B) (mm)	50 mm × 2
20 000	50	800 / 1 200	50 mm × 2
25 000	60	1 000 / 1 400	50 mm × 2
30 000 ³⁾	70	1 800 / 2 500	70 mm × 2

Figur 15 illustrasjon av hvordan beregne markisolasjon på ikke telefarlig grunn, basert på figur 44e og tabell 45 (SINTEF, 2019b)

3.3.1.4 Takaltan

Tabell 25 U-verdi beregning for takaltan λ verdier er hentet fra ((SINTEF, 2020) NS-EN ISO 6946 og Glava sine nettsider for spesifiserte produkter)

Materialer	Tykkelse, d (m)	Termisk konduktivitet λ W/(mK)	Termisk motstand $R_t = d_n / \lambda_n$ (m ² K/W)
Utvendig varmemotstand (R_{se})	-	-	0,040
Taktekking papp 2 lag	0,0015mm	ukjent	ukjent
Fuktbestandige sementbasert underplate	0,010mm	0,23	0,043
Taktekking isolasjon XPS, 300 kPa	0,100 + 0,050mm	0,031	4,838

Taktro av vannfast finér	0,015	0,13	0,115
I-bjelkelag med mineralull	0,250	0,034	7,352
Nedlektning av himling med mineralull	0,050	0,034	1,470
Gips	0,013	0,21	0,061
Innvendig nedgående overgangsmotstand (R_{si})	-	-	0,17
Total	0,4895		14,333
U-verdi		1/14,333	0,069

Takaltan blir som tak for andre etasje og en altan mot sør fra tredje etasje. Oppbygging av takaltanen trenger 200mm mer isolasjonsmaterialer enn hva som opprinnelig er prosjektert for å oppnå kravene. For å unngå punktering av takmembran når altanen bygges, blir undersiden av tilfarere lagt på ett ekstra lag med tekkingsmaterialer. Dette vil hindre punktering ved gnissing av tilfarere mot undertak. Når plategulv blir skrudd i tilfarere er det viktig å forhindre skarpe objekter å punktere membranen.

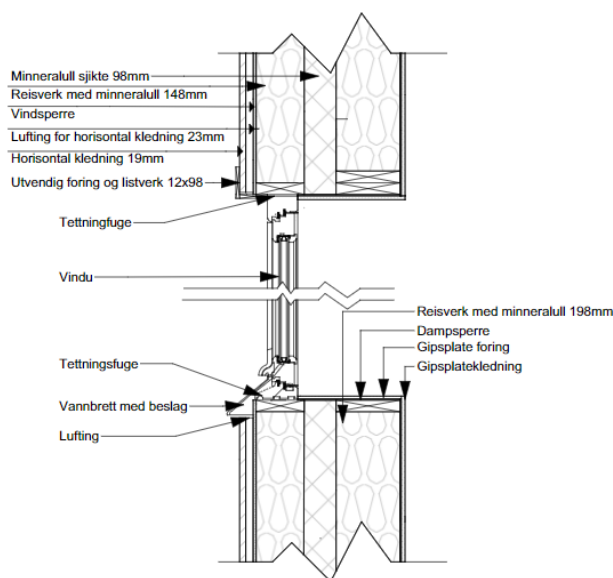
3.3.1.5 Vinduer

TEK17 krever at alle rom med varig opphold skal ha mulighet til utlufting i tilfelle ventilasjonssystemet eller temperaturreguleringen skulle svikte. Det oppgraderte bygget vil da bestå av åpningsvindu i alle fire soverom og kjøkken. Fastkarmvindu på kjøkken, og et kombinert fastkarm- og åpningsvindu på stue i 2. etasje. Fastkarmvindu på kjøkken og kombinert vindu på stue i trelags isolerrute, resterende vindu med firelags isolerrute. Alle vinduene er med 16mm hulrom fylt med argon, og lavemitterende belegg på 2 av 3 eller 3 av 4 glass. I følge (SINTEF, 2018d) kan man oppnå en U-verdi mellom 0,65 – 0,8 for åpningsvindu og 0,7 – 0,8 for fastkarmvindu.

U-verdiene er beregnet etter en vindusstørrelse (med karm) på 1,48 x 1,23 meter. Åpningsvinduene er noe mindre enn dette og da karmene har lavere varmebestandighet enn glasset vil U-verdien på åpningsvinduene være noe høyere enn 0,65. Fastkarmvinduene har et høyere glassareal enn standard beregninger fra byggforsk, og vil kunne oppnå en u-verdi litt under 0,7.

For å unngå overoppheting og i tillegg oppfylle krav om dagslysinnslipp er det viktig å velge vinduer med høy lystransmisjon og lav solenergitransmisjon. Trelags isolerruter slipper gjennom rundt 65% av lyset og 36-54% av varmen, mens tilsvarende verdi for firelags isolerruter er henholdsvis 48-61% lystransmisjon og 30-47% solfaktor (SINTEF, 2016c)

Velger superisolerende ytterdører i tre med U-verdi 0,7 (SINTEF, 2016b) og to balkongdører med u-verdi 0,79 (Windownet, 2023b). Gjennomsnittlig U-verdi vil da være Ca. 0,7. For å ytterligere kunne kontrollere solenergi- og lystransmisjon installeres utvendig solskjerming i form av persienner som hindrer dagslysinnslipp og har en solfaktor i bruk ned mot 10% (SINTEF, 2017b).



Figur 15 Viser prosjektert vindusdetalj i dobbelt reisverk.

3.3.2 Kuldebroberegning

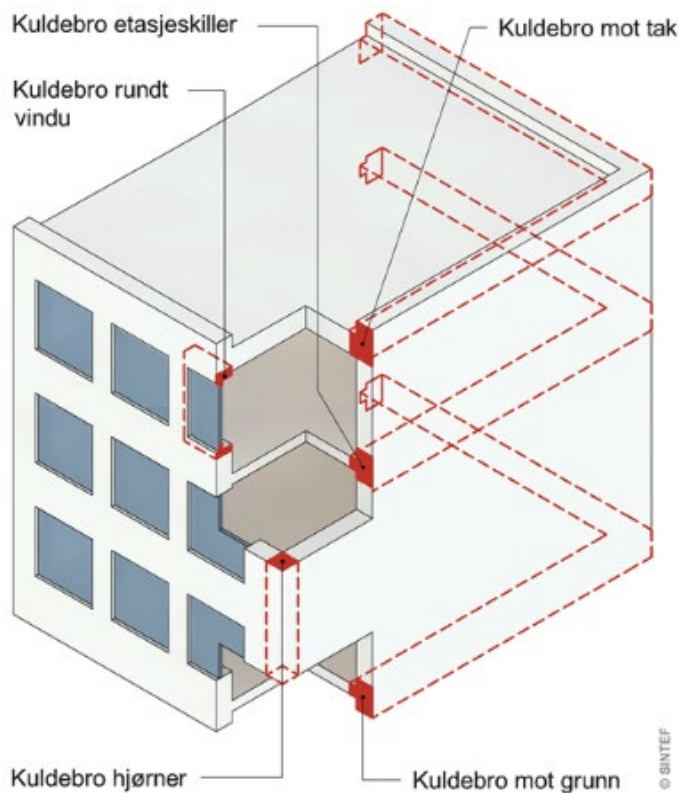
Når det beregnes kuldebroer, skilles det mellom normalisert kuldebro og kuldebroverdi.

Normalisert kuldebroverdi beregnes som summen av Ψ_k (lineære kuldebroer), multiplisert med l_k (lengden av kuldebroene), pluss summen av X_j (tredimensjonale kuldebroer/punktkuldebroer) delt på A_{fl} (oppvarmet del av bruksareal).

$$NKV \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right) = \frac{\sum_k \cdot \Psi_k \cdot l_k + \sum_j \cdot X_j}{A_{fl}}$$

Formel 5 Viser beregning av normalisert kuldebro

Beregning av kuldebroverdi kan gjøres på flere forskjellige metoder. Tabell 26 beskriver den manuelle beregningen som har en usikkerhet på $\pm 20\%$. (Arild Gustavsen et al., 2008)



Figur 16 Viser eksempler på tilslutninger hvor det oppstår kuldebroer (kilde (SINTEF, 2019a))

Tabell 26 Viser manuell kuldebro beregning for etter passivhusstand

Overgangsdetaljer	Lengde (M)	Antall	Total lengde (M)	Kuldebroverdier (W/mK)	Varmetap (W/m ² K)
Hjørner utvendig bod	2,88	5	14,4	0,03	0,432
Hjørner utvendig bod overgang r	2,4	1	2,4	0,03	0,072
Innvendig hjørne inngangsparti	2,4	13	31,2	-0,062	-1,934
Inngangsparti tak-yttervegg mot 2 egt utvendig hjørne	3,5	1	3,5	0,03	0,105
Inngangsparti tak-yttervegg mot 2 egt utvendig hjørne	3,1	2	6,2	0,03	0,186
Inngangsparti tak-yttervegg mot 1 egt utvendig hjørne	2,5	4	10	0,03	0,3
Inngangsparti tak-yttervegg mot 1 egt innvendig hjørne	3,5	1	3,5	-0,062	-0,217
Inngangsparti tak-yttervegg mot 1 egt innvendig hjørne	3,1	4	12,4	-0,062	-0,768
Tak over bod	1,6	6	9,6	0,038	0,364
Ytterdør og verandadør med glass-felt*	6,96	7	48,72	0,036	1,753
Verandadør med vindu*	10,03	7	70,21	0,036	2,527
Dør-vegg	6,16	10	61,6	0,036	2,217
Vinduer-vegg	5,44	49	266,88	0,031	9,596
Utvendig hjørne inngangsparti (nord-øst) 1 egt	2,4	1	2,4	0,03	0,072

