Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Masteroppgave vår 2020 30 stp
Fakultetet for realfag og teknologi

Bør sesonglagring av varme kunne gi enklere byggekrav?

Sesongbasert lagring av solvarme (BTES) til en norsk enebolig vurdert mot levetidskostnader, energiforbruk, LCA og byggteknisk forskrift (TEK)

Even Bull Holmen
Maskin, prosess og produktutvikling

Forord

Det er bred enighet om at reduksjon i klimagassutslipp er en nødvendighet for å begrense de klimatiske endringene vi står ovenfor. Den mest åpenbare måten å senke slike utslipp er å redusere forbruket direkte. Dette vil kunne føre til begrensninger i dagens livsførsel, så en annen fremgangsmåte går ut på å ta i bruk nye metoder og teknologi som fører til antatt lavere klimaavtrykk for samme resultat. Man ser dette i flere sammenhenger, overgang til batteridrevne biler, elektrifisering av norsk sokkel, resirkulering og Direktoratet for byggkvalitets (DiBK) fokus på energiforbruk, økte isolasjonsmengder og smarte teknologiske styringssystemer. Men hva er det faktiske resultatet? Når vil den endrede ressursbruken allikevel ikke føre til reduserte utslipp? Da jeg ble oppmerksom på ideen om sesongbasert varmelagring i grunnen, var min umiddelbare tanke å se om tilgangen på store mengder solenergi kunne brukes til å redusere teknologi- og ressursbruken i norske boliger. Vil man på denne måten kunne senke utslippene fra norske hjem uten at det går ut over bokvalitet og økonomi?

Det viser seg å være flere problemstillinger å ta hensyn til. For hva er viktigst? Å redusere elektrisitetsforbruket, CO_2e-utslippene eller å lage kostnadseffektive boliger uten store bygningstekniske og arkitektoniske begrensninger?
Det finnes nok ingen absolutt fasit til dette spørsmålet, men det er viktig å være bevisst på problemstillingene slik at man kan treffe gode beslutninger med oppslutning hos alle aktørene.

En stor takk til førsteamanuensis Petter H. Heyerdahl, NMBU, for meget inspirerende veiledning underveis i prosjektet. Takk til Professor Thomas K. Thiis, NMBU, for tips om SINTEF Byggforsk TEK-sjekk energi og LCA-beregningsprogrammet One Click LCA. Det er på sin plass å berømme DiBK for å presentere byggteknisk forskrift sammen med en grundig og godt formulert veiledning. Dette gjør forskriften godt forståelig og er et eksempel til etterfølgelse. Jeg vil avslutningsvis rette en spesiell takk til prosjekteringssjef Mato Matic og direktør operativ enhet John Erling Aarnes i Block Watne for at de tok seg tid til å dele av sine erfaringer i denne spesielle tiden vi alle er inne i.

Underveis i arbeidet med oppgaven dukket det opp en del uventede problemstillinger og resultater. Oppgaven har derfor blitt større og mer omfattende enn ønskelig og forordet er i

lengste laget. Jeg mener dette var nødvendig for å kunne komme frem til en troverdig konklusjon.

Innhold

Sammendrag 1
Liste over forkortelser, ord og begreper: 5
Figurliste: 8
Tabelliste: 9
1 Innledning 12
2 Metode 14
2.1 Tek og endringer i denne 14
2.2 SSB statistikk rundt byggekostnader og tomtepriser 15
2.3 Modell av standard enebolig for beregninger 17
2.4 Tallgrunnlag for kostnader 17
2.5 Energiberegninger 18
2.6 Anslag for sesongbasert varmelager 18
2.7 LCA-beregninger 19
2.8 Intervju 20
3 Problemstilling 21
4 Forutsetninger 23
4.1 Forskrifter 23
4.2 Sammenligningsgrunnlag 24
4.3 TEK17 Kapittel 14 Energi 25
4.3.1 Definisjoner av strømforbruk 25
4.3.2 §14-4. Krav til løsninger for energiforsyning. 26
4.3.2 Unntak §14-5. 27
4.4 U-verdier 27
4.4.1 Normalisert kuldebroverdi Ψ 29
4.4.2 Energikravene i TEK 1997 til i dag: 29
4.4.3 Tilnærmet tykkelser som kravene til energitiltak tilsvarer 30
4.5 Referansemodell for beregninger 31
4.5.1 Type bolig og bruksareal 31
4.5.2 Vindusflater 32
4.5.3 Tak og takvinkel 33
4.5.4 Fundamentering 33
5 Kostnadsutvikling boliger 34
5.1 Statistikk SSB, byggekostnader 36
5.2 Materialkostnad 39
5.3 Lønn 41
5.4 Kvadratmeterpris enebolig 42

6 Kostnadsøkning som følge av endrede energikrav 43
6.1 Kostnadsdrivere 43
6.1.2 Ventilasjonsanlegg og teknisk rom 43
6.1.3 Kostnad bygningskropp 44
6.1.4 Kostnad lufttetthet 45
6.1.5 Kostnad prosjektering 46
6.1.6 Kostnader dører/ vinduer 46
6.1.7 Byggefeil 47
6.1.8 Naturlige merkostnader 48
6.2 Tallgrunnlag SSB og eksisterende rapporter 49
6.2.1 Endring i BKI årene 2007 – 2008 49
6.2.2 Kvinge 2012 50
6.2.3 Almås 2012 for TEK97 mot TEK10 51
6.2.4 Oppsummert perioden 2007-2008 52
6.3 Endring årene 2008 og fremover 52
6.3.1 Almås 2012 52
6.3.2 Almås 2014 52
6.3.3 Skeie 2016 53
6.3.4 Oppsummert overgangen TEK10 til passivhusstandard 54
7 Energibehov modeller 56
7.1 Innledende beregninger, er det krav til varmegjennvinning? 56
7.2 Reelt energibehov for modeller 59
7.3 Dimensjonerende effektbehov 59
7.4 Energibehov oppsummert for alle bygg 61
8 CO_2e utslipp 63
9 Varmelager i grunnen (BTES) 66
9.1 Solinnstråling 68
9.2 Temperatur i grunnen 69
9.3 Størrelsen på et varmelager 71
9.4 Tilnærming av tap og energiuttak ved stasjonær tilstand. 74
9.5 Sammenligne tilnærming mot kjente prosjekter 76
9.6 Anslagsvis antall eneboliger 79
10 Investeringskostnader og nåverdiberegninger for energitiltakene 83
10.1 Pris varmelagring og solfangere 83
10.2 Pris vannbåren varme og varmesentral 84
10.3 Pris varmepumper 86
10.4 Støtteordninger 86

10.5 Sammenstilling av kostnadene 86
10.6 Tilbakebetaling og nåverdiberegninger 89
11 Diskusjon 94
11.1 Solfangere og varmelager 96
11.2 Om målepunktet for energi 99
11.3 Om CO_2e-utslipp, LCA og TEK-sjekk 101
11.4 Ventilasjonsanlegg 110
11.5 Estetiske valg og begrensninger 111
12 Konklusjon 114
Siterte verk 117
Vedlegg 120
Tabeller 120
Resultater fra TEK-sjekk energi 128

Sammendrag

De byggtekniske forskriftene (TEK) har vært i stadig endring opp igjennom årene og i 2007 ble det innført store endringer i energikravene til TEK. Etter dette har energikravene stadig vært gjenstand for nye innstramninger og det er uttalt av Regjeringen at alle norske bygg skal gå mot passivhusstandard. En slik absolutt overgang vil ha innvirkning på kostnader og legger store estetiske og praktiske begrensninger på byggene. Det er derfor viktig at en eventuell overgang er riktig fundert.

Et paradoks i byggteknisk forskrift er målepunktet for byggets energiramme. De bygningstekniske kravene baserer seg på et beregnet energiforbruk som ikke tar hensyn til energisystemets elektriske virkningsgrad. Dette fører for eksempel til like omfattende isolasjonskrav for en 100% elektrisk bolig og en bolig som baserer 100% av oppvarmingen på alternativ energi. Ettersom det ikke er særlige insentiver for å flytte energiforbruket vekk fra elektrisitet og byggekostnadene uansett er svært høye, vil satsing og utvikling av alternative energikilder bli ulønnsomme. Dette er uheldig og målepunktet for byggets energiramme i TEK bør flyttes fra posten *netto energi* til posten for *energiforsyning.* På denne måten synliggjøres hva slags type energi bygget faktisk benytter[1] og man kan premiere alternativ energiforsyning gjennom enklere byggekrav og lavere kostnader.

TEK17 §14-5 (5) *Unntak og krav til særskilte tiltak* bør revideres til også å inkludere andre reelle energikilder. Det fremstår lite rasjonelt å kun gi unntak til vind- og PV-anlegg ettersom det også finnes likeverdige alternative kilder til energi.

For å avgjøre miljøavtrykket til en bolig, er man nødt til å avgjøre hvilket globalt oppvarmingspotensial som bygget representerer over hele livsløpet. Forskjellige drivhusgasser har forskjellig oppvarmingspotensial (GWP) og det er vanlig å normalisere disse mot CO_2. CO_2 har GWP-faktor 1 og andre gasser skaleres med egne gasspesifikke

[1] *Netto energi* er det teoretiske energiforbruket til bygget og den posten som fastsetter de bygningstekniske kravene (isolasjonstykkelse, tetthet, isolasjonsverdi på vinduer/ dører og lignende). Her inngår alt energibehov, for eksempel oppvarming, nedkjøling og elektrisk utstyr. Posten sier derimot ingenting om hvor mye av denne energien som er elektrisk eller hvor mye som tapes/ vinnes i systemet. Denne posten kan derfor være både høyere og lavere enn faktisk energiforbruk. Posten *energiforyning* fordeler energiforbruket på energivare. Her synliggjøres for eksempel en varmepumpes virkningsgrad og man ser hvilken energi som er elektrisk. Man ser også hvilken energi som er fornybar, slik som solenergi fra solcellepanel og solfangere. Denne posten brukes til å energimerke ett bygg, men altså ikke for å fastsette de bygningstekniske kravene.

GWP-faktorer. Resultatet blir et samlet CO_2-ekvivalent oppvarmingspotensial, forkortet CO_2e. En beregning av miljøprestasjon over hele byggets levetid, kalles en LCA-analyse (Life Cycle Assessment). Disse skal utføres i henhold til NS3720.

LCA-delen i denne oppgaven kan kun brukes som forholdstall. Én kilde estimerer 2700% variasjon i reelle CO_2e-utslipp knyttet til norsk strømforbruk, mens en annen kilde oppgir estimater som varierer med 990%. Flere kilder skriver at begge de høyeste estimatene antagelig er for lave. Den store usikkerheten skyldes at man står helt fritt til selv å velge hvilke kriterier man vil bruke for beregning av disse utslippene, eksempelvis norsk miks, nordisk miks, europeisk miks, europeisk miks med forventninger om utslipp i år 2080, tall med opprinnelsesgaranti eller ikke. I tillegg kan man benytte forskjellige forutsetninger for elektrisitet til produksjon av byggematerialer og forbruksstrøm[2]. I denne oppgaven vises det at en anerkjent og anbefalt metode på denne måten benytter 3-4 ganger høyere faktor for utslippstall knyttet til forbruksstrøm enn for produksjon av byggematerialer til det samme bygget. Valget av CO_2e-faktorer har kun regnskapsmessig betydning og de globale utslippene påvirkes ikke.

Man kan benytte EPDer (Environmental Product Declaration) til beregning av utslippene knyttet til den enkelte byggevare. Dette er publikasjoner der miljøavtrykket til en byggevare er beregnet basert på ISO-standarder og Norsk Standard. EPDene er beregnet av den enkelte produsent og samtlige undersøkte EPDer bruker forskjellige faktorer for norsk el-miks. Norcem bruker nordisk el-miks for produksjonen på sitt norske anlegg (Brevik) og benytter dermed den klart høyeste verdien. Dette betyr at produksjon av sement relativt sett kommer dårligere ut enn produksjonen av de andre varene.

Det er viktig å være klar over at dersom man velger å benytte egne utslippstall knyttet til forbruksstrøm, må man også beregne nye EPDer til byggevarene, basert på samme forutsetninger og tallgrunnlag. I motsatt fall risikerer man å forskyve de totale utslippene knyttet til bygget. Man bør i denne sammenheng se på følgende eksempel:

[2] Utslippene til et bygg består i hovedsak av to forhold: «Engangsutslipp» knyttet til produksjon av byggematerialer og løpende utslipp knyttet til den elektrisiteten man benytter i huset gjennom hele husets livsløp.

- SINTEF anbefaler at det benyttes en gjennomsnittlig CO_2e-faktor til norsk forbruksstrøm, 132g CO_2e kWh^{-1}. Faktoren er et gjennomsnittstall basert på europeisk elektrisitetsmiks med jevnt synkende utslippstall over 60 år og faktoren er ikke revidert på 10 år. Dette til tross for at årlig revisjon er et klart premiss i rapporten som presenterer tallet for første gang (Dokka, 2011). Tallet er beregnet i 2010 med sikkerhet i alle tre hele siffer og er i dag rundt 70% for høyt for prosjekter med oppstart 2020.
- SINTEF anbefaler ikke å bruke europeisk elektrisitetsmiks for beregning av utslipp knyttet til produksjonen av byggevarene. For beregning av disse utslippene, anbefales man å bruke norsk elektrisitetsmiks og for eksempel norske EPDer (Selamawit Mamo Fufa, 2016).

Dermed forutsetter man at byggevarene blir produsert med norsk strøm, samtidig som forbruksstrømmen som benyttes over byggets livsløp regnes som europeisk og i tillegg er alt for høyt. Dersom SINTEF anbefalte europeisk elektrisitetsmiks også for byggevarer, ville denne CO_2e-faktoren vært rundt 800% høyere. Dette kommer tydeligere frem i *figur 36* s.108.

CO_2e-faktorene man velger å benytte til forbruksstrøm vil være av stor betydning for resultatet av en LCA-analyse. Det er derfor slik jeg oppfatter det uheldig at disse kan velges helt fritt. Dersom man internasjonalt heller forenes om én måte å definere CO_2e-utslipp knyttet til elektrisitetsforbruk, bør TEK sette krav til slike utslipp og LCA-beregninger.

Det er for denne oppgavens formål tre viktige parametere for definisjon av et godt bygg:

- Elektrisitetsforbruk
- CO_2e-utslipp
- Kostnadseffektive og trivelige boliger uten mange begrensninger

Utvalgte resultater er som følger:

- Det er gjennom sesonglagring av solvarme potensiale for å redusere CO_2e-utslipp, elektrisitetsforbruk og samtidig ha lavere oppvarmings- og byggekostnader. Dette forutsetter noen mindre endringer i TEK, som nå i praksis hindrer satsning og

utvikling av fornybar energi. Resultatet vil prinsipielt gjelde for alternative energikilder også.

- De forskjellige byggene kan ved hjelp av for eksempel solfangere møte en nedre grense for strømforbruk til oppvarming. Det er da kun byggematerialene som avgjør differansen i klimagassutslippene.
- TEK97 med varmegjenvinning kommer best ut i nær sagt alle kategorier.
- 80mm betongsåle og ringmur står for mellom 60- og 40% av utslippene knyttet til bygningsskallet for de forskjellige byggene. Dette gjenspeiles ikke i TEK.
- Huset bygget etter TEK97 (uten varmegjenvinning) er klart billigst av scenarioene som er testet her, selv i et 50 års perspektiv. Det bruker mest strøm og slipper derfor også ut mest CO_2e. Huset er etter 50 år fortsatt 280 000NOK billigere enn det sammenlignbare passivhuset, selv med 20 500NOK høyere årlige strømutgifter

Alle beregninger er gjort konservativt, der det for eksempel tas hensyn til passivhusets lavere effektbehov ved dimensjonering av varmepumper og vannbåren varme selv om dette ikke alltid er realiteten av effektiviseringshensyn. Samtaler med Block Watne tydet på at man ofte velger samme dimensjoner og utstyr for et passivhus som for TEK17 for å unngå spesialbestillinger. I tillegg omregnes produsentkostnad til kundekostnad med en faktor 1,15. Dette er antagelig meget lavt og gjør at passivhuset kommer uforholdsmessig billig ut med tanke på de store investeringskostnadene.

Liste over forkortelser, ord og begreper:

Forkortelse	**Begrep**	**Forklaring**
	Klimagassutslipp	Drivhusgasser, fører til oppvarming av klimaet
GWP	Global Warming Potential	Oppvarmingspotensialet til en drivhusgass. Ulik for ulike typer gasser.
CO_2e	CO_2-ekvivalenter	Drivhusgasser normalisert med CO_2-ekvivalent oppvarmingspotensial
	Forbruksstrøm	Elektrisitetsforbruk. For eksempel strømforbruk gjennom hele byggets driftsfase.
TEK	Byggteknisk forskrift	Forskrift til Plan og bygningsloven
LCA	Life cycle assessment	Livssyklusanalyse, analyse over den totale miljøpåvirkningen ved et produkt.
DiBK	Direktoratet for Byggkvalitet	Ansvarlig myndighet for bygg og byggesaksbehandling
	Bygningsmasse	Masse av bygninger. Bygningsmassen kan for eksempel skilles etter bygningstype (SSB 03158)
	Unormal	Observasjon utenfor normalområdet. Kan beregnes på flere måter.
BKI	Byggekostnadindeks	Indeks byggekostnader
IG	Igangsettingstillatelse	Ferdig prosjektert og byggeklart byggeprosjekt
	Transient	Ikke-stasjonær, altså forbigående/ varierende. Transient beregning, beregning med varierende inngangsdata.
EPD	Environmental Product Declaration	Publikasjon for et produkts miljøpåirkning.
Byggforskserien datablad	SINTEF byggforskserien datablad	Nummererte datablader med henvisninger til byggedetaljer. Svært omfattende serie og dekker hele feltet. Anerkjent dokumentasjon til byggesak.
	BREEAM-NOR	Norsk variant av Europas ledende miljøsertifiseringsverktøy for bygninger
BRA	Bruksareal	Innvendig areal inkludert innvendige vegger
PV	Photovoltaic	Solceller, produserer strøm.
λ	Varmeledningsevne/ Varmekonduktivitetstall	[W mK^{-1}]
n_{50}	Lekkasjetall for utettheter	Normalisert luftlekkasje. $n_{50} = V_{50}/V_{BRA}$ ved $\Delta P = 50Pa$

Forkortelse	**Begrep**	**Forklaring**
V_{BRA}	Volum av bruttoareal	Luftvolum
V_{50}	Lekkasjemengde	Volumet av luftlekkasje ved $\Delta P = 50Pa$
Δ	Delta	Forskjell mellom to verdier
	Midlere absoluttavvik	Gjennomsnittlig avvik fra median, absoluttverdier.
	Median	Observasjon som deler utvalget i to like store deler.
	Residual	Avstand fra måling til regresjonslinje
Q1, Q3	1.Quartile, 3.Quartile	25% av observasjonene er lavere enn Q1 75% av observasjonene er lavere enn Q3
IQR	Interquartile Range	Observasjonene ± 25% fra medianen
WPS	Weather Protection Systems	Heldekkende telt over bygg
Saltak		Vanlig skrånende tak. To takflater med felles mønebjelke. Stort sett symmetrisk
sCOP	Seasonal Coefficient Of Efficiency	Årsmidlet virkningsgrad (Forholdet mellom tilført effekt og levert effekt)
$\dot{Q}$, q	Varmestrøm	Energistrøm, betegnes Watt [J/s]
H''	Varmetapstall	Normalisert energitap [W $m^{-2}K^{-1}$]
VBV	Vannbåren varme	Varmesystem som baserer seg på romoppvarming via varmt vann. Varmekilde vil i praksis være fjernvarme, varmepumpe eller solfangere.
	BTES	Borehole Thermal Energy Storage. Sesongbasert varmelager i grunnen
$\frac{dT}{dz}$	Temperaturgradient	Endring av temperatur med hensyn på endring av avstand [K m^{-1}]
α	Diffusivitet	Hastigheten på varmetransport [m^2 s^{-1}]
ρ	Massetetthet	Materialets vekt fordelt på volum [kg m^{-3}]
C_p	Varmekapasitet	Varmekapasitet for et materiale [J kgK^{-1}]
$\bar{T}$	Gjennomsnittstemperatur	[K] eller [°C]
T_∞	Temperatur som ikke er påvirket	Temperatur som ikke er påvirket, kalles ofte urørt temperatur. [K] eller [°C]
T	Temperatur	Ligninger for varmeproblemer er avhengige av termodynamisk temperatur, slik som Kelvinskala (K = °C +273). I problemer som kun består av temperaturdifferanse brukes ofte Celsius da konstantleddet kansellerer. [K] eller [°C]
δ	delta	Inkrement, ofte stegvis endring av en verdi.
Pulttak		Skrånende tak med en eller to takflater (dobbelt pulttak). Siste har da ikke felles mønebjelke.

Forkortelse	**Begrep**	**Forklaring**
Q	Varme	Energimengden i et materiale [J]
I^2R -tap	Varmetap i en elektrisk motstand, kobbertap	$P=I^2R$ [W] angir varmetapet i en motstand. En slik motstand kan være kobberledningene som distribuerer strømmen på nettet eller i huset.
ZEB	The Research Centre on Zero Emission Buildings	Norsk forskningsenhet delt mellom NTNU og SINTEF. Partnere er bla byggevareprodusenter og boligbyggere, samt DiBK

Figurliste:

Figur 1: Forenklet fremstilling av varmesystem for både tappevann og vannbåren varme 22
Figur 2: Tilnærmede U-verdier for isolert bindingsverk mot veggtykkelse 28
Figur 3: Prosentvis bruksareal boliger og eneboliger etter areal. 31
Figur 4: Kostnadsledd i byggeprosessen 34
Figur 5: Forholdet mellom BKI og KPI 1997 til 2019. 36
Figur 6: BKI 1997-2019 med regresjon. Kvadratsum 43.3 36
Figur 7a: Prosentvis endring fra forrige år. Ekstremverdier vises for 2007 og 2008. Figur 7b: Delt regresjonsanalyse av BKI for alle boliger. Kvadratsum 1.79. 37
Figur 8: Kostnadsindeks enebolig i alt. 38
Figur 9 a og b: Kostnadsindeks for Enebolig i tre. 39
Figur 10: Materialpriser og BKI. 40
Figur 11: Materialpriser og BKI. 40
Figur 12: Regresjon av årsseriene 1998-2008, 2008-2015, 2015-2018. 41
Figur 13: Forenklet fremstilling av ytterdør plassert langt inne i veggen på grunn av strenge krav til kuldebroverdier 47
Figur 14: Oppsummerte kostnader TEK10 til passivhusstandard. Tallgrunnlag i tabell 28 54
Figur 15: Spesifikt energibehov for de forskjellige byggene. Tallgrunnlag tabell 12 59
Figur 16: Grafisk fremstilling av utviklingen i utslipp over 50års livsløp. Tallgrunnlag fra tabell 29 63
Figur 17: Utviklingen i utslipp over livsløp for bygninger med solfangere. Tallgrunnlag tabell 30 65
Figur 18: Forenklet fremstilling av brønner i et varmelager 67
Figur 19: Innstrålt gjennomsnittlig energi Oslo-området. Beregnet etter Byggforskserien Datablad 472.411 69
Figur 20: Temperaturvariasjon nedover i grunnen. 70
Figur 21: Beregnet oppvarming av grunnen forenklet som en linjekilde og temperaturen ut fra kilde. 73
Figur 22: Kontroll av temperatur ved 11,3m. Ligning (11) treffer innen den meteren der (T-T_∞) < 1K. 74
Figur 23: Spesifikt overflatetap mot radius på varmekjernen. 75
Figur 24: Fremstilling av egne beregninger ligning (16) og beregningstidspunkt for de kjente prosjektene. 78

Figur 25: Fremstilling av netto energimengde etter antall bidragsytere. 80
Figur 26: Fremstilling av netto energimengde ved 15, 22.5 og 30 kWh m^{-3} 80
Figur 27: Antall hus med 104m^2 solfangere og 8 000kWh $år^{-1}$ behov..... 81
Figur 28: Antall hus med 104m^2 solfangere og 16 000kWh $år^{-1}$ behov..... 82
Figur 29: Scenario 1. Oversikt over totale nåverdikostnader for alle byggtypene. 8 000kWh $år^{-1}$ fast. Ett bygg pr prosjekt, 52m^2 solfangerareal. Tallgrunnlag fra tabell 33..... 91
Figur 30: Scenario 2. Oversikt over totale nåverdikostnader der maksimalt energibehov er dekket. Antall boliger varierer for hvert prosjekt. Tallgrunnlag fra tabell 34..... 91
Figur 31: Scenario 3. Oversikt over totale nåverdikostnader. Maksimalt energibehov er dekket for hver bolig, samt 6 boliger i hvert prosjekt. Tallgrunnlag fra tabell 35..... 92
Figur 32: CO_2e-utslipp opptrer nær parallelt dersom man dekker stor nok del av oppvarmingsbehovet med fornybar energi..... 93
Figur 33: Sammenligning av egne beregninger likning (16) med tabell 1 i Skarphagen 2018. 98
Figur 34: Spesifiserte CO2e-utslipp for Scenario 1, bygninger med og uten 52m^2 solfangere 101
Figur 35: ZEB/SINTEF utslippsfunksjon y= -8,2x + 361 for $0 \leq x \leq 44$..... 106
Figur 36: Forskjell på europeisk og norsk elektrisitetsmiks. 108
Figur 37: Eksempler på forskjellige utforminger for samme BRA..... 111
Figur 38: To vegger med 1000x1000mm vinduer. 112
Figur 39: Takopplett for passivhus og TEK17..... 112

Tabelliste:

Tabell 1: Energikravene i TEK97 til i dag. Skjerpelser markert rødt. 29
Tabell 2: Tykkelser etter krav til energitiltak..... 30
Tabell 3: Utvikling i kostnadsledd einebustad av tre. Delproduktenes vekter 2019, 2000, 1990, 1978..... 35
Tabell 4: Kostnadsleddene for enebolig, oversikt over vektene delproduktene og innsatsfaktorene..... 35
Tabell 5: Stigningstall til figur 7b 37
Tabell 6: Stigningstall for enebolig av tre..... 39

Tabell 7: Oppsummerte kostnader overgangen TEK97 til TEK10 52
Tabell 8: Almås 2014 hovedtall for beregnede kostnader ved eventuelle endringer til TEK15 53
Tabell 9: Simulering av energibehov uten balansert ventilasjonsanlegg og varmegjenvinning. 57
Tabell 10: Fordeling varmetap bygningsposter 58
Tabell 11: Dimensjonerende effektbehov alle bygg 60
Tabell 12: Oversikt over energibehovet for bygningene med ventilasjonsanlegg og 80% varmegjennvinning. 61
Tabell 13: Oppsummering varmetapstall. 61
Tabell 14: Oppsummering av bygningsdelene. 62
Tabell 15: Energibehov til de forskjellige byggene med innslag av 8 000kWh år-1 64
Tabell 16: Parametere og tallgrunnlag til sammenligning av egne beregninger 77
Tabell 17: Avvik mellom egne beregninger likning (16) og faktiske resultater. 78
Tabell 18: Oversikt over forskjellige kostnadsanslag for VBV 85
Tabell 19: Eksempler på investeringskostnader. Scenario 1 87
Tabell 20: Eksempler på investeringskostnader. Scenario 2 88
Tabell 21: Eksempler på investeringskostnader. Scenario 3 89
Tabell 22: Minimumskravene i TEK §14-3 99
Tabell 23: SINTEF byggforsk CO2-faktorer. 102
Tabell 24: Forskjellige anslag for CO2e-faktorer knyttet til norsk strømforbruk. 104
Tabell 25: Liste over forskjellige kuldebroer. 120
Tabell 26: BKI 1998-2019 121
Tabell 27: Tabell til figur 9 121
Tabell 28: Tabell figur 14 122
Tabell 29: CO2e-utslipp elektrisk energiforsyning 123
Tabell 30: CO2e-utslipp energiforsyning via solfanger. 124
Tabell 31: T_∞ for de kjente prosjektene 125
Tabell 32: Sammenstilling av produsentkostnader for de forskjellige løsningene, før kompensasjon mellom produsentkost og kundekost. 125
Tabell 33: Tallgrunnlag Scenario 1 126
Tabell 34: Tallgrunnlag Scenario 2 127
Tabell 35: Tallgrunnlag Scenario 3 127

1 Innledning

Det er lite tvil om at vi møter en dramatisk endring i klimaet som følge av menneskeskapte klimagassutslipp. Internasjonalt er det bred enighet om at reduksjon av slike utslipp er en avgjørende faktor for å begrense disse globale endringene.

Elektrisitetsproduksjon er en stor kilde til utslipp av klimagasser. Norske kraftverk produserte 147TWh (SSB 08307) elektrisitet i 2018. Rundt 38,5TWh (SSB 08311) ble benyttet som forbruksstrøm i norske husholdninger. Man kan anslå at mellom 70- og 80% av dette går til oppvarming av norske boliger. Dersom man regner rundt 29g CO_2e kWh^{-1} (One Click LCA), utgjør dette rundt 0,84Mtonn CO_2e, eller 1,6% av årlige norske klimagassutslipp. Man har altså potensiale for å spare både utslipp og frigjøre vannkraft til andre formål dersom man kan redusere energibruken til oppvarming. Blant annet derfor er det rådende norsk politikk at norske boliger skal gå mot såkalt passivhusnivå. Dette er en byggestandard der bygget er meget godt isolert og detaljprosjektert for å få varmetapet ned mot et minimum. Klimaforliket 2012 skriver at målet er å oppnå passivhusnivå i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020 (Det kongelige Miljøverndepartementet, 2012).

Selv om myndighetene ligger noe etter forliket fra 2012, skriver Prop. 1 S(2019-2020) – For budsjettåret 2020 (Det Kongelige Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, 2019):

> *Regjeringen tar sikte på at energikravene i TEK17, som allerede er strenge, skal skjerpes ytterligere blant annet som følge av klimaforliket*

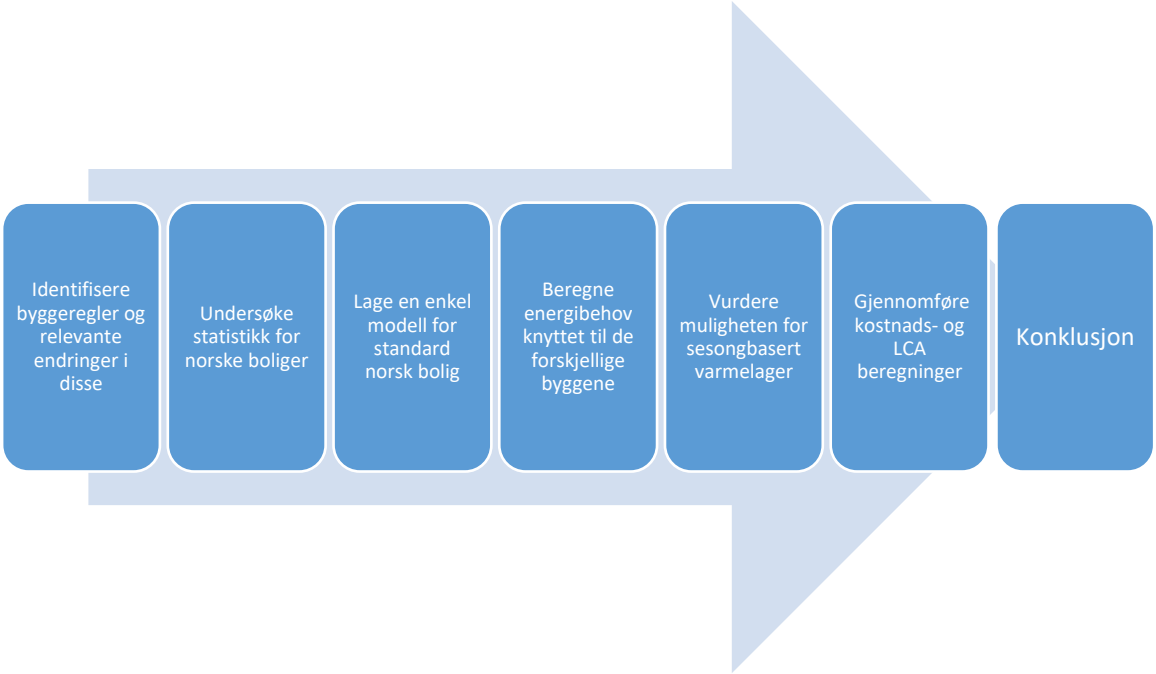
Utviklingen i TEK har gått mot stadig tettere og bedre isolerte hus, med økt bruk av byggematerialer og teknologi. TEK setter i praksis de samme byggtekniske krav til en helelektrisk bygning som til et bygg som dekker all oppvarming med andre fornybare kilder. Det betyr like omfattende isolasjonsbruk og like komplisert byggemåte uavhengig av byggets reelle elektrisitetsforbruk. Dagens bygg er svært kostbare og dersom man allikevel må bruke rundt en halv million kroner på isolerende energitiltak på passivhuset, vil det muligens ikke være mye igjen til satsing på alternative energikilder.