Nord vegg fra 2 egt til tak utvendig hjørne	6,7	2	13,4	0,03	0,402
Nord vegg fra 2 egt til tak innvendig hjørne	6,7	1	6,7	-0,062	-0,415
Hjørne hele lengde nord-øst	9,5	1	9,5	0,03	0,285
Utvendig hjørne sør-øst, sør-vest og midt i 1 til 2 Egt.	6,2	3	12,4	0,03	0,558
innvendig hjørne sør midt i 1 til 2 egt.	6,2	1	6,2	-0,062	-0,384
Utvendig hjørne sør-øst og sør vest 3 Egt - tak	3,3	2	6,6	0,03	0,198
Egt.skiller langvegg	35,5	4	142	0,003	0,426
Egt.skiller kortvegg	18,5	4	74	0,003	0,22
Vegg-ringmur-gulv	80	1	80	0,038	3,04
Tak 2 Egt-vegg	36,5	1	36,5	0,034	1,241
Tak 3 Egt-vegg	90,5	1	90,5	0,034	3,077
Totalt varmetap					23,356
BRA					808
NKV (W/m²K)					0,0289 ≈ 0,03

$$20 \cdot 0,0289 / 100 = 0,0057$$

$$\text{NKV} = 0,0289 \pm 20\% = 0,0346 \text{ og } 0,0231 \text{ W/m}^2\text{K}$$

*Kuldebroer på siden av ytterdør og vindfangvindu i inngangspartiet mot nord, og verandadør og vindu. Blir beregnet som en felles kuldebro da sidevinduene ligger så tett at det vil være naturlig å beregne denne som én kuldebro og ikke to.

Kuldebroverdier er hentet fra SINTEF byggforskserien:

Innvendige hjørner: (SINTEF, 2013d, tab. 31 Innovervendt hjørne mellom bindingsverksvegger av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon)

Utvendige hjørner: (SINTEF, 2013d, tab. 32 Utovervendt hjørne mellom bindingsverksvegger av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon)

Etasjeskiller andre og tredje etasje: (SINTEF, 2013c, tab. 31 Bjelkelag med 48 mm × 198 mm trebjelker)

Vegg/ringmur/gulv: (SINTEF, 2013b, tab. 3 Dimensjonerende varmekonduktivitet, λ_d , som er benyttet ved beregning av kuldebroverdier for tilslutninger mellom bygningsdeler dersom ikke annet er angitt)

Vindu/dør: (SINTEF, 2013e, tab. 511 Bindingsverksvegg av tre)

Tak: (SINTEF, 2018c, tab. 432 Rettvendte kompakte tak. Minste gjennomsnittlige isolasjonstykkelser (mm) for å oppnå ulike U-verdier. Verdiene gjelder for isolasjon med fals, eventuelt isolasjon som er lagt med forskjøvne skjøter. Varmeisolasjon med deklart varmekonduktivitet λ_D)

Lengder er hentet fra Ifc modellen om prosjektet og mengder her hentet fra mengdeutak som er vist i delkapitlet 3.1.6. Som tabellen viser vil prosjektet oppnå kravet om normalisert kuldebroverdi på 0,03 W/m²K med utgangspunkt i denne beregningen gjort i tabell 26.

3.3.3 Energibehov romoppvarming

I tillegg til utrekning i SIMIEN ble det foretatt en manuell beregning av varmetap med enkle inndata; konstant innetemperatur på 21°C og konstant utetemperatur på 5,8°C, som er midlere årgjennomsnitt for Trondheim (SINTEF, 2013a, tab. 3 Klimadata for landets kommuner)

3.3.3.1 Manuell beregning av varmetap

Dette delkapitlet tar for seg transmisjonsvarmetap gjennom bygningens ytterflater og varmetap på grunn av bygningens luftskifte etter metode beskrevet i NS 3031:2021.

Varmetransportkoeffisient for transmisjonsvarmetap:

$$H_{tr} = H_D + H_g + H_u + H_a$$

Der

HD : direkte varmetransmisjonstap til det fri, i W/K

Hg : varmetap mot grunnen, i W/K

HU : varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner

Ha : varmetransmisjonstap til tilliggende bygninger

Varmetransmisjonstap Ha utgår da det ikke er tilliggende bygninger.

3.3.3.2 Direkte varmetap

Direkte varmetransmisjonstap for bygningsdeler (tak, vegger, gulv, vinduer og dører mot det fri)

$$H_D = \sum_i U_i A_i + \sum_k \Psi_k l_k + \sum_j X_j$$

Formel 7 Direkte varmetransmisjonstap for bygningsdeler

Der

A_i : arealet til elementet basert på totalt innvendig mål, i m². For vinduer er totalt areal inkludert karm/ramme brukt.

l_k : lengden av lineær kuldebro basert på totalt innvendig mål for kuldebro k, i meter.

U_i : Varmegjennomgangskoeffisient for ugjennomsiktig element i, i W/(m²K)

Ψ_k : kuldebroverdi for kuldebro, k, beregnet ut ifra totalt innvendig mål, i W/(mK)

X_j : varmegjennomgangskoeffisient for en punktformig kuldebro j, i W/K

Kuldebroer beregnes som vist i tabell 7.

Ekvivalent U-verdi gulv: 0,078

Punktformig kuldebro er ikke tatt med i beregningene.

$$H_D = 0,09 \cdot 706 + 0,09 \cdot 375 + 0,72 \cdot 164 + 0,078 \cdot 345 + 0,03 \cdot 1014 = 272,7 \frac{W}{K}$$

Formel 8 Beregnet varmetap

Det direkte varmetapet beregnes til 272,7 W/K

3.3.3.3 Varmetap gjennom vinduer

Dette delkapittelet inneholder forenklete verdier for varmegjennomgangskoeffisient for vindu og dører, med gjennomsnittlig u-verdi på 0,72.

Vinduers varmegjennomgangskoeffisient beregnes som:

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Formel 9 Viser beregning av varmetap gjennom vinduer

Der

A_f : Arealet av karm og ramme, i m²

A_g : Areal av lysåpning, i m²

l_g : Omkrets av lysåpning, i meter

U_f : Varmegjennomgangskoeffisient for karm og ramme i, (W/m²K)

U_g : Varmegjennomgangskoeffisient for midtarealet av isolerruten, i W/(m²K)

Ψ_g : Lineære varmegjennomgangskoeffisient som følge av de kombinerte termiske effektene av rute, avstandsskinne og karm

3.3.3.4 Varmetap til uoppvarmede soner

Spesifikt varmetap for elementer som vender mot uoppvarmede soner, H_U

Uoppvarmede soner tilsvarer en minimal andel av arealet i bygningen, og at disse ligger innenfor klimaskall gjør at denne delen utelates fra beregningen.

$$H_U = b \cdot H_{iu}$$

Formel 10 Spesifikt varmetap for elementer mot uoppvarmet soner

Der:

H_{iu} : Direkte varmetransmisjonsvarmetap mellom den oppvarmede delen av bygningen og den uoppvarmede sonen, i W/K.

b : Varmetapsfaktor for redusert varmetransport på grunn av den uoppvarmede sonen, gitt ved:

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

Formel 11 varmetapsfaktor

Der

H_{iu} : varmetransportkoeffisient mellom den oppvarmede delen av bygningen og den uoppvarmede sonen, i W/K

H_{ue} : varmetransportkoeffisienten mellom den uoppvarmede delen av bygningen og det fri, i W/K.

3.3.3.5 Varmetap mot grunnen

H_g , beregnes etter NS-EN ISO 13370:

U-verdi påvirkes av grunnforhold og varmekonduktivitet i grunnen. Grunnforholdene på tillerenga er løsmasser/myr og her brukes derfor varmekonduktiviteten til løsmasser: $\lambda_g = 2,0 \text{ W}/(\text{mK})$.

Denne forenklete metoden tar ikke hensyn til grunnvann, sigevann eller ulike sjikt med forskjellige jordtyper.

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_{wf}$$

Formel 12 Varmetap mot grunn

$$H_g = 345 \cdot 0,078 + 102 \cdot 0,03 = 29,97$$

A: Gulvareal

U: Thermal transmittance between internal and external environments

P: Gulvets eksponerte omkrets

Ψ_{wf} : linear thermal transmittance of the wall/floor junction

For velisolerte gulv:

$$U_{fg;sog} = \frac{1}{\left((R_{si} + R_f + R_{se} + \frac{d_{w;e}}{\lambda_g}) + R_{g;eff} \right)} = \frac{1}{\left(0,17 + 10,87 + 0,04 + \frac{0,5}{2} \right) + 1,55} = 0,078$$

Formel 13 U-verdi for velisolerte gulv

$$R_{g;eff} = \frac{0,457 \cdot B}{\lambda_g} = \frac{0,457 \cdot 6,8}{2} = 1,55$$

Formel 14 Termisk resistanse

Beregning av karakteristisk dimensjon av gulv:

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} (m) = \frac{345}{0,5 \cdot 102} = 6,8m$$

Formel 15 Beregning av karakteristisk dimensjon av gulv

Der

P: gulvets eksponerte omkrets(m)

A: Oppvarmet bruksareal (BRA)(m²)

For beregning av rekkehus regnes hele bygningen med som eksponert omkrets, inkludert uoppvarmet rom når disse er innenfor den isolerte delen. BRA er i denne sammenheng innvendig grunnflateareal. For betonggulv på grunn med veggtykkelse 200-600mm kan man finne ekvivalent U-verdi ved bruk av tabeller i byggforsk. For å oppnå en ekvivalent u-verdi lik 0,09, som er nødvendig i dette tilfelle for å oppnå passivhuskrav, kan U-verdi uten effekt av grunnen være 0,11.

3.3.3.6 Infiltrasjonsvarmetap

Varmetransportkoeffisienten for infiltrasjon beregnes som:

$$H_{inf} = 0,33 \cdot n_{inf} V \left[\frac{W}{K} \right]$$

Faktor 0,33 er luftens varmekapasitet pr volum, i Wh/(m³K)

Luftskifte for infiltrasjon beregnes som:

$$n_{inf} = \frac{n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{V_1 - V_2}{V \cdot n_{50}}\right)} \quad [h^{-1}]$$

Formel 17 Luftskifte for infiltrasjon

Der:

e, f : Terrengskjermingskoeffisienter.

n_{50} : Lekkasjetall ved 50 Pa [h^{-1}]

V : Oppvarmet luftvolum

V_1 : Tilluftsmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i m³/h

V_2 : Avtrekksluftmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i m³/h

I balansert ventilasjon er tilluft og avtrekk lik, og settes dermed til 0. Terrengskjermingskoeffisient e hentes fra tabell, antas moderat; 0,07.

$$H_{inf} = 0,33 \cdot \frac{0,6 \cdot 0,07}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{0 - 0}{1016 \cdot 0,6}\right)^2} \cdot 2203 = 30,5 \frac{W}{K}$$

Formel 18 Beregnet infiltrasjonsvarmetap

Infiltrasjonsvarmetap beregnes til 30,5 W/K

3.3.3.7 Ventilasjonsvarmetap

Varmetransportkoeffisient for ventilasjon:

$$H_v = 0,33 \cdot V(1 - \eta_T) = 0,33 \cdot (1,2 \cdot 847) \cdot (1 - 0,82) = 60,4 \frac{W}{K}$$

Formel 19 Varmetransportkoeffisient for ventilasjon

Der

V: Gjennomsnittlig ventilasjonsmengde [m^3/h]

η_T : Virkningsgrad, utnyttingsfaktor

Varmetap fra ventilasjon beregnes til 60,4 W/K.

Ventilasjonsvarmetap inngår ikke i beregningene om varmetapstall i NS3700

3.3.3.8 Varmetapstall

$$\text{Vegger: } 0,09 \cdot \frac{706}{847} = 0,075 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{Tak: } 0,09 \cdot \frac{375}{847} = 0,04 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{Gulv: } 0,078 \cdot \frac{345}{847} = 0,032 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{Vinduer: } 0,72 \cdot \frac{164}{847} = 0,14 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{Kuldebroer: } 0,03 \cdot \frac{1014}{847} = 0,036 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{Infiltrasjon: } \frac{30,5}{847} = 0,036 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{Ventilasjon: } \frac{60,4}{847} = 0,07 \frac{W}{m^2K}$$

Samlet varmetapstall: 0,43 W/ m^2K

Formel 20 Beregning av samlet varmetapstall

3.4 Romoppvarming

Romoppvarmingen i bygningen består av i hovedsak vannbåren varme fra fjernvarmeanlegg og i tillegg en liten del fra direktevirkende el. Med balansert ventilasjon og effektiv varmegjenvinner er

det tilstrekkelig med fjernvarme og overskuddsvarme fra belysning, elektrisk utstyr og varme fra personer.

3.4.1 Oppvarming av forbruksvann

Oppvarming av varmtvann kommer utelukkende fra fjernvarme. Dette tilfredsstiller krav i NS3700 vedrørende at en andel oppvarming av rom eller varmtvann skal komme fra andre kilder enn fossilt brensel eller direkte el (Standard Norge, 2013).

3.4.2 Beregning av innstråling

Her vises en forenklet beregningsmodell fra (SINTEF, 1991).

Beregner for januar og juli da det antas henholdsvis største- og minst behov for oppvarming.

$$Q_s = Q_d \cdot S \cdot A_g \cdot a \text{ (kWh)}$$

Formel 21 Beregning av innstråling

Der

Q_s : Energitilskudd fra solstråling, i kWh

Q_d : Strålingsenergi på utsiden av vinduet, i kW/m²

S: Solfaktor for glasset

A_g : Vinduets glassareal

a: avskjermingsfaktor

Vindusareal for soltilskudd, A_g , beregnes som

$$A_g = A_w(1 - F_F)$$

Formel 22 Vindusareal for soltilskudd

Der:

A_W : Totalt vindusareal inkludert karm og ramme, i m^2

F_F : Karm/ramme arealfraksjon, andel av ugjennomskinnelig vindusareal

Avskjermingsfaktor, a :

$$a = a_i \cdot a_h \cdot a_v \cdot a_k$$

Formel 23 Avskjermingsfaktor

a_i : Korreksjon for strålingens varierende innfallsvinkel mot vinduet

a_h : Skjerming fra horisont

a_v : Vertikal skjerming av bygningsutspring

a_k : Kunstig skjerming

Utgangspunkt for beregningene:

Verdier for solinnstråling hentet fra (SINTEF, 1991).

Gjennomsnittlig karm/rammefaktor, $F_F = 0,2$

Solfaktor vindusareal = 0,4

Korreksjon for varierende innfallsvinkel = 0,9

Skjerming fra horisont $a_h = 0,8$

Januar:

Vinduer nord-fasade:

$$Q_s = 2 \cdot 0,4 \cdot 47,6 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 27,4 \text{ kWh}$$

Formel 24 Innstråling nord, januar

Vinduer sør-fasade:

$$Q_s = 14 \cdot 0,4 \cdot 68,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 277,6 \text{ kWh}$$

Formel 25 Innstråling sør, januar

Samlet energi fra solinnstråling i januar er 305 kWh

Juli:

Vinduer nord-fasade:

$$Q_s = 47 \cdot 0,4 \cdot 47,6 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 644,3 \text{ kWh}$$

Formel 26 Innstråling nord, juli

Vinduer sør-fasade:

$$Q_s = 91 \cdot 0,4 \cdot 68,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1803,1 \text{ kWh}$$

Formel 27 innstråling sør, juli

Samlet energi solinnstråling vinduer i juli er 2448 kWh

Solstrålingsdata for energi og effektberegninger (SINTEF, 1991).

U-verdier. Gulv på grunnen og vegger mot terreng (SINTEF, 2018b).

Isolerruter. Lys- og varmetekniske egenskaper (SINTEF, 2016c).

4 RESULTATER

Dette kapitlet tar for seg resultatene fra beregninger og antagelser fra tidligere kapitler.

4.1 Miljø

Beregnet utslipp fra ekstra isolasjon og trevirke for ombygging til passivhus er ca 16,500 kg CO₂ ekvivalenter. Verdiene kommer fra EPD om Glava mineralull, Jackon XPS, og moelven trevirke. Verdiene for bygget i sin helhet er ikke beregnet.

Utslipp av klimagasser elektrisitet: 11 gram CO₂ ekvivalenter per kilowattime (NVE, 2022)

Utslipp av klimagasser fjernvarme: 45,1 gram CO₂ ekvivalenter per kilowattime (Statkraft, 2023).

Redusert energi-forbruk på 18600 kWh tilsvarer redusert utslipp fra elektrisitet og fjernvarme på 707,4kgCO_{2e} årlig.

Med de samme fremtidige utslippsfaktorene for fjernvarme og elektrisitet vil det ta 21 år for klimaregnskapet å gå i pluss. Med en forventet levetid på bygningen på 60 år vil forventet redusert klimagassutslipp være nesten 26,000 kg CO_{2e} i byggets levetid.