Kan det tenkes at denne innretningen i TEK motvirker satsing på fornybar energi og også kan bidra til å holde elektrisitetsforbruket og klimagassutslippene oppe?

2 Metode

Undersøkelsene i oppgaven kan grovt inndeles slik:

- Gjennomgang av relevante deler i TEK og fastsette de viktigste endringene knyttet til energireglene
- Undersøke statistikk fra SSB rundt norsk bygningsmasse, prisutvikling og relevante forhold som påvirker kostnadsbildet i denne sammenheng
- Lage en enkel modell for en standard norsk bolig basert på foregående punkter
- Gjennomgå offentlige rapporter som tar for seg kostnadene knyttet til endringer i energireglene
- Gjennomføre energiberegninger for bygg basert på de forskjellige energireglene
- Gjøre anslag for energieffektiviteten i et sesongbasert varmelager i grunnen.
- Gjennomføre kostnads- og LCA-beregninger for de forskjellige byggene



2.1 Tek og endringer i denne

De forskjellige versjonene av TEK er tilgjengelige på DiBK nettsider. DiBK lagrer også endringer til respektive versjoner, noe som er avgjørende i denne sammenheng. TEK07 er for eksempel en versjon av TEK97. Det må gjøres en del avgrensninger i undersøkelsesområdet og jeg vil derfor kun se på energikravene. Man vet for eksempel at det i TEK10 ble lagt til en

del nye regler rundt tilgjengelighet, kontroll og dokumentasjon. Jeg vil ikke kunne se på disse punktene. Dette på tross av at det må være naturlig å anta at for eksempel skjerpede byggekrav som fører til økt materialbruk og mer komplisert byggemåte også vil føre til for eksempel økt behov for dokumentasjon. Det er også slik at tilgjengelighetskrav henger sammen med energikrav, slik som det skjerpede u-verdikravet til dører i 2015 og tykkelsen på vegger. Kostnaden til tetthetsmåling er allikevel medtatt, da denne er med i tidligere rapporter som omhandler de økonomiske sidene ved skjerpede energikrav.

2.2 SSB statistikk rundt byggekostnader og tomtepriser

SSB offentliggjør boligstatistikk. Det er i utgangspunktet tre måter å fremstille statistikk: indeks, prosentvis endring og absolutte tall. Tall fra statistikk må tolkes, slik at de kan presenteres best mulig. Et eksempel er statistikken for BKI. Stigningen i de to årene 2007 og 2008 er stor og den prosentvise endringen år for år vises som ekstreme. Skal tallene da tas ut? Det er et vurderingsspørsmål og i dette tilfellet vet man samtidig at tidspunktet er sammenfallende med en markant endring i TEK der det kom store skjerpelser i energikravene. Derfor er det laget to regresjonsanalyser av BKI, der de to unormale verdiene er tatt ut fra den ene. Grafene viser dermed to helt forskjellige historier om utviklingen i norske byggekostnader. Det er også en kjensgjerning at BKI stiger en god del raskere enn KPI. Dette temaet er så stort at jeg så meg nødt til å ta det helt ut. Faktorer som spiller inn her er alt fra kundeforventninger til arbeidsledighet, rentenivå og kjøpers forventning om fremtidige økte boligpriser.

Tallene som benyttes i rapporter og SSB statistikk er produsentkostnader. Disse skiller seg fra kundekostnader og inkluderer bla ikke marginer, fortjeneste, ingeniør og arkitektkostnader, vist i *figur 4*. Dette er et problem, da nettopp slike kostnader må antas å øke i takt med skjerpede bygningstekniske krav og generelt økte byggekostnader. Det er derfor satt et skjønnsmessig tillegg på 15% for blant annet å dekke inn denne differansen. Dette er antagelig svært lite og kan i virkeligheten være opp mot 100%.

SSB lager statistikk for boliger inkludert tomt, men ikke statistikk for tomtekostnader alene. Det eksisterer svært mange typer boligtomter. Dette gjelder reguleringsforhold, størrelse og hvilke tiltak som er utført. Det finnes råtomter, planerte tomter, tomter med strøm/vann lagt til grensen, tomter med forskjellige klausuler (for eksempel at man må benytte deres firma til

bygging) og det finnes tomter med IG. Dette gjør at man i mange tilfeller betaler for mye mer enn bare tomtearealet. Mange rapporter om byggekostnader baserer seg på innhentede data fra konkrete prosjekter og disse vil ha en tilbøyelighet til geografisk å ligge nærmere pressområder enn en enkelt enebolig «på bygda». På denne måten vil både byggekostnader og tomtekostnader fremstå høyere enn SSB boligstatistikk ellers. Det er avgjørende å benytte enhetlig tallgrunnlag og i denne oppgaven benyttes da gjennomsnittlige tall. Det er naturlig å anta at de fleste tomter som ligger ute for salg til privatmarkedet, annonseres på FINN.no. Derfor ble samtlige tomteannonser på FINN.no gjennomgått 06.02.2020. Det er ekskludert tomter regulert for andre prosjekter enn eneboliger samt fritidseiendommer. Også utenlandske annonser, tomter med IG og feilplasseringer ble tatt ut. Det er allikevel noe usikkerhet i tallmaterialet. Dette skyldes at enkelte samleannonser var av typen «pris fra», uten at det fremgikk enten hvor mange tomter som selges eller opp mot hvilken pris. På den annen side er flere av tomtene med salgspris under 200 000NOK, egentlig tomter som gis bort gratis av kommunen. Disse selges til selvkost, altså betaling for omreguleringsavgifter, planering, fremlagt vann/ strøm og tilknytningsavgifter. Dette er altså i realiteten byggekostnader og ikke tomtekostnader. Det omsettes også en god del boligeiendom der tomtene aldri har vært via privatmarkedet. Grunnen til dette er at store aktører har råd til å kjøpe blant annet uregulert eiendom og bruker gjerne flere år på omregulering. Dette ville de ikke gjort dersom det ikke svarte seg meget godt økonomisk. Disse tomtene må antas å ha vesentlig lavere kostnad[3].

Oppgaven ser på tomtekostnad og ikke kvadratmeterpris boligtomt. Dette skyldes at en tomt regulert til enebolig er en enhet, som til dels er uavhengig av størrelse. Dersom en attraktiv tomt kommer over en viss størrelse, vil den som oftest naturlig reguleres til andre typer prosjekter slik som tomannsbolig eller rekkehus.

Alt i alt er tomtekostestimatet antagelig noe høyt.

[3] I gjennomgangen av annonsene på FINN.no dukket det opp en annonse med 3 tomter, 550m fra sjøen på Svartskog, for salg til 3.9, 4.0 og 4.3MNOK. I forbindelse med en omreguleringssak for gnr/bnr 32/70 samme område, 150m nærmere sjøen, med samme eier, var eiendommen kjøpt i 2009 for 1.75MNOK og søkt omregulert til 7 boligtomter i 2017. Dette utgjør dermed en potensiell fortjeneste på 3.8MNOK stk, eller 1600% verdiøkning ved ett enkelt omreguleringsvedtak. Tomten heter i dag 232/70. Omreguleringen ble avslått av nytt kommunestyre i 2020.

2.3 Modell av standard enebolig for beregninger

Det er nødvendig å definere en enkel bygningsgeometri basert på informasjon hentet i TEK og SSB. Formålet er å ha et referansegrunnlag for å gjøre gjennomsnittlige energiberegninger, kostnadsberegninger og å ha et solfangerareal. Modellen ble først laget over ett plan, men parameterne viste seg etterhvert å avvike fra referanseboligene i tidligere rapporter. Disse var alle over to plan. Modellen ble så endret til enebolig over to plan slik at den passet bedre til tidligere kostnadsberegninger.

2.4 Tallgrunnlag for kostnader

Dette er et komplisert punkt og resultatene vil ikke kunne bli korrekte. Dette skyldes at omtrent alle bygg er forskjellige, alle firmaer har forskjellig struktur og alle kunder er forskjellige. Oppgaven ser på relative endringer i byggekostnader helt tilbake til før 2007 og det sier seg selv at det kan være vanskelig å fremskaffe tallgrunnlag som egner seg for analyser av kostnadsendringer knyttet til forskriftsendringer og detaljer om hver enkelt arbeidsoperasjon. For eksempel kreves det bare at en foretak i bygge- og anleggsbransjen oppbevarer regnskap ti år tilbake i tid, jf. *forskrift om bokføring* §8-1-5 første punkt. Temaet rundt kostnadsøkninger som følge at endringer i TEK er ikke nytt og det er skrevet en del rapporter om dette bl.a. på oppdrag for DiBK. På tross av at disse er skrevet av anerkjente konsulentbyråer, påpeker flere av rapportene at prisvariasjoner over 100% forekommer. Man kan allikevel anta at tallene vil vise en trend. De forskjellige tallene er indeksregulert og det er benyttet gjennomsnittsverdier for de forskjellige postene, selv om de kan ha noe varierende premisser.

Det er viktig å være oppmerksom på at endringer i kostnader er relativt, sett opp mot en referanse. Ettersom det finnes svært mange mulige referanser, finnes det dermed også svært mange mulige endringer i byggekostnader.

Alle tall er NOK inklusive MVA.

2.5 Energiberegninger

Det er i utgangspunktet to måter å oppfylle energikravene i TEK kapittel 14. Man kan enten benytte absolutte verdier for den enkelte bygningsdel, eller gjennomføre beregninger som omfordeler energitapene basert på en total energiramme. Da oppgaven ser på gjennomsnittsverdier, er det naturlig å benytte seg av metoden med absolutte verdier. Dette kalles tiltaksmetoden, der oppfyllelsen av hver verdi er et energitiltak. TEK17 §14-2 veiledning første ledd skriver at energiberegninger kan gjøres med validerte beregningsprogram som er i samsvar med NS 3131:2014. De to mest kjente slike program i Norge er SINTEF Byggforsk *TEK-sjekk energi* og ProgramByggerne *SIMIEN*. TEK-sjekk energi er et relativt enkelt program som benytter seg av hovedtall, mens SIMIEN gir mulighet til å legge inn mer detaljert informasjon. Her kan man justere variabler som tykkelsen på gulvbelegg, varmetilskudd fra personer, varmekapasitet på møbler, omkringliggende vegetasjon og så videre. Ettersom jeg har valgt å bruke gjennomsnittsverdier for kostnader og tiltaksmetoden for oppfyllelse av ytelseskravene i TEK, egner TEK-sjekk energi seg best til energiberegninger. Det er i midlertid ingenting i veien for at man regner ut eventuelle detaljer og legger dette inn som hovedtall i TEK-sjekk energi selv.

2.6 Anslag for sesongbasert varmelager

Utgangspunktet for oppgaven er å se på energikravene, CO_2e-utslipp og hvordan dette eventuelt står i forhold til sesongbasert varmelagring for en enkelt enebolig. Det var primært ikke tanken å gjøre egne beregninger av slike varmelagre. Det viste seg at det ikke er særlig mye informasjon om småskala anlegg og jeg har derfor selv laget en enkel beregningsmodell for dette basert på grunnleggende varmelære og et geometrisk resonnement. Oppgaven ser på overordnede spørsmål knyttet til disse temaene og det er derfor tilstrekkelig at modellen forutsetter å et anlegg som fungerer stasjonært med gitte ytelseskrav. Det er naturlig å tenke at dersom en gitt løsning skal kunne forsvares generelt, bør den også kunne beskrives generelt, uten særlig mange forbehold. Modellen er svært enkel, men stemmer bra med flere målte verdier fra faktiske anlegg designet opp mot 50 boliger. Det er viktig å presisere at modellen ikke er kontrollert mot småskala systemer, ettersom det mangler kjente referanser. Det kan derfor være avvik, også større. Dette betyr at man antagelig kan lage slike anlegg med «bedre» resultater enn det som vises her, men det er avhengig av at man gjennomfører transiente beregninger og har «intelligent» styring av varmestrømmen. For eksempel slik at

man henter opp varmen på den mest effektive måten og i de perioder der man vil oppnå best utnyttelse med minst varmetap.

2.7 LCA-beregninger

Alt forbruk medfører en eller annen form for ressursbruk. All ressursbruk medfører klimaavtrykk. For å avgjøre den reelle effekten utslipp knyttet til for eksempel en vare, er det helt nødvendig å se på de totale utslippene fordelt over hele produktets levetid. Dette gjøres med en LCA-beregning. For å få sammenlignbare tall, er det avgjørende at man benytter det samme rammeverket med klart definerte produktkategorier og systemgrenser. LCA-beregningsmetodene for bygg er internasjonalt standardisert i EN 15978:2011. I Norge skal bygg beregnes etter NS3720:2018 *Metode for klimagassberegninger for bygninger* og produsenter kan publisere resultatene fra beregningene i EPDer etter retningslinjene gitt i ISO 14025. Jeg har ikke tilgang til Norsk Standard, det er derfor vanskelig å på en troverdig måte kommentere innholdet i disse standardene utover at det er utarbeidet et internasjonalt anerkjent rammeverk.

Det finnes utfyllende databaser for EPDer med tilhørende utslippstall. I denne oppgaven er programmet One Click LCA, utviklet av det Finske BIONOVA LTD, benyttet til beregninger av CO_2e-utslipp. Dette programmet inneholder svært mange EPDer og det er også beregnet generiske EPDer for produkter som mangler egen EPD. One Click LCA har ifølge Statsbygg nettsider overtatt for den tidligere miljøregnskap.no som tidligere var bransjens mest brukte verktøy for klimagassberegninger.

Det eksisterer en meget godt forståelig debatt om hvorvidt norsk strøm er norsk eller internasjonal. I denne oppgaven er det tatt et valg om å benytte et helhetlig rammeverk, beskrevet over. Undersøkelsene viser svært mange forskjellige måter å tolke utslippene knytet til norsk strømforbruk og det virker ikke som om det er mulig å objektivt avgjøre hva som vil være den rette konklusjonen angående slike utslipp. Ettersom nær sagt alle EPDer er beregnet med norsk el-miks og disse også anbefales av SINTEF, anser jeg norsk el-miks som et anerkjent valg for utslippsberegninger. Den store usikkerheten knyttet til utslippstallene for elektrisitetsproduksjon gjør at resultatene i LCA-delen kun kan leses som forholdstall.

Uansett møter enkelte av byggene en nedre grense for energiforbruk og utslippstallene forløper dermed nær parallelt. Det betyr at de ikke vil krysse hverandre og forholdet byggene imellom vil dermed være helt uavhengig av hvilke utslippstall man bruker.

2.8 Intervju

Det er foretatt videomøte med prosjekteringssjef Mato Matic og direktør operativ enhet John Erling Aarnes i Block Watne. Dette var svært nyttig med tanke på forklaringer og erfaringer rundt de mange variablene. Det fremkom mye som ikke direkte er medtatt i oppgaven, men som på ene eller annen måte har bekreftet/ avkreftet egne observasjoner og lignende støtteinformasjon.

3 Problemstilling

Passivhusnivå er en byggestandard gitt i NS 3700:2013 der den teoretiske energibruken er redusert mot det som må kunne ansees som et minimum. For å oppnå dette er det nødvendig at hvert element på bygget beregnes spesielt og standarden tillater ikke å bruke preaksepterte verdier. Bygningskroppen må også tegnes kompakt for å minimere husets overflateareal. Dette gjør planlegging og prosjektering komplisert og kan resultere i at to nabohus kan få forskjellig oppbygning.

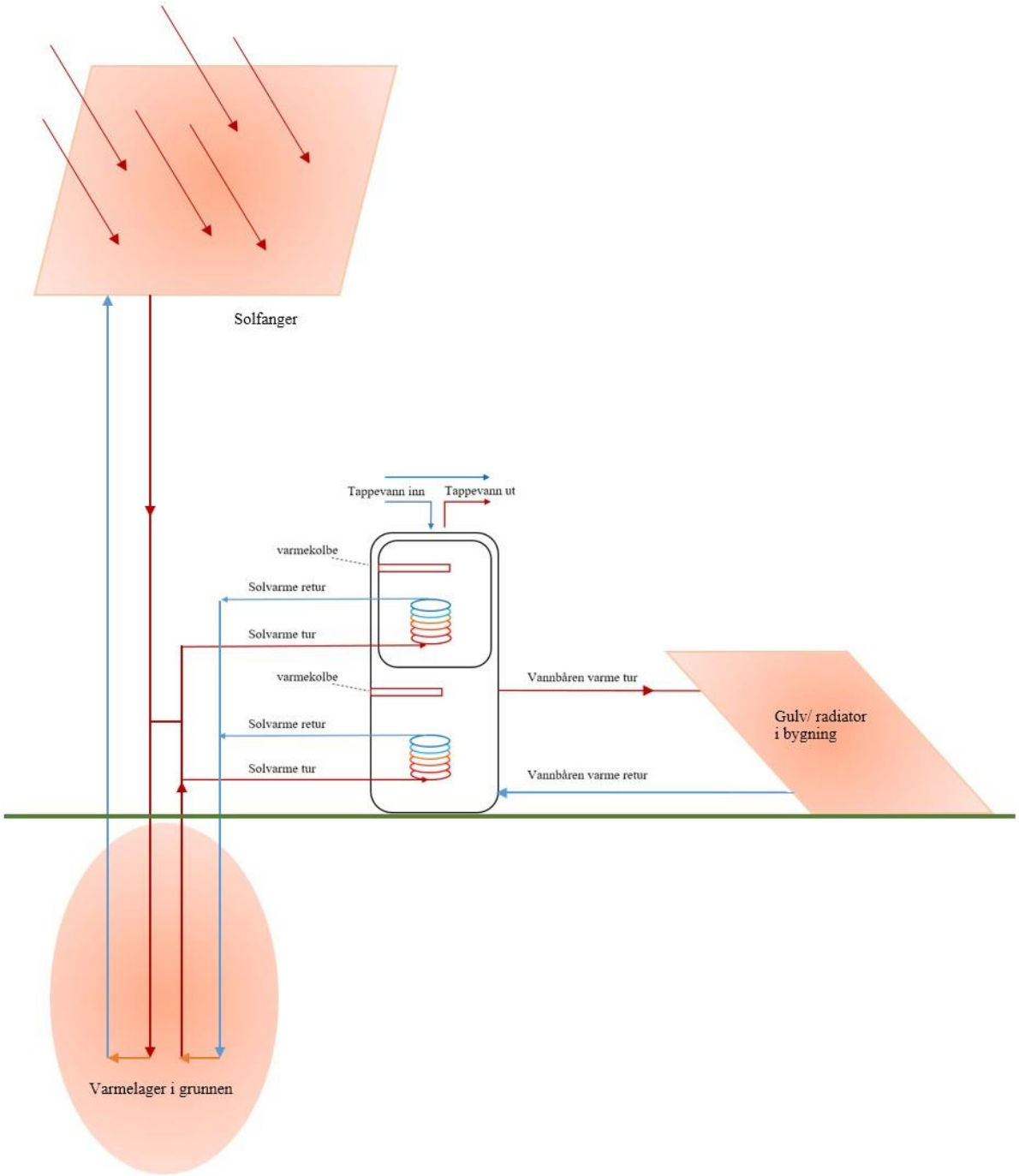
Passivhus medfører også relativt stort materialforbruk. Eksempelvis krever et passivhus dobbelt så tykke vegger som i 1997, tre lags vinduer, balansert ventilasjonsanlegg med 80% varmegjenvinning og et svært tett bygg. I praksis kreves også varmepumper for å tilfredsstille kravene til mengden elektrisitet som går til oppvarming.

Passivhusstandarden reduserer den teoretiske energibruken til et minimum, men sier derimot lite om klimagassutslipp som følge av den store materialbruken og økt bruk av tekniske installasjoner som balanserte ventilasjonssystemer og varmepumper. Materialbruken gir dertil økt arealbehov, som medfører tap av salgbart areal. Bare denne posten alene vil utgjøre tap av rundt 15m^2 og dermed rundt 480 000NOK i tapte salgsinntekter for passivhuset mot et hus bygget før 2007. Da er ikke tap av areal til teknisk rom medregnet.

Det er interessant å undersøke om ikke man kan oppnå minst like gode resultater med tanke på klimagassutslipp og økonomi ved å tillate oss å gå den andre veien; skape enklere bygg med lavere materialforbruk og veie opp energitapet med økt tilgang på lokalt høstet fornybar energi. Slik fornybar energi hensyntas ikke i dagens TEK eller passivhusstandarden.

Et eksempel på en slik kilde til tilgang på fornybar energi er solenergi. Solen varmer opp omgivelsene og denne varmen kan utnyttes. Teknikken er allment kjent, men det som ikke er så kjent er at relativt mye varme kan lagres i grunnen under eller ved boligen og deretter benyttes til oppvarming om vinteren. Metoden går ut på at vann sirkuleres i solfangere og soloppvarmet vann føres ned i brønner under bakken. Slik varmes grunnen opp gjennom hele solsesongen. Deretter kan den lagrede energien hentes opp igjen gjennom vinteren og for eksempel benyttes i gulvvarme eller forvarming av tappevann. Varmen som hentes opp er i

denne sammenheng høy (over 35°C) og dette gjør at den kan utnyttes direkte til romoppvarming uten bruk av varmepumper. Tappevannet trenger elektrisk spisslast for å nå helt opp til 70°C. Vannet til romoppvarming har en ekstra varmekolbe dersom man opplever funksjonssvikt eller effektbehovet blir for stort:



Figur 1: Forenklet fremstilling av varmesystem for både tappevann og vannbåren varme. Skissen viser solfangere, varmelager, varmesentral og romoppvarming. Vannet varmes opp av solen og føres enten direkte inn i varmesentralen, eller ned i bakken for lagring av varme til senere bruk. Varmesentralen har også to elektriske varmekolber. Disse fungerer som spisslast ved behov.

4 Forutsetninger

Oppgaven har mange henvisninger til SINTEF Byggforskseriens datablader med tilhørende nummerering. Byggforskserien inneholder rundt 800 datablader og DiBK anbefaler at man bruker Byggforskserien som dokumentasjon i byggesaken (Byggforsk, 2020). Den er i praksis fasiten for all norsk-spesifikk byggeskikk, men dette gjør også at referansene nok kan fremstå ensidige.

For beregninger av energibehov i boliger, vil jeg benytte meg av Byggforskserien energiberegningsprogram *TEK-sjekk Energi*. Dette programmet er anerkjent dokumentasjon for energiberegninger.

For beregninger av CO_2e-utslipp knyttet til de forskjellige løsningene, benyttes det finske livsløpsanalyseverktøyet One Click LCA, utviklet av Bionova Ltd. Verktøyet følger NS 3720-2018 for beregning av klimagassutslipp fra bygninger og kan gi BREEAM-NOR sertifisering på prosjekter. Programmet inneholder en omfattende database for bygningsmaterialer og beregnede klimagassutslipp. Jeg vil så langt det lar seg gjøre benytte lokale, generiske produkter, fremfor produkter fra en bestemt produsent.

Solvarmeanlegget som skisseres her, er et relativt kostbart system, men fremstår som en integrert del av bygget og er godkjent yttertaksløsning. Dette er nærmest en forutsetning dersom man skal se dette som en reelt alternativ energikilde. Varmen distribueres i boligene som gulvvarme. Dette skyldes at gulvvarme er 100% integrert i bygget samtidig som det ikke er spesielt mye dyrere enn radiatorer. Utslipp knyttet til produksjon av radiatorene ligger vesentlig høyere enn utslipp for røropplegg til gulvvarme fordi radiatorer er laget av metall.

4.1 Forskrifter

Byggeprosessen reguleres av *Lov om planlegging og byggesaksbehandling* (plan og bygningsloven). Tilhørende denne har det siden 1928 vært utarbeidet en nasjonal forskrift som blant annet regulerer den tekniske utførelsen og setter minstekrav til byggverk.

Denne forskriften har endret navn opp gjennom tidene og heter i dag *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (Byggteknisk forskrift). Forskriften har siden 1997 kortnavnet TEK og etter

hvert også etterfulgt av årstallet for seneste større oppdatering. I dag brukes TEK17. Versjonene for byggeteknisk forskrift er TEK, TEK10 og TEK17. For å unngå misforståelser vil jeg fremover skrive TEK97 om TEK og reservere TEK som samlebetegnelse uavhengig av årstall.

Det har opp igjennom årene vært flere større oppdateringer, såkalte tilpasninger av TEK mot fremtidige nye versjoner. Den største tilpasningen kalles TEK07, men er i virkeligheten en tilpasning av TEK97 frem mot den da planlagte TEK10. Tilpasningen markerer et stort skille for norske byggeregler bla pga de markante endringene til energikravene. 07-tilpasningen av TEK97 er så viktig, at jeg vil kalle den TEK07 i oppgaven, på tross av den ikke egentlig er en egen forskrift.

4.2 Sammenligningsgrunnlag

TEK17 opererer med ytelseskrav. Dette er krav til at funksjonen, altså det samlede resultatet i byggverket, minst skal oppfylles. I hovedtrekk oppfylles dette på to måter, der man enten kan følge preaksepterte ytelser, eller alternativt dokumentere at ytelsen oppfylles gjennom analyse. Dette følger av TEK17 § 2-2:

Kravene til ytelser som er gitt i forskriften skal oppfylles.

(2) Der kravene til ytelser ikke er gitt i forskriften, skal oppfyllelse av funksjonskravene i forskriften dokumenteres enten

a) ved bruk av preaksepterte ytelser, eller
b) ved analyse som viser at ytelsene oppfyller funksjonskravene i forskriften.

Som godkjent dokumentasjon for preaksepterte ytelser regnes i hovedsak Norsk Standard og anvisninger fra Byggforskserien. Grunnet de svært mange variablene og hensynet til gjennomsnittlige beregninger, kommer oppgaven til å se på alternativet preaksepterte løsninger, enten gitt i TEK eller fra anvisninger i Byggforskserien datablad.

4.3 TEK17 Kapittel 14 Energi

Eneregikravene kan som skrevet enten oppfylles gjennom fastsatte verdier for *krav til energitiltak* (energitiltaksmetoden) eller gjennom omfordeling av verdier basert på total energiramme (omfordeling). Sistnevnte krever ekstra beregninger og ekstra dokumentasjon og det følger allikevel *minimumskrav*. Dette vil si at selv om man omfordeler energitap, må bygningsdelen allikevel holde seg innenfor visse minimumsverdier. Minimumsverdiene må derfor ikke forveksles med verdiene som listes *krav til energitiltak*.

Energitiltaksmetoden går kort fortalt ut på at kravene i forskriften ansees oppfylt dersom det kan dokumenteres at de enkelte bygningsdelene holder seg innenfor gitte verdier. Jeg vil som utgangspunkt bruke verdiene *krav til energitiltak* som sammenligningsgrunnlag.

Det er viktig å legge merke til at Passivhus ikke kan benytte seg av energitiltaksmetoden. Etter NS 3700:2013 må i praksis hver detalj beregnes lokalt. Et eksempel på dette er at man etter passivhusstandarden må bruke lokale klimadata for fastsettelse av varmetap for passivhus, mens klimadata for Osloområdet gjelder for alle norske hus bygget etter TEK17. Andre lokale detaljer vil bla dreie seg om høyde i terrenget, solretning, plassering av vinduer, type glass, vindforhold, omkringliggende objekter som hus og trær for å nevne noe. Dette vil føre til at to identiske eneboliger vil kunne få forskjellig krav til for eksempel størrelsen på vindusflater, solskjerming, hvilke vegger vinduene ligger på, veggtykkelser ol. Passivhus setter altså noe andre krav til prosjektering enn TEK17.

4.3.1 Definisjoner av strømforbruk

TEK17 setter rammekrav til netto energibehov. Dette er det samlede energibehovet for bygningen. Netto energibehov dividert på BRA betegnes spesifikt energibehov. Energibruken beregnes etter NS 3031:2014. Med unntak av ventilasjonssystemets varmegjenvinningsgrad og §14-5, gjøres det ingen hensyn til virkningsgrad eller hvilken kilde denne energien kommer fra. Dette betyr at man kan skaffe all energi fra fornybare kilder, men bygget skal allikevel holde seg innenfor det samme rammekravet som en helelektrisk bygning, med de bygningstekniske krav dette måtte medføre. Netto energibehov og dermed for eksempel tykkelsen på vegger, påvirkes altså ikke av hvilken kilde man benytter for energi.

For passivhus er rammekravet kun basert på oppvarming- og kjølingsbehov for bygningen. Dette er satt til 19.6kWh $m^{-2}$$år^{-1}$ slik at man aksepterer 20kWh $m^{-2}$$år^{-1}$ ved avrunding.

For passivhus er det verdt å legge merke til at det i NS3700:2013 stilles krav om at maksimalt tilført elektrisk og fossil energi til oppvarming skal være mindre enn totalt elektrisk energi til oppvarming minus 50% av energibruk oppvarming varmtvann.

$$E_{el} + E_{olje}{}^{4} + E_{gass} < E_{oppvarming} - 0.5xE_{varmtvann} \quad (1)$$

(NS 3700:2013)

4.3.2 §14-4. Krav til løsninger for energiforsyning.

TEK17 §14-4 skriver:

(4) Boenhet i småhus skal oppføres med skorstein. Kravet gjelder ikke dersom

> *a) boenheten oppføres med vannbåren varme, eller*
>
> *b) årlig netto energibehov til oppvarming ikke overstiger kravet til passivhus, beregnet etter Norsk Standard NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger.*

Veiledningen fjerde ledd skriver:

Skorstein skal oppføres som en varig løsning, tilrettelagt for eventuell senere montering av ildsted i hver enkelt boenhet

og

Unntak for skorstein forutsetter at vannbåren varme dekker minimum behov for romoppvarming i stue, eller tilsvarende rom.

[4] Vi vet at Olje i dag er forbudt som energikilde til oppvarming i bygninger, TEK17 §14-4 (1).

Vi ser at forskriften forutsetter montering av pipe og at det skal være mulig å montere ildsted.

Det blir naturlig nok gitt unntak dersom bygget tilfredsstiller passivhusstandarden, men man ser også at det gjøres unntak for vannbåren varme i minimum stue eller tilsvarende rom. Årsaken til dette er antagelig at bruk av vannbåren varme kan føre til lavere temperaturbehov på inneluften (Byggforskserien datablad 552.111) og dermed i seg selv reduserer energibruken. En annen stor fordel med vannbåren varme er at den er svært fleksibel. Man kan veksle mellom fjernvarme, varmekjel, varmepumpe og sesonglagret solvarme i det samme anlegget. Dette vil kunne redusere elektrisitetsforbruket knyttet til oppvarming.

4.3.2 Unntak §14-5.

I TEK17 §14-5 (5) innføres et unntak fra energikravene i §14-2 om maks energibehov:

> *(5) Rammekravet for energieffektivitet i § 14-2 første ledd kan økes med inntil 10 kWh/m2 oppvarmet BRA per år. Dette forutsetter at det på eiendommen produseres fornybar elektrisitet til bygningen, minst 20 kWh/m2 oppvarmet BRA per år.*

Forskriften innrømmer altså lettelser i rammekrav for energieffektivitet dersom man kan produsere egen strøm, slik som vind og PV. Det er ingen lettelser dersom man fanger og lagrer egen varme. Dette fremstår lite konsistent og hensiktsmessig. Ettersom det finnes andre reelle alternative energikilder, burde også de kunne omfattes av dette unntaket.

4.4 U-verdier

TEK setter minimumskrav til mengden varmetap pr kvadratmeter ytterflate. Varmetapet *U*, har dimensjonen [W $m^{-2}K^{-1}$] og er den inverse av varmemotstanden, angitt *R*. Motstanden er gitt av materialets tykkelse delt på materialets varmekonduktivitet.

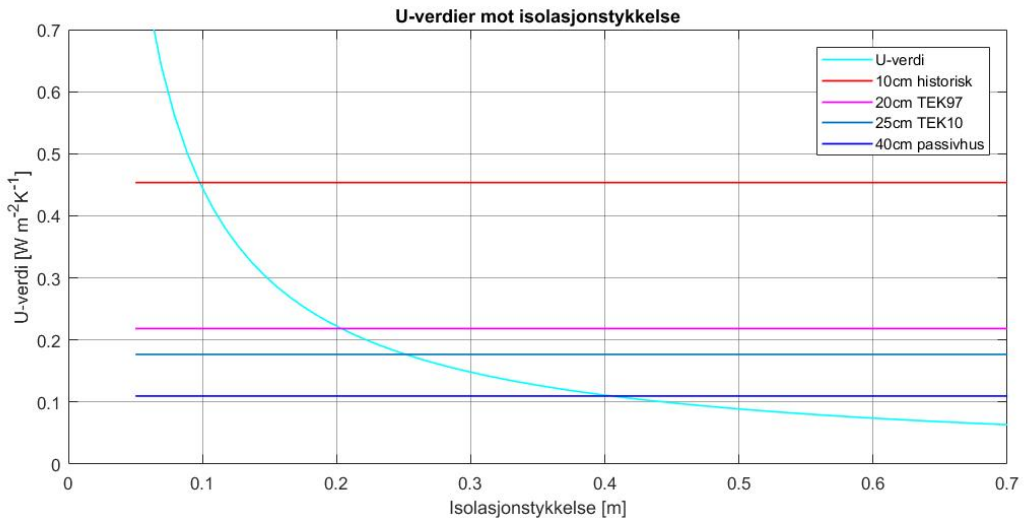
$$U = \sum \frac{1}{R} = \sum \frac{\lambda}{l} \qquad (2)$$

Der λ er materialets dimensjonerende varmekonduktivitetstall og l er materialets tykkelse. Verdiene summeres for alle bidrag i konstruksjonen. De fleste materialer oppgis med varmekonduktivitetstallet da dette er uavhengig av tykkelsen. Typisk verdi for mineralull er $\lambda = 0{,}037\ \mathrm{W\ m^{-1}K^{-1}}$ og gran typisk $\lambda = 0{,}13\ \mathrm{W\ m^{-1}K^{-1}}$ etter Byggforskserien datablad 471.010.

En 248mm isolert bindingsverkvegg med 9% gran vil dermed få en samlet U-verdi:

$$U = 0{,}91 * \frac{0{,}037\ \mathrm{W\ m^{-1}K^{-1}}}{0{,}248\mathrm{m}} + (1 - 0{,}91) * \frac{0{,}13\mathrm{W\ m^{-1}K^{-1}}}{0{,}248\mathrm{m}} = 0{,}18\ \mathrm{W\ m^{-2}K^{-1}}$$

Man legger merke til at treverk har rundt 3,5 ganger mer varmetap enn isolasjon og at man derfor er nødt til å bruke reisverk i 36mm tykkelse[5] for å oppfylle kravet til energitiltak i TEK17.



Figur 2: Tilnærmede U-verdier for isolert bindingsverk mot veggtykkelse

Vi ser av ligning (2) og *figur 2* at gevinsten ved å øke veggtykkelsen avtar betraktelig. En 50mm økning i isolasjonstykkelsen fra 98mm til 148mm vegg, gir en reduksjon i U-verdi på $0.16\mathrm{W\ m^{-2}K^{-1}}$, mens tilsvarende 50mm økning fra 398mm til 448mm kun gir en

[5] Norsk skurlast (trelast) produseres etter historiske tommemål. Tommen har variert opp i gjennom tidene, der engelsk inch i dag er 25.4mm, mens den norsk/danske tommen mot slutten var 26.1mm. Ved tilvirkning av det ferdige trelastproduktet reduseres dimensjonen noe, for eksempel på grunn av høvling. Dette betyr at reisverk, som kalles justert last, vil være noen millimeter mindre enn bruttomål. Dette er årsaken til at 1.5tommes justert last selges i 36mm tykkelse og 2tommes justert last selges i 48mm tykkelse. Det samme gjelder breddene, der 6tommes bredde da blir 148mm og 8tommes bredde blir 198mm. Det kan være nyttig å være klar over forskjellen mellom norsk/danske tommer og inch, for eksempel ved arbeider på gamle bygg og båter.

sekstendedel av dette, 0,01W $m^{-2}K^{-1}$. Dette betyr at det går en grense for hva som er praktisk mulig å oppnå av isolasjonsevne.

4.4.1 Normalisert kuldebroverdi Ψ

Forskriften introduserer i 2007 en tallfestet normalisert kuldebroverdi = 0,03 W $m^{-2}K^{-1}$, symbolgitt Ψ. Denne skal gjenspeile samlet varmetap som følge av kuldebroer dividert på boligens areal. En kuldebro oppstår der isolasjonens tykkelse er redusert. Byggforskserien datablad 472.501 skisserer slike kuldebroer typisk som overganger mellom dekke/vegg, overgang vegg/tak, hjørner og treverk (for eksempel reisverk og vinduskarmer).

Det finnes mange mulige kuldebroer og SINTEF byggforsk har utarbeidet 36 datablader for fastsettelse av verdier til de vanligste problemstillingene, vist i *tabell 25*. Dette antyder i noe grad hvilket detaljnivå de nye energireglene i praksis krever. Dette påvirker både konsulentbransjen, entreprenører og til sist boligkjøpere.

4.4.2 Energikravene i TEK 1997 til i dag:

Tabell 1: Energikravene i TEK97 til i dag. Skjerpelser markert rødt. Kilde: DiBK.no

	TEK97	**TEK07**	**TEK10**	**TEK15**	**TEK17**	**Passivhus**
Vegg [W $m^{-2}K^{-1}$]	0,22	0,18	0,18	0,18	0,18	0,11*
Tak [W $m^{-2}K^{-1}$]	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,09*
Gulv [W $m^{-2}K^{-1}$]	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,08*
Vindu [W $m^{-2}K^{-1}$]	1,6	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8**
Ψ [W $m^{-2}K^{-1}$]	Inkludert	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03**
Spesifikt behov [KWh m^{-2} $år^{-1}$]		125 +1 600/BRA	120 +1 600/BRA	100 +1 600/BRA	100 +1 600/BRA	19,6***
Lufttetthet n_{50} [m^3 $m^{-3}t^{-1}$]	4,0	2,5	2,5	0,6	0,6	0,6**
Tempvirk		70 %	70 %	80 %	80 %	80 %**
SFP [kW $m^{-3}s^{-1}$]		2,5	2,5	1,5	1,5	1,5**
Innslag-grense		17 000 kWh $år^{-1}$	15 000 kWh $år^{-1}$			

Der * angir Typisk verdi NS 3700:2013, ** er minstekrav og *** kun gjelder oppvarming/ nedkjøling. Det ble store endringer i energikravene i 2007. Man skal også notere seg at det svært lave spesifikke energibehovet for passivhus kun gjelder oppvarming og nedkjøling, mens spesifikt energibehov for TEK17 er totalbehov og for eksempel også inkluderer teknisk strøm.

4.4.3 Tilnærmet tykkelser som kravene til energitiltak tilsvarer

Tabell 2: Tykkelser etter krav til energitiltak.

	TEK97	**TEK07**	**TEK10**	**TEK15**	**TEK17**	**Passivhus**
Vegg [mm]	200	250	250	250	250	400*
Tak [mm]	250	300	300	300	300	450*
Gulv EPS [mm]	250	250	250	400	400	450*

Tykkelsen på vegg og tak har ikke økt siden 2007. Tallene er veiledende, da det er mulig å bygge opp en bygningsdel på svært mange forskjellige måter[6].

*Verdiene for passivhus avviker noe fra Byggforskserien datablad 472.435. Dette databladet er utdatert og er basert på minstekrav. Disse minstekravene er nå tatt ut av NS 3700:2013 slik at vegg, tak og gulv nå oppgis med typisk verdi. En slik verdi oppstår som kompromiss mellom svært mange avveininger, der målet er at de samlede energikravene skal oppfylles (omfordeling). En slik vurdering kan være ønske om større vindu, verandadør, sprang i bygningsfasaden eller andre tilpasninger som resulterer i krav om bedre isolasjonsevne for andre bygningsdeler.

[6] Verdien vegg TEK97-TEK17 er hentet fra Byggforskserien datablad 471.401 tabell 43. Tallet for vegg TEK17 gjelder for 48mm*(198mm+48mm) bindingsverk, mens verdien for passivhus gjelder for 48mm*(198mm+48mm) reisverk med 150mm kontinuerlig utvendig isolasjon etter Byggforskserien datablad 471.111 tabell 63.

Verdiene for tak TEK97-TEK17 kommer fra Byggforskserien datablad 471.013 tabell 22, mens passivhuset fremkommer ved hjelp av 450mm I-bjelker etter tabell 23.

Verdiene for gulv hentes fra Byggforskserien datablad 471.014 tabell 33a. B=8m og z=1m.

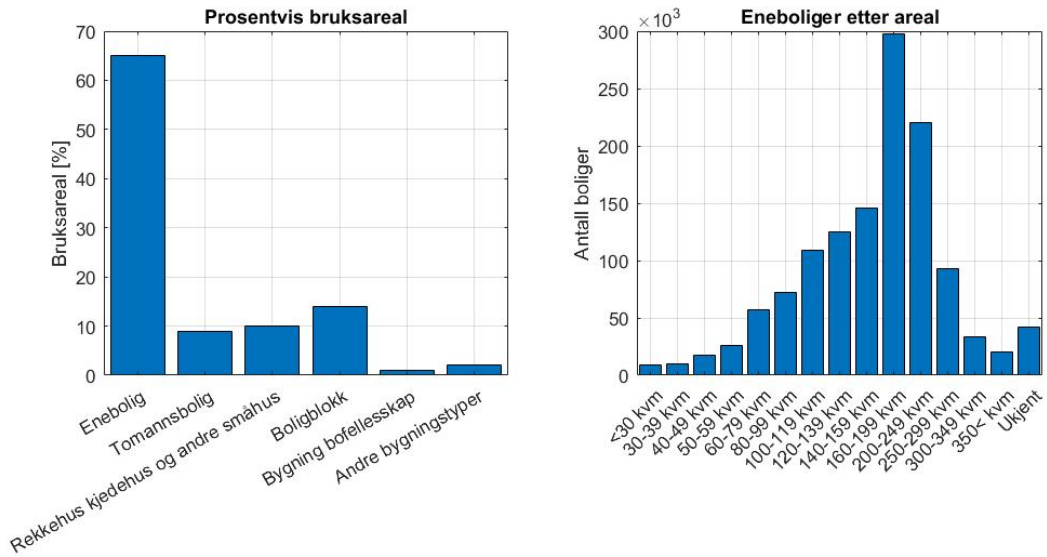
4.5 Referansemodell for beregninger

Det er nødvendig å lage en enkel modell av en tenkt norsk bolig for å kunne sammenligne energibruk, CO_2-ekvivalenter og økonomi.

4.5.1 Type bolig og bruksareal

Det finnes en stor mengde boliger, men man kan begrense dette til noen hovedtyper. Disse er *enebolig*, *tomannsbolig*, *rekkehus* og *boligblokk*.

Om lag 49% av alle boliger i Norge er eneboliger. Eneboliger er større enn andre boligtyper og skiller seg ut med 65% av totalt BRA. Deretter kommer blokkleiligheter som utgjør ca. 14% av bruksarealet.



Figur 3: Prosentvis bruksareal boliger og eneboliger etter areal. Kilde: SSB boligstatistikk 06513 06265

Tallene viser at den vanligste boligen i Norge er en enebolig på 164m^2 BRA. Jeg vil derfor ta utgangspunkt i en slik bolig over to etasjer for generelle beregninger. BRA vil være likt for alle modeller og bygningsvolumet økes utover. Dette gjenspeiler ikke realiteten i pressområder, da man i praksis er nødt til å la veggtykkelsen gå innover på grunn av strenge krav til utnyttelsesgrad og byggergrenser.

Dersom man antar stue, kjøkken, bad og tre soverom, vil et overslag gi circa 55m innvendig lettvegg. Dette utgjør dermed 5,5m^2 fratrekk og boligens nettoareal blir 159 m^2.

4.5.2 Vindusflater

TEK17 §13-7. LYS skriver:

> *(2) Rom for varig opphold skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys.*

Videre følger veiledningen om preaksepterte løsninger for tilfredsstillelse av ytelseskrav at kravet til dagslys kan dokumenteres enten ved datasimulering (a), eller:

> *b. For rom i boenhet kan dagslyskravet alternativt dokumenteres med følgende metode:*

$$A_g \geq 0{,}07 x A_{BRA}/LT \qquad (3)$$

Der A_g = Glassareal, A_{BRA} = Rommets bruksareal og LT = Glassets lystransmisjon.

Eksempelvis NorDan, lister opp verdier i sin produktdokumentasjon. LT=0,71for to lag og LT=0,57 for tre lags glass (NorDan, 2015). Boligen trenger dermed minimum 20,1m^2 vindusflate etter TEK17.

TEK97 § 8 – 35 Lys skriver i likhet med TEK17 at dagslysfaktoren kan beregnes, men følger opp slik:

> *Dersom det ikke dokumenteres at kravet tilfredsstilles på andre måter, kan en anta at kravet om tilstrekkelig dagslys er oppfylt når rommets dagslysflate utgjør minst 10 % av gulvflaten.*

Dette gir ved hoderegning 15,9m^2 netto vindusflate.

Legg merke til at Tek17 og passivhuset må ha om lag 25% større glassflate for å slippe inn lik mengde lys som TEK10 og TEK97. Arealet er kun ment som en verdi for sammenligning og glassarealet for passivhuset måtte økes ytterligere til 22,4m^2 før det ble godkjent i TEK-sjekk energi. Glassarealet for alle byggene ble økt til 22,4m^2, dette stemmer også bedre med naturlig ønske om godt lys. Man må derfor være klar over at alle byggene etter TEK97 i denne oppgaven har «unødvendig» mye glassareal og mer lys enn de andre. Dette gir litt høyere byggekostnader, elektrisitetsforbruk og varmetap enn det minimumsverdiene krever for TEK, sammenlignet med passivhuset som her tangerer grensen for å bli godkjent.

4.5.3 Tak og takvinkel

Modellen får isolert tak med kaldloft. Både TEK97 § 8-37 og TEK17 § 13-12 skriver at taket skal ha tilstrekkelig vinkel. Byggforskserien datablad 544.101 angir minste anbefalte takvinkel for takstein til 15°. Det følger noen forbehold, så vinkelen i modellen bør settes til 20°. Poenget er å kunne inkludere alle typer yttertak. Det blir 0,4m takutstikk. Netto sidevegger blir $\sqrt{82\text{m}^2} = 9{,}1\text{m}$

Dette gir takflate: $\frac{(9{,}1\text{m}+(2x\text{veggtykkelse})+0{,}8\text{m})^2}{\cos(20)}$

Takflaten er uisolert og ikke relevant for energiberegninger, men angir en flate for solfanger og areal av takbelegg. Arealet for solfanger kan settes til halve takflaten, minus noe omramming, for eksempel 52m^2:

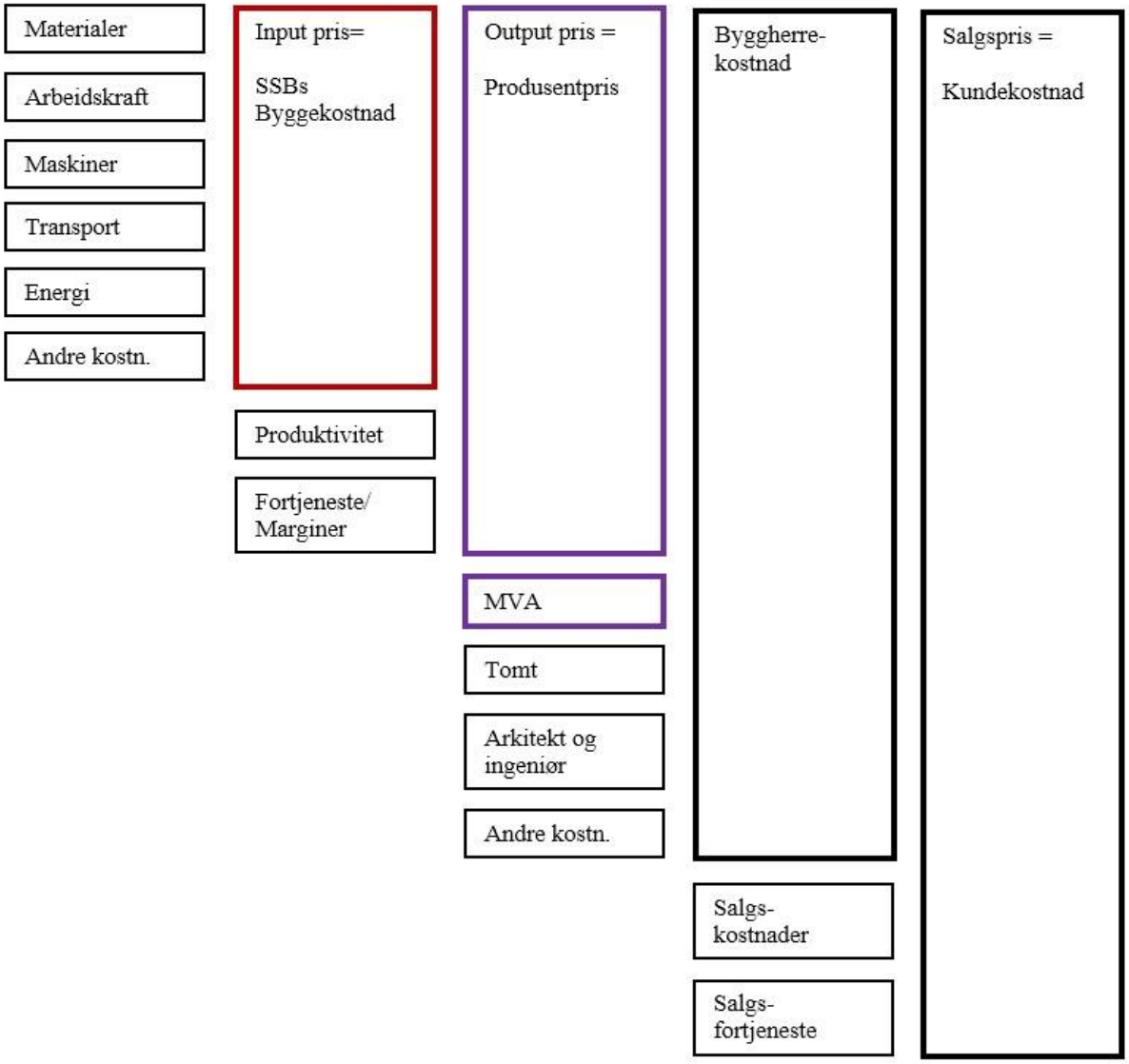
$$\frac{(9{,}1\text{m} + 0{,}8\text{m})^2}{\cos(20)}/2 \approx\ 52\text{m}^2$$

4.5.4 Fundamentering

80mm støpt såle på grunnen med ringmur etter Byggforskserien datablad 521.111.

5 Kostnadsutvikling boliger

Kostnaden for en bolig er bygget opp av flere ledd. *Figur 4* viser SSBs definisjon av kostnadsleddene fra oppstart til sluttsalg. SSB byggekostnadsbegrep er markert med rødt, mens kostnadene som fremkommer i offentlige rapporter er markert med lilla. Høydene på boksene er ikke proporsjonale, da for eksempel MVA skal være 25% av produsentpris og tomtekostnaden ligger rundt 10-20% av kundekostnaden.



Figur 4: Kostnadsledd i byggeprosessen. Kilde: Thomassen, Arild, SSB 2000

Her ser man at begrepet byggekostnader kun representerer en del av forbrukerkostnaden og utelater for eksempel poster som arkitekt, ingeniør, produktivitet, MVA og fortjenesteleddene. Det må antas at disse postene påvirkes av forskriftskrav og byggemåte.

Oversikt over de forskjellige vektene i SSB beregningsgrunnlag:

Tabell 3: Utvikling i kostnadsledd einebustad av tre. Kilde: (SSB1, 2019) Delproduktenes vekter 2019, 2000, 1990, 1978

Einebustad av tre. Delproduktenes vekter i 2019, 2000,1990 og 1978

Delprodukt	**Vekter i prosent**			
	2019	2000	1990	1978
Sentraladministrasjon	4.5	6.3	-	-
Rigg, drift og adm.	3	1.7	2.4	4.3
Grunnarbeider	9	5.7	7.2	6.6
Betongarbeider	6.5	7.6	6	6.3
Mur puss og flisarb.	2.8	2.6	10	12.8
Tømmerarbeid, blikkenslager,monter- og innredningsarbeider	56.5	57.6	55.3	53.3
Maler, tapetser,gulv	5	5.6	7.3	6.1
Rørleggerarbeid	4.5	6.6	5	6.7
Ventilasjon	2.2	1.2	-	-
Elektrikerarbeid	6	5.1	7.1	3.9
Sum	100	100	100.3	100

Tabell 4: Kostnadsleddene for enebolig. Kilde: (SSB1, 2019), oversikt over vektene delproduktene og innsatsfaktorene.

Einebustad av tre. Oversikt over vektene delproduktene og innsatsfaktorane. Vekter i promille

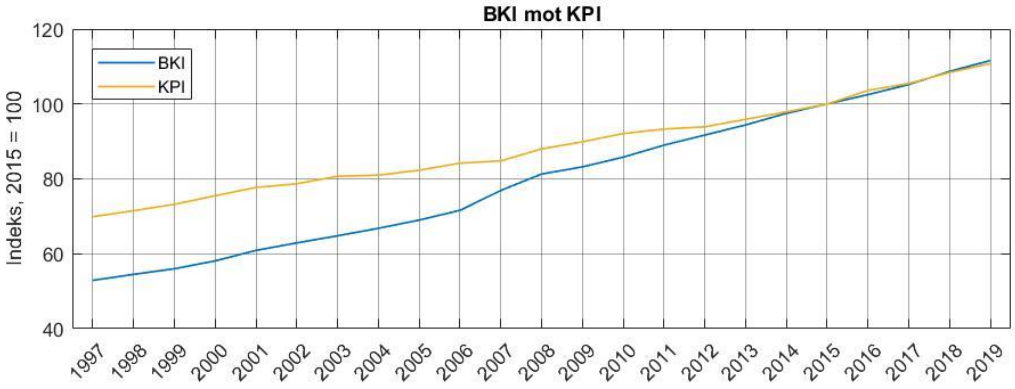
Delprodukt	**Innsatsfaktor med vekt i promille**					
	I alt	**Lønn**	**Materialer**	**Maskiner**	**Transport**	**Andre**
I alt	1000	440	441.5	30.5	46.5	42
Sentraladministrasjon	45	27	-	-	-	18
Rigg, drift og adm.	30	10	11.5	4.5	4	-
Grunnarbeider	90	38.5	13.5	22.5	9	6.5
Betongarbeider	65	18	41	3.5	2.5	-
Mur puss og flisarb.	28	13	14	-	1	0.5
Tømmerarbeid, monter- og innredningsarbeider	565	245.5	286.5	-	22	11
Maler, tapetser,gulv	50	24.5	19.5	-	3	3
Rørleggerarbeid	45	22	19	-	3	1
Ventilasjon	22	5.5	16.5	-	-	-
Elektrikerarbeid	60	36	20	-	2	2

Man ser at postene sentraladministrasjon og ventilasjon er nye. Dette kan dermed regnes som kostnadsøkninger for eneboliger i tre.

5.1 Statistikk SSB, byggekostnader

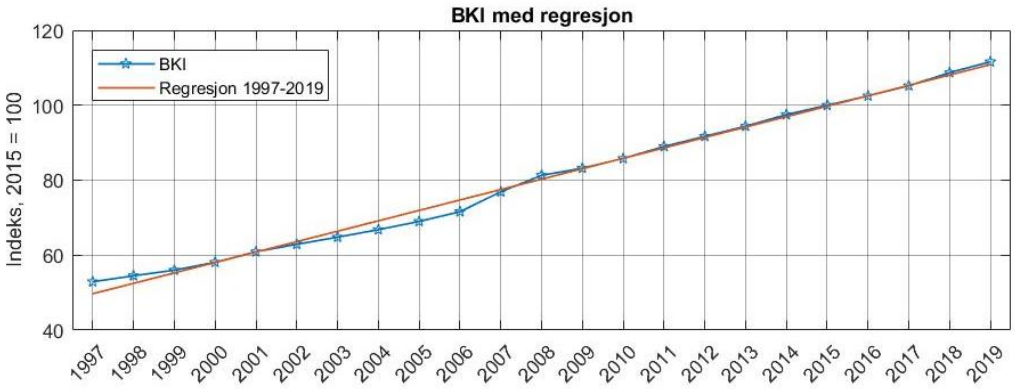
Byggeforskriftene setter altså stadig høyere krav til både bygningsfysikk og spesifikt energibehov. Det må antas at dette har en økonomisk kostnad som følge av økt material- og timebruk.

Man kan se at byggekostnadene jevnt over stiger flere punkter enn KPI.



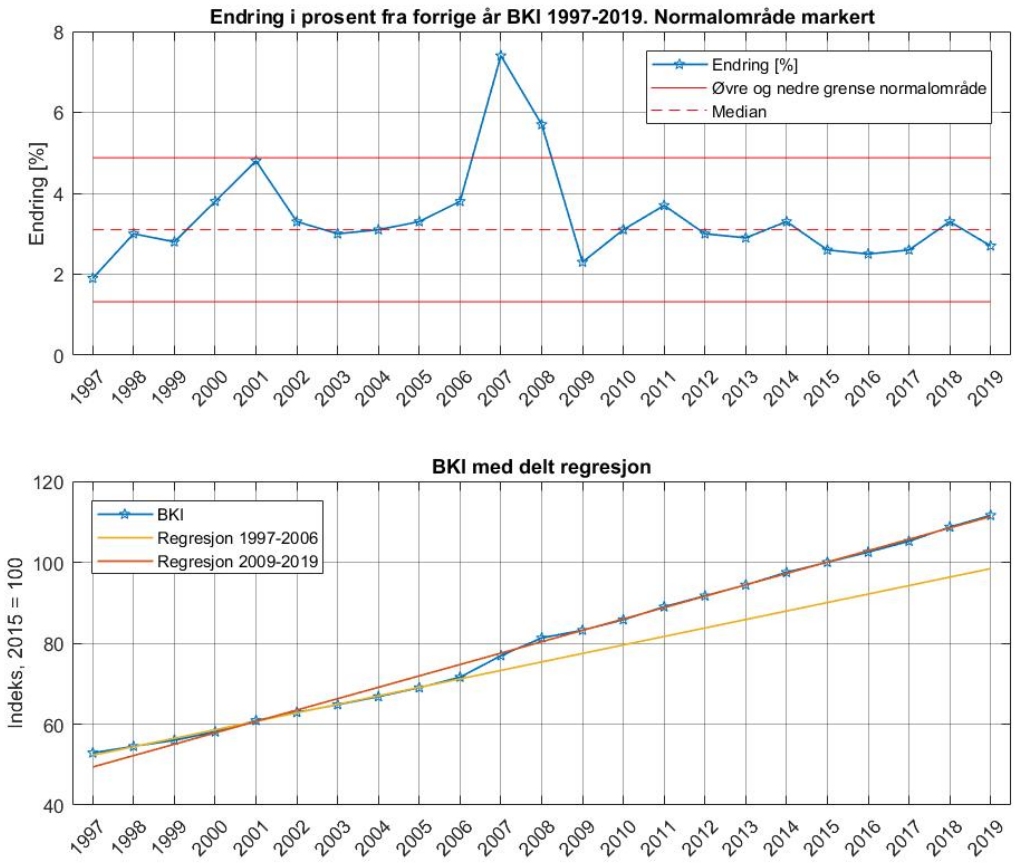
Figur 5: Forholdet mellom BKI og KPI 1997 til 2019. Kilde: SSB 08650 og 08184.

Dersom man foretar en regresjonsanalyse av byggekostnadene ved hjelp av minste kvadraters metode, får man et inntrykk av den generelle trenden. Tilpasningen virker god, men man kan notere avvik rundt 2007:



Figur 6: BKI 1997-2019 med regresjon. Kvadratsum 43.3 eksklusive kvadratsum for 2007 og 2008. Kilde: SSB 08650

Man vet at det ble innført nye forskrifter i 2007 med omfattende endringer i energikravene. De prosentvise endringene for 2007 og 2008 ligger utenfor tre midlere absoluttavvik og man kan ta dem ut av regresjonen. Man får da en enda bedre tilpasning:



Figur 7a: Prosentvis endring fra forrige år. Ekstremverdier vises for 2007 og 2008. Figur 7b: Delt regresjonsanalyse av BKI for alle boliger. Kvadratsum 1.79. Kilde: SSB 08650.

I *figur 7b* synker kvadratsummen fra 43,3 til 1,79. Sistnevnte er et svært lavt tall, da det utgjør den samlede summen av residualene kvadrert, over 21 år.

Tabell 5: Stigningstall til figur 7b

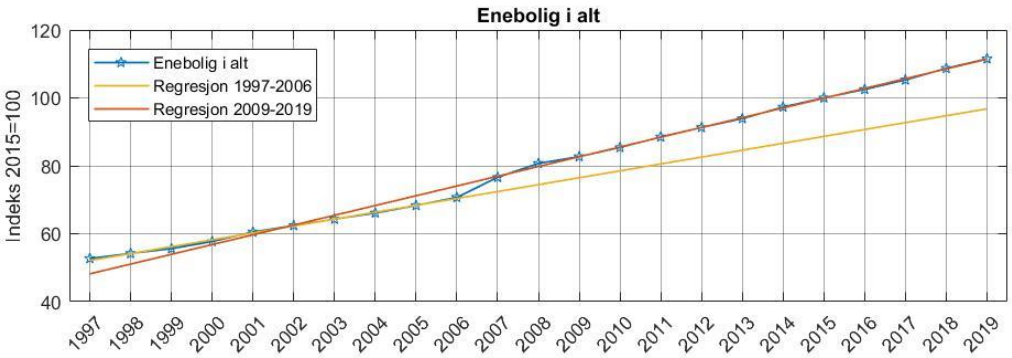
	1997-2006 [år^{-1}]	**2007-2008 [samlet]**	**2009-2019 [år^{-1}]**
Stigningstall [punkt]	2,1	9,7	2,8

Selv om *figur 6* i første omgang gir inntrykk av helt jevn økning, uten særlige avvik eller endringer i stigningstall, ser vi at dette faktisk ikke stemmer. Det er ikke problem å

argumentere for at *figur 7b* viser den virkelige utviklingen i byggekostnadene. Man kan også se et vedvarende økt stigningstall etter 2008.

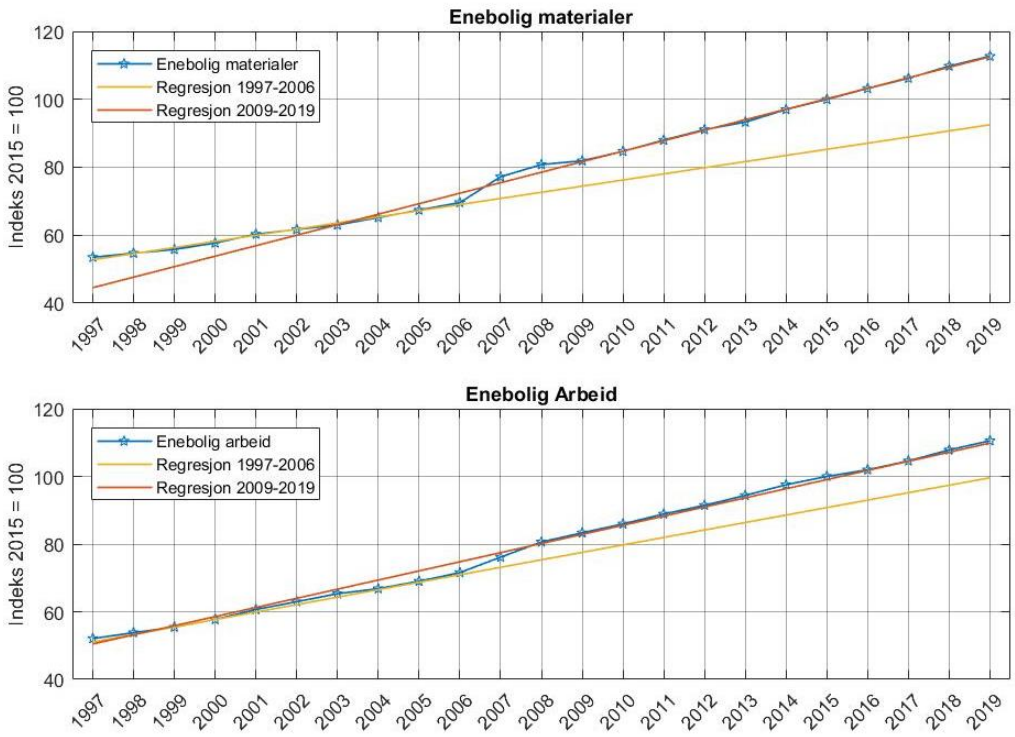
I perioden 2006-2008 øker indeksen med 9,7 punkter $år^{-1}$ mot 4,2 normalt. Dette utgjør 14% kostnadsøkning i perioden 2006-2008. Det er viktig å være oppmerksom på at kostnadsbegrepet inkluderer både endring av mengde og endring av pris. Man vet derfor ikke om denne økningen skyldes oppgang i priser, mengde eller begge.

Deretter kan man gjøre den samme analysen for eneboliger:



Figur 8: Kostnadsindeks enebolig i alt. Kilde: SSB byggekostindeks 08652.

Eneboliger har en økning på hhv 2 og 2,9 punkter $år^{-1}$ og det er et varig hopp i perioden 2006-2008 på 10 punkter mot 4 punkter normalt. Dette utgjør en 14% kostnadsøkning 2006-2008. Ved å dele opp kostnadsøkningen i arbeidskostnad og materialkostnad, ser man at begge viser samme trend:



Figur 9 a og b: Kostnadsindeks for Enebolig i tre. Kilde: SSB byggekostindeks 08652.