11 gram CO₂ ekvivalenter per kilowattime fra strømnnett multiplisert med 4268 kWh redusert elektrisitetsforbruk. = 47kgCO_{2e}

45,1 gram CO₂ ekvivalenter per kilowattime fra fjernvarme multiplisert med 14643 kWh redusert fjernvarmeforbruk. = 660,4kgCO_{2e}

4.2 SIMIEN

Alle figurer og tabeller i dette delkapitlet 4.2 er hentet fra SIMIEN

4.2.1 Krav til bygningskomponenter

Tabell 27 Minstekrav til enkeltkomponenter sammenligning med kravene til passivhus

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,72	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	82	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

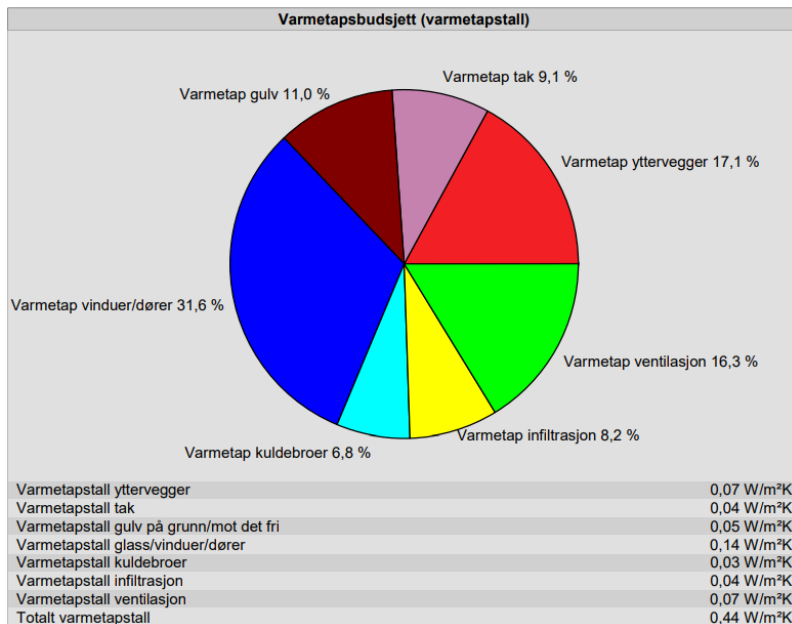
Boligen oppfylte krav til Årsmidlere temperaturvirkningsgrad og SFP fra før av. Lekkasjetallet er satt til 0,6 da dette beregnes når konstruksjon er ferdigstilt.

4.2.2 Krav til varmetapstall

Tabell 28 varmetapsbudsjett sammenligning med kravene til passivhus

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,07
Varmetapstall tak	0,04
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,05
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,14
Varmetapstall kuldebroer	0,03
Varmetapstall infiltrasjon	0,04
Totalt varmetapstall	0,37
Krav varmetapstall	0,43

Tabell 28 viser at konstruksjonens varmetapsbudskjett fra bygningsdeler er innenfor kravene til NS 3700 passivhuskrav.



Figur 16 varmetapsbudsjet med fordeling av varmetapet %

Figur 16 viser varmetapet fra hver post. Her er tap fra ventilasjonsanlegg med, dette er ikke en del av passivhuskravene. Derfor vises det totale varmetapstallet som 0,44 W/m²K og ikke 0,37 W/m²K som vist i tabell 28 varmetapsbudskjett.

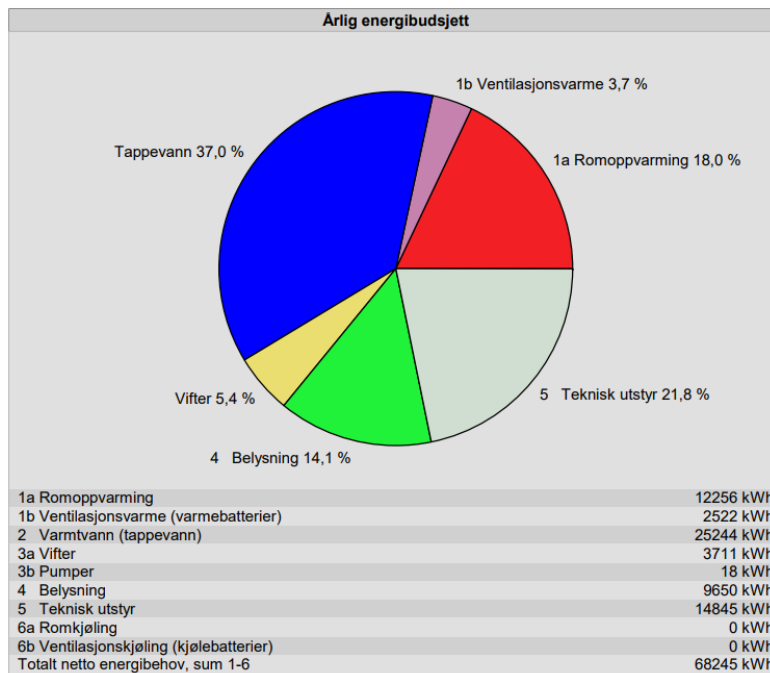
Det ble også foretatt en manuell beregning av varmetapstall som samsvarer med verdiene gitt i SIMIEN. Som vist i delkapittel 3.3.3

4.2.3 krav til oppvarming

Tabell 29 Viser energiytelse i bygningen

Beskrivelse	Energiytelse	
	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	17,4 kWh/m²	17,4 kWh/m²
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Energibruk el./fossile energibærere	40,3 kWh/m²	65,6 kWh/m²

Kravene i tabell 5 og delkapittel 2.4.10 presenteres sammen med SIMIEN. For å oppnå kravet til energiytelse ble yttervegg, dører, vinduer, gulv og takaltan oppgradert. Som Tabell 29 viser, tilfredsstilles kravet fra Tabell 5 og delkapittel 2.4.10



Figur 17 Årlig energibudsjett

Figur 17 viser hvor mye energi de forskjellige postene bruker. Det største behovet til energi er oppvarming av tappevann.

Tabell 30 Viser levert energi til bygningen etter NS 3700

Levert energi til bygningen (NS 3700)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	34116 kWh	40,3 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	37572 kWh	44,3 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	71687 kWh	84,6 kWh/m²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	71687 kWh	84,6 kWh/m²

Tabell 30 viser levert energi til bygningen gjennom ett år. Boligen kan benytte 37572 kWh fra fjernvarme. Dette tilsvarer 52,41% av all teoretisk levert energi til bygget.

4.2.4 Temperatur og inneklima

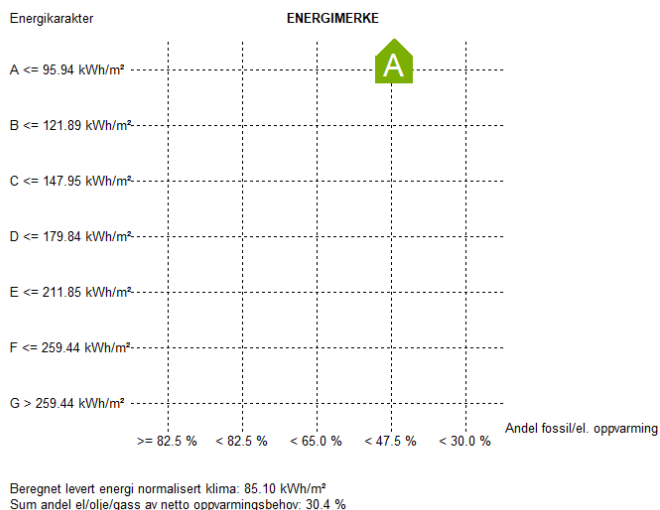
Tabell 31 Temperaturdata per måned

Måned	Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)				
	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Maks. sone	Min. sone
Jan	-1,2 °C	8,5 °C	-19,5 °C	21,2 °C (14)	19,0 °C (16)
Feb	-1,7 °C	9,0 °C	-16,7 °C	21,4 °C (14)	19,0 °C (16)
Mar	-0,2 °C	10,7 °C	-12,0 °C	21,9 °C (14)	19,0 °C (15)
Apr	3,8 °C	14,2 °C	-5,6 °C	25,3 °C (14)	19,0 °C (11)
Mai	7,4 °C	20,1 °C	-2,4 °C	29,8 °C (14)	20,3 °C (10)
Jun	11,1 °C	22,7 °C	1,2 °C	32,4 °C (14)	23,9 °C (10)
Jul	13,8 °C	23,6 °C	4,8 °C	33,8 °C (14)	25,9 °C (10)
Aug	13,7 °C	25,0 °C	3,5 °C	32,3 °C (14)	24,5 °C (10)
Sep	10,1 °C	20,8 °C	0,6 °C	29,3 °C (14)	21,2 °C (10)
Okt	5,2 °C	15,5 °C	-3,3 °C	22,9 °C (14)	19,1 °C (15)
Nov	1,0 °C	10,7 °C	-11,1 °C	21,5 °C (14)	19,0 °C (15)
Des	-1,9 °C	9,6 °C	-17,6 °C	21,3 °C (14)	19,0 °C (16)

Tabell 31 viser en oversikt over ute- og inne-temperatur hver måned. Innvendig middeltemperatur på sommermånedene ligger godt over komfort-temperatur, men dette løses med brukerstyring av persienne/gardiner.

4.2.5 Energimerking av bygget.

Figur 18 viser energimerkingen av konstruksjonen etter foreslåtte tiltak. Energimerkingen går fra karakter lysegrønn B med 107Kwh/m² (som vist i Figur 11) til karakter lysegrønn A med 85,1kWh/m². Dette tilsvarer en teoretisk reduksjon i levert energi normalisert klima med 2,1kWh/m



Figur 18 Energimerking av Konstruksjonen med foreslåtte tiltak

4.3 Kostnader

Dette delkapitlet inneholder kostnadsberegninger. Simuleringsprogrammet SIMIEN har i sin produktdatabase standardpris for strøm på 0,8 kr pr kWh, Grunnet store svingninger i strømprisen per dags dato vil det være hensiktsmessig å øke strømprisen for utregningene gjort i denne rapporten til 1 kr per kWh. Beregningsgrunnlaget er hentet fra Holte.

4.3.1 Som bygget

Tabell 32 Viser selvkosten og levert energi til bygget som er bygget

Som bygget		
Timesforbruk	5034,83	T
Pris per time	440	Kr
Timer	2 215 325,2	Kr
Selvkost	8 423 663,7	Kr
1.Direkte el	38384	kWh/år
2.El til solfanger	0	kWh/år
3.Fjernvarme	52215	kWh/år
Summer	90599	kWh/år
	90 599	kr

Tabell 32 presenterer estimert selvkost for bygningskroppen samt strømudgifter. Som konstruksjonen er bygget i dag estimeres en selvkost på Ca. 8,5 millioner kroner og en årlig utgift til energi å være 90 500 kr. For detaljert utregning se Vedlegg E

4.3.2 Foreslått bygget til passivhuskrav

Tabell 33 Viser selvkosten og levert energi til bygget i passivhusstand

Bygget som passivhus		
Timesforbruk	5899,3	T
Pris per time	440	Kr
Timer	2595705,2	Kr
Selvkost	9 311 433,2	Kr
1.Direkte el	34113	kWh/år
2.El til solfanger	0	kWh/år
3.Fjernvarme	37574	kWh/år
Summer	71687	kWh/år
	71 687	kr

Ser fra Tabell 33 at selvkost for å oppgradere bygget til passivhusstand etter NS3700 vil koste Ca. 9,3 millioner kroner. Behovet for energi per år minsker betraktelig etter oppgradering. Pris for levert energi etter oppgraderinger er Ca. 72.000 kr pr år.

4.3.3 Innsparingstid av foreslåtte tiltak

Tabell 34 Viser en oversikt over kostnader (Vedlegg E)

Som bygget			Bygget som passivhus			solcelleanlegg med 163 panneler		
Timesforbruk	5034,83	t	Timesforbruk	5899,33	t	Størrelse per solcelle	1,7	m ²
Pris per time	440	kr	Pris per time	440	kr	Antall solcellepanel	163	Stk
Timer	2215325,2	kr	Timer	2595705,2	kr	Størrelse	277,1	m ²
Selvkost	kr 8 757 843,33	kr	Selvkost	kr 9 648 214,21	kr	Størrelse	59,94	kW
Differanse				kr 890 370,87		Årlig produksjon	47952	kWh
1. Direkte el.	38384	kWh/år	1. Direkte el.	34113	kWh/år	Sum	kr 47 952,00	
2. El til solfangersystem	0	kWh/år	2. El til solfangersyst	0	kWh/år	Pris per solcellepanel med montering	kr 5 575,58	
3. Fjernvarme	52215	kWh/år	3. Fjernvarme	37574	kWh/år	Pris	kr 908 820,00	
Summer	90599	kWh/år	Summer	71687	kWh/år	Enova støtte	kr 47 500,00	
	90599	kr	Summer	kr 71 687,00	kr	Summer	kr 861 320,00	

Som sammenligningsgrunnlag ble den opprinnelige kostnaden til bygget funnet med Holte.

Bygget ble først beregnet etter samme standard som opprinnelig bygget med passivhus tiltak. Dette gjorde at selvkosten kom på 10 032 599 NOK. Noe som ga en økt kostnad på 1 608 934 kr i forhold til opprinnelig bygg. Spart strømkostnad per år er 18912 NOK. Ved å dele differansen på ekstra selvkost på spart strømpris ble innsparingstiden 85 år.

$$\frac{1\ 608\ 934\ kr}{18\ 912\ kr} = 85\ \text{år}$$

Formel 28 Innsparingstid med passivhus tiltak og opprinnelig standard

Brede foringer til dører og vinduer med gerikt til en kostnad 721165,4 NOK er noe høyt i forhold til bygget i helhet. Ved å velge geriktfrie foringer i gips kunne man spare hele 630 4565 kr. Dette valget gjør at økt kommer på 887 769 kr, og får en innsparingstid:

$$\frac{887\ 769\ kr}{18\ 912\ kr} = 46,9\ \text{år}$$

Formel 29 Innsparingstid prosjektert passivhus tiltak

Det ble undersøkt om solceller kunne redusere energiutgiftene ytterligere. Solcellene og dets info er beskrevet i Tabell 34. Med passivhusstand og solcelle på taket blir investeringskostnaden 887 769kr+861 320kr= 1 749 089 kr og en potensiell estimert sparekostnad i energi per år 47 952kr+ 18 912kr = 66c864kr

$$\frac{1\,749\,089\text{kr}}{66\,864\text{kr}} = 26,15\text{ år}$$

Formel 30 Innsparingstid passivhus med solcelle på taket.

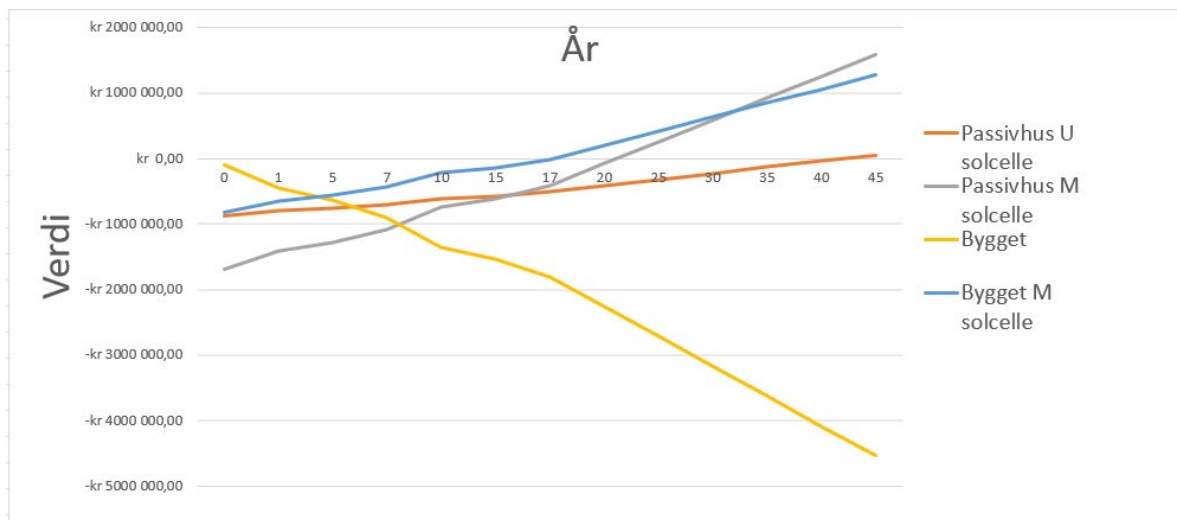
Med denne kombinasjonen med solcelle og passivhusstand er innsparingstiden 26,15 år. Beregningene tar ikke høyde for solcellenes levetid på 30-40 år.

Innsparingstid for opprinnelig bygg med solceller er nesten 18 år:

$$\frac{861\,320\text{kr}}{47\,952\text{kr}} = 17,96\text{ år}$$

Formel 31 Innsparingstid for opprinnelig bygget med solcelle på taket

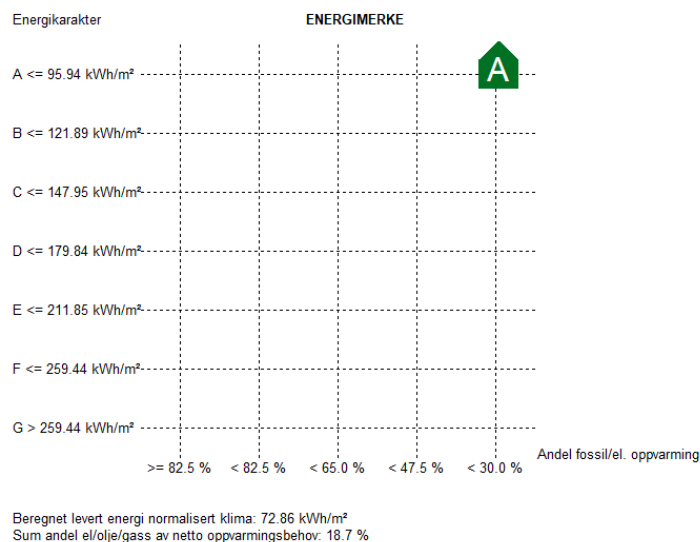
Fra et økonomisk synspunkt der lønner det seg å montere solcelle på den eksisterende boligen, da dette har den korteste inntjeningsperioden. Passivhus med solceller har lengre inntjeningsstid, men også en høyere potensiell kostnadsbesparelse over tid.



Figur 19 Viser hvor lang tid før forskjellige sparetiltak blir inntjent kun på spart strøm

Figur 19 viser en oversikt over investeringskostnad og hvor mange år før investeringen går i null.

4.3.3.1 Energimerking for passivhus med solcelle



Figur 20 Viser potensiell energimerking for passivhusstand og solcelle

Dersom bygget hadde vært prosjektert etter passivhusstandard med solcelle hadde konstruksjonen fått den beste energimerkingen mørkegrønn A. Delkapittel 4.2.5 tar for seg energimerking av den prosjekterte konstruksjonen uten solcelle. Estimert levert energi besparelse er 34,48 kWh/m². Andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov får en reduksjon fra 32,4 % til 18,7% (se figur 11 for mere info)

5 DISKUSJON:

Dette kapittelet gjennomgår resultatene og deres relevans til problemstillingen, og vi vil diskutere mulige feilkilder ved oppgaven.