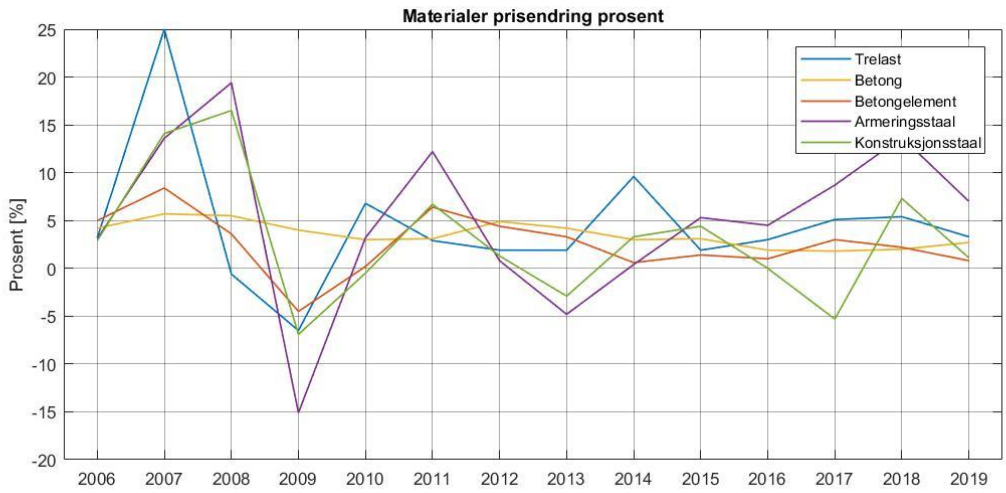
Tabell 6: Stigningstall for enebolig av tre

	1997-2006 [år^{-1}]	**2007-2008 [samlet]**	**2009-2019 [år^{-1}]**
Stigningstall materialer [punkt]	1,8	11,2	3,1
Stigningstall arbeid [punkt]	2,2	9	2,7
Stigningstall samlet [punkt]	2	10	2,9

Prosentvis økning hhv 16% og 13% for material- og arbeidskostnad 2006-2008.
Dette viser at eneboliger følger samme trend og har hatt varig kostnadsøkning fra 2007.

5.2 Materialkostnad

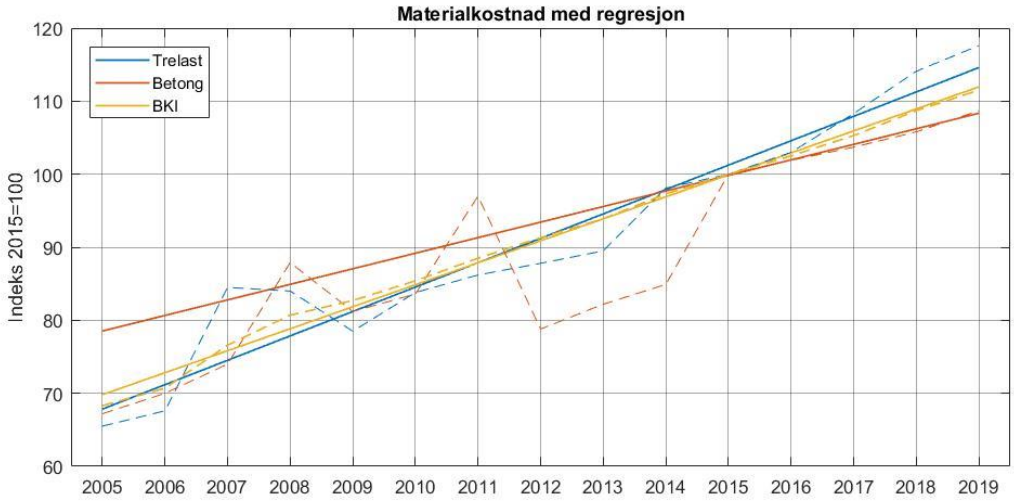
Det er ikke enkelt å gjøre nøyaktige analyser rundt variasjonen i materialpriser. Prisvariablene i SSB 08656 viser kun *trelast, betong, betongelement, armeringsstål* og *konstruksjonsstål* og starter i 2005. Vi vet for eksempel at en enebolig består av vesentlige mengder andre materialer, slik som isolasjon, ventilasjonsaggregat, gipsplater, parkett, fliser, innredninger, taksystem for å nevne noe. Man kan allikevel se på det tallgrunnlaget som eksisterer fra SSB:



Figur 10: Materialpriser og BKI. Kilde SSB 08656.

Figur 10 viser prisendring på materialer. Man legger merke til at trelast hadde et voldsomt hopp i 2007 og at stål fulgte opp i 2008. Betong har hatt mindre prisvariasjon.

Betongelement bør inkludere proporsjonerte mengder betong og armeringsstål, så man kan sette opp en figur for trelast og betongelement. En regresjonsanalyse viser at trelast stiger noe mer enn BKI og betongelement stiger en del mindre enn BKI. Samtidig ser man at hoppet for trelast i 2007 er under normalen igjen i 2009.



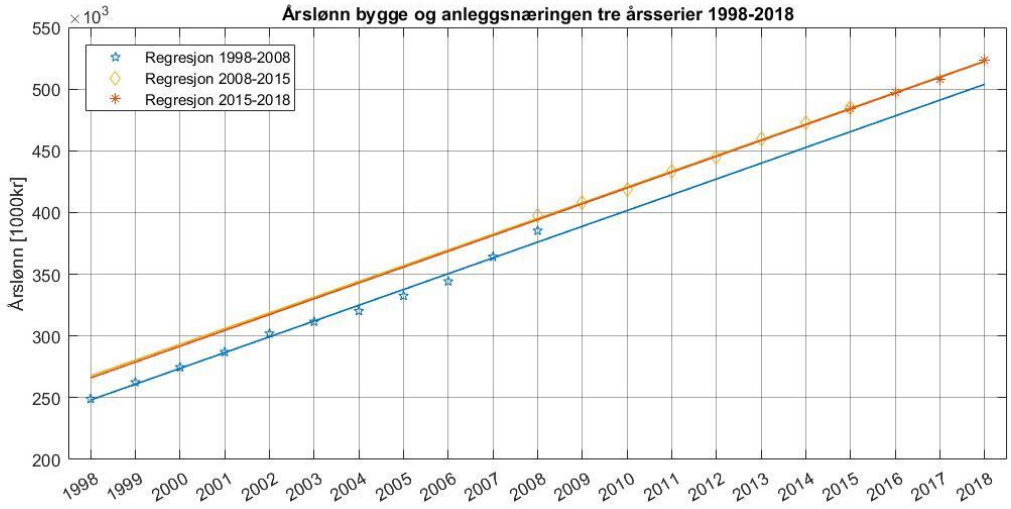
Figur 11: Materialpriser og BKI. Kilde SSB 08656.

Derimot hvilken eksakt betydning det har for totale kostnader, er ikke mulig å si noe om. Vi kan bare anta at økte materialpriser sammen med økte mengder materialer kan ha bidratt noe

til de økte byggekostnadene. Da forutsettes det at det ikke er prisreduksjon på andre materialer.

5.3 Lønn

Det eksisterer tre serier for perioden 1998-2018. I følge SSB skyldes dette at det i 2008 ble endringer i næringskodene som ligger til grunn for statistikken og i 2015 gikk man fra utvalgsbasert til fullstendig tallgrunnlag. Man kan derfor ikke sammenligne verdiene i de tre seriene direkte. Dersom man allikevel antar at trenden i hver serie vil være sammenlignbar, kan man gjøre tre regresjonsanalyser for årsseriene i samme plott:



Figur 12: Regresjon av årsseriene 1998-2008, 2008-2015, 2015-2018. SSB 05407, 07654 og 11417

Stigningstallene for årsseriene i *figur 12* er hhv 12 784, 12 757 og 12 820NOK år^{-1}. Alle prosentvise endringer er innenfor normalområdet. Man ser ut fra de tre stigningstallene at det ikke har vært stigende lønnsvekst i næringen. Bruddet skyldes endring i statistikkgrunnlaget 2008 der bransjekoder ble flyttet. Gjennomsnittlig vekst i periodene hhv 4,5%, 2,9% og 2,5%.

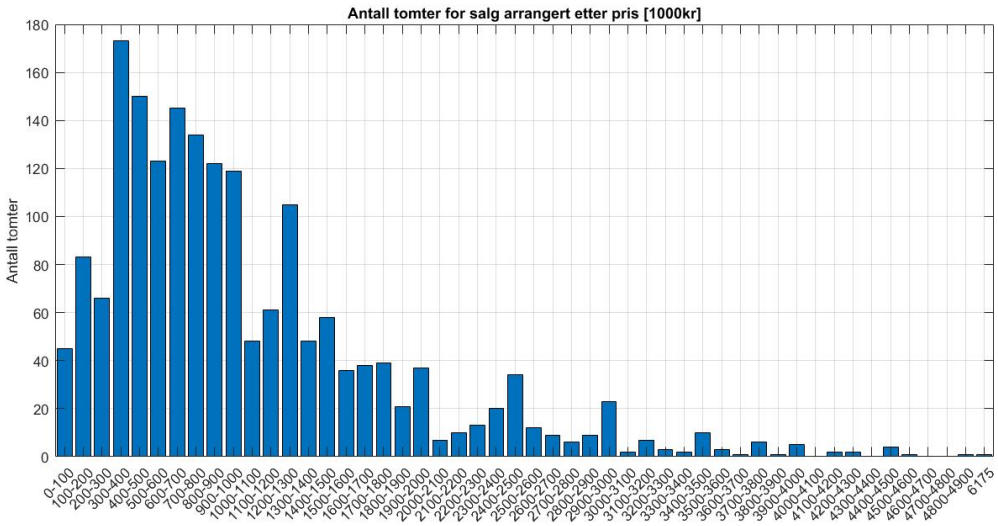
På bakgrunn av prosentvis synkende lønnsvekst, kan man konkludere med at spranget i arbeidskostnader fra *figur 9b* skyldes økt mengde, altså timebruk.

5.4 Kvadratmeterpris enebolig

SSB statistikk 03364 viser at for 2019 var kvadratmeterpris for en ny enebolig 37 417NOK inkludert MVA og tomt. Tar man utgangspunkt i en gjennomsnittlig enebolig gir dette salgssum 6 136 000NOK inkludert MVA. Antall omsetninger nye eneboliger var 2 196 (SSB 03364).

SSB oppgir ikke statistikk som umiddelbart gir en kvadratmeterpris for boligeiendom uten bolig, men oppgir antallet omsatte boligtomter til å være 5 435 (SSB 08949). Man blir dermed nødt til å estimere en gjennomsnittlig tomtekostnad. Et generelt tomtesøk 06.02.2020 viser 1 639 annonser totalt i hele landet. Etter gjennomgang lot det seg identifisere 1 845 enkelttomter som passer til kategorien.

Setter man antall annonserte tomter opp mot antall omsatte boligtomter, bør tallmaterialet kunne antas å være representativt.



Figur 9: Antall tomter etter prisantydning FINN.no 06.02.2020. Tallgrunnlag fra tabell 27

Gjennomsnittlig pris for alle tomter er 1 022 000NOK. Det er nødvendig å ta ut ekstremverdier og verdier over 2 900 000NOK ligger utenfor Q3+1,5xIQR.

Gjennomsnittlig tomtepris for eneboligtomt blir etter dette 919 700NOK og kvadratmeterpris eksklusive tomtekostnad for enebolig 164m^2 blir dermed 31 800NOK[7].

[7] $6\,136\,000\text{kr} - 919\,700\text{ kr} = 5\,216\,300\text{kr}, \quad \frac{5\,216\,300\text{kr}}{164\text{m}^2} = 31\,800\text{kr m}^{-2}\text{ ink MVA}$

6 Kostnadsøkning som følge av endrede energikrav.

Elektrisitet benyttet i Norge slipper ut ca. 29g CO_2e kWh^{-1}. Dersom man ser på gjennomsnittsutslipp for EU, ligger disse på rundt 390g CO_2e kWh^{-1} (One Click LCA, 2015). Som tidligere nevnt, søker man å redusere CO_2e-utslipp ved å redusere elektrisitetsforbruket over husets livsløp. Man ser en sterk nedgang i energibehov ved oppvarming som følge av energikravene i TEK, men man kan ikke påvirke lys og utstyr på samme måte. Dette fremstår som et konstantledd og viser seg rundt til 7 200kWh $år^{-1}$ for referansemodellen i denne oppgaven. Myndighetenes ambisjon er å stramme inn på energikravene i dagens TEK, for på den måten å redusere byggenes elektriske oppvarmingsbehov gjennom økt bruk av byggematerialer og styringssystemer. Dette har en økonomisk kostnad for sluttbruker. Dette kapittelet tar for seg noen av postene man må forvente at blir påvirket av strengere energikrav.

6.1 Kostnadsdrivere

Man kan liste opp utvalgte poster som antas å drive prisene opp med hensyn på energikravene i forskriftene.

6.1.2 Ventilasjonsanlegg og teknisk rom

Det er ikke direkte krav om mekanisk ventilasjon i TEK, men det vil være vanskelig å oppnå energikravene uten å gjenvinne varmen fra avkastet. Veiledningen TEK17 *§13-2. Ventilasjon i boligbygning* skriver:

> *Bestemmelsene om luftmengder kan lettest oppfylles med mekanisk ventilasjon. Balansert ventilasjon med varmegjenvinning vil ofte være mest egnet for å tilfredsstille energikrav (kapittel 14) og krav til termisk inneklima (§ 13-4). Naturlige drivkrefter kan utnyttes til å sikre ventilasjonen etter denne paragrafen, men vinduslufting er normalt å anse som en tilleggsventilasjon. Derfor må ventilasjonsmengdene kunne oppnås med lukkede vinduer.*

TEK17 §13-2. Ventilasjon bygning krever luftutskifting minimum 1,2m^3 luft $m^{-2}h^{-1}$.

Ventilasjonsanlegg har en kostnad på 2,2% av totale byggekostnader etter *tabell 3*.

En annen kostnad ved balansert ventilasjonsanlegg, er arealet som opptas til utstyret. Byggforskserien datablad 552.303 angir et ventilasjonsanlegg til småhus å oppta rundt 0,75x0,75x0,5 (HxBxD). Byggforskserien datablad 552.301 skriver at det for ventilasjonsanlegg er behov for økt vedlikehold og fare for betydelig funksjonssvikt dersom dette ikke følges opp, så aggregatet må plasseres lett tilgjengelig for vedlikehold. Aggregatet må i alle tilfeller plasseres innenfor boligens isolasjonssjikt og uten at støy vil kunne forstyrre oppholdsrom (Byggforskserien datablad 552.301).

Det er derfor vanlig at man i nye boliger etablerer et eget teknisk rom. Dette har krav til å være egen branncelle. Byggforskserien datablad 379.310 anbefaler minst 1,2xH, 2xB og 2,5xD som vil gi minimum 1x1,5x1,9m isolert branncelle. Dette blir 3,2m^2 dersom man legger til to lettvegger. I tillegg kommer byggekostnader for 3,2m^2 brancelle.

6.1.3 Kostnad bygningskropp

En av de mest åpenbare merkostnadene i utviklingen mot passivhusstandard, er den økte materialbruken. Bygningskroppen får et vesentlig økt volum, *tabell 2*.

Merkostnaden for vegger kan være 18mm OSB-plater utenpå (198mm+48mm) reisverk, med 150mm utvendig trykkfast isolasjon festet med skruer og lekter etter Byggforskserien datablad 472.435. Alternativt kan man bruke I-profiler eller dobbel stendervegg. Kostnadene blir omtrent det samme som ved dobbel stendervegg (Kristian Stenerud Skeie, 2016).

Økte tykkelser gjør at bygget tørker saktere (Stig Geving, 2010). Det er derfor svært viktig at man kontrollerer fuktigheten i materialene under prosessen. For passivhus betyr dette at man må ha økt fokus på fuktmålinger, sette av ekstra tid til uttørking og beskytte konstruksjonen og materialer mot vann. Dette kan gjøres med tildekkinger, dekket stillas eller WPS.

Det vil være arealtap som konsekvens av tykkere vegger. Referansemodellen taper rundt 15m^2 mot TEK97. Dersom en skulle regne dette som en kostnad, utgjør arealtapet alene 480 000NOK. Dette kan antagelig ansees som direkte tap av salgbart areal i pressområder og for små boligtomter der man følger strenge krav til utnyttelsesgrad av tomtene. Veggtykkelsen kan også komme i konflikt med reguleringsbestemmelsene, da for eksempel saltak vil kunne

bli høyere, eller bygget kommer for nærme byggegrenser. Motsatt kan veggtykkelsen også komme i konflikt med tilgjengelighetskravene.

6.1.4 Kostnad lufttetthet

For å minimere varmetap, er det nødvendig å lage bygget så tett som mulig. TEK97 tillot luftlekkasjetallet n_{50} å være 4, mens TEK17 og passivhusstandarden tillater n_{50} =0,6. Resultatene vist i *tabell 10* viser at lufttetthet er et av de mest avgjørende punktene for energieffektivitet og i praksis et avgjørende punkt for å få et passivhus godkjent.

Lufttetthet bør oppnås med vindtettsjiktet på den kalde siden av isolasjonen. Lufttetthet er et godt eksempel på en arbeidsoperasjon som er avhengig av god utførelse der resultatet lett kan bli dårligere enn forutsatt. Man kan gjerne teoretisk forvente et tett bygg, men det hjelper lite dersom ikke det faktiske resultatet står i forhold. Jo enklere bygget er, jo lettere er det å oppnå god lufttetthet. Dette er en pådriver for at passivhus må ha enkel utforming, slik som Villa Stoknes (s 56). Eksempler på steder der lekkasjer kan oppstå, er overganger mellom gulv/vegg, vegg/tak og vegger/vinduer osv. Alle disse stedene krever kunnskap og god utførelse. Det er vanskelig å estimere kostnaden til denne operasjonen, men kostnaden ligger i utgangspunktet i arbeidstimer og ekstra tape. Et strengere krav vil kunne føre til flere lekkasjetester og dermed kan økt antall lekkasjetester også oppstå som en ekstra kostnad (Kristian Stenerud Skeie, 2016).

Et annet eksempel som kan redusere husets lufttetthet, er dersom noe punkterer tettesjiktet. Det er mange situasjoner der et hull kan oppstå i byggeprosessen eller under bygningens 50-årige bruk. Slike lekkasjer vil i mange tilfeller være permanente og forbli uoppdaget over husets livsløp. Dermed vil huset i praksis ikke ha den energieffektiviteten som bygget teoretisk er godkjent for. Dette vil slå negativt ut for elektriske bygninger i forhold til bygninger med alternative oppvarmingskilder.

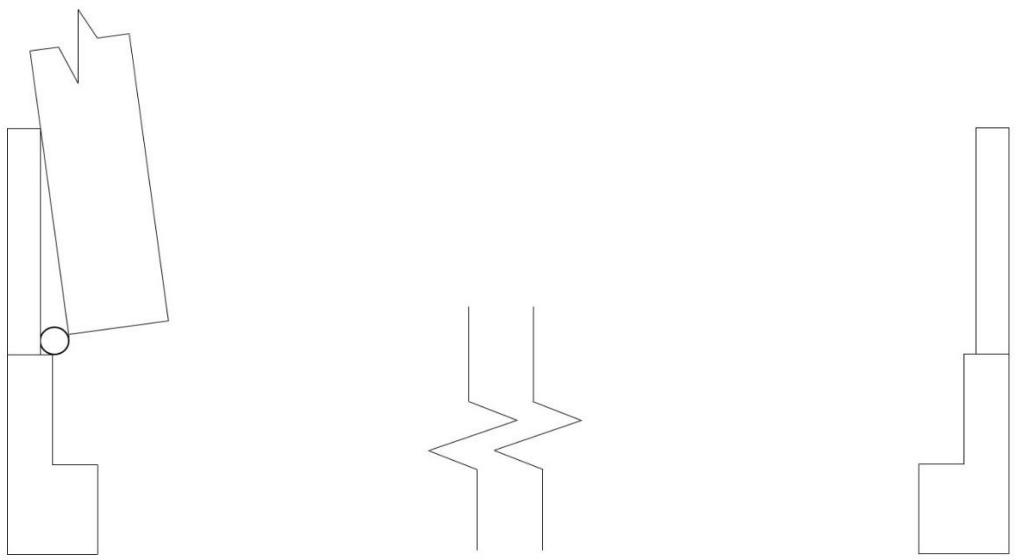
6.1.5 Kostnad prosjektering

Denne kostnaden regnes ikke inn i byggkostnader etter SSB definisjon. Det er grunn til å stille spørsmål ved om dette er fornuftig. Dersom man ser på endringene i TEK07 og standarden for passivhus, så er det naturlig å tenke at man har fått en reell økning i prosjekteringskostnader. Det er også vist en økning på 850NOK m^{-2} (87%) for denne posten i perioden 2003-2011 (Torunn Kvinge, 2012). Dette utgjør 211NOK m^{-2} dersom man regulerer beløpet mot 6 punkter hopp 2007-2008. Økte prosjekteringskostnader opp mot TEK07 kan dermed være rundt 266NOK m^{-2} valutaregulert mot 2019.

Sivilarkitekt Ola Roald anslår i mailkorrespondanse en kostnadsøkning for prosjektering mellom TEK97 og TEK17 til 15-20%. Denne perioden inkluderer også senere versjoner av TEK med sine tilgjengelighet- og dokumentasjonskrav. Jeg setter økningen i forbindelse med energikravene i TEK07 til 10%. Han anslår økningen mellom TEK17 og passivhuset til å ligge mellom 5 og 10%. Økningen er derfor satt til 7,5% i denne oppgaven.

6.1.6 Kostnader dører/ vinduer

I samtale med Bock Watne kommer det frem en uventet konsekvens av de endrede energikravene i TEK15. I denne revisjonen ble u-verdikravene for dører og vinduer skjerpet og dette viser seg å kunne komme i konflikt med tilgjengelighetskravene i TEK. Krav om tilgjengelig boenhet reguleres i TEK 12-2 (3) og TEK §12-13 (2) a angir minste frie åpning i ytterdør til 86cm. I bygg med tykke vegger og strenge krav til u-verdier, er man ofte nødt til å montere døren langt inne i veggen og uansett i samme liv som isolasjonssjiktet. Dette fører til at disse dørene ikke kan åpnes særlig mer enn 90° slik at tykkelsen på dørbladet inkludert hengsel sperrer for åpningen *(figur 13)*. Dette fører til at man kan bli nødt til å gå opp en dørstørrelse, som er både dyrere og heller ikke standard. I enkelte tilfeller blir man nødt til å bestille dører på spesialmål, på grunn av avveininger mot for eksempel tilgjengelighetshensyn ellers i bygget. Dette fører til hodebry, leveringstid og ekstrakostnader. Normalt løses nok dette gjennom omfordeling, men omfordeling vil være vanskelig for et passivhus.



Figur 13: Forenklet fremstilling av ytterdør plassert langt inne i veggen på grunn av strenge krav til kuldebroverdier. Lysåpning blir mindre enn 86cm dersom døren er tykk som følge av tilsvarende krav om lav u-verdi.

For å minimere kuldebroer, anbefales man for enkelte fremgangsmåter at også vinduer monteres lengre inn i veggen, slik som angitt byggforsk datablad 523.701. Dette medfører bla fare for fuktskader i underkant av vinduet og man bør i disse tilfellene ha eget vanntett sjikt (membran) under vinduene.

I tillegg vil et ekstra lag med glass i vinduene føre til lavere lystransmisjon, som igjen fører til krav om større vindusareal, slik også TEK-sjekk energi advarer om i energidelen kapittel 6. Dette fører også til økte kostnader uten at boligeier får økt mengden lys i boligen. De store vindusflatene kan derimot føre til fare for overoppheting av bygget og behov for ekstra solskjerming.

6.1.7 Byggefeil

Det er en kjensgjerning at det oppstår byggefeil og trenden ikke er synkende (Bygg21, 2018). Det eksisterer få nyere rapporter innen temaet og de fleste refererer i en eller annen form til rapporter produsert *før* 2007. Rapporten *Kompetanseoverføring for reduksjon av byggefeil* (Stenstad, V et.al. Byggforsk 2005), viser til en årlig utbedringskostnad på rundt 10% av byggekostnadene. Rapportens Figur 312 s 39 viser videre at rundt 40% av årsaken skyldes feil i prosjektering, 30% feil utførelse, 20% i rammevilkår og 10% materialsvikt. Man kan tenke at faren for feil øker med høyere krav til prosjektering, mer komplisert byggemåte, flere tekniske innretninger og økt materialbruk. Dette kan i så fall forklare hvorfor andelen

byggefeil tilsynelatende ikke synker på tross av et vesentlig økt fokus på dokumentasjon og kontroll både forskriftsmessig og selvpålagt i bransjen.

Av byggefeil som kan oppstå er rene feil ved utførelse som skyldes dårlig kompetanse hos utførende. En dyrere byggemåte fører til høyere sluttpris på bygget. Kunden har til en viss grad en gitt oppfatning av hva de er villige til å betale for en bolig og dette fører til at utførende må regne bakover (Rolf Barlindhaug, 2011). Da vil det for enkelte firmaer kunne være en løsning å leie inn billig arbeidskraft med lav kompetanse og liten grad av opplevd eierskap til resultatet. Her er det svært viktig å påpeke at seriøse aktører i byggebransjen kan velge en helt annen tilnærming. Man kan gå motsatt vei, med fast ansatte håndverkere og god lønn. Block Watne benytter blant annet denne fremgangsmåten. I tillegg deles byggeprosessen inn i byggelag med dedikerte oppgaver. Gjennom ansettelse og god lønn oppnår håndverkerne eierskap til resultatet og inndelingen med byggelag gjør at det forrige laget står til rette for det neste laget i prosessen. På denne måten oppnås en naturlig selv- og etterkontroll, som ikke ville være mulig uten opplevd tilknytning til kolleger, arbeidsgiver og resultat. En slik naturlig kontrollmekanisme er antagelig også langt mer robust enn krav til skjemaer og kontrollister som i mange tilfeller ikke utfylles korrekt. En innleid vikar med dårlig lønn og kort tidsperspektiv på arbeidsforholdet er antagelig likegyldig med hva som noteres og hvordan.

6.1.8 Naturlige merkostnader

Man ser en jevnt over økende trend i byggekostnader mot KPI. Mye av dette må antas å skyldes glidende overganger mellom de jevnlige skjerpelsene i forskriftene. Den økende trenden skyldes nok også et økende kvalitetskrav fra kunder. Dette kan for eksempel være ønske om vegghengte toaletter og andre spesialløsninger som medfører ekstra prosjekteringskostnader og ekstra arbeid med spikerslag ol i konstruksjonen (Torunn Kvinge, 2012). Et annet eksempel kan være kundens ønske om dyrere produkter. Det er antagelig mange slike eksempler på økte forventninger fra kunde som resulterer i økte kostnader.

En annen viktig årsak til økte kostnader ut over strengere forskriftskrav kan være at man i økende grad utnytter tomter som tidligere var ansett ulønnsomme for utbygging.

6.2 Tallgrunnlag SSB og eksisterende rapporter

Det er vanskelig å beregne kostnader og kostnadsendringer for bygg. Dette skyldes at det finnes svært mange forskjellige løsninger, forutsetninger og avveininger. Knapt to hus, kunder eller firmaer er like. Forskjellige firmaer vil ha forskjellige kalkyler, marginer, innkjøpsavtaler, erfaring, arbeidsforhold og behov for oppdrag[8]. Variasjoner i kostnadsanslag på hundre prosent eller mer kan forekomme (Almås, 2012) (Kristian Stenerud Skeie, 2016).

Eksempler på relevante forutsetninger kan være geografisk beliggenhet med tanke på lys, vind og temperaturforhold samt grunnforhold og kostnadsramme. Størrelsen på boligen har mye å si for overflatearealet og dermed materialbruk og varmetap. Det samme gjelder for om boligen er over én eller to etasjer, har mange vinduer eller om den har skrått eller flatt isolert tak.

Merkostnad er et relativt begrep sett opp mot en referanse. Det finnes mange måter å konstruere en bolig og dermed finnes det også svært mange referanser. Boliger oppført etter tiltaksmetoden vil avvike fra boliger oppført etter rammekrav. I denne oppgaven forutsettes tiltaksmetoden, beskrevet i kapittel 4.3.

Da det ikke vil være mulig å lage eksakte tall for kostnadsvariasjonene, ser jeg det ikke tjenlig å utarbeide egne tall for dette utover det som allerede er presentert. Jeg vil heller se på noe av det som allerede er laget rundt temaet.

6.2.1 Endring i BKI årene 2007 – 2008

SSB byggekostindeks i 2019 var 111,5 punkter og det var et unormalt hopp på 6 ekstra punkter for perioden 2007-2008. Dette gir en ekstraordinær merkostnad på 1 712NOK m^{-2} etter utregnet kvadratmeterpris bolig. Denne merkostnaden er en kundekostnad og inkluderer også økt materialkostnad samt prosjektering.

[8] Overprising eller underprising. Dersom man har mye å gjøre, gir man et høyt pristilbud. Får man jobben, er man glad til. Eller motsatt.

6.2.2 Kvinge 2012

Hva betyr kvalitetskrav for byggekostnader og boligtilbud? Norsk institutt for by- og regionsforskning på oppdrag for Husbanken 2012 (Torunn Kvinge, 2012).

Rapporten er utarbeidet med tanke på å utrede merkostnadene knyttet til overgangene mellom TEK97 og TEK10. Denne konkluderer med en merkostnad for selve bygget i perioden 2003 til 2011 på rundt 8 400NOK m^{-2}. Det er viktig å være obs på at i 2010-versjonen av TEK inngår det også innføring av såkalte tilgjengelighetskrav som har betydning for arealbruken. Det ble også endrede dokumentasjonskrav. Rapporten er allikevel klar på at de største kostnadsøkningene skyldes energikravene og ikke tilgjengelighetskravene som først antydet av bransjen selv.

Man kan forsøke å indeksregulere 8 400NOK på bakgrunn av 24,2 punkter endring i BKI samme periode. Dette gir et grunnbeløp 347NOK pr punkt. Vi vet at det var et unormalt hopp på 6 punkter 2007-2008, som gir en kostnadsøkning 2 082NOK m^{-2}. Beløpet bør indeksreguleres og gir 2 623NOK regulert til 2019. Dette er forbrukerpris.

SSB byggkostindeks gir anslagsvis prisøkning i samme periode basert på utregnet kvadratmeterpris 6 900NOK. Antagelig skyldes noe av forskjellen at SSB innhenter tall fra hele landet, mens de fleste rapporter innhenter tall fra konkrete prosjekter. Det er nok en del variasjon i kostnadsbildet basert på beliggenhet og at prosjekter i høyere grad ligger opp mot pressområder. En del av økningen fra Kvinge kan mulig tillegges TEK10 og ikke TEK07 som tallene fra SSB knyttes til. Men det er viktig å legge merke til at SSB ikke viser noen åpenbar endring i overgangen mellom TEK07 og TEK10 utover generelt høyere stigning i BKI.

Kvinge 2012 viser også en økning i prosjekteringskostnader på 850NOK m^{-2}. Dette vil utgjøre en justert ekstra økning i perioden på rundt 266NOK m^{-2} etter resonnementet over.

I tillegg kommer noe usikkerhet med tanke på tomtekostnadsestimatet som ligger til grunn, detter er tidligere beskrevet som antagelig nokså høyt. Et lavere tomtekostestimat ville føre til større kostnadsøkning etter SSB.

6.2.3 Almås 2012 for TEK97 mot TEK10

Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK, skrevet av Multiconsult og SINTEF på oppdrag for DiBK (Almås, 2012).

Almås 2012 skriver en generell økning i produsentpris knyttet til energireglene mellom TEK97 og TEK10 til 670NOK m^{-2}. Her er ikke beregnet kostnadsøkning som følge av økte krav til tetthet eller krav om normalisert kuldebroverdi på 0,3W $m^{-2}K^{-1}$. Dette på tross av at rapporten skriver rundt 150NOK m^{-2} for overgang fra lekkasjetall 2,5 til 0,6 (TEK10 mot passivhus). Dermed burde man også anta en kostnadsøkning ifølge med overgangen mellom lekkasjetall 4,0 og 2,5. Med kunnskap om at SINTEF har lager 36 datablader for kuldebroer, *tabell 25*, bør man også kunne anta at det nye kravet om kuldebroverdier har medført både ekstraarbeid og økte prosjekteringskostnader. Rapporten forutsetter at både vegg og tak er lektet ut 48x48mm for begge byggene (inntrukket dampsperre). Fremgangsmåten ble nok ikke alltid brukt på hus bygget under TEK97, da man antagelig ofte brukte 48x198mm reisverk. Dermed kan det nok diskuteres om ikke den reelle merkostnaden var noe mer ettersom man fikk to ekstra arbeidsoperasjoner på både vegger og tak. Metoden er allikevel så god at det nok i dag ville være utenkelig å gå bort fra den, selv med 198mm veggtykkelse. Det er derfor en fordel at rapporten forutsetter inntrukket dampsperre, da dette gjør tallene direkte overførbare til dagens foretrukne fremgangsmåte. Kostnaden til balansert ventilasjonsanlegg ligger på 330NOK m^{-2}, altså rundt 1,3%, som er halvparten av det SSB regner. Deretter trekkes dette mot relativt høye kostnader for vifte bad og kjøkken og man angir en total merkostnad ca 46 400NOK (justert) for balansert ventilasjonsanlegg for enebolig 200m^2 inkludert kanaler og aggregat. SSB gir ingen kostnad til ventilasjon i sin indeks for bygg før 2000. Dette skyldes nok at en «Flexit-vifte» på badevegg og ventilator på kjøkken med direkte utkast gjennom vegg må kunne ansees helt marginalt og raskt går under snekker/ innredning/ elektrikerposter. Ventilasjonskostnaden justeres til 2,2% ref *tabell3- 4* slik at den i alle tilfeller ligger nærmere nye ventilasjonsanlegg som det sammenlignes mot i denne oppgaven. Fratrekket på 34 200NOK (justert) for vifte kjøkken- og badevegg blir stående selv om det i forhold fremstår meget stort.