5.1 Mulige feilkilder:

I dette delkapitlet skal vi ta for oss mulige feilkilder:

5.1.1 Valg av bolig

Valget av rekkehus ble tatt på bakgrunn av at vi fikk omvisning av prosjektleder og dette bygget var uferdig slik at vi fikk sett på konstruksjonselementer, mulige kuldebroer, gjennomføringer og lignende. Rekkehusene er ganske like i utforming, men ikke helt identiske og de har heller ikke samme tilgang til sollys. Vi kunne også valgt et annet prosjekt fra samme eller annen entreprenør. Valget av rekkehus var vilkårlig. Da det lå ca. like mye informasjon om alle rekkehusene ute på databasen Streambim.com som bedriften bruker og vi har fått tilgang til.

Rekkehusene på Tiller-ringen, og rekkehus generelt er i utgangspunktet ganske energivennlige på grunn skjerpede TEK17 krav når størrelsen øker. Passivhuskravene øker også noe, men i mindre grad enn TEK17. Dessuten er energibehovet til rekkehusene på Tiller rundt 10000 kWh mindre enn krav satt i byggeteknisk forskrift. En enebolig som akkurat er innenfor energikravene hadde nok gjort et større utslag på kostnader og klima.

5.1.2 Byggeteknisk

Når det gjelder konstruksjonen som opprinnelig er bygget, har vi på enkelte elementer fått svært lite informasjon og dermed ha måttet gjøre antakelser. Det er prøvd å gjøre disse antakelsene ut fra dimensjonerings vi har fått uthentet fra IFC modelleringen av bygningen.

Det er brukt standardverdier i Byggforsk for U-verdi beregning. Stenderverk og isolasjon ligger i samme sjikt og gjør u-verdiberegningene komplisert. Stenderverk i bygningen vi har prosjektert er i 148*36 millimeter mens standardverdier i byggforsk tar utgangspunkt i 198*36 millimeter.

Byggforsk er dessuten brukt for å vurdere vinduer og dører og gjør det dermed vanskelig å benytte

eksakte u-verdi tall og tilhørende solfaktor og lysinnslipp. I tillegg er nye vinduer med lavere u-verdi ikke sjekket med tanke på deres utslipp av klimagasser. Det er mulig klimagassene øker med lavere U-verdi da de som regel er litt tyngre og muligens har mer isolasjon i karmen. Noen vinduer har også et ekstra glasslag som kan øke utslippene av CO₂ ekvivalenter.

Rekkehusenes orientering er ikke endret for å optimalisere bruk av solvarme, og det er ikke sjekket om vinduenes plassering og størrelse kunne vært endret for å utnytte solenergi og dagslys på best mulig måte.

Denne rapporten har tatt utgangspunkt i verdier for levetid basert på (SINTEF, 2004) uten noen form for korrigering ved bruk av f.eks. faktormetoden. Det ville vært fornuftig å anta at levetiden på passivhus i denne delen av Trondheim er høyere enn referanselevetiden for normale bygg i Norge. Det settes høyere krav til gjennomføringer og kvalitet i passivhus, blant annet på grunn av kuldebroverdien som må være 40% lavere enn i TEK17 hus. Klimaet er verken spesielt barskt eller mildere enn normalt, men lokasjonen gjør at bygget ikke er veldig utsatt for vind/slagregn. Bygget er i bebygd område, men et stykke fra fjorden og sentrum av byen så påvirkning fra saltvann er minimal, og SO₂ konsentrasjonen er liten (mindre enn 20 mikrogram per m³) (Standard Norge, 2014b).

5.1.3 Løsninger for oppvarming

Vi har brukt standardverdier for energibruk med tanke på varmtvann, belysning og elektrisk utstyr. Det kan tenkes at et område med rekkehus på Tiller tiltrekker barnefamilier med et høyere antall personer i husholdningen enn standarden er validert etter og at de har større behov for varmtvann og elektrisitet til matlaging, klesvask osv. Det er kun lagt til grunn fjernvarme i beregningene for varmtvann og oppvarming da dette dekker kravet satt i NS3700, og unnlatt å utforske andre løsninger som solceller eller solfangere.

5.1.4 Solinnstråling

Det kan være flere potensielle feilkilder som må tas i betraktning i denne delen, her er en oversikt over mulige innvirkninger. En primær feilkilde til solinnstråling kan være upresise målinger av solinnstråling. Skydekke, lokale forhold, årstid og tidspunkt på dagen kan påvirke målingene. Det

er dessuten store variasjoner fra år til år, og en god predikasjon for fremtidig solstråling finnes ikke. Lokasjon for innsamling av måledata kan være en feilkilde. Solinnstrålingen vil variere mye avhengig av lokasjon, selv om målingene er gjort for hele Trondheim kan det være lokale variasjoner på bebyggelsen.

5.1.5 Kostnad

Kostnadsestimat er basert på Holte portalen sin vurdering av kostnader for oppføring av bygg. Det å estimere bygge-kostnader er en avansert prosess, og det kan være flere mulige feilkilder som kan påvirke resultatet. Det er brukt Holte's tilbudskalkulator som kilde til de aller fleste av prisene. Selv om Holte er en svært anerkjent kilde til bygge-kalkyler, er det mulig at noen av dataen for kalkulering er utdatert eller ikke gjenspeiler de faktiske prisene for det lokale markedet.

Det har vært noen utfordringer med Holte sin prisdatabase når det gjelder vinduer og dører. Holte har ikke tilstrekkelig data for visse elementer. Dette kan ha introdusert en viss grad av usikkerhet knyttet til beregninger av disse. En annen feilkilde er takaltan og takkonstruksjonen. Oppbyggingen burde vært gjort annerledes. Ved en endring hadde konstruksjonen av taket bestått av et rettventd kompakt tak med stålplater (Q dekke). Denne løsningen lå ikke i Holte sin database så vi kontaktet produsenter av et slikt tak. Dessverre ble ikke vår henvendelse besvart i tide før levering av oppgaven. Vi vet nå at en slik stålplateløsning på tak og takaltan hadde vært en god løsning. Prisen på dette taket er noe høyere, men med mulighet for å bruke en annen billigere type isolasjon kunne man redusert utgiftene og samtidig minsket klimagassutslipp.

Det er inkludert solceller på taket i kostnadsestimeringen. Dette er en potensiell feilkilde grunnet mange variabler som kan påvirke kostnadene og besparelsen med solceller. For eksempel er det kun målt besparelser i form av reduserte strøm-kostnader, men er ikke inkludert vedlikehold eller rentekostnader forbundet med investeringen. Dette betyr at netto besparelse kan være mindre enn estimert.

Det er bestandig en stor usikkerhet knyttet til estimering av kostnader. Dette kan inkludere endringer av materialpriser, arbeidskost, uforutsette problemer som kan oppstå. Selv om det er prøvd å gjøre så nøyaktige estimeringer som mulig, er det viktig å tenke over at det

bestandig vil være en grad av usikkerhet. Dermed bør prisestimeringen ikke tolkes som absolutte tall, men heller brukes som en veiledning til å forstå kostnadsområdene og hvilke utfordringer de kan medbringe.

6 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Det er en betydelig ekstrakostnad å omprosjekttere bygg fra TEK17 standard til passivhus. Beregningene fra prosjektet på Tiller viser en økt kostnad på nesten 1 million NOK. Det samsvarer godt med tallene fra Sintef og andre som estimerer 5-10% økning i pris fra TEK10 og TEK17. Utgiftene til energi faller med lavere varmetap, og med en energi kostnad på 1 kr per kWh kan man regne med å bruke rundt 50 år på spare inn den økte investeringen. Passivhus kan være en god investering, spesielt om strømprisen fortsetter å være høy, slik den har vært i store deler av landet de siste par årene.

Klimagassregnskapet er bedre for passivhus enn hus bygd med TEK17 standard selv med større utslipp knyttet til den ekstra materialmengden. I løpet av levetiden på 60 år vil regnskapet gå i pluss etter rundt 25 år på grunn av reduksjon i energibruk. Det anslås at klimagassutslippet reduseres med nesten 26000 kg CO₂ ekvivalenter i løpet av byggets levetid. Klimagassutslipp er derfor vesentlig mindre enn selv en energieffektiv bolig i TEK17 standard. Passivhus kan være en god måte å redusere energiforbruket i bygninger. Og om det fører til mindre behov for elektrisitet i Norge kan overskudd eksporteres som miljøvennlig kraft til kontinentet.

Både passivhus og hus bygd etter standarden i TEK17 er moderne hus med rikelig isolasjon og strenge krav til tetthet og varmetap. Den lille forskjellen i isolasjon og luftlekkasjer gjør at strålingsvarmen fra bygningskropp er større, og kaldras fra vinduer mindre i passivhus, samtidig som støy utenfra blir mer dempet. Sammen med balansert ventilasjon med varmegjenvinning gjør det at et passivhus har et behagelig innneklima med jevne temperaturer. Utfordringer med passivhus kan være tilgangen på dagslys og luftmengde fra ventilasjon. Strenge krav for U-verdi i vinduer gjør at dagslysinnsippet er mindre i passivhus enn for tilsvarende hus i TEK17 standard med samme arkitektur. Kravene for luftmengde i ventilasjon er satt med forbehold om ekstra naturlig ventilasjon ved behov, men dette motsier formålet med passivhus der luftlekkasjer er minimale og varmegjenvinning fra ventilasjon er høy. Det anbefales i det minste å følge retningslinjene til Byggforsk i forhold til ventilasjonsmengde i småhus, som er 20% høyere enn krav i TEK17.

Med hensyn til klimamålene satt i FN og den norske regjering bør det innføres passivhuskrav som standard i bygg om ikke altfor lenge. Men før den tid bør det utforskes videre effekten på inneklima og helse i lavenergi-bygninger, og spesielt kravet til luftmengder bør gjennomgås.

7 REFERANSER

Arbeidstilsynet (Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen). (2023). *Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Arbeidstilsynet. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklima/>

Arianna Brambilla. (2020). *Mould growth in energy efficient buildings: Causes, health implications and strategies to mitigate the risk—ScienceDirect* (Nr. 132). Grimshaw Architects, Sydney, Australia. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120303841>

Arild Gustavsen, Jan Vincent Thue, Peter Blom, Arvid Dalehaug, Tormod Aurlien, Steinar Grynning, & Sivert Uvsløkk. (2008). *Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk* (Nr. 25). SINTEF. https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_25.pdf

Asma og allergiforbundet. (2023, februar 13). *Riktig innnetemperatur*. NAAF. <https://www.naaf.no/inneklima/riktig-innetemperatur>

Brandslet, S. (2022, juni 24). *Hva er et plusshus?* Gemini.no. <https://gemini.no/?p=78630>

Bærekraftige bygg. (2019, januar 3). Energifakta Norge. <https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/baerekraftige-bygg/>

Chatterjee, S., & Ürge-Vorsatz, D. (2021). Measuring the productivity impacts of energy-efficiency: The case of high-efficiency buildings. *Central European University, Nador-9, 1051 Budapest, Hungary, 318*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128535>

Dimitroulopoulou, C. (2012). Ventilation in European dwellings: A review. *University of West Macedonia, Dept of Mechanical Engineering, Sialvera and Bakola, Kozani, Greece, 47*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.016>

Direktoratet for byggekvalitet. (2018, februar 13). *Dette er energikravene i byggteknisk forskrift*. Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/dette-er-energikravene-i-byggteknisk-forskrift>

Direktoratet for byggekvalitet. (2022a). *Veileder for utarbeidelse av klimagassregnskap* (Veileder for utarbeidelse av TEK17 § 17-1).

Direktoratet for byggekvalitet. (2020, oktober 1). *§ 14-5. Unntak og krav til særskilte tiltak*. Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-5>

Direktoratet for byggekvalitet. (2022b, februar 3). *Når gjelder byggteknisk forskrift (TEK17)?* Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. <https://dibk.no/bygge-eller-endre/arbeid-pa-eksisterende-bygg/nar-gjelder-byggteknisk-forskrift-tek17>

Eivind Selvig. (2013). *Erfaringer med bruk av lavenergi og passivhus yrkesbygg*. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kmd/boby/civitas_passivhus_lavenergi_yrkesbygg.pdf

Energi & § 14-2. Krav til energieffektivitet. (2020). *Energi § 14-2. Krav til energieffektivitet*. Direktoratet for byggekvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2>

Energifakta. (2023). *Norsk energiforsyning*. Energifakta Norge. <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/>

Energikrav til boligbygninger ved energiltak og omfordeling av varmetap. (2016). *473.103 Energikrav til boligbygninger ved energiltak og omfordeling av varmetap—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/5165/energikrav_til_boligbygninger_ved_energitiltak_og_omfordeling_av_varmetap

Energimerkeforskriften for bygninger. (2009). *Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg (energimerkeforskriften for bygninger)—Lovdata*. Olje- og energidepartementet. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-12-18-1665>

Energimerking av forbruksartikler. (2022). I *Wikipedia*. https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Energimerking_av_forbruksartikler&oldid=22791687

Energiverket. (2019). Hva er passivhus, nullhus og plusshus? *Energiverket*. <https://www.energiverket.no/hva-er-passivhus-nullhus-og-plusshus/>

Fjordkraft. (2023). *Historiske strømpriser – Pris på strøm før og nå*. Fjordkraft. <https://www.fjordkraft.no/strom/strompriser/historiske-strompriser/>

Glava AS. (2021). *Glava Proff 34 Plate*. <https://media.bluestonepim.com/5f8cb111-138a-4137-a4b3-cb659fe3b82e/02391690-652c-4030-a2e4-ee14b45440a7/PCRCrn1FqKFAkq7qjSl8YA8Sb/HEpQ9zIPw8rj7bLb94CnfJmPD.pdf>

Heen, A. (2018). *Sesonglagring av solvarme til bygningsoppvarming: Et case-studie* [Master thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås]. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2567361>

Hofstad, K. (2023). Solenergi. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/solenergi>

Holte. (2023, mai 10). *Om oss*. Holte. <https://holte.no/om-oss/>

Holte portalen. (2023). *HoltePortalen—Et papirløst bransjesystem*. <https://smart.holte.no/#/user/kn/info>

J. Sundell. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14(s7), 51–58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>

Jan Vincent Thue. (2016). *Bygningsfysikk* (1.Utgave /oppslag 2). Fagbokforlaget.

Kartverket.no. (2023, mai 10). *Se eiendom—Tiller-ringen 156A*. Informasjon fra matrikkelen. <https://seeiendom.kartverket.no/eiendom/5001/324/208/0/0>

Lag Entreprenør. (2023, mai 10). *Om Lag* [Om]. Lag Entreprenør. <https://lagentreprenor.no/om-lag/>

Lars Myhre, Peter Schild, Trine Dyrstad Pettersen, Peter Blom, & Lars Gullbrekken. (2012). *Veileder for prosjektering av passivhus – småhus SINTEF Bokhandel* (s. 70). https://www.sintefbok.no/book/index/938/veileder_for_prosjektering_av_passivhus_smaahus

Lavenergiboliger.no. (2023, mai 10). *Lavenergiboliger—Definisjon og krav*. Lavenergiboliger.No. <http://www.lavenergiboliger.no/>

Mads Mysen m.fl . & SINTEF. (1999). *Energieffektiv ventilasjon – innføring av SFP*. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2417050/Prosjektrapport249.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), Artikkel 6. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063276>
- Michael Klinski, Thomasen, J., Hauge, Å., Jerkø, S., & Tor Helge Dokka. (2012). *Systematisering av erfaringer med passivhus* [Forskningsartikkel]. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2422007/Prosjektrapport90.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Midt Energi & Larsen Silje Nystrand. (2023). *SOLCELLER TIL BOLIG For deg som vil produsere din egen strøm hjemme*. <https://midtenergi.no/solcelle-bolig/>
- MIM. (2017). Byggordboka—Passivhus. I *Byggordboka*. <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/passivhus>
- Mukherji, A., Thorne, P., Cheung, W. W. L., Connors, S. L., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Simpson, N. P., Totin, E., Blok, K., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hermans, T., Ley, D., Lewis, J., Nicholls, Z., ... Yassaa, N. (2023). *SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)*. https://report.ipcc.ch/ar6syр/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- Nicholson, S., & Heath, G. (2013). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update*. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80580.pdf>
- Norges Astma- og Allergiforbund. (2023, februar 13). Riktig innnetemperatur. *NAAF*. <https://www.naaf.no/inneklima/riktig-innetemperatur>
- NVE. (2022, mai 25). *Lavt klimagassutslipp knyttet til norsk strømforbruk i 2021—NVE*. NVE. <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/lavt-klimagassutslipp-knyttet-til-norsk-stroemforbruk-i-2021/>
- Olje- og energidepartementet. (2021, august 25). *Energibruken i ulike sektorer*. Energifakta Norge. <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/energibruken-i-ulike-sektorer/>
- Passivhus. (2023). I *Wikipedia*. <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Passivhus&oldid=23390475>
- Plan- og bygningsloven – pbl. (2008). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)* (27. utg.). Kommunal- og distriktsdepartementet. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
- Regjeringen. (2023, februar 1). *NOU 2023: 3* [NOU]. [Regjeringen.no; regjeringen.no. https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/](https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/)
- Rosvold, K. A. (2018). Statkraft Varme AS. I *Store norske leksikon*. https://snl.no/Statkraft_Varme_AS
- Rosvold, K. A. (2021). Fjernvarme. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/fjernvarme>
- Simenergi.no. (2023, mai 10). *Simien* | *Simenergi*. <https://simenergi.no/simien/>
- SINTEF. (1991). *472.411 Solstrålingsdata for energi- og effektberegninger—Byggforskerien*. Byggforskerien. https://www.byggforsk.no/dokument/222/solstraalingsdata_for_energi_og_effektberegninger#
- SINTEF. (2000). *552.335 Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg—Byggforskerien*. Byggforskerien. https://www.byggforsk.no/dokument/2960/prosjektering_av_energieffektive_ventilasjonsanlegg