Rapporten skriver også en merkostnad vinduer 200NOK m^{-2}.

Ny kostnad ventilasjon 31 800NOK m^{-2} x 0,022 = 700NOK m^{-2} (justert).

6.2.4 Oppsummert perioden 2007-2008

Tabell 7: Oppsummerte kostnader overgangen TEK97 til TEK10

	Tallgrunnlag	**Korrigert Tallgrunnlag**	**Regulert grunnlag**
BKI [NOK]	1 712	1 712	**1 712**
Kvinge 2012 [NOK]	8 400	2 082	**2 623**
Almås 2012 [NOK]	670	913	**1 115**

BKI og Kvinge er forbrukerpriser, Almås er produsentpris.

I tillegg kommer 266NOK m^{-2} for økte prosjekteringskostnader. Man må kunne anta en minimum kostnadsøkning som følge av nye energikrav, rundt (1 115+266) NOK m^{-2}.

6.3 Endring årene 2008 og fremover

6.3.1 Almås 2012

Almås 2012 har også tatt for seg overgangen mellom TEK10 og passivhusstandard. Denne delen av rapporten er mer informativ. Beregningene tar for seg en enebolig på 175m^2 over to plan med 20% glassflate. Isolert tak mot kaldloft og gulv på grunnen.

Her skisseres det en økt produsentkostnad 970NOK m^{-2}. Indeksregulert anslag for merkost til produsent blir 1 184NOK m^{-2}.

6.3.2 Almås 2014

I 2014 kom rapporten *Konsekvensutredning Energiregler 2015*, skrevet av Multiconsult på oppdrag for DiBK (Almås, 2014). Denne tar for seg forslag til oppdatering av TEK10 til TEK15. Endringene som tilslutt ble vedtatt finnes i *tabell 1*.

Rapporten konkluderer med at de fleste av de foreslåtte endringene ikke ville svare seg hverken privat- eller samfunnsøkonomisk, men anbefaler noen endringer bla på bakgrunn av at man allikevel forventer å gå mot passivhusstandard og forventninger om kostnadsreduksjon

som følge av tilpasninger i bransjen (Almås, 2014). Ved sammenligning av bolighus anbefaler rapporten at man bruker tabellene for panelovner. Tallene er beregnet netto etter fratrekk for årlig energigevinst 50år. Man må da ta ut energigevinsten for å få sammenlignbare tall.

Hovedtallene fra rapporten gjengis her:

Tabell 8: Almås 2014 hovedtall for beregnede kostnader ved eventuelle endringer til TEK15

	Verdiendring fra→til	**Netto besparelse figur 1b [NOK m^{-2}]**	**Energiesparelse [kWh m^{-2}]**	**Byggekostnad [NOK m^{-2}]**
Vegg [U]	0,18→0,16	-118	2,2	160
Tak [U]	0,13→0,10	-99	1,8	140
Gulv [U]	0,15→0,10	-180	2,7	240
Vinduer [U]	1,2→0,8	-25	9,0	170
Lekkasjetall [oms t^{-1}]	2,5→0,6	-10	13,6	270
Varmegjenvinner [%]	70→80	+28	3,9	20
SFP	2,5→1,5	-8	2,2	30
Sum		**-412**	**35,4**	**1030**

Samlet produsentkostnad for de vurderte tiltakene blir 1 030NOK m^{-2}. Tallet bør indeksreguleres og blir dermed 1 180NOK m^{-2}. En negativ netto besparelse betyr økt nettokostnad.

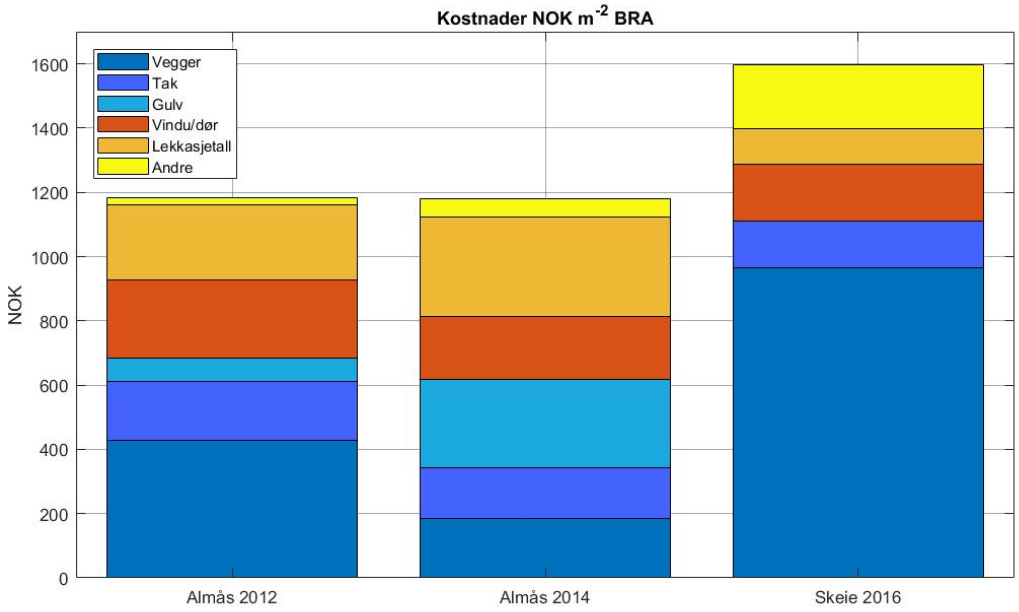
Dette viser at den beregnede merkostnaden er relativt høy med tanke på at tiltakene ligger noe unna kravene til passivhus. Man bør legge merke til at de helt klart mest energieffektive tiltakene for selve bygningskroppen er endring av U-verdi for vinduer og lavere lekkasjetall.

6.3.3 Skeie 2016

Rapporten *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard* SINTEF akademisk forlag 2016 (Kristian Stenerud Skeie, 2016), konkluderer med merkostnad rundt 1 100-1 500m^{-2} (produsentpris) for overgang fra TEK10 til passivhusnivå. Første sum er for Vestlandet og andre sum er for Oslo-området. De to prisene er en konsekvens av at passivhus prosjekteres på detaljnivå. Denne rapporten refererer til alle ovenfor nevnte rapporter og er blant annet laget med tanke på å undersøke påstander om at kostnadsanslagene for overgangen til

passivhusstandarden for småhus er for lave. Rapporten viser blandt annet at rundt 50% av merkostnaden ligger i arbeidet med veggene, som de beregner bygget med I-profiler.

6.3.4 Oppsummert overgangen TEK10 til passivhusstandard



Figur 14: Oppsummerte kostnader TEK10 til passivhusstandard. Tallgrunnlag i tabell 28

Det er store forskjeller i hvordan postene blir satt opp og størrelsen på dem. Dette beskriver noe av utfordringen med å sammenligne bygg, byggeperioder og merkostnader. Gjennomsnittlig regnes her en økt produsentkostnad rundt 1 391NOK m^{-2}, Almås 2014 er ikke fullt ut sammenlignbar.

I tillegg kommer en anslått økning i prosjekteringskostnader 7,5% og dette utgjør da 220NOK m^{-2}.

Dette gir en generell kostnadsøkning rundt 1 611NOK m^{-2}.

Avslutningsvis bør man legge merke til at for passivhus kan det i mange tilfeller være nødvendig med tildekkinger slik som WPS. For et tenkt bygg ville det utgjøre en ekstrakostnad 75 000NOK eller 457NOK m^{-2} (Almås, 2012). WPS vil ikke kun representere

en kostnad, men vil også øke effektiviteten. Det er usikkert om tallene tar høyde for effektivitet, så i dette tilfellet vil WPS antagelig utgjøre en ren kostnad.

7 Energibehov modeller

Det er nødvendig å beregne energibehovet til de forskjellige byggene. Til dette brukes Byggforskserien *TEK-sjekk energi* fra SINTEF. Jeg har derfor ikke selv beregnet de forskjellige postene og avvik skyldes forhold i programmet.

Passivhuset i denne modellen vil for alle praktiske formål ikke klare kravene i NS3700:2013. Derfor introduseres det i *tabell 12* et eksempel fra Byggforskserien datablad 321.521 «Villa Stoknes». Dette er et 85mm godkjent massivtrebygg med 350mm kompakt utvendig kontinuerlig isolasjon[9].

7.1 Innledende beregninger, er det krav til varmegjennvinning?

Innledende beregninger for TEK97, TEK17 og Passivhus med typiske verdier. Her antar man naturlig ventilasjon uten varmegjenvinning. TEK-sjekk gjør en reell simulering uten å forvente spesifikke forskriftsmessige verdier. Det viste seg vanskelig å beregne reelt antall omsetninger time^{-1} for uteluftventiler, så denne blir satt til 0 og ventilasjon til «naturlig» med 1,2m^3 m^{-2}t^{-1}. Disse verdiene tilsvarer da energitapet ved n_{50} = 7 for ventiler (ca 6stk 160mm sirkulære ventiler etter likningen $n_{50} = \frac{10000 * n * A_{ventil}}{BRA}$ fra TEK-sjekk energi).

[9] Fordelen med denne konstruksjonen er at de innvendige massivtreelementene har bæreevne. Bygget kan reises som en kontinuerlig boks og dermed utelates i stor grad kuldebroer og vindtetting forenkles betydelig. Ψ ble beregnet til 0,023. Det er brukt spesialvinduer, montert langt inn i veggen med underliggende membran og U-verdi 0,65W m^{-2}K^{-1}. Grunnet heldekkende uavbrutt utvendig vindtetting oppnådde de et lekkasjetall 0,3m^3 m$_{BRA}^{-3}$ t^{-1}. I tillegg brukte de et meget effektivt ventilasjonsanlegg.

Tabell 9: Simulering av energibehov uten balansert ventilasjonsanlegg og varmegjenvinning. Kilde: SINTEF TEK-sjekk energi

	TEK97	**TEK17**	**Passivhus typiske verdier**
Romoppvarming [kWh år^{-1}]	13 204	6 566	4 812
Ventilasjonsvarme [kWh år^{-1}]	6 891	6 891	6 891
Varmtvann [kWh år^{-1}]	4 885	4 885	4 885
Tekninsk utstyr [kWh år^{-1}]	2 873	2 873	2 873
Netto [kWh år^{-1}]	**27 852**	**21 215**	**19 461**
Spesifikt behov [kWh m^{-2}år^{-1}]	170	129	86*
Krav spesifikt behov [kWh m^{-2}år^{-1}]	Ingen	110	19.6*
Kommentar			*Kun oppvarming eksl 0.5xvarmtvann
Energiforsyning el. [kWh år^{-1}]	**29 387**	**22 172**	**20 266**

Man ser at nye boliger ikke har mulighet til å oppfylle TEK17 gjennom isolasjonsbruk uten ventilasjon med varmegjenvinning. Vi kan derfor si at det i praksis er krav om varmegjenvinning i TEK17. Effektfaktoren slår først inn under *energiforsyning* nederst i *tabell 9*, slik at andre tiltak enn varmegjenvinning ikke påvirker kravet til spesifikt energibehov. Varmepumpeanlegg, solfangere eller andre energitiltak med virkningsgrad/ energiforsyning har derfor ingen betydning for de bygggtekniske kravene.

For ordensskyld kan man gjøre et enkelt overslag på energimengden som tapes via avkastet for å få en indikasjon på om fremgangsmåten med å erstatte uteluftventiler med ventilasjonsluft hadde ønsket effekt:

$$Q = C_p m_{luft} \Delta t \qquad (4)$$

Der *Δt* er differansen mellom inneluft og midlere årstemperatur (6,3°C for Oslo-området etter Byggforskserien datablad 451.021). Ventilasjonsmengden er 196,8m^{3}h^{-1} luft.

$$Q = 1{,}0\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1} * 1{,}227\text{kg m}^{-3} * (21\text{K} - 6{,}3\text{K})$$

$$Q = 18{,}0\text{kJ m}^{-3}$$

$$Oppvarmingsbehov = 18{,}0\text{kJ m}^{-3} * 196{,}8\text{m}^3\text{t}^{-1} * 24\text{t} * \text{d}^{-1} * 365\text{d år}^{-1}$$

$$= \frac{31{,}1\text{GJ år}^{-1}}{3{,}6\text{MJ kWh}^{-1}} = 8\ 638\text{kWh år}^{-1}$$

Dersom en så lar TEK-sjekk beregne varmetap der både ventiler og ventilasjon er satt til 0, gir dette romoppvarming 12 080kWh år^{-1}. Samlet varmetap blir dermed 20 718kWh år^{-1}. Dette stemmer greit med 20 095kWh år^{-1} som er samlet sum for oppvarming og ventilasjonsvarme for TEK97 i *tabell9*. Fremgangsmåten med å omgå uteluftventiler i TEK-sjekk virker troverdig[10].

Varmetapet fordeler seg slik:

Tabell 10: Fordeling varmetap bygningsposter. Kilde: SINTEF TEK-sjekk energi

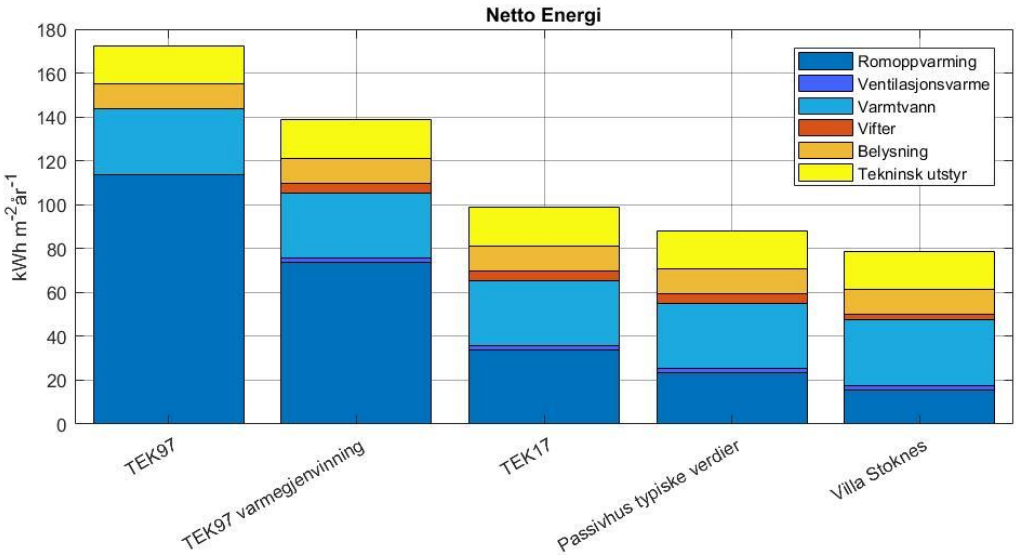
Varmetapspost [$Wm^{-2}K^{-1}$]	**TEK97**	**TEK17**	**Passivhus typiske verdier**
Vegger	0,211	0,173	0,106
Tak	0,072	0,063	0,044
Gulv	0,064	0,050	0,037
Vindu/Dør	0,298	0,146	0,146
Kuldebro	0,000	0,050	0,030
Infiltrasjon	0,222	0,033	0,033
Ventilasjon	0,396	0,396	0,396
Varmetapstall H"	**1,260**	**0,910**	**0,790**

Igjen ser man at det meste av energieffektiviseringen skjer med endringer for vindu/dør og infiltrasjon[11].

[10] Dersom man setter innetemperatur til 20°C, blir avviket 2‰.
[11] Infiltrasjon er diffusjon av inneluft til ytterkonstruksjonen. Varm (og fuktig) inneluft vil drives ut i ytterkonstruksjonen dersom den er utett. Dette fører til varmetap.

7.2 Reelt energibehov for modeller

TEK17 og passivhus tilpasses med ventilasjonsanlegg, varmegjenvinning og alternativ energikilde slik at de oppfyller forskriften og standarden. I alle tilfeller benyttes balansert ventilasjonsanlegg med 80% varmegjenvinning, 18°C tilluft og SFP = 1,5. Passivhuset får en 1kW luft/vann varmepumpe til tappevann, sCOP3,8 og oppfyller krav til passivhusstandard.



Figur 15: Spesifikt energibehov for de forskjellige byggene. Tallgrunnlag tabell 12

7.3 Dimensjonerende effektbehov

Med bakgrunn i husenes beregnede varmetapstall *tabell 12* og laveste gjennomsnittlige 3-døgnperiode for Oslo-området over en 30-års periode gitt i Byggforskserien datablad 451.021, kan man beregne dimensjonerende effektbehov:

$$\dot{Q} = H'' * A_{BRA} * (T_{inne} - T_{\theta 3}) \qquad (5)$$

$$\text{Eks: } \dot{Q}_{TEK97} = 1{,}280\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1} * 164\text{m}^2 * (21\text{K} - -19{,}8\text{K}) = 8{,}6\text{kW}$$

Der $T_{\theta 3}$ er -19,8°C for Oslo-området.

Tabell 11: Dimensjonerende effektbehov alle bygg

	TEK97	TEK97 med Varmegjenvinning	TEK17	Passivhus
$\dot{Q}_{dimensjonerende}$ *[kW]*	8,6	6,4	4,0	2,7
Spesifikk effekt [W m^{-2}]	52	39	24	16

Dette viser at det er relativt store forskjeller i det nødvendige effektbehovet for de forskjellige anleggene. TEK97 trenger tre ganger så stort anlegg som passivhuset. Dimensjonerende spesifikt effektbehov regnes ofte som 30W m^{-2} for TEK17 og 15W m^{-2} for passivhus. Referansemodellen for TEK17 har en del lavere behov enn dette. Allikevel stemmer effektbehovet godt for passivhuset. Dette antyder et større rom for variasjoner og tilvalg for TEK17 enn for passivhus.

Ettersom ideen med denne oppgaven er å varme boligene ved hjelp av sesonglagret varme, må man se på effekten som kan leveres fra et slikt varmelager. Forsøk gjort på NMBU viser at man kan hente rundt 50W m^{-1} brønn i den kaldeste perioden fra et riktig dimensjonert varmelager (Petter H. Heyerdahl, NMBU). Varmelageret for referansemodellen i denne oppgaven vil ha 20m dype brønner og det gir et anslått wattopptak 1kW pr brønn. Bygget etter TEK97 med varmegjenvinning trenger dermed 6,4 brønner for å kunne motta tilfredsstillende effekt i den kaldeste tredøgnperioden i siste 30-års periode. Det betyr at et riktig dimensjonert varmelager vil kunne levere nok effekt til alle byggene med unntak av TEK97 (uten varmegjenvinning) i de kaldeste periodene.

7.4 Energibehov oppsummert for alle bygg

Tabell 12: Oversikt over energibehovet for bygningene med ventilasjonsanlegg og 80% varmegjennvinning.Kilde: SINTEF TEK-sjekk energi

Post	**TEK97**[12]	**TEK97 med varmegjenvinning**	**TEK17**	**Passivhus typiske verdier**	**Passivhus «Villa Stoknes»**
Romoppvarming	18 679	12 110	5 547	3 839	2 553
Ventilasjonsvarme		289	288	288	343
Varmtvann	4 885	4 885	4 885	4 885	4 885
Vifter		718	718	718	412
Belysning	1 868	1 868	1 868	1 868	1 868
Tekninsk utstyr	2 873	2 873	2 873	2 873	2 873
Netto energi [kWh år^{-1}]	**28 304**	**22 743**	**16 179**	**14 471**	**12 933**
Herav oppvarming [kWh år^{-1}]				**4 172**	**2 896**
Spesifikt behov [kWh m^{-2}år^{-1}]	173	139	**99**	**25**	**18**
Krav spesifikt behov [kWh m^{-2}år^{-1}]	Ingen	Ingen	110	19,6	19,6
Resultat	**Godkjent (97)**	**Godkjent (97)**	**Godkjent**	**Ikke godkjent**	**Godkjent**
Energiforsyning el[13] ***[kWh år^{-1}]***	**30 028**	**23 907**	**16 773**	**11 218**	**9 570**
Kommentar				1kW luft/vann	1kW luft/vann

Tabell 13: Oppsummering varmetapstall. Kilde SINTEF TEK-sjekk energi.

Varmetapspost [Wm^{-2}K^{-1}]	**TEK97**	**TEK97 med varmegjenvinning**	**TEK17**	**Villa Stoknes**
Vegger	0.209	0.209	0.171	0.085
Tak	0.144	0.072	0.063	0.039
Gulv	0.064	0.064	0.050	0.033
Vindu/Dør	0.317	0.317	0.156	0.127
Kuldebro	0.000	0.000	0.050	0.023
Infiltrasjon	0.222	0.222	0.033	0.017
Ventilasjon	0.396	0.079	0.079	0.079
Varmetapstall H"	**1.280**	**0.960**	**0.600**	**0.400**

[12] Avvikende verdier fra *tabell 9* skyldes forskjell mellom *simulering* og *fullstendig kontroll*. Gjelder hele tabellen.
[13] Man ser at energikilde ikke har betydning for energikrav i TEK.

Tabell 14: Oppsummering av bygningsdelene.

Bygningsdel	**TEK97 (Alle)**	**TEK17**	**Passivhus typiske verdier**	**Passivhus «Villa Stoknes»**
Vegger [mm]	200	250	400	435
Tak [mm]	250	300	400	465
Gulv [mm]	250	400	450	450
14.6% Vindusareal [m^2]	22.4	22.4	22.4	22.4

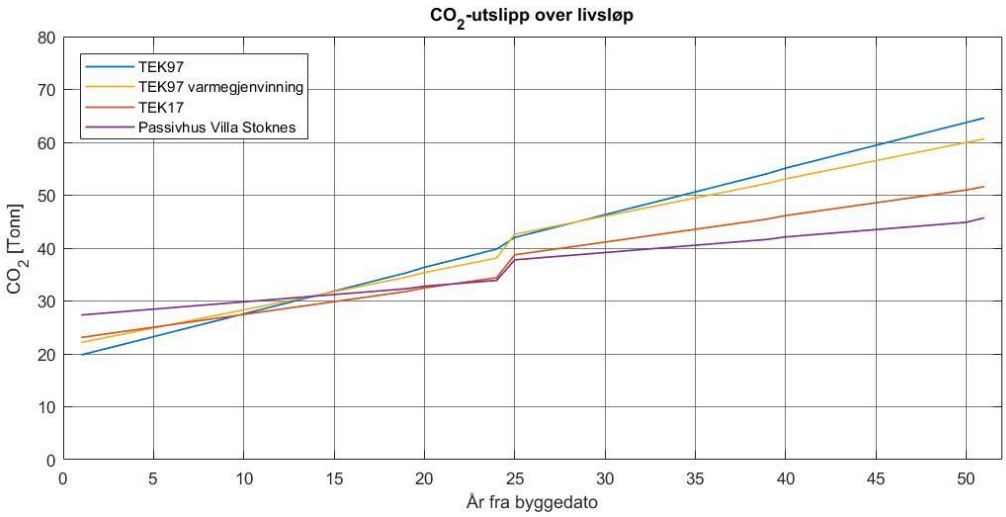
Det kreves nøye prosjektering, materialvalg og utførelse for at passivhuset skal oppnå riktig spesifikk energibehov. Verdiene fra Villa Stoknes er ikke noe man kan plotte inn i et dataprogram uten videre. Det er lett å sette opp en tabell og påstå lekkasjetall n_{50} = 0.3 og Ψ ned mot 0.023, men det kreves dokumentasjon for å kunne sannsynliggjøre dette. Derfor lot det seg ikke gjøre å hevde slike verdier for den opprinnelige passivhusmodellen. Det er også viktig å påpeke at Villa Stoknes hadde et imponerende vindusareal på 24,8% BRA, mens den godkjente «Villa Stoknes» i *tabell 12* bare har 15% vindusareal.

8 CO_2e utslipp

Utslippene knyttet til norske boliger vil i utgangspunktet følge likningen for en linje $y = ax + b$. Likningens første ledd viser tidsavhengige utslipp og utgjør stigningstallet for linjen. Et tidsavhengig utslipp vil i denne sammenhengen være utslipp knyttet til produksjon av den energien som benyttes gjennom husets driftsfase. Det andre leddet kalles konstantleddet og i denne sammenheng vil dette representere utslipp knyttet til produksjon av byggematerialer og selve bygget før det blir tatt i bruk. Kurvene i *figur 16* viser også noen sprang og dette skyldes at enkelte bygningsdeler må skiftes etter endt levetid. De skjerpede energikravene i TEK fokuserer for det meste på å redusere de tidsavhengige utslippene, men sier lite eller ingenting om konstantleddet. Noe av formålet med undersøkelsene i denne oppgaven er nettopp å se på forholdet mellom stigningstall og konstantledd. Det vil for eksempel være interessant å se forskjellen mellom lave utslipp knyttet til bygningskropp (konstantledd) og lave utslipp knyttet til forbruksstrøm (stigningstall).

For å bergene CO_2e-utslipp benyttes livsløpsprogrammet OneClick LCA. Programmet inneholder EPDer for alle relevante norskproduserte byggematerialer. For å få et korrekt bilde av utslippene over tid, må man også kompensere for beregnet levetid for de forskjellige produktene.

Utslippene for byggene beskrevet i kapittel 7 forløper slik:



Figur 16: Grafisk fremstilling av utviklingen i utslipp over 50års livsløp. Tallgrunnlag fra tabell 29 Kilde: One Click LCA

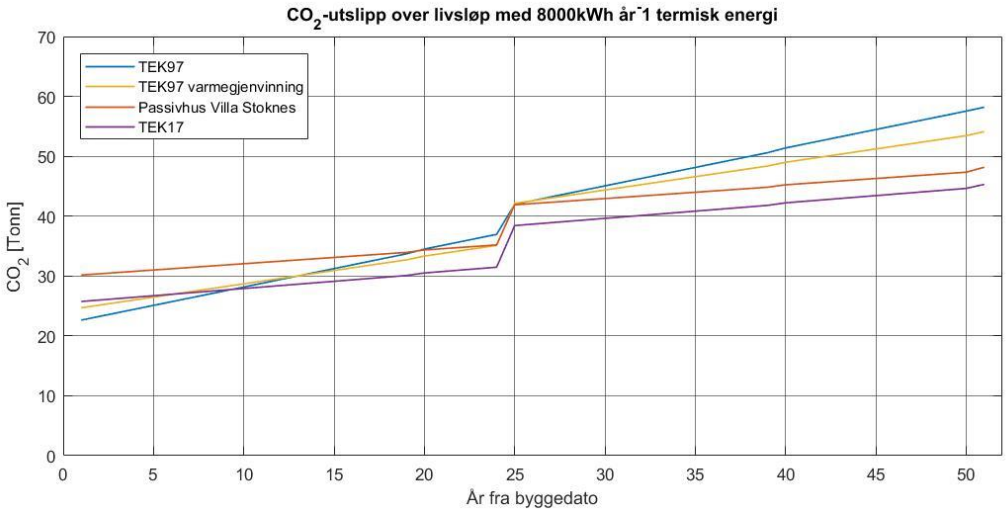
Det er lite som skiller TEK17 og passivhuset. Man ser for eksempel at konstantleddene er relativt like og at de tidsavhengige utslippene varierer noe mer. Dette følger naturligvis av at byggene har forskjellig energibehov og dermed forbruker ulik mengde elektrisk energi. TEK97 uten varmegjenvinning har sterkest stigning og kommer dårligst ut. Hva skjer dersom man reduserer stigningstallet til utslippene? Dette kan for eksempel gjøres ved å bytte 8 000kWh elektrisitet med 8 000kWh år^{-1} sesonglagret varme.

Tabell 15: Energibehov til de forskjellige byggene med innslag av 8 000kWh år-1. Kilde SINTEF TEK-sjekk energi og egne beregninger.

Post	**TEK97 sol VBV**	**TEK97 med varmegjenvinning og sol VBV**	**TEK17 sol VBV**	**Passivhus sol VBV**
Netto [kWh år^{-1}]	28 304	22 743	16 179	12 933
Romoppvarming [kWh år^{-1}]	18 679	12 110	5 547	2 553
Varmtvann [kWh år^{-1}]	0,7 x 4 885	0,7 x 4 885	0,7 x 4 885	0,7 x 4 885
Sum maksimalt innslag termisk [kWh år^{-1}]	-8 000	-8 000	-8 000	-5 972
Ny netto [kWh år^{-1}]	**20 304**	**14 743**	**8 179**	**6 961**
Energiforsyning el [kWh år^{-1}]	**21 373**	**15 519**	**8 520**	**7 251**

Med tilgang på 8 000kWh varme år^{-1}, nærmer flere av byggene seg en nedre teoretisk grense på 7 200kWh år^{-1}, som vises for passivhuset nederst i *tabell 15*.

Utslippsforløpet for bygningene med solfangere og 8 000kWh år^{-1} lagret varme kan vises slik:



Figur 17: Utviklingen i utslipp over livsløp for bygninger med solfangere. Tallgrunnlag tabell 30.Kilde: OneCLickLCA

Utslippene for TEK17 og passivhuset opptrer nå nær parallelt og eventuell uenighet om utslipp knyttet til elektrisitetsproduksjon vil dermed heller ikke være relevant.

I dette tilfellet er det kun konstantleddet som skiller de to beste byggene og dette er lavere for TEK17 enn for passivhuset. Dersom en kan høste og lagre enda mer termisk energi, vil også de andre byggene få redusert stigningstall. I ytterste konsekvens vil alle byggene møte en nedre grense for tidsavhengige utslipp og bygget med det laveste konstantleddet vil da ha lavest utslipp gjennom hele livsløpet.

Dersom man kan dokumentere et reelt overskudd av termisk energi, kan det i et rent utslippsperspektiv være kontraproduktivt å følge de krav til isoleringsevne som stilles etter passivhusstandarden.

9 Varmelager i grunnen (BTES)

Energi lagres i grunnen som varme. Mye av dette er solenergi og det er mulig å tilføre mer varme ved hjelp av oppvarmet vann som energibærer. Dersom man for eksempel har solfangere på taket, kan det varme vannet føres ned i varmelageret, vist i *figur 1*. På grunn av temperaturforskjellen mellom det oppvarmede vannet og grunnen, vil varmen overføres via konduksjon og gå over i omkringliggende masser som løsmasser og fast berg. Dette følger av (6):

$$\dot{Q} = \lambda \frac{dT}{dz} \qquad (6)$$

(Fouriers ligning)

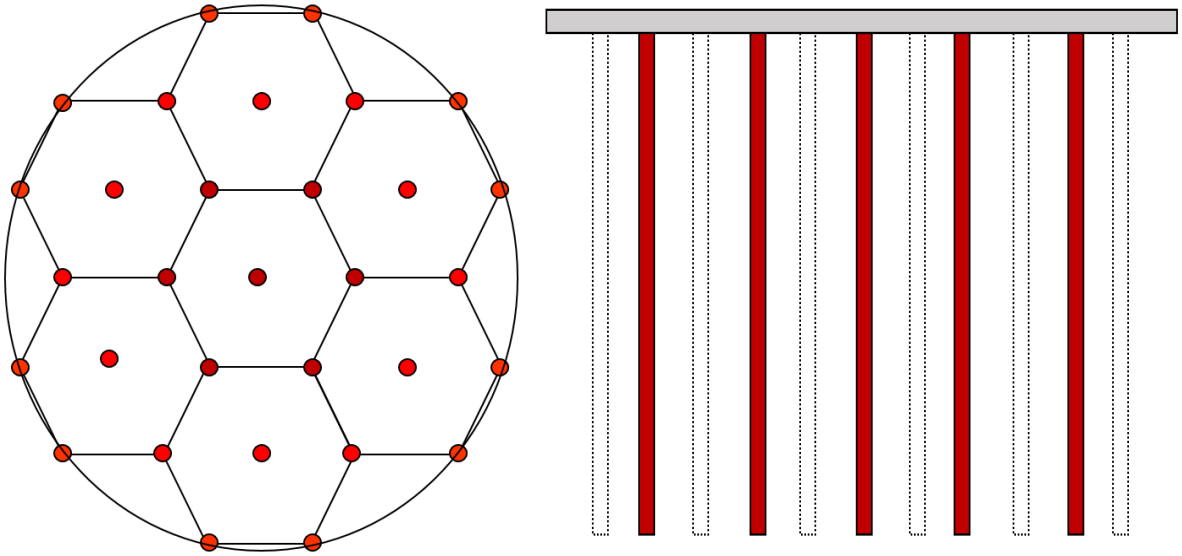
der $\dot{Q}$ er varmestrøm, λ er varmeledningsevnen og $\frac{dT}{dz}$ er temperaturgradienten. Ligningen har dimensjon [W m^{-2}]. I tillegg er varmeledning tidsavhengig som funksjon av materialets diffusivitet, massetetthet og varmekapasitet:

Diffusivitet beregnes: $\alpha = \frac{l^2}{6t_0}$ (7) Og varmeledningsevnen er gitt av: $\lambda = \rho c_p \alpha$ (8)

(Kirsti Midttømme, 2000)

Her er *l* lengden som varmen må igjennom og t_0 er tiden det tar før temperaturen stiger på den andre siden. Diffusiviteten er også forholdet mellom varmeledningsevne og volumetrisk varmekapasitet. Diffusiviteten har dimensjon [m^2s^{-1}].