- SINTEF. (2004). *700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/3208/definisjoner_etablering_og_bruk_av_levetidsdata_for_bygg_og_bygningsdeler
- SINTEF. (2013a). *451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring?gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLb3T-TmWAnA2X1kr4ObCacGrUpCS_tutR4IPMFVCZwP-kLnGL7O1YhoCK1YQAvD_BwE
- SINTEF. (2013b). *472.051 Kuldebroverdier for tilslutninger mellom bygningsdeler. Grunnlag for beregninger—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4048/kuldebroverdier_for_tilslutninger_mellom_bygningsdeler_grunnlag_for_beregninger
- SINTEF. (2013c). *472.301 Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og trebjelkelag—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4066/kuldebroverdier_bindingsverk_av_tre_og_trebjelkelag
- SINTEF. (2013d). *472.723 Kuldebroverdier. Hjørne mellom bindingsverksvegger av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4090/kuldebroverdier_hjoerne_mellom_bindingsverksvegger_av_tre_med_kontinuerlig_utvendig_isolasjon
- SINTEF. (2013e). *472.801 Kuldebroverdier. Vindu i bindingsverksvegg av tre—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4141/kuldebroverdier_vindu_i_bindingsverksvegg_av_tre
- SINTEF. (2013f). *473.010 Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser—Byggforskserien*. Byggforskerien. https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser
- SINTEF. (2013g, desember 1). *471.404 U-verdier. Vegger over terreng – dobbelt bindingsverk av tre med kontinuerlig isolasjon imellom—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4099/u-verdier_vegger_over_terreng_dobbelt_bindingsverk_av_tre_med_kontinuerlig_isolasjon_imellom
- SINTEF. (2014). *474.624 Luftlekkasjemåling av bygninger. Hensikt og vurdering—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4126/luftlekkasjemaaling_av_bygninger_hensikt_og_vurdering
- SINTEF. (2015a). *473.003 Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/4153/energieffektive_bygninger_begreper_og_definisjoner
- SINTEF. (2015b). *552.303 Balansert ventilasjon i småhus—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/529/balansert_ventilasjon_i_smaahus
- SINTEF. (2016a). *473.101 Energikrav til bygninger. Oversikt—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/5162/energikrav_til_bygninger_oversikt#changes
- SINTEF. (2016b). *533.202 Ytterdører av tre—Byggforskserien*. Byggforskerien.
https://www.byggforsk.no/dokument/445/ytterdoerer_av_tre

- SINTEF. (2016c). 571.954 *Isolerruter. Lys- og varmetekniske egenskaper—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/582/isolerruter_lys_og_varmetekniske_egenskaper
- SINTEF. (2017a). 473.020 *Nullutslippsbygninger (ZEB). Retningslinjer og beregningsmetoder—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/5177/nullutslippsbygninger_zeb_retningslinjer_og_beregningsmetode_r#i2
- SINTEF. (2017b). 533.163 *Solskjerming. Typer og hensyn ved valg—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/2930/solskjerming_typer_og_hensyn_ved_valg
- SINTEF. (2017c). 552.301 *Ventilasjon av boliger. Prinsipper—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/527/ventilasjon_av_boliger_prinsipper
- SINTEF. (2017d). 700.320 *Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler—Byggforskserien*. https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller_for_vedlikehold_og_utskifting_av_bygningsdeler?gclid=CjwKCAjwjYKjBhB5EiwAiFdSfq1kKkQ1yQPRdWB1XhRe23ZR9gVyKpPh6c5ZDNeWaHckmI1kWJuJqxoCVC0QAvD_BwE
- SINTEF. (2018a). 471.008 *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946
- SINTEF. (2018b). 471.014 *U-verdier. Gulv på grunnen og vegger mot terreng—Byggforskserien*. https://www.byggforsk.no/dokument/1536/u-verdier_gulv_paa_grunnen_og_vegger_mot_terreng
- SINTEF. (2018c). 525.207 *Kompakte tak—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/387/525207_kompakte_tak
- SINTEF. (2018d). 533.102 *Vinduer. Typer og funksjoner—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/437/vinduer_typer_og_funksjoner
- SINTEF. (2019a). 472.001 *Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi—Byggforskserien*. Byggforskserien. <https://www.byggforsk.no/dokument/5206>
- SINTEF. (2019b). 521.112 *Gulv på grunnen med ringmur. Telesikring og varmeisolering av oppvarmede bygninger—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/1541/gulv_paa_grunnen_med_ringmur_telesikring_og_varmeisolerin_g_av_oppvarmede_bygninger?utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=DSA%20%7C%20RLSA%20%7C%20Felles&utm_term=www.byggforsk.no&utm_content=Generell
- SINTEF. (2020). 471.010 *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer—Byggforskserien*. Byggforskserien. https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer#i25
- ssb.no. (2023). 08651: *Byggekostnadsindeks for bustader i alt, etter arbeidstype (2015=100) 1978M01—2023M04*. Statistikkbanken. SSB. <https://www.ssb.no/system/>
- Standard Norge. (2013). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger—Boligbygninger (NS 3700:2013)*. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=636902>

Standard Norge. (2021). *Bygningers energiytelse Beregning av energibehov og energiforsyning* (SN-NSPEK 3031:2021). SINTEF.

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1393607>

Standard Norge. (2014a, januar 3). *Bygninger og konstruksjoner—Levetidsplanlegging*.

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=682970>

Standard Norge. (2014b, mars 1). *NS-ISO 15686-8:2008*.

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=682971>

STATENS BYGNINGSTEKNISKE ETAT. (1999). *Forskrift til plan og bygningsloven.2.utgave* (33).

https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/veiledning-til-forskrift-om-krav-til-byggverk-og-produkter-til-byggverk.-tekniske-forskrifter-til-plan--og-bygningsloven-av-14.-juni-1985-nr-77.-2.-utgave-april-1999.pdf

Statkraft. (2023). *Fjernvarmeanlegget i Trondheim | Statkraft Varme*. <https://www.statkraftvarme.no/om-statkraftvarme/fjernvarmeanlegg/trondheim/>

Statsbygg veileder EPD. (Oslo). *Veiledning til bruk av EPD ved miljøvurderinger*.

Statsministerens kontor. (2022, november 3). *Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent* [Pressemelding].

[Regjeringen.no; regjeringen.no. https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/](https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/)

Stein-Owe Hansen. (2020). *Lokal luftforurensning*. https://viken.no/_f/p1/i05eb5adb-b23d-432f-95c1-61c5ad38f83d/analysenotat-1-2020-vi-i-viken-lokal-luftforurensing-i-viken.pdf

Svein Bjørnberg. (2009). *Levetider i praksis* (Prinsipper og bruksområder). Multiconsult.

Sverre Holøs, Mette Maltha, & Magnar Berge. (2013). *Helse og inneklime i passivhusboliger SINTEF Bokhandel* (Nr. 102000219; s. 57).

https://www.sintefbok.no/book/index/978/helse_og_inneklime_i_passivhusboliger

Takstmann byggmester Borgar Bernhardsen AS. (2023, mai 10). *Trykktesting*.

<https://www.byggmesterbb.no/trykktesting>

Thomsen, Judith & Judith; Berge, Magnar. (2012). *Inneklime i energieffektive boligeren litteraturstudie* (s. 48). HVL NTNU SINTEF.

Tor Helge Dokka, Käthe Hermstad, & SINTEF. (2006). *En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergi boliger*. https://www.sintef.no/globalassets/upload/veileder_lavenergihus.pdf

Trondheim Kommune. (2023, mars 28). *Tilknytning til fjernvarmeanlegg*. Trondheim kommune.

<https://www.trondheim.kommune.no/tema/bygg-kart-og-eiendom/bygging/veiledere/tilknytning-til-fjernvarmeanlegg/>

UN environment programme. (2021, september 7). *Air Pollution Note – Data you need to know*.

<https://www.unep.org/interactive/air-pollution-note>

U.S. Department of Energy (Regissør). (2011, januar 4). *Energy 101: Geothermal Heat Pumps* [Video].

https://www.youtube.com/watch?v=y_ZGBhy48YI

Utredning for Kommunal- og distriktsdepartementet og & Olje- og energidepartementet. (2022). *Underlag for langsiktig strategi for energieffektivisering ved renovering av bygninger* (s. 117) [Olje- og energidepartementet forbereder gjennomføring av energieffektiviseringsdirektivet]. Regjeringen.

Varmepumpeforeningen. (2023, februar 7). *5 grunner til å velge varmepumpe – Varmepumpeforeningen*. Varmepumpeinfo.no. <https://www.varmepumpeinfo.no/hvorfor-velge-varmepumpe>

Windoornet. (2023a, april 4). *Windoornet—Vinduer of dører*. <https://windoornet.no/no/index.cfm?valgprodukt=vindusvalg.cfm&valgtab=1>

Windoornet. (2023b, april 15). *Windoornet—Nordan dører*. <https://windoornet.no/no/index.cfm?valgprodukt=bestill.cfm&valgbox33=1&uverdi=3&setts=300>

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: Dampness and mould*. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/164348>

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants*. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260127>

WWF. (2020, august 21). *Nå har vi brukt opp jordas ressurser for i år*. WWF. <https://www.wwf.no/nyheter/earth-overshoot-day>

9. VEDLEGG

Vedlegg A: Fagartikkel

Vedlegg B: Poster

Vedlegg C: Fasade Tegninger

Vedlegg D: Snitt

Vedlegg E: Beregningsgrunnlag

Vedlegg F: Etasjeskiller og yttervegg

Vedlegg G: Gulv på grunn

Vedlegg H: Vindu i yttervegg

Vedlegg I: Skillevegg

Vedlegg J: SIMIEN inndata

Vedlegg K: Passivhus evaluering

Vedlegg L: Materialers klimautslipp