Grunnens diffusivitet beskriver hvor raskt varmen forflytter seg i materialet. Denne har betydning både for hvor raskt man kan hente varmen opp fra lageret og hvor raskt varmen forsvinner ut av lageret. Dette betyr at man enten får raskt varmeopptak fra lageret- eller lite tap. I tillegg ser man at volumetrisk varmekapasitet er av betydning. Dette er produktet av massetetthet og spesifikk varmekapasitet og oppgis som oftest [MJ $m^{-3}K^{-1}$]. Dette forteller hvor mye varme man kan lagre per kubikkmeter masse. Høy volumetrisk varmekapasitet betyr stor lagringsevne og behov for mindre lagringsvolum. Lite lagringsvolum betyr lite overflate på varmelageret og dermed mindre tap.



Figur 18: Forenklet fremstilling av brønner i et varmelager

Lagringen foregår ved at man borrer serier med brønner 20-120m ned i bakken med en avstand 2-5m mellom hver brønn (Kallesøe, 2019). For eksempel rektangulært eller i sekskantmønster. Lageret kan senere tilpasses og utvides med flere hull etter behov. Lagerets nominelle volum defineres som tverrsnittsarealet definert av de ytterste brønnene multiplisert med dybden. Reelt volum vil være noe større på grunn av varmespredningen (Nielsen, 2019). Toppen må isoleres med 0,5-1m tykt isolasjonslag og dekkes med duk eller lignende for å hindre regnvann i å trenge ned i lageret (Kallesøe, 2019). Varmetapene er relatert til volumets overflate og det betyr at en viktig designparameter er å minimalisere overflaten. For en sylinder betyr dette formfaktor ≈ 1:1, men ettersom toppen har lavere tap enn resten, trenger ikke det nødvendigvis å stemme. En tilnærming kan være å derivere arealet der man bare tar hensyn til sylinderens sider og bunn, for så å sette den deriverte til 0. Dette gir formfaktor ≈ 2:1[14]. I praksis viser det seg at formfaktorer mellom 0,3 og 3 vil ha tilnærmet like god utnyttelse (Kallesøe, 2019).

Grunnen utenfor varmelageret kan ansees som et stadig økende isolasjonsmateriale. Varmespredningen er derfor også tidsavhengig og man er nødt til å gjøre en avgrensning i tid for beregninger. Beregningene som følger viser en kvasistasjonær tilstand etter 3-6 år, som også beskrives av Skarphagen 2019. Temperaturgradienten går mot en asymptote lik T_∞, slik at her må man sette en grense for hva man definerer som influensområdet. Dette kan være

[14] $A = \pi r^2 + 2\pi r\left(\frac{V}{\pi r^2}\right)$, $A^{\cdot}(r) = 2\pi r - \left(\frac{2V}{r^2}\right) = 0,\ r = \left(\frac{V}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$

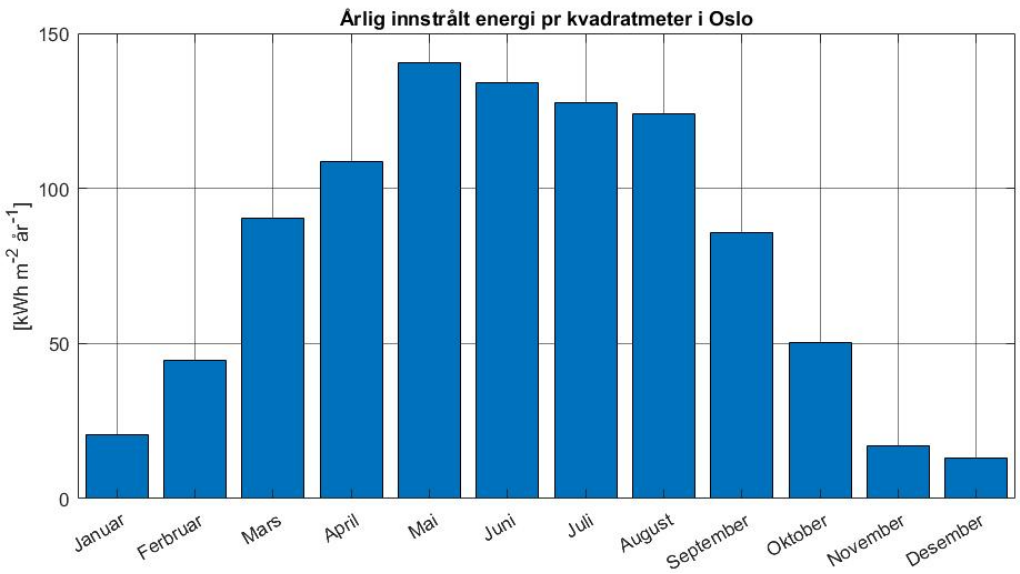
rundt T_∞ +1K. Det viser seg vanskelig å finne beregningsmetoder uten bruk av dedikert programvare, så jeg har laget en helt enkel modell ved hjelp av grunnleggende fysikk. Denne kan antagelig ikke brukes over et uendelig tidsrom. Fremgangsmåten er ikke testet for mer enn ti år, eller sylindriske lagre større enn $r \approx 30$m, $h \approx 60$m. Dette gir varmelagre opp til ca 170 000m^3, som kan holde til å varme svært mange hjem. Innenfor dette området virker metoden å kunne indikere utnyttelsesgraden til et slikt lager.

Et varmelager er følsomt for de termiske egenskapene i grunnen og grunnvannsforekomster vil føre til varmetap som følge av konveksjon. Det må alltid foretas innledende undersøkelser av grunnen for å avklare slike forhold. Beregningene forutsetter at man ikke kommer i konflikt med uregelmessigheter.

9.1 Solinnstråling

I Oslo-området stråler solen med en årlig gjennomsnittlig energi lik 730kWh m^{-2}år^{-1}. Tallene er hentet fra byggforskerien datablad G 472.411 tabell 4a. Her er det tatt utgangspunkt i 8 orienteringsretninger og hvert område er målt med hhv 30° og 90° vinkel mellom horisontalplanet og solen. Dette betyr at man kan få høyere verdier med optimal vinkling mot solen. Dette er anslagsvis breddegrad minus 10° ifølge Byggforskserien datablad 552.455. Optimal orientering er sør, men avvik på 45° er ikke av særlig betydning.

Gjennomsnittlig innstrålt energi i retningene SØ-S-SV med 30° og 90° vinkel blir 970kWh m^{-2}år^{-1} og fordeler seg gjennomsnittlig slik over året:



Figur 19: Innstrålt gjennomsnittlig energi Oslo-området. Beregnet etter Byggforskserien Datablad 472.411

SINTEF byggforsk regner at man kan hente rundt 300-600kWh $m^{-2}$$år^{-1}$ solfangerareal. Man kan anta rundt 450kWh $m^{-2}$$år^{-1}$ (Lappegard, 2014). Referansemodellen i denne oppgaven har takflate rundt 104m^2. Man må ta høyde for at huset blir bygget i flere konfigurasjoner og retninger, så man kan anta et sted mellom 52 og 104m^2 tilgjengelig solfangerareal i riktig himmelretning[15].

Årlig varme til lagring blir dermed mellom 23 400- og 46 800kWh $år^{-1}$ for en enkelt enebolig.

9.2 Temperatur i grunnen

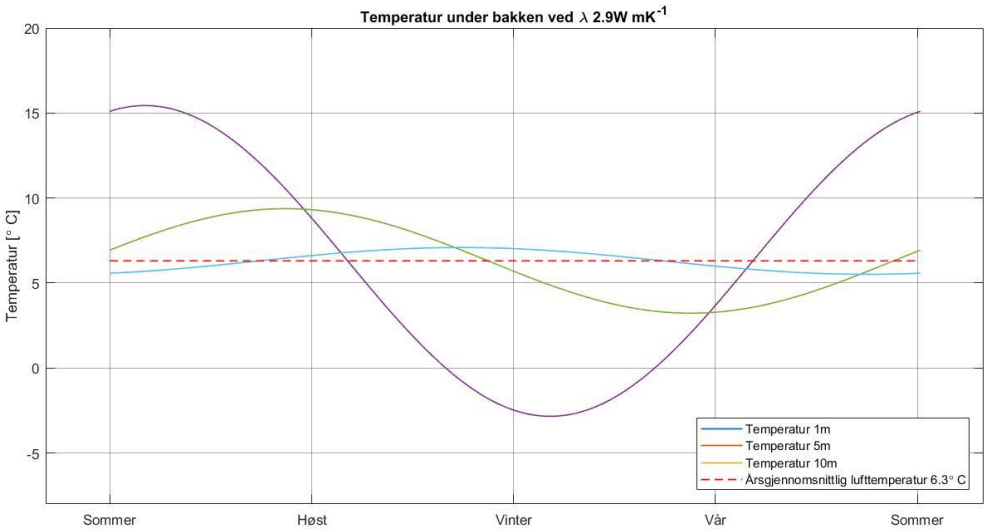
Temperaturvariasjonen som følge av årsvariasjonene vil avta jo lengre ned i bakken man kommer. På et gitt dyp vil temperaturen holde seg konstant over hele perioden. G.P Williams presenterer en ligning i én dimensjon som beskriver variasjonen som funksjon av dybde og tid:

$$T(x,t) = \overline{T} + Aexp\left(-x\sqrt{\frac{\pi}{\alpha t_0}}\right)\cos\left(\left(\frac{2\pi t}{t_0}\right) - x\sqrt{\frac{\pi}{\alpha t_0}}\right) \qquad (9)$$

(G.P. Williams, 1976)

[15] Huset kan konstrueres med varierende areal i annen etasje, så takflaten blir varierende innenfor intervallet. I tillegg kan huset konstrueres med asymmetrisk takflate som kan gi større areal i riktig himmelretning. Huset kan også vendes i øst/vest retning med solfangere på to takflater.

Der $\overline{T}$ er områdets gjennomsnittstemperatur, T er temperaturen ved en gitt dybde og tidspunkt, A er amplituden mellom maksimum og minimumstemperatur, t er tiden og t_0 er tiden for en periode. X er dybden og α er diffusiviteten. Problemet er arealuavhengig. Dette skyldes at arealet på jordoverflaten i prinsippet er helt lik arealet som varmen overstrømmer nedover i bakken. Dette er ulikt de fleste varmeproblemer der varmen sprer seg fra et punkt og utover et stadig større areal (eller omvendt) i et tredimensjonalt problem. Man kan derfor ikke bruke denne ligningen for tredimensjonale formål. Egenskapene til grunnen varierer svært fra sted til sted, så det lar seg ikke gjøre å oppgi absolutte tall. Målinger utført av Norges geologiske undersøkelse viste at varmeledningsevnen til bergarter for Bekkestua i Akershus varierte mellom 2,1 og 3,7W mK^{-1} (Kirsti Midttømme, 2000). Tallene bør være representative også for Oslo og man kan sette λ = 2,9W mK^{-1} for tilnærmingene videre. Under følger ett plott gitt etter denne formelen for årsvariasjon. λ = 2,9W mK^{-1}, månedsmiddeltemperaturer fra -4,8° til 17,5°C og årsgjennomsnittlig lufttemperatur 6,3°C (temperaturer for Oslo-området):



Figur 20: Temperaturvariasjon nedover i grunnen.

Temperaturen stabiliserer seg raskt og allerede 5 meter ned i bakken varierer den kun med ± 3K i forhold til områdets gjennomsnittlige lufttemperatur. På 10m er variasjonen kun ± 0,8K over et helt år. Dette er nyttig informasjon, da man dermed har konstant temperatur over hele året og at denne er lik områdets gjennomsnittstemperatur. I bakken kalles denne temperaturen områdets urørttemperatur og er symbolgitt T_∞. Dersom man skal gjøre nøyaktige og transiente beregninger, kan det være nyttig å legge merke til at temperaturvariasjonen har noe

forsinkelse etter hvert som den strømmer nedover i bakken og er rundt et halvt år forsinket på 10m dyp.

9.3 Størrelsen på et varmelager

Man kan lagre mellom 15 og 30 kWh m^{-3} lagringsvolum (Dirk Mangold, 2012). For å kunne levere nok varme til boligene, kan man innledningsvis ta utgangspunkt i at varmelageret må kunne levere 8 000kWh $år^{-1}$. For å være i stand til å tilføre varme til boligene hele året, kan man sette gjennomsnittlig variasjonsområde for lagerets arbeidstemperatur til å ligge i intervallet 35° og 60°C. Dette gir ΔT = 25K. Gyldendals tabeller og formler i fysikk oppgir følgende data for granitt, men det er viktig å være klar over at disse verdiene varierer:

$$\rho = 2\,700\text{kg m}^{-3}\ og\ C_p = 0{,}8\text{kJ kgK}^{-1}$$

Man kan nå gjøre et overslag over størrelsen til et varmlager for referansemodellen:

$$Q_{akkumulert} = \rho V C_p \Delta T \qquad \text{(Variant av (4))}$$

$$V = \frac{8\,000\text{kWh år}^{-1} * 3\,600\text{s h}^{-1}}{2\,700\text{kg m}^{-3} * 0{,}8\text{kJ kgK}^{-1} * 25\text{K}} = 533\text{m}^3$$

Dersom man bestemmer en borredybde rundt 20m, gir dette en radius for ytterste sirkel brønner 2,9m.

Utregningen viser et kjernevolum som holder seg over 35°C over hele perioden. Resonnementet gjelder for stasjonær tilstand som vil opptre først etter noen år. Man kan nå sette opp betingelsene for at varmelageret skal fungere stasjonært og etter hensikten:

- Urørt temperatur 6,3°C
- Temperaturområde mellom 35 og 60°C
- Dybde 20m
- Radius 2,9m

- Volum 533m^3

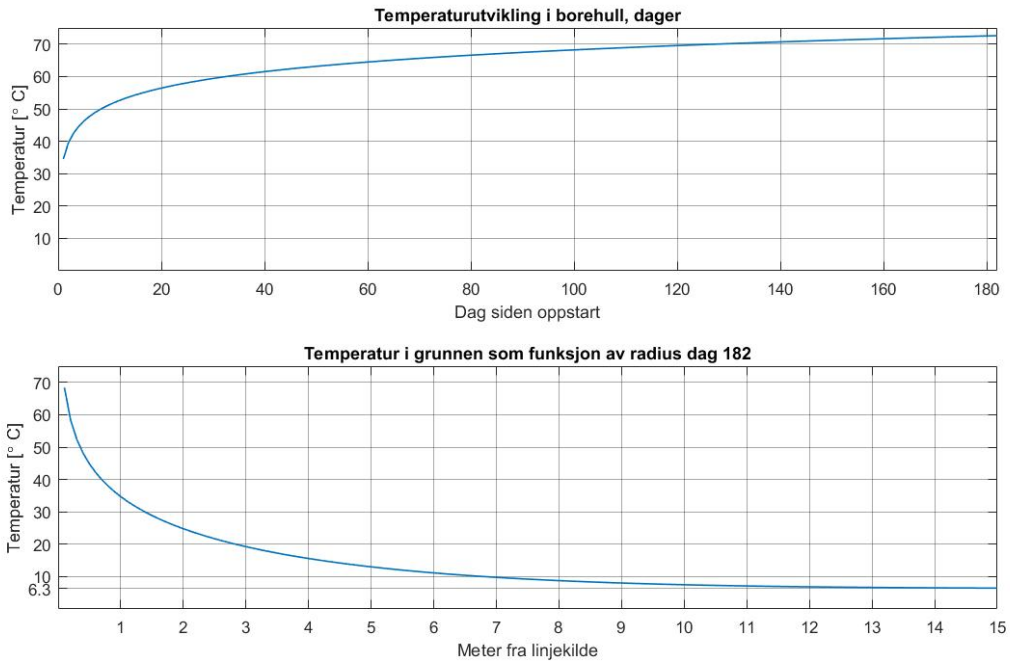
I tillegg må man varme opp et volum der varmetapet finner sted og dette vil være området mellom kjernen og T_∞. Mye av varmen vil akkumuleres og etter noen år vil man innta en kvasi-stasjonær tilstand. I virkeligheten tar det flere tiår før virkelig stasjonær tilstand oppstår (Skarphagen, 2019). Eksakte beregninger for utviklingen i varmelageret er meget kompliserte å utføre, da de er transiente, tredimensjonale og inneholder en mengde data som igjen kan være tidsavhengige. Med transient, menes for eksempel at solinnstrømningen varierer fra sekund til sekund, over minutter- timer- dager- uker- måneder og år, slik som også varmebehovet varierer minutt for minutt og årstid for årstid. Ladning og utladning av varmelageret er i liten grad sammenfallende i tid. Jeg forsøker å forenkle problemet slik at det lar seg gjøre å gjennomføre fornuftige anslag uten bruk av dedikert programvare som TRNSYS (Transient System Simulation Tool) eller lignende.

Man kan betrakte en enkelt brønn som et varmeelement og man kan dermed bruke ligningen for linjekilde (Skarphagen, 2019):

$$\theta(t) = \theta_0 + \frac{q}{4\pi\lambda} Ei(u) \qquad (10)$$

(Whitehead, 1927)

Her er θ temperaturen ved en gitt radius fra brønnen, θ_0 er temperaturen i fjellet før oppvarming, q er varmestrømmen W m^{-1} brønn, Ei er eksponentialintegralfunksjonen $Ei(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-t}}{t}\, dt$ og u er $\frac{\mathrm{r}^2 \mathrm{cp}}{4\lambda \mathrm{t}} = \frac{\mathrm{r}^2}{4\alpha \mathrm{t}}$. Dette gir følgende resultat i MATLAB for modellen, her med 23 400kWh tilført energi over 182dager:



Figur 21: Beregnet oppvarming av grunnen forenklet som en linjekilde og temperaturen ut fra kilde.

Den høye temperaturen skyldes at målepunktet er på selve brønnveggen og at oppladingen skjer over kortere tidsrom enn verdiene som tidligere er beskrevet for stasjonære beregninger. Man ser at temperaturen avtar raskt ut fra brønnen. Dersom man ønsker å beregne mengden energi som lagres i de forskjellige sylinderelementene i *figur 21*, kan dette gjøres etter formelen $2\pi rh * \delta r * C_p * \Delta T$ (Skarphagen, 2019).

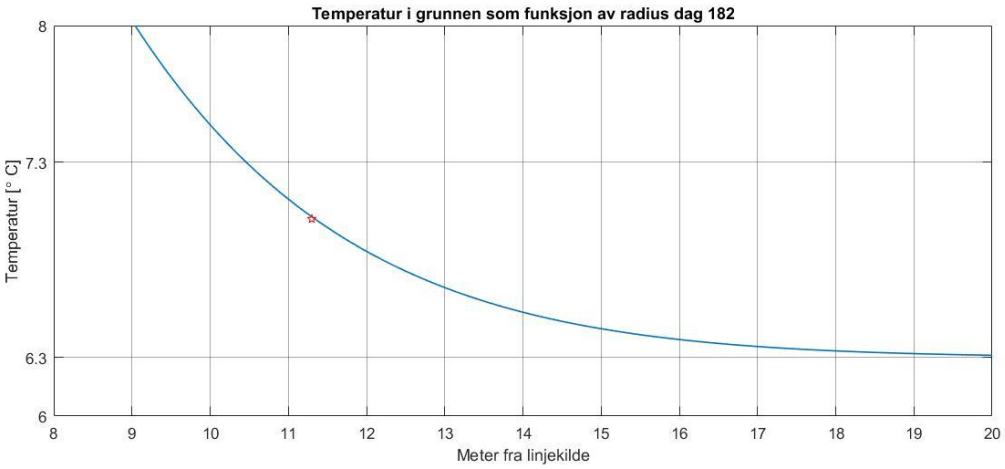
Ved å kombinere (7) og (8) kan man deretter teste strekningen for varmetransporten over 182 dager for hånd:

$$\lambda = \frac{\rho C_p l^2}{6t_0} \qquad (11)$$

(Egen)

$$l = \sqrt{\frac{6t_0\lambda}{\rho C_p}} = \sqrt{\frac{6*3\,600\text{s}*\text{t}^{-1}*24\text{t}*\text{d}^{-1}*182\text{d}*2{,}9\text{J smK}^{-1}}{2\,700\text{kg m}^{-3}*800\text{J kgK}^{-1}}} = 11{,}3\text{m}$$

$T_{11.3m}$ i MATLAB gir 7,01°C og dette passer bra med T_∞ = 6,3°C ± 0,8°K.



Figur 22: Kontroll av temperatur ved 11,3m. Ligning (11) treffer innen den meteren der (T-T_∞) < 1K.

Man kan så lage ny beregning for et 4 års perspektiv og varmen vil spre seg 31,9m i denne perioden. MATLAB $T_{31.9m}$ gir 7,02° C. Man kan derfor forutsette at varmen faktisk sprer seg slik (11) viser. Dette gir en influensradius etter 4 år: $r_2 = r_1 + l \rightarrow 2{,}9\text{m} + 31{,}9\text{m} = 34{,}8\text{m}$. Teorien blir dermed å anta en isolasjonstykkelse etter fire år lik 34,8 meter for dette eksempelet.

9.4 Tilnærming av tap og energiuttak ved stasjonær tilstand.

For tilnærmet varmemotstand benytter man motstand for sylinder og halv sfære, samt 1m isolert skive over lageret. Deretter settes *T1* til $\overline{T}_{varmelager}$ = 47,5°C. Man kan så teste varmetap ved hjelp av standard formelverk[16]:

$$\dot{Q}_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \quad (12) \qquad R_{sylider} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2*\pi*L*\lambda} \quad (13) \qquad R_{sfære} = \frac{(r_2 - r_1)}{4*\pi*r_1*r_2*\lambda} \quad (14) \qquad R_{skive} = \frac{L}{\pi*r^2*\lambda} \quad (15)$$

$$\dot{Q}_{kond} = \Delta T * \left(\frac{2*\pi*L_1*\lambda_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} + \frac{2*\pi*r_1*r_2*\lambda_1}{r_2 - r_1} + \frac{\pi*r_1^2*\lambda_2}{L_2}\right) \qquad (16)$$

(Egen)

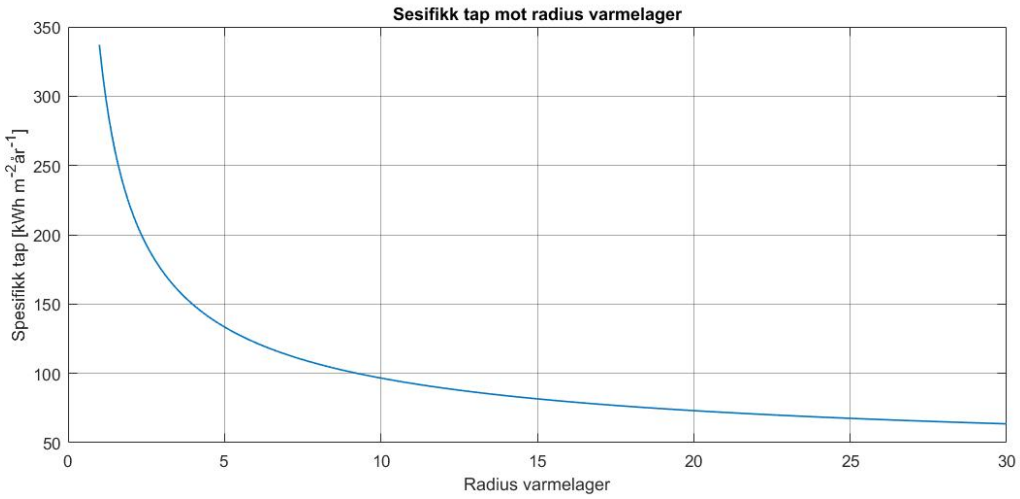
[16] Formlene 12-15 er hentet fra (Lekang, 2019), men ansees standardligninger for varmetransport i flere dimensjoner.

Der ΔT er $(\bar{T}_{varmelager} - T_{\infty})$, L_1 er varmelagerets dybde, λ_1 er varmeledningsevnen i grunnen, r_1 er radius varmelager, r_2 er influensradius etter gitt periode, λ_2 er varmeledningsevnen til isolasjonsmaterialet i toppen og L_2 er tykkelsen på isolasjonen.

$$\dot{Q}_{kond} = (47{,}5°\mathrm{C} - 6{,}3°\mathrm{C}) * \left(\frac{2*\pi*20m*2{,}9\mathrm{W\ mK^{-1}}}{\ln\left(\frac{34{,}8\mathrm{m}}{2{,}9\mathrm{m}}\right)} + \frac{2*\pi*2{,}9\mathrm{m}*34{,}8\mathrm{m}*2{,}9\mathrm{W\ mK^{-1}}}{34{,}8\mathrm{m} - 2{,}9\mathrm{m}} + \frac{\pi*(2{,}9\mathrm{m})^2*0{,}034\mathrm{W\ mK^{-1}}}{1\mathrm{m}} \right)$$
$$= 8{,}5\mathrm{kW}$$

$$8{,}5\mathrm{kW} * 24\mathrm{h} * 365\mathrm{d} = 74\ 100\mathrm{kWh\ år^{-1}}$$

For akkurat dette tilfellet må man tilføre rundt tre ganger mer varme for å opprettholde betingelsene enn den energimengden 52m^2 solfangere gir til rådighet. Man kan sette opp et plott der man sjekker spesifikke overflatetap opp mot radiusen på varmelageret:



Figur 23: Spesifikt overflatetap mot radius på varmekjernen.

Spesifikt varmetap for sylinderen blir 178kWh m^{-2}år^{-1}. Dersom man øker volumet til rundt 20 000m^3 med kjerneradius lik 17,8m, synker det spesifikke tapet til 76,3kWh m^{-2}. Dette betyr at det ikke bare er de absolutte tapene som er volumsensitive. Også de spesifikke tapene er avhengige av størrelsen på varmelageret. Effekttapet for den isolerte oversiden av sylinderen blir rundt 37W. Dette er så lite at det i praksis kan utelates for små overflater.

9.5 Sammenligne tilnærming mot kjente prosjekter

Ettersom metoden i 9.4 antagelig er ny, må resultatene sammenlignes med eksisterende varmelagringsanlegg. HeatStore (VarmeLagring) er et europeisk prosjekt der formålet er å samle sammen informasjon fra varmelagrigsprosjekter i hele verden. Hensikten er å øke kunnskapen, redusere kostnadene og senke terskelen for å satse på slike prosjekter i stor skala. De har skrevet flere rapporter som kan lastes ned på deres nettside www.heatstore.eu. Rapportene har bla annet utfyllende lister der det oppsummeres konkrete erfaringer, konklusjoner og ting man bør undersøke nærmere i fremtiden.

Rapporten *Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned* (Kallesøe, 2019), er deres mest omfattende rapport. Rapporten lister blant annet opp 17 kjente varmelagringsprosjekter (BTES) og presenterer de fleste parameterne for hvert prosjekt. Antagelig ville det være slik at man kan finne svært mange forskjellige erfaringer på nettet og mange måter å oppsummere disse på. Jeg vil derfor kun bruke denne rapporten for sammenligning med egne utregninger, slik at alle tall fremkommer fra samme grunnlag.

Det er slik at man ikke kan vite nøyaktig virkningsgrad for et prosjekt uten at det på forhånd er installert måleutstyr som overvåker både energi inn og energi ut av varmelageret. Derfor er det kun fire prosjekter i denne rapporten som har nok informasjon til å kunne sammenligne virkningsgrad med metoden i kapittel 9.4. *Tabell 16* gjengir hovedtallene fra disse fire prosjektene. Man bør legge merke til at tallene nok er mer omtrentlige enn sikkerheten i tabellen kan gi uttrykk for.

Tabell 16: Parametere og tallgrunnlag til sammenligning av egne beregninger. Kilde: Kallestøe 2019.

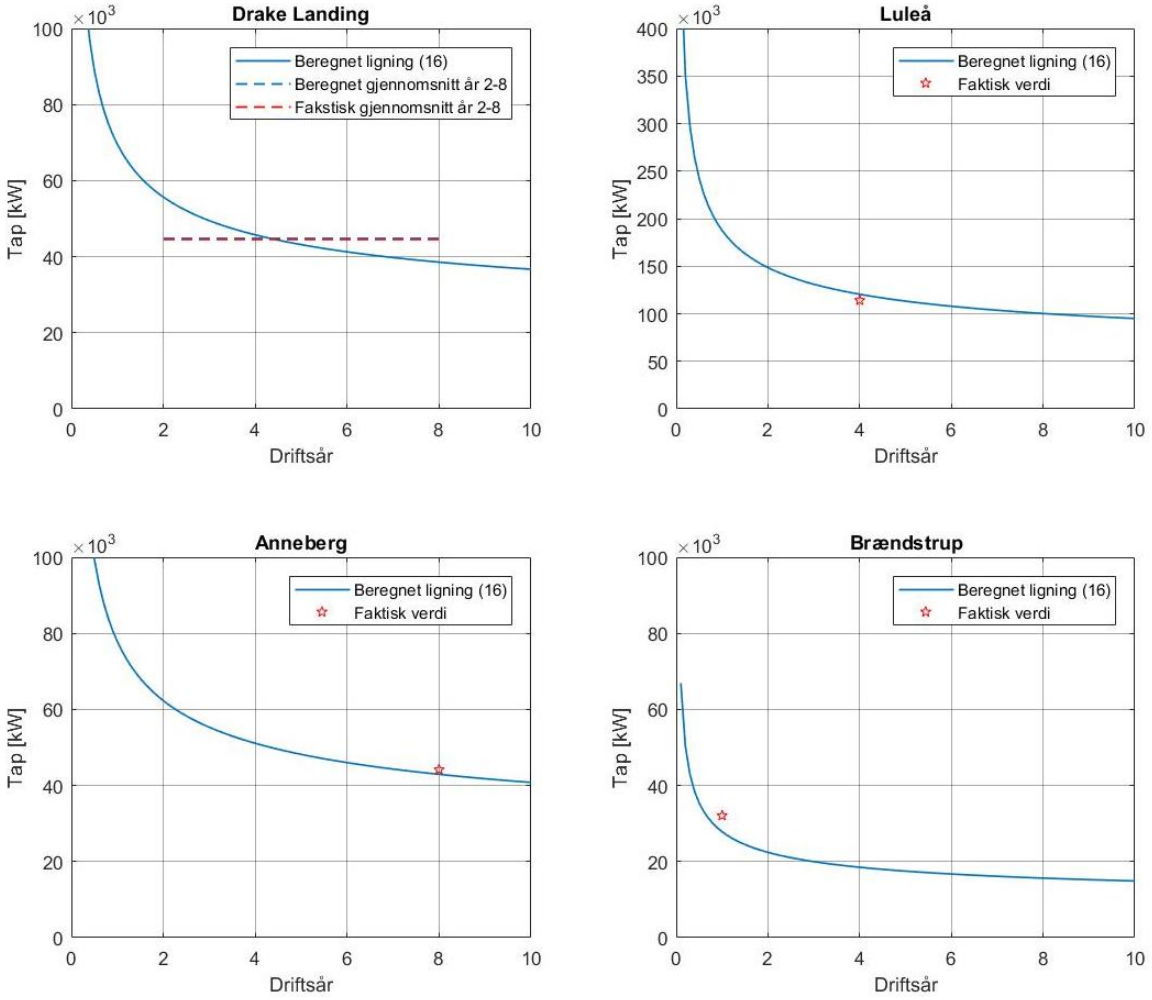
Parametere fra de 4 kjente prosjektene der gjenvinningsgraden er kjent

	Drake Landing	**Luleå**	**Anneberg**	**Brændstrup**
Land	Canada	Sverige	Sverige	Danmark
Boliger	52		50	48
Grunn	Sand/ leire	Krystallin Fjell	Krystallin Fjell	Leire/ Morene
Kapasitet [MWh]	780	2 000	720	444
Tap [MWh]	390	1 000	387	281
$\dot{Q}_{kond}$ *[kW]*	44,5	114,2	44,2	32,1
Effektivitet [%]	50	45-50	46	37
Måletidspunkt [driftsår]	**Gjennomsnitt 2.-8.**	**4.**	**8.**	**1.**
Volum [m^3]	34 000	115 000	59 000	19 000
Areal [m^2]	5 800	14 000	9 600	4 660
Geometri [m^3]	π x17.6^{2}x35	38x44x65	30x30x65	21x21x45
Avstand mellom brønner [m]	2,25	4	3	3
λ [W mK^{-1}]	2	3,42	2,9*	1,42
Volumetrisk varmekapasitet [MJ m^{-3}K^{-1}]	2,3	2,28	2,16*	1,9
ΔT [°C]	39-70	30-65	27-45	20-60
$\bar{T}$ [°C]	55	48	36	40
*T_∞ [°C]***	3,9	2,0	6,6	7,9
*	Verdier for granitt			
**	Egne beregninger etter *tabell 30*			

Man bør kunne anta at varmespredningen opptrer sylindrisk med økende avstand fra kjernen, så de rektangulære lagrene kan omregnes til sylindere[17]. Man får følgende resultat ved å benytte ligning (16), innsatt parameterne fra *tabell 16*:

[17] Radius regnet slik at varmelageret får samme overflateareal som de rektangulære lagrene:

$$(2\pi r^2) + (2\pi rh) = A \;\Leftrightarrow\; (2\pi)(r^2 + rh) = A \;\Leftrightarrow\; r^2 + hr - \left(\frac{A}{2\pi}\right) = 0$$



Figur 24: Fremstilling av egne beregninger ligning (16) og beregningstidspunkt for de kjente prosjektene.

Figur 24 viser overraskende godt samsvar mellom de virkelige prosjektene og estimatene som fremkommer ved hjelp av ligning (16). Resultatene er med all sikkerhet urealistisk gode, men tyder allikevel på at metoden med å betrakte grunnen som et stadig voksende isolasjonsmateriale har noe for seg.

Tabell 17: Avvik mellom egne beregninger likning (16) og faktiske resultater.

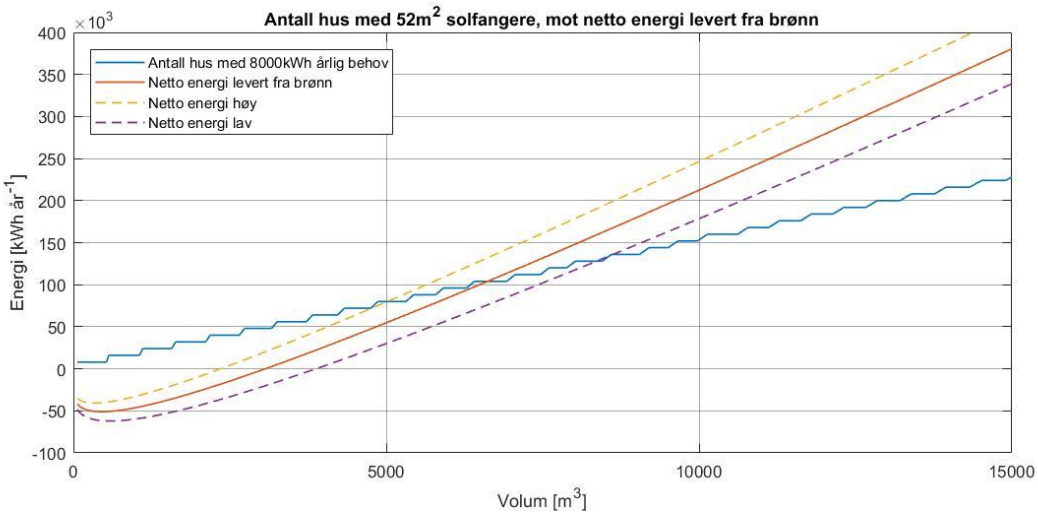
Tabell til figur 24

	Drake Landing	**Luleå**	**Anneberg**	**Brændstrup**
Radius [m]	17,6	24,8	18,3	12,8
$\dot{Q}_{kond}$ *faktiske tall [kW]*	44,5	114,2	44,2	32,1
$\dot{Q}_{kond}$ *ligning (16) [kW]*	44,8	120,5	42,9	27,8
Avvik [%]	**+1**	**+5**	**-3**	**-15**

Formålet med disse beregningene er å anslå muligheten for å kunne etablere et lite varmelager og eventuelt hvor stort det må være for at det skal være økonomisk og gi mening rent energimessig. Med tanke på de mange lokale variablene som påvirker varmestrømmen i hvert enkelt prosjekt, er beregningsmetoden slik jeg ser det brukbar til formålet. Tallene er selvfølgelig meget usikre, men man kan ane at de treffer bedre for beregninger noen år frem i tid enn beregninger gjort i en tidlig fase. Dette skyldes antagelig at varmetapene etter hvert stabiliserer seg og dermed blir mindre påvirket av feilen som oppstår i oppvarmingsperioden de første årene. I denne perioden vil ikke betingelsene om gjennomsnittstemperatur kunne være oppfylt og tapene blir estimert for høyt. Man ser også en større sårbarhet for et eventuelt unøyaktig måletidspunkt i en tidligere fase. Brændstrup er markert etter ett års operasjon (rød stjerne), mens resultatene fra det faktiske anlegget er hentet etter 9 måneders drift. Her ser man at dersom man sammenligner med et tidligere driftstidspunkt, eksempelvis 9 måneder, vil resultatet fra likning (16) (blå linje) nærme seg fasiten og feilen synker fra -15 til -5%. Metoden er i midlertid ikke så nøyaktig at det ville gi mening å angi et så nøyaktig måletidspunkt.

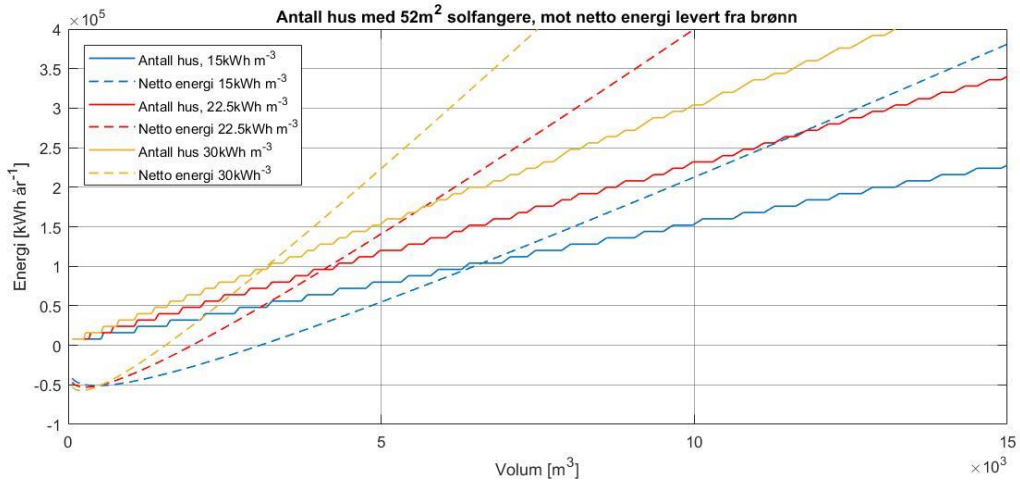
9.6 Anslagsvis antall eneboliger

Formfaktor har ikke vesentlig mye å si innenfor intervallet 0,3-3 (Kallesøe, 2019), derfor kan man lage et plott der man antar konstant dybde 20m og vise utviklingen i netto energi 4. året som funksjon av volum. Man bør legge til linjer ±15% med tanke på usikkerhet for energitap. Man kan visualisere anslagsvis hvor mange eneboliger som må gå sammen for å levere energi dersom man krever at tidligere gitte betingelser opprettholdes. Det er viktig å være oppmerksom på at denne modellen krever at varmelageret holder seg konstant over 35°C hele året, også før man tilfører nok varme til å opprettholde denne betingelsen. Dette gjør at man i starten får en tilsynelatende negativ leveranse av energi. Dette er selvfølgelig ikke tilfelle. I virkeligheten ville bare gjennomsnittstemperaturen i varmelageret synke under 47,5°C (men minimumstemperaturen vil aldri synke under 6,3°C som er urørttemperaturen for Oslo-området).



Figur 25: Fremstilling av netto energimengde etter antall bidragsytere.

Utregningene er gjort på bakgrunn av det faktum at lav ΔT vil føre til lavere varmetap. *Figur 25* viser at man trenger et sted mellom 9 og 16 eneboliger der alle leverer 23 400kWh $år^{-1}$ før tilført energi er nok til å holde 35°C minimumstemperatur gjennom hele året, samt levere 8 000kWh $år^{-1}$ pr bidragsyter. Det er allikevel verdt å legge merke til at 3 av de fire kjente prosjektene fra *tabell 16* har høyere maksimumstemperatur enn forutsatt for referansemodellen. Man kan derfor se hva som skjer dersom man øker temperaturen slik at man lagrer hhv 22,5kWh m^{-3} og 30kWh m^{-3}:



Figur 26: Fremstilling av netto energimengde ved 15, 22.5 og 30 kWh m^{-3}

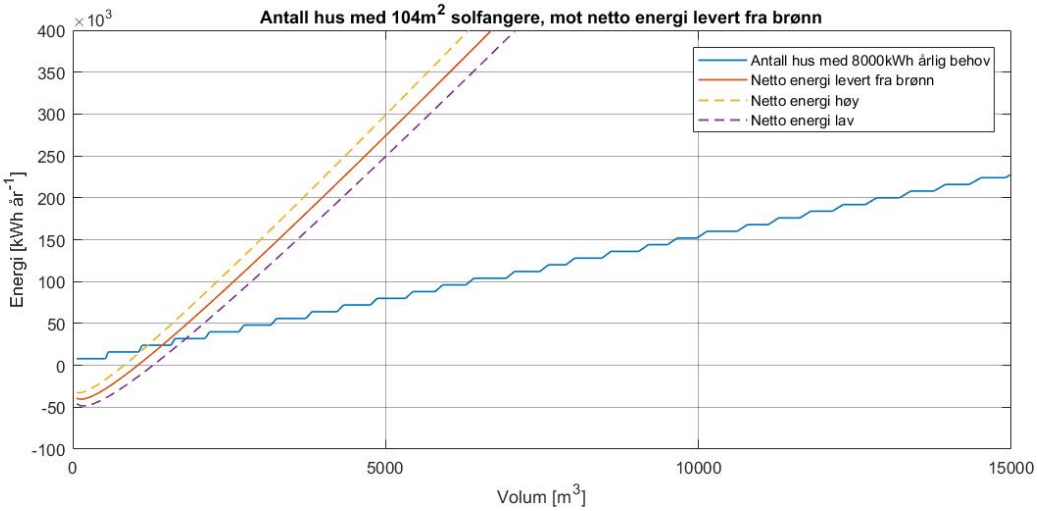
Man får lagret mer energi per overflateareal, men man trenger også flere hus til å varme opp grunnen. Resultatet antyder at behovet for bidragsytere antagelig ikke endres dersom man

øker energilagringen til mellom 22,5 og 30kWh m^{-3}. Sistnevnte ville derimot medføre en maksimumstemperatur rundt 85°C og det vil neppe la seg gjøre.

Solfangere og energiutbyttet er beregnet ut fra et hus med symmetrisk saltak og gjennomsnittlig orientert SØ-S-SV retning. Det vil for mange nye bygg være mulig med flate tak eller pulttaksløsning som vil kunne gi opp mot dobbelt så mye solfangerareal. Dette betyr opptil 104m^2 solfangere og årlig innstrålt energi:

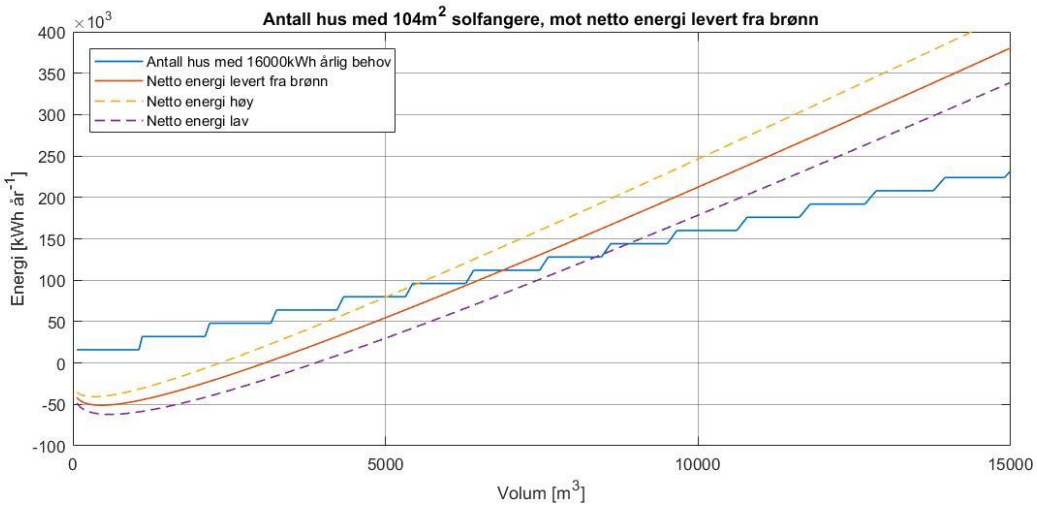
$$104\text{m}^2 x 450\text{kWh m}^{-2}\text{år}^{-1} = 46\,800\text{kWh år}^{-1}$$

Benytter man samme beregningsmodell som tidligere, betyr dette at man ikke trenger mer enn 2-3 eneboliger for å kunne hente 8 000kWh $år^{-1}$:



Figur 27: Antall hus med 104m^2 solfangere og 8 000kWh $år^{-1}$ behov.

Det vil også være mulig å kreve mer varme tilbake, for eksempel 16 000kWh $år^{-1}$ og dette vil kunne leveres av 4-8 sammenkoblede bygg. Dersom en slik løsning blir valgt, vil man kunne hente nok varme også til byggene konstruert etter TEK97.



Figur 28: Antall hus med 104m^2 solfangere og 16 000kWh år^{-1} behov.

En annen mulig løsning kan være å orientere huset slik at takflatene (eller solfangerne) retter seg i Ø-V retning. Benytter man tallene fra Byggforskserien datablad 472.411 kan man dermed hente om lag 60% mer energi enn i en ren Sørvendt retning. Dette vil gi rundt 37 000kWh år^{-1}, men forutsetter da 104m^2 solfangerareal.

Solfangerne kan som en alternativ løsning også monteres som ytterkleding mot øst, sør og/ eller vest. Jeg regner ikke på denne muligheten, men det er mange variasjoner som vil gi betydelig mer solfangerareal enn 52m^2. Jeg tviler på at optimering av takutførelse og orientering kan oppfattes som en begrensning hverken økonomisk eller estetisk dersom det reelle alternativet er å bygge et passivhus.

Konklusjonen ut fra disse tallene er at det antagelig vanskelig lar seg gjøre å benytte et så lite varmelager som det én enebolig kan varme. Et realistisk scenario vil nok være at flere boliger samarbeider om én brønnpark, men nøyaktig konfigurasjon vil måtte beregnes i hvert enkelt tilfelle.

10 Investeringskostnader og nåverdiberegninger for energitiltakene

Ettersom det er svært mange variabler og hensyn knyttet til problemstillingen, gjør jeg kostnadsberegninger av tre forskjellige utvalgte scenarier. De er ment å gjenspeile henholdsvis maksimal kostnad pr bygg, maksimalt innslag solenergi med lavest mulig antall boliger og siste scenario vil være sammenlignbare tall for 3 prosjekter med likt omfang.

- *Scenario 1:* Beregning for energitiltak med fast termisk energitilskudd 8 000kWh $år^{-1}$ pr bolig. Her antar man at hvert prosjekt kan gjennomføres med én enkelt enebolig og 52m^2 solfangere.
- *Scenario 2:* Beregning der alle bygg får dekket hele sitt teoretiske oppvarmingsbehov med solvarme fratrukket 30% av varmtvannet. Her vil antallet boliger som må delta for at prosjektet skal la seg gjennomføre variere fra prosjekt til prosjekt. Byggene får både 52- og 104m^2 solfangere.
- *Scenario 3:* Beregning der alle bygg får dekket hele sitt teoretiske oppvarmingsbehov med solvarme fratrukket 30% av varmtvannet. Her er antallet eneboliger satt til 6stk, som er det minste antallet som lar seg gjennomføre for TEK97 med varmegjenvinner og 104m^2 solfangerareal. Denne beregningen gir likt elektrisitetsforbruk for alle boliger (kun teknisk strøm), samtidig som den kompenserer for byggenes forskjellige energibehov med tanke på omfanget av brønner og solfangere.

10.1 Pris varmelagring og solfangere

Solfangere og varmelager er relativt ukjent i Norge og komponentene er ikke hyllevare. Det er derfor benyttet Solfangere fra Inaventa AS og selskapet Noranergy AS benyttes til levering av selve brønnpark frem til samlestokk. Komponentene leveres direkte i byggeprosess og prisene er dermed forbrukerpriser.

I følge styreleder John Bernhard Rekstad i solvarmeselskapet Inaventa, kan man årlig regne med 300-500kWh per kvadratmeter solfangerareal. Dette stemmer bra med både byggforsk og Lappegard 2014. Kundekostnaden på dette systemet vil ligge på 1 700NOK m^{-2} og leveres da som en integrert bygningsdel og godkjent yttertak. Det vil si at solfangerne vil erstatte det ytterste laget med taktekking og vil tilpasses i bredde og høyde etter takets dimensjoner.

Eventuelle piper og takvinduer tilpasses med passive elementer. Det er mulig man kan finne billigere varianter av solfangere, men jeg ser det som en forutsetning at dette er en integrert bygningsdel. Dette vil føre til en besparelse i ytterste takbelegg rundt 500NOK m^{-2} for bygg med integrerte solfangere, anslått etter normalt billig takbelegg. Det regnes 2% årlige vedlikeholdskostnader og 25år levetid på dette systemet. Systemet er beregnet å bidra med rundt 36,8kg CO_2e m^{-2} (Bo Carlsson, 2014).

I tillegg til dette opplyser Noranergy AS 1 000NOK m^{-1} for fjellboring og komplett rørsystem frem til distribusjonssystem for vannbåren varme i boligen. I følge Wilhelm Huus-Hansen hos leverandøren Noranergy, regnes det livstid på rør og brønner og knapt vedlikeholdskostnader på denne delen[18].

10.2 Pris vannbåren varme og varmesentral

Det er mange måter å beregne slike priser på og svært mange hensyn å ta. Faktastudien Cowi for Enova (Cowi AS, 2012) og Almås 2014 skiller mellom passivhus og TEK17 på grunn av lavere effektbehov. Faktastudien 2012 (Cowi AS, 2012) viser at passivhuset kan klare seg med halvparten så mange radiatorer og kortere rørføring enn TEK17-bygget. Sistnevnte må ha varme i alle rom og bør dermed kunne sammenlignes med byggene etter TEK97. Man skal også legge merke til at prognosesenteret for Enova (Prognosesenteret, 2010) viser ca 13% prisøkning mellom gulvvarme og radiatorer. Gjennomsnittlig differanse mellom TEK17 og passivhus blir rundt 28%. DiBK egne rapporter om merkostnad for vannbåren varme konkluderer med en merkostnad helt ned mot 19NOK m^{-2} (Havskjold, 2020). I alle tilfeller er prisene eksklusive varmesystem.

[18] Eventuelt vedlikehold kan forsvares i vedlikeholdsposten for solfangere

Tabell 18: Oversikt over forskjellige kostnadsanslag for VBV

Kostnader VBV regulert [NOK]

	Min	**Maks**	**TEK17**	**Passivhus**
Prognosesenteret 2010 for Enova	863 radiatorer	975 gulvvarme		
Faktastudie 2012 COWI for Enova			750	588
Almås 2014			900	600
Skeie 2016	788	1050		
Havskjold 2020 for Energi Norge og Norsk Fjernvarme	19 merkostnad	213 merkostnad		

Flere rapporter vektlegger innovasjon og utvikling innen bransjen, slik som Almås 2014 om kostnadsøkninger rundt skjerpede energikrav. Dette er et argument for at en beregnet merkostnad i fremtiden vil kunne reduseres over tid[19]. Prognosesenteret 2010 påpeker 30-40% redusert kostnad for vannbårent system i Sverige. Faktastudien 2012 og Havskjold 2020 skriver på sin side at det er avgjørende med god prosjektering for å redusere kostnadene. *Tabell 32* viser at boligen TEK17 vil ha reduserte produsentkostnader til elektriske ovner og pipe rundt 66 300NOK dersom de går over til vannbårent system. Dette utgjør 404NOK m^{-2} og forklarer noe av den tilsynelatende store forskjellen i beløpene. Ser man på faktastudien blir laveste merkostnad dermed 345NOK m^2 og dette er ikke så langt unna 213NOK som er høyeste merkostnad for Havskjold 2020. I praksis vil antagelig ikke et vannbårent oppvarmingssystem ansees som ekstrakostnad for nye eneboliger. Almås 2012 og 2014 forutsetter at alle nyere bygg har slikt system og Havskjold 2020 er laget nettopp med tanke på DiBK eventuelle planer om å gjøre vannbårne systemer forskriftspliktige i fremtiden. Med bakgrunn i overnevnte, er det naturlig å bruke (404 +213) NOK m^{-2} som kostnad for TEK17 og 28% besparelse for passivhusets lavere systemomfang, gir 444NOK m^{-2}.

Anlegget kobles til en varmesentral slik som vist i *figur 1* og denne fungerer også som varmtvannsbereder. Til beregning av kostnader brukes OSO Optima Triple Coil 400 3+9 med

[19] Dette viste seg derimot å ikke stemme for passivhuset.

utsalgspris 30 353NOK[20] og til sammenligning benyttes OSO Saga S 250 med utsalgspris 6 095NOK[21]. Begge priser er dermed kundekostnad.

10.3 Pris varmepumper

Det forutsettes 1kW tappevannsvarmepumpe for å få passivhuset godkjent. Denne har fastsatt sCOP 3,8 etter Tek-sjekk energi. Disse vil i stor grad være like for alle boliger, da varmtvannbehovet vil være veldig likt og vil koste et sted mellom 20- og 40 000NOK installert[22]. Prisen settes til 30 000NOK før marginer.

For det helelektriske passivhuset blir det benyttet en luft/vann varmepumpe med 3kW installert effekt. En slik varmepumpe vil koste mellom 60- og 130 000NOK[23]. Almås 2014 skriver 18 000NOK per installert kW og det vil gi 61 900NOK justert. Det er åpenbart helt i nedre grense av hva som er sannsynlig. Det vil senere bli lagt på 15% margin, men dette er allikevel et forsiktig estimat.

10.4 Støtteordninger

Det er flere eksempler på støtteordninger som gis til forskjellige bygningsmessige energitiltak. For eksempel ble Block Watnes passivhus på Klemetsrud ifølge Professor Tormod Aurlien ved NMBU, billigere enn vanlige hus på grunn av fritak for tilknytningsavgift til fjernvarme. Andre eksempler kan være gunstige husbanklån og Enovastøtte.

Det forutsettes at det gis de samme støtteordninger til miljøvennlige bygg, uavhengig av om det er nettopp NS3700 som oppfylles eller ikke.

10.5 Sammenstilling av kostnadene

Flere av tallene er produsentkostnad og inkluderer ikke marginer og andre kostnader *(figur 4)*. Man må da omregne til forbrukerpris, som er den prisen man som boligeier og låntager må

[20] https://vvskomplett.no/bereder-varmtvann/frittstaende-bereder/oso-optima-triple-coil-eptrc [07.05.2020]
[21] https://vvskomplett.no/oso-saga-s-250-l-bereder [07.05.2020]
[22] https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/tappevannsvarmepumpe [07.05.2020]
[23] https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/luft-til-vann-varmepumpe [07.05.2020]

forholde seg til. Det er mye usikkerhet og antagelser rundt disse tallene og ingen firmaer vil ha samme kalkyler og marginer. Man er derfor nødt til å gjøre en eller annen skjønnsmessig form for kompensasjon mellom produsentkostnad og forbrukerkost. Antagelig ligger differansen et sted mellom 15-og 100%. Jeg setter en forsiktig margin 15% og dette gjør at passivhuset kommer godt ut med tanke på de store investeringskostnadene.

Tabell 19: Eksempler på investeringskostnader. Scenario 1

Scenario 1

Bygningselement [NOK]	**TEK97**	**TEK97 varme-gjenvinning**	**TEK17 varmelager**	**Passivhus varmelager**	**TEK17 helelektrisk**	**Passivhus helelektrisk**
Bygningskropp		99 700	260 500	564 300	260 500	564 300
Varmelager	140 000	140 000	140 000	140 000		
Solfanger	88 400	88 400	88 400	88 400		
Yttertak	-29 900	-29 900	-29 900	-29 900		
1kW luft/tappevann						34 500
Pipe					28 175	
Elektriske panelovner	76 400	63 400			48 100	30 500
Vannbåren distribusjon	116 400	116 400	116 400	83 800	116 400	83 800
Varmesentral	30 300	30 300	30 300	30 300		30 300
Bereder	6 100	6 100			6 100	6 100
Luft/vann varmepumpe						71 200
Sum med VBV:	**345 200**	**444 900**	**605 600**	**876 900**		**784 100**
Sum med panelovner:	**82 500**	**169 200**			**342 800**	**635 400**

Her er kostnadene satt opp som om varmelageret vil fungere for en enebolig. Utregningene viser at dette antagelig ikke er tilfelle og man bør derfor også sette opp et scenario som baserer seg på disse utregningene. Alle måter å sette opp disse kostnadene vil kunne diskuteres på en eller annen måte, fordi man sammenligner prosjekter med forskjellig forutsetninger og omfang. Til syvende og sist må hvert enkelt prosjekt dimensjoneres for seg.

Følgende oppsett sammenligner prosjekter der 2-15 bygg vil måtte samarbeide og tar utgangspunkt i *figur18* med ca. 3m avstand mellom brønnene. Dette vil i praksis være det nærmeste man vil bore slike brønner. Konfigurasjonen kan optimaliseres, så brønnkostnaden er å anse som makskostnad. Denne gangen får alle bygg dekket sitt maksimale oppvarmingsbehov via varmelagring.

Tabell 20: Eksempler på investeringskostnader. Scenario 2

Scenario2

	Eksempler på kostnader for prosjekter med varmelager. Basert på maksimalt oppvarmingsbehov				
	52m^2 solfangerareal		104m^2 solfangerareal		
	TEK17	**Passivhus**	**TEK97 med varmegjenvinning**	**TEK17**	**Passivhus**
Maksbehov [kWh år^{-1}]	9 000	6 000	15 500	9 000	6 000
Antall boliger [stk]	15	8	6	3	2
Radius [m]	12,0	7,1	9,9	5,4	3,6
Antall brønner pr hus [stk]	4,1	2,9	6,4	4,3	3,5
Investeringskostnad [NOK]					
Bygningskropp	260 500	564 300	99 700	260 500	564 300
Varmelager	82 000	58 000	128 000	86 000	70 000
Solfanger	88 400	88 400	176 800	176 800	176 800
Yttertak	-29 900	-29 900	-59 800	-59 800	-59 800
Vannbåren distribusjon	116 400	83 800	116 400	116 400	83 800
Varmesentral	30 300	30 300	30 300	30 300	30 300
Sum med VBV:	**547 600**	**794 900**	**491 400**	**610 100**	**865 400**

Tabell 20 viser lavest kostnader for TEK97 med 104m^2 solfangerareal. Problemet med denne fremgangsmåten er at den ikke skiller for hvor mange bygg som må delta for at det skal fungere. Dette vil sjelden være et realistisk scenario, da man stort sett på forhånd vil ha definert hvor mange bygg man ønsker å produsere. Man bør derfor også skalere alle anlegg slik at like mange boliger deltar i hvert prosjekt. Også her er utgangspunktet at alle byggene får dekket oppvarmingsbehovet fullstendig. Jeg tar utgangspunkt i tre prosjekter med 6 bygg som vil være minste mulige prosjekt for TEK97 med varmegjenvinning. Her vil brønnkostnad og solfangerareal variere mellom byggene. Igjen er det svært mange variabler og mulighet for optimalisering:

Tabell 21: Eksempler på investeringskostnader. Scenario 3

Scenario 3

Eksempler på sammenlignbare kostnader for prosjekter med 6 boliger, basert på maksimalt oppvarmingsbehov.			
	TEK97 med varmegjenvinning 102m² solfangere	**TEK17 73m² solfangere**	**Passivhus 60m² solfangere**
Maksbehov [kWh år⁻¹]	15 500	9 000	6 000
Antall boliger [stk]	6	6	6
Radius [m]	9,9	7,6	6,2
Antall brønner pr hus [stk]	6,4	4,0	3,2
Investeringskostnad [NOK]			
Bygningskropp	99 700	260 500	564 300
Varmelager	128 000	80 000	64 000
Solfanger	173 400	124 100	102 000
Yttertak	-58 700	-42 000	-34 500
Vannbåren distribusjon	116 400	116 400	83 800
Varmesentral	30 300	30 300	30 300
Sum:	**489 100**	**569 300**	**809 900**

10.6 Tilbakebetaling og nåverdiberegninger

De forskjellige husene vil få energibesparelser som følge av endret energibehov. Det er i utgangspunktet to metoder for å beregne denne besparelsen, forenklet tilbakebetalingstid eller nåverdimetoden.

$$Forenklet\ tilbakebetaling = \frac{Merkostnader}{Årlig\ energibesparelse} \qquad (17)$$

$$Netto\ nåverdi = -Merkost\ investering + \sum_{t=1}^{n} \frac{Årlig\ kontantstrøm}{(1+i)^t} \qquad (18)$$

(Almås, 2014)

Der *n* er levetiden for bygget, *t* er året for gjeldende kontantstrøm og *i* er diskonteringsrenten 4%. Almås 2014 anbefaler 2% vedlikeholdskostnader for ventilasjonsanlegg, regnet av merkostnaden for tiltaket. Det er hhv 20 og 25 år levetid på tekniske installasjoner og vinduer. Leverandørene gir 50år garanti på gulvrør til vannbåren varme og brønnpark. Forventet levetid på varmepumper er 12-15år.

Det er gjengs oppfatning at strømprisen til forbruker i Norge settes til 1NOK kWh^{-1}. Almås 2012, Almås 2014, Skeie 2016 bruker alle dette beløpet.

Forenklet- og nettometode gir forskjellig svar. Det skyldes at et kapitalbeløp vil kunne investeres og gi avkastning. Vanligst vil nok være at beløpet må lånes. Eksempelet under viser TEK17 med TEK97 som referansebygg:

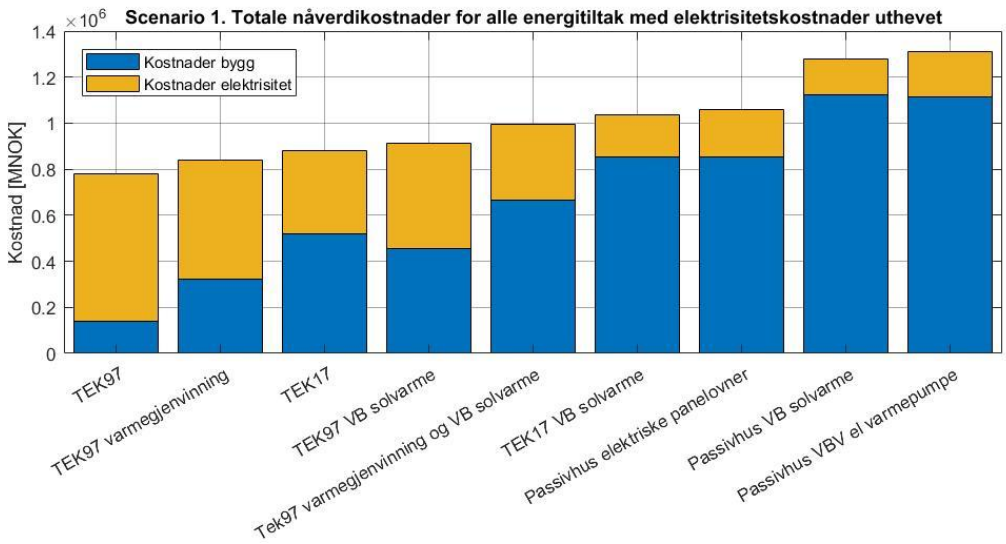
- Merkostnad til bygningskropp, panelovner og pipe 260 300NOK
- Årlig energibesparelse 13 300kWh $år^{-1}$
- Årlig vedlikehold ventilasjonsanlegg 2% av 99 700
- 72 000 differanse vinduer med levetid 25år
- 71 400 merkostnad installasjoner med levetid 20år

Man får følgende to resultater:

$$Tilbakebetaling = \frac{260\ 300\ \text{NOK}}{13\ 200\ \text{NOK}\ \text{år}-1} = 19\text{år} \quad (17)$$

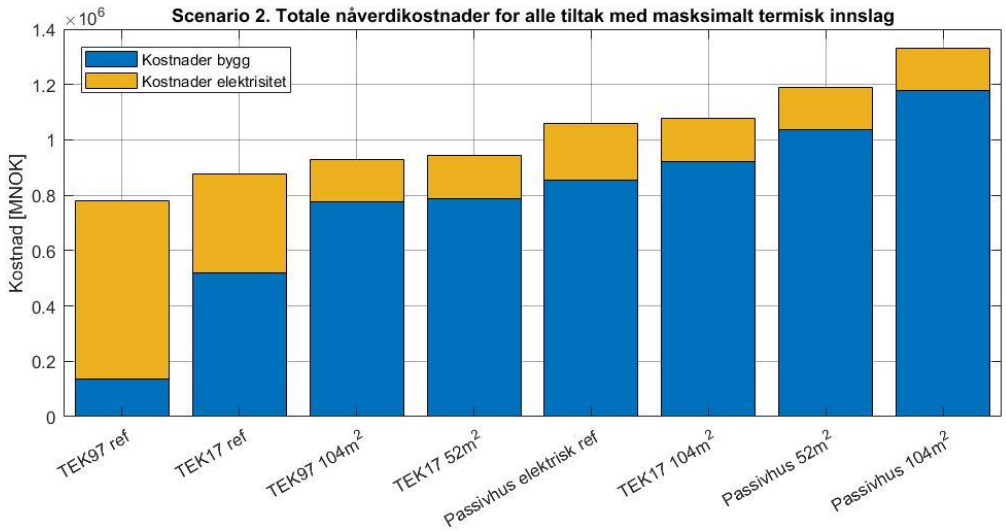
$$Netto\ nåverdi = -260\ 300\text{NOK} + \left(\sum_{t=1}^{50} \frac{13\ 200\text{NOK}}{(1.04)^t} - \frac{99\ 700\text{NOK}*0.02}{1.04^t}\right) - \frac{71\ 400\text{NOK}}{1.04^{20}} - \frac{72\ 000\text{NOK}}{1.04^{25}} - \frac{71\ 400\text{NOK}}{1.04^{40}}$$
$$= -94\ 000\text{NOK} \quad (18)$$

Ligning (17) viser at prosjektet er lønnsomt etter 19 år, mens (18) viser at prosjektet fortsatt er ulønnsomt etter 50år. Netto nåverdi vil i de neste beregningene forstås som differansen mellom ett bygg og en referanse.



Figur 29: Scenario 1. Oversikt over totale nåverdikostnader for alle byggtypene. 8 000kWh $år^{-1}$ fast. Ett bygg pr prosjekt, 52m^2 solfangerareal. Tallgrunnlag fra tabell 33

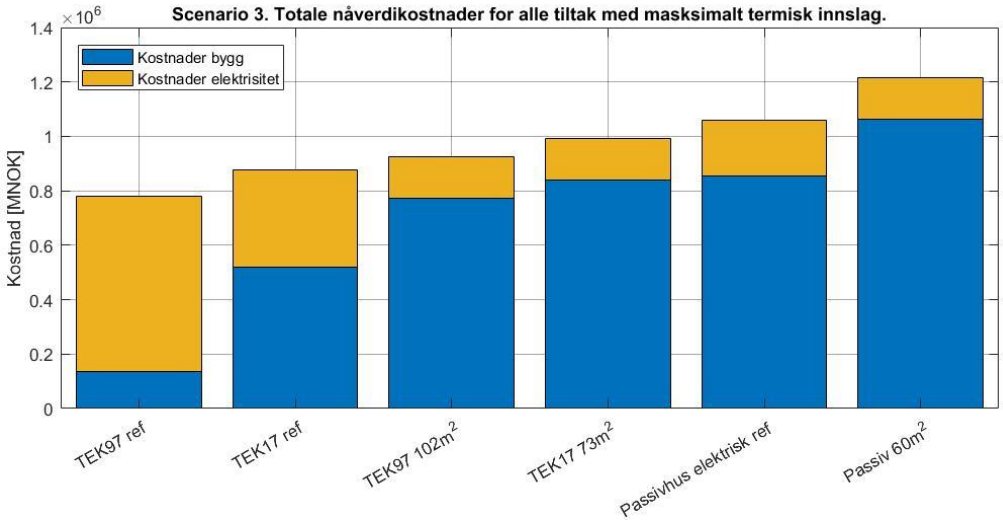
Man ser at TEK97 er privatøkonomisk mest lønnsomt mot alle andre varianter, men beregningen i *figur 29* har to problemer: Alle bygg med solfangere regnes som gjennomførbare med ett bygg og passivhuset får ikke kompensert for lavere energibehov og dermed noe lavere kostnader til brønnpark og solfangere.



Figur 30: Scenario 2. Oversikt over totale nåverdikostnader der maksimalt energibehov er dekket. Antall boliger varierer for hvert prosjekt. Tallgrunnlag fra tabell 34

Figur 30 viser kostnader dersom hvert prosjekt skal bygges med et minimum antall boliger, samtidig som alle skal oppfylle hele oppvarmingsbehovet med lagret termisk energi. I tillegg er beregningene for de tre vanlige byggene innsatt som referanse. Beregningen tar ikke høyde

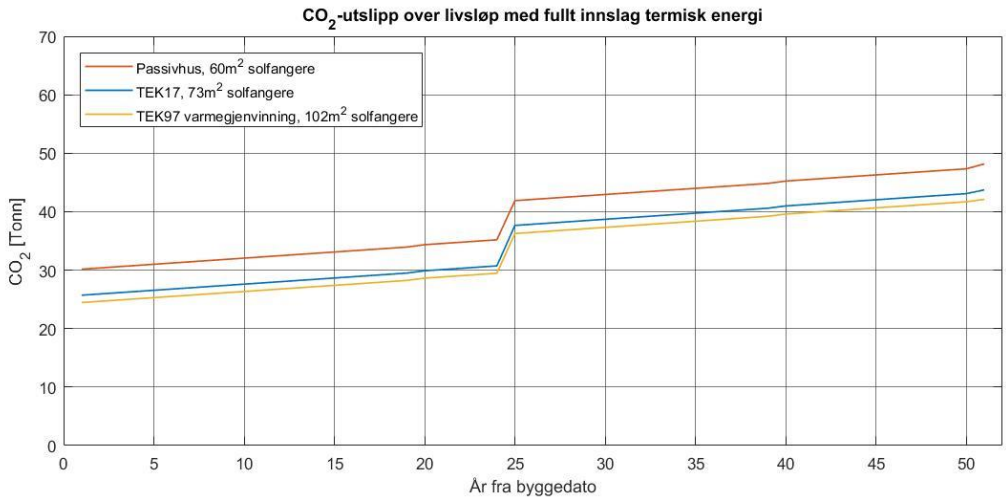
for at det «dyreste» passivhuset klarer seg med bare 2 boliger, mens TEK17 med 52m^2 solfangerareal trenger 15 boliger for å kunne fungere. Neste beregning vil derfor vise 3 prosjekter med 6 bygg hver, tilpasset solfangerareal og all oppvarming dekket av termisk energi. Det er også her satt inn tall for TEK97, TEK17 og et elektrisk passivhus for sammenligning. Denne fremstillingen er antagelig den beste, da den kompenserer for fordelen ved å koble flere bygg sammen samtidig som alle prosjektene er gjennomførbare og like store:



Figur 31: Scenario 3. Oversikt over totale nåverdikostnader. Maksimalt energibehov er dekket for hver bolig, samt 6 boliger i hvert prosjekt. Tallgrunnlag fra tabell 35

De tre byggene med solfanger forbruker like lite forbruksstrøm og her vil det kun være bygningskroppen som avgjør differansen i CO_2e-utslipp. Passivhusene er dyrest, står for størst CO_2e-utslipp og det elektriske passivhuset bruker 32% mer elektrisitet enn byggene med solvarme.

Avslutningsvis vises forløpet til CO_2e-utslipp for scenario 3. *Figur 32* viser på en enkel måte hvordan de tidsavhengige utslippene prinsipielt vil kunne bli like, slik at eventuell uenighet om utslipp knyttet til elektrisitetsproduksjon heller ikke er relevant.



Figur 32: CO_2e-utslipp opptrer nær parallelt dersom man dekker stor nok del av oppvarmingsbehovet med fornybar energi. Da vil byggene med størst konstantledd komme dårligst ut.

På tross av at de tre scenarioene har ganske store forskjeller, viser alle samme trend. Passivhuset kommer ikke nødvendigvis spesielt godt ut hverken økonomisk, utslippsmessig eller med tanke på elektrisitetsforbruk.

11 Diskusjon

Med bakgrunn i samfunnets samlede elektrisitetsbehov og resultatene presentert i *figur 29-31*, er det lite trolig at det er privatøkonomiske hensyn som ligger til grunn for de skjerpede energikravene. TEK97 kommer billigst ut i samtlige utregninger, men dette bygget bruker også klart mest strøm. Det er klart at elektrisitet er en resurs som i likhet med alle andre ressurser har en viss knapphet. Derfor vil det være naturlig å fokusere mest på byggene med lavest CO2e-utslipp og lavest elektrisitetsforbruk. Scenario 2 viser at TEK97 med 104m^2 solfangere og TEK17 med 52m^2 solfangere kommer lavest ut både med tanke på CO_2e-utslipp og nåverdikostnader. Begge byggene møter den nedre grensen for elektrisitetsforbruk på 7 200kWh år^{-1}. Deretter kommer det elektriske passivhuset med noe høyere nåverdikostnad, men relativt mye høyere elektrisitetsforbruk (9 500kWh år^{-1}) og dermed også høyere CO_2e-utslipp. Med tanke på myndighetens ambisjon om redusert energiforbruk, er dette bygget derfor antagelig ikke sammenlignbart mot disse to. Det nærmeste sammenlignbare passivhuset har da vannbåren varme, med 260 000NOK høyere nåverdikost og 375 000NOK høyere investeringskostnader.

Scenario 3 viser samme trend, også her vil det helelektriske passivhuset bruke mest elektrisk energi og dermed antagelig ikke være sammenlignbart.

Det finnes naturligvis svært mange konfigurasjoner der man kan supplere med diverse varmepumper og lignende. Ingen av disse gir derimot lettelser i TEK og det er slik jeg ser det ingen insentiver for å benytte dem.

Et generelt søk etter «Passivhus» under «Bolig til salgs» på FINN [26.05.2020] ga 64 treff i 24 annonser. Søket gir treff for både nye og brukte boliger. Etter gjennomgang, viste det seg at kun 10 av annonsene faktisk var for passivhus, 2 var kanskje passivhus og kun ett passivhus var enebolig. Det var også kun én av annonsene som brukte ordet passivhus i overskriften. De andre treffene skyldtes formuleringer som:

- *Byggene får en grønn profil med minimal oppvarmingsbehov og isolasjon nesten opp mot passivhus.*

- *Leilighetene vil ha tilført friskluftsmengder som er i henhold til teknisk forskrift (TEK 17), som krav til passivhus*[24].
- *Svært energieffektiv bolig med resultat fra trykktest på 0,44 som er lavere enn kravet til passivhus*[25].
- *Aluminiumsbelagte vinduer/balkongdører i passivhus-standard*[26].

Til sammenligning er det samme dato 41 255 treff i 24 736 annonser for «Bolig til salgs» på FINN. Betegnelsen *passivhus* er altså ikke spesielt mye brukt ved omsetning av boliger. Det ser heller ikke ut som at det bygges særlig mange passivhus frivillig. Den eneste eneboligen som faktisk var et passivhus, brukte denne relativt nøkterne beskrivelsen inne i annonsen:

Ifølge eiere ble det opplyst at boligen er bygget som et passivhus og boligen er derfor energibesparende. (FINN.no [26.05.2020])

Dette kan tyde på at de som til syvende og sist skal kjøpe ny bolig, ikke nødvendigvis er interesserte i å bruke ekstra penger på energibesparende tiltak. En viktig faktor her, er nettopp følelsen av å først låne flere hundretusen kroner ekstra, for å senere kanskje få en del av dette igjen som følge av reduserte elektrisitetskostnader. Det betyr igjen at utbyggere neppe kan strekke seg særlig mye lengre enn det et minstekrav forutsetter. Utbygger har ingen forpliktelser knyttet til senere elektrisitetsutgifter og ønsker først og fremst en lavest mulig produksjonskostnad. Dermed kan man antagelig avskrive de mange teoretiske mulighetene om å supplere de helelektriske passivhusene i *figur 29-31* med forskjellige varmepumpeløsninger og andre kostbare, energibesparende systemer utover kravet i standarden.

Solfangere med varmelagring har altså potensial til å redusere det elektriske energiforbruket knyttet til oppvarming av en bolig med rundt 60% opp mot dagens passivhus og samtidig være økonomisk fordelaktige[27].

---

[24] Det er ikke krav til friskluftmengder i NS3700:2013
[25] Kravet til tetthet er likt for passivhus og vanlige hus
[26] Kravet til U-verdi vindu er likt for passivhus og vanlige hus

I følge NorDan NEPD 00176E rev1 slipper et aluminiumsbekledt 1,23m*1,48m toveis innadslående vindu ut rundt 24% mer CO_2e enn samme vindu med kun treramme. Tallet er kompensert for 50% lengre levetid for vinduet med aluminiumsbekledning (EPD lastet ned fra One Click LCA).

[27]Teoretisk minimum med varmegjenvinner: (289+(0,3*4885))kWh $år^{-1}$. Passivhuset (2896+1285)kWh $år^{-1}$.

Man ser i tillegg et tap av rundt 15m^2 salgbart areal for et passivhus sammenlignet med et bygg etter TEK97. Dette utgjør alene en tapt salgsfortjeneste på rundt 480 000NOK for modellen som benyttes i denne oppgaven. Dette kommer sammen med økte byggekostnader og økte nåverdikostnader.

Konklusjonen er dermed at et passivhus slik det skisseres etter NS3700:2013 ikke nødvendigvis kommer spesielt godt ut med tanke på hverken elektrisitetsforbruk, CO_2e-utslipp eller økonomi sett opp mot reelle lavenergi-alternativer. Dette burde prinsipielt føre til insentiver i TEK som ser på byggenes reelle miljøprestasjon fremfor dagens løsning som i hovedsak ser på teoretisk energiforbruk. En metode som kun kan påvirkes gjennom lavere varmetapstall.

11.1 Solfangere og varmelager

Beregningene tyder på at det vil være vanskelig å benytte sesongbasert varmelagring beregnet til kun en husstand. Dette betyr allikevel ikke at premisset for oppgaven har feilet, eller at beregningene er overflødige. Det kan tenkes mange eksempler på at det prosjekteres mer enn 2 eneboliger sammen og svært mange rekkehus vil ha stor nok takflate til å gi 50-100m^2 solfangerareal pr hus. Hver enkelt konfigurasjon vil være forskjellig og alle prosjekter vil gi forskjellige resultater for energi, utslipp og økonomi.

I tillegg til eneboliger og rekkehus, kommer blokker, næringseiendommer, skoler, idrettshaller og så videre som alle vil ha omfattende oppvarmingsbehov. Et kommunalt svømmebasseng kan varmes med solvarme. Taket på et idrettsanlegg vil kunne fungere ideelt for integrerte solfangere, samtidig som solfangerne frakter store mengder termisk energi bort fra bygget. Dette vil igjen føre til redusert nedkjølingsbehov om sommeren og mulige økonomiske besparelser. Søppelforbrenningsanlegg kan lagre varmen i bakken gjennom sommeren og selge den som fjernvarme om vinteren.

Man ser også en meget stor energifortjeneste i at hvert bygg kan levere så mye energi som mulig. I denne forbindelse kan det være interessant å lese Byggforskserien datablad 552.455 punkt 41:

Det er ikke økonomisk optimalt å dekke hele varmebehovet ved hjelp av solenergi.

Videre advarer databladet mot å overdimensjonere systemet. Ettersom SINTEF byggforsk i praksis er den eneste kilden til norske byggeanvisninger, kan det være grunn til å stille spørsmål ved om en slik absolutt tilnærming fra en anerkjent autoritet er hensiktsmessig med tanke på utsiktene for innovasjon i bransjen.

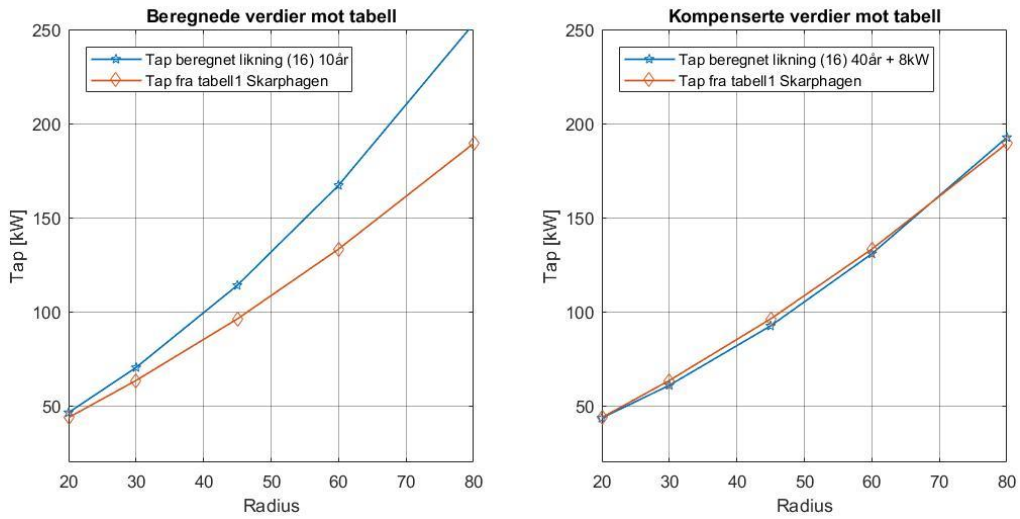
For alle varianter er det mulig å supplere med en vann-vann varmepumpe og oppnå en svært god sCOP. Man ser av definisjonen for forholdet mellom termodynamisk temperatur og de to reservoarene i en varmekraftmaskin, samt likningen for en carnotmaskin (Paul A. Tippler, 2008) at COP er omvendt proporsjonal med temperaturdifferansen:

$$\frac{T_c}{T_h} = \frac{Q_c}{Q_h}(Tippler\ 19-7)\ , \quad COP = \frac{Q_h}{Q_h - Q_c}\ \ (Tippler\ 19-9) \rightarrow \ \ COP = \frac{T_h}{T_h - T_c}$$

Der T er temperatur, subskript c står for cold (kald) og h står for hot (varm). Q_h er energien absorbert fra det varme reservoaret og Q_c er temperaturen frigjort til det kalde reservoaret. Dette betyr at jo høyere temperatur man har på vannet i det kalde reservoaret og jo lavere temperatur i det varme reservoaret, dess mindre temperaturdifferanse og høyere COP. Varmepumpen kan for eksempel drives av PV, som igjen kan føre til økning i rammekravet etter TEK17 §14-5 (5). Temaet i denne oppgaven er derimot å se om man kan klare seg helt uten slike maskiner.

Tallene gjengitt i *tabell 17* som vises i *figur 23* er å oppfatte som urealistisk gode. Det er ikke mulig å beregne virkningsgraden i virkelige prosjekter ved hjelp av enkle stasjonære beregninger med feilmargin ned mot 1%. Det skal ikke mer til enn varierende grunnforhold eller grunnvannsforekomster, før tallene nødvendigvis vil avvike vesentlig (samtidig som man må kunne anta at dette nettopp ikke vil være tilfelle ettersom anleggene allerede regnes som gode). Man kan også stille spørsmål ved usikkerheten i tallgrunnlaget fra *tabell 16.* For eksempel angis kapasitet og tap med sikkerhet ned mot 4. siffer. For Luleå oppgis 2 000MWh kapasitet og 1 000MWh tap. Disse tallene er helt sikkert omtrentlige og antyder også den generelle usikkerheten i tallgrunnlaget. Dette vil påvirke resultatene. Egne forsøk i beregningsprogrammet EED viser for eksempel at temperaturen i Drake Landing skal være

ned mot 12°C om vinteren og at den vil øke til rundt 20°C dersom man flytter 40% av lasten over til oppvarming av varmtvann[28]. Beregningene etter (16) viser derimot at temperaturen vil være over 35°C hele året og bryr seg lite om lasten opptrer stabilt som oppvarming av varmtvann eller transient til romoppvarming. Allikevel er det mer enn disse sammenligningene som tyder på at likning (16) viser en viss trend. Skarphagen 2018 *tabell 1* lister verdier for forventet tap ved forskjellige sylindriske varmelagre med overflatetemperatur 50°C. Disse har isolert overside og 6m isolasjon nedover sidene. Dersom man legger variablene fra denne tabellen inn i likning (16) og regner over 10år, gir dette tap henholdsvis 45,8kW og 162kW for radius 20meter og radius 60meter[29]. Det største lageret er da på 1 206 000m^3 og det er sannsynlig at selv små feil forstørres. Skarphagen *Tabell 1* oppgir de samme verdiene til 43,8kW og 133,3kW. Dette gir 5% avvik for lagre med radius rundt 20 meter. Dette tilsvarer de største lagrene i *tabell 16.*



Figur 33: Sammenligning av egne beregninger likning (16) med tabell 1 i Skarphagen 2018.

Dersom man beregner over 40 år og kompenserer med et konstantledd lik +8kW, blir grafene like. Resultatet i *figur 33* tyder dermed også på at fremgangsmåten med likning (16) på et vis fungerer etter hensikten. Dersom dette stemmer, vil en slik tilnærming kunne være en relativt enkel måte å gjøre innledende overslag for slike varmelagre. Dette kan i seg selv være med på å senke terskelen for å vurdere nye varmelagringsprosjekter.

[28] Jeg har ikke hatt kapasitet til å kvalitetssikre forsøk gjort i EED. Men resultatene kan brukes som referanseverdier.
[29] T_∞ =12° C, λ = 2,2W mK^{-1}, Volumetrisk varmekapasitet = 2,2MJ m^{-3}K^{-1}, 0,5m isolasjon λ = 0,04W mK^{-1}.

11.2 Om målepunktet for energi

TEK §14-2 setter krav til spesifikt energibehov som igjen direkte påvirker bygningskonstruksjonen. Det vil for eksempel ikke være mulig å oppfylle dette punktet ved hjelp av minimumskravene i §14-3:

Tabell 22: Minimumskravene i TEK §14-3

U-verdi yttervegg [W m^{-2}K^{-1}]	**U-verdi tak [W m^{-2}K^{-1}]**	**U-verdi gulv [W m^{-2}K^{-1}]**	**U-verdi dør/ vindu [W m^{-2}K^{-1}]**	**Lekkasjetall [oms t^{-1}]**
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 1,8	≤ 1,2	≤ 1,5

Minimumsverdiene tilsvarer omtrent 200mm yttervegger og 250mm gulv/ tak og dette er likt eller mindre enn kravene for energitiltak tilbake til TEK97 *tabell 1*. Kravet for vinduer tilsvarer kravet fra TEK07. Dette tyder på at DiBK anser TEK97 og TEK07 som tilfredsstillende rent kvalitetsmessig og at man vil oppleve tilnærmet samme grad av komfort i et bygg oppført etter omfordeling som i et bygg etter energitiltak. Mato Matic i Block Watne opplyser også at de i stor grad baserer seg på omfordeling når de oppfører eneboliger. De kan da benytte 198mm yttervegger og eksempelvis ta igjen det tapte med bedre lekkasjetall.

Dersom man så referer til *tabell 12*, vil man notere avvik mellom posten *netto energi* og *energiforsyning*. Som eksempel har passivhuset mindre levert energi enn posten *netto energi* og de andre byggene har mer levert energi enn posten *netto energi*. Dette skyldes at passivhuset har en tapppevanns-varmepumpe med virkningsgrad > 1 og de andre byggene opplever I^2R-tap som medfører virkningsgrad < 1 (forutsatt at varmen ikke nyttes i bygget). På denne måten bruker altså passivhuset mindre elektrisitet fra distribusjonsnettet enn det forskriften måler bygget opp mot og de andre bruker mer enn de måles mot. Dette gir egentlig lite mening, nokså uavhengig av hva man måtte tenke om norsk byggeskikk, energi og privatøkonomiske forhold. Dette målepunktet bør flyttes til posten *energiforsyning* og knyttes opp mot elektrisk kraft fra nettet. Da vil man synliggjøre byggets reelle strømforbruk. En viktig konsekvens av dette ville være at dersom man dokumenterer et varig og effektivt system for *energiforsyning* og holder seg innenfor minimumskravene i TEK §14-3, vil man kunne oppnå store kostnadsbesparelser knyttet til oppføringen av selve bygningen.

En underlig innretning i TEK17 §14-2 (1) er at energirammen i aller høyeste grad blir påvirket av ventilasjonsanleggets virkningsgrad. Vi ser av *tabell 9 og 12* det ikke vil være mulig å oppfylle kravet i forskriften uten et slikt gjenvinningsanlegg. Samtidig ser man av de samme tabellene at energirammen ikke påvirkes av varmepumper eller andre systemer med virkningsgrad. I tillegg til dette skal ikke oppvarming av varmtvann medregnes i spesifikt energibehov for passivhus. Dette fremstår lite konsistent og det kan være vanskelig å forstå hvorfor den elektriske besparelsen ved varmegjenvinning skal medregnes, mens den elektriske besparelsen fra en tappevannsvarmepumpe eller som følge av tilført varme fra et solfangeranlegg ikke skal medregnes. Dersom elektrisk besparelse var likestilt, ville man i vesentlig grad kunne påvirke energirammen uten at bygget nødvendigvis trenger lavt varmetapstall. Dette punktet vil derimot ikke være av særlig betydning dersom man flytter målepunktet for energirammen til posten *energiforsyning* som foreslått i forrige avsnitt.

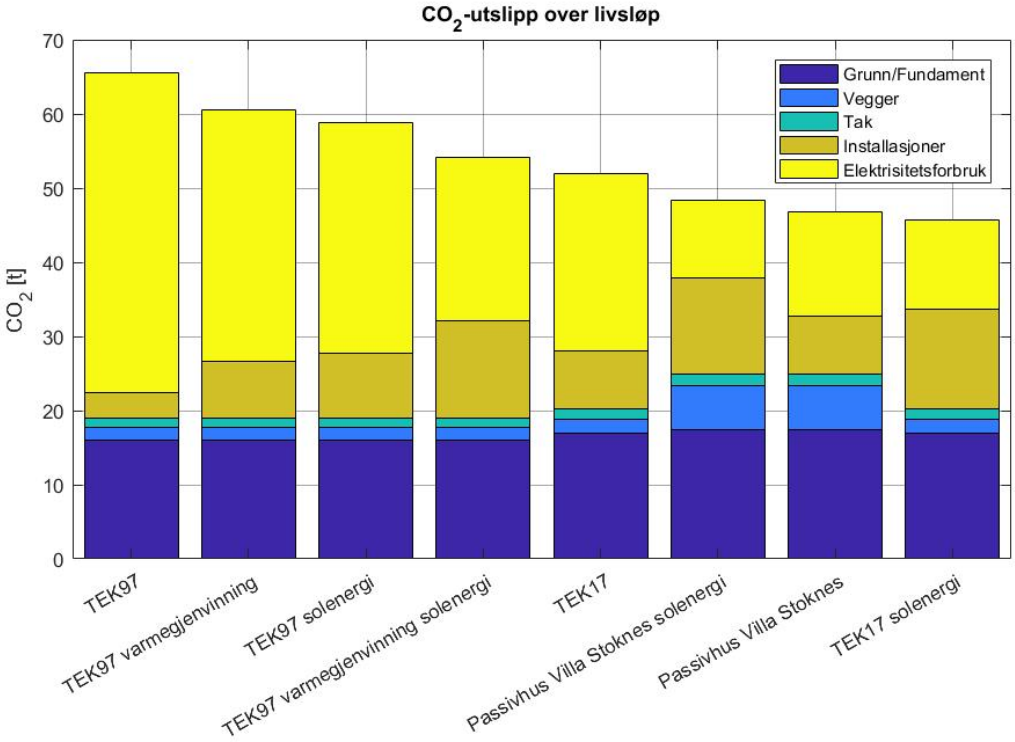
De aller fleste rapporter om sesongbasert varmelagring påpeker at det ikke vil være økonomisk lønnsomt med prosjekter under en viss størrelse, generelt skrevet 20 000m^3 (Dirk Mangold, 2012) (Kallesøe, 2019). Utregningene i denne oppgaven viser at dette ikke nødvendigvis stemmer, gitt at byggeforskriftene innrømmer lettelser til slike prosjekter. Scenario3 viser for eksempel at man kan spare rundt 126 000NOK over husets livsløp og ha 146 000NOK lavere investeringskostnader dersom man kunne bygge med solvarme etter TEK97 mot det helelektriske passivhuset. TEK97 oppnår da 24% lavere elektrisitetsforbruk enn passivhuset, eller rundt 2 300kWh år^{-1}. I tillegg vil da TEK97 ha vannbåren varme i alle rom, noe som må kunne anses som en vesentlig standardforbedring. Dersom man skulle følge myndighetenes ambisjoner om lavest mulig strømforbruk vil derimot ikke disse to byggene være sammenlignbare. Antagelig skal TEK97 heller sammenlignes med det solvarmede passivhuset og besparelsen blir da rundt 353 000NOK over livsløpet med 320 000NOK lavere investeringskostnader. I denne sammenligningen (med like forutsetninger) vil altså de tidsavhengige utslippene til TEK97 være lavere enn for passivhuset og dermed vil besparelsene i både utslipp og økonomi øke med tiden.

Man ser altså at en annen innretning i TEK vil kunne åpne opp en helt ny måte å tenke fornybart og vil kunne bryte ned den rådende oppfatningen om at slike prosjekter må komme over en viss størrelse for å lønne seg økonomisk. Dette vil igjen kunne øke interessen for slike og lignende prosjekter. Med flere erfaringer vil man også kunne oppnå besparelser og annen

innovasjon innen bransjen over tid. Alt dette samtidig som man kan spare penger, utslipp, bygge enklere og være nede på et svært lavt elektrisitetsforbruk.

11.3 Om CO_2e-utslipp, LCA og TEK-sjekk

Resultatene fra LCA-beregningen viser at dersom man ser bort fra elektrisitetsforbruk, så er det ikke mye som skiller de forskjellige byggene fra hverandre. Passivhuset har noe større utslipp knyttet til bygningskonstruksjonen og solfangeranlegget står for en relativt stor del av utslippene. Faktisk står 80mm betongsåle for rundt 60% utslippene til bygningsmassen for TEK97 og man kan spørre seg om ikke det ville være vesentlige besparelser i utslipp ved å finne et alternativ til betong. Man kan lage ringmur med krypkjeller, eller lette flytende gulv på grunnen etter Byggforskserien datablad 521.111 (57). Ingen av disse løsningene er optimale, men de nevnes for å vise at det finnes alternativ.



Figur 34: Spesifiserte CO2e-utslipp for Scenario 1, bygninger med og uten 52m² solfangere

Norsk strømproduksjon har ifølge NVE utslipp på rundt 19g CO_2e kWh^{-1} (NVE, 2018). Livsløpsanalyseverktøyet One Click LCA opererer tilsvarende med rundt 29g CO_2e kWh^{-1} for norsk elektrisitetsmiks.

TEK-sjekk energi estimerer CO_2 utslipp knyttet til elektrisitetsbruken til rundt 395g CO_2 kWh^{-1}.

Tabell 23: SINTEF byggforsk CO2-faktorer. Kilde: Tor Helge Dokka 2009

Energivare	**CO_2-faktor [g CO_2e kWh^{-1}]**
Biobrensel	14
Fjernvarme	231
Gass (Fossil)	211
Olje	284
Elektrisitet fra kraftnettet	395

Dette er 13 ganger mer enn One Click LCA og 21 ganger mer enn NVE. SINTEF benytter CO_2-faktorer hentet fra tidligere NS3700[30] (Tor Helge Dokka, 2009). *Tabell 23* viser elektrisitet som klart minst foretrukne energivare, med 40% høyere CO_2-utslipp enn olje pr levert kWh. Samtidig vet man TEK17 §14-4 (1) setter forbud mot installering av oljebaserte fyringsanlegg.

Dersom man benytter disse tallene, vil batteridrevne biler ha omtrent 40% av CO_2e-utslippene til en bensinbil[31]. Dette virker ikke å være forenlig med samfunnets systematiske bruk av ord som nullutslipp og utslippsfrihet om disse bilene. Både Samferdselsdepartementet, Klima- og miljøverndepartementet samt Finansdepartementet bruker slike uttrykk skriftlig i sin kommunikasjon. Det er vanskelig å samtidig tenke seg at elektrisitet som energikilde til privatbiler er helt utslippsfritt mens elektrisk energi til oppvarming av boliger medfører 40% større utslipp enn forbrenning av olje.

Dette tyder på at SINTEF beregninger avviker fra myndighetenes generelle oppfatning av hvordan man skal tolke utslipp knyttet til norsk strømforbruk.

Dersom man benytter SINTEF tall og årlig reduserer energibruken for 6 000 nye eneboliger (SSB 05940) med 7 200kWh $år^{-1}$ pr bolig (TEK17 → passivhus), gir dette årlig reduksjon i CO_2-utslipp på 17 100t det første året, deretter 2 x 17 100t det andre året osv. 17 100t CO_2 tilsvarer utslippene fra 10 000 personbiler[32]. Det 50. året ville årets reduksjon grunnet 300 000

[30] Det er ikke slike faktorer i senere NS3700:2013
[31] VW e-Golf 1.27 kWh/mil, 1.27x0.395= 0.5kg CO_2/mil. VW Golf bensin 1.3kg CO_2/mil.
[32] En personbil slipper ut ca 1.7t $år^{-1}$ etter SSB 01960 og SSB 08940

nye energieffektive eneboliger tilsvare 502 000 personbiler, altså en sjettedel av hele den norske personbilparken.

Samme beregninger utført på bakgrunn av norsk elektrisitetsmiks vil på sin side kun gi reduksjon i utslippene tilsvarende 37 000 personbiler det 50. året. Valg av CO_2e-faktor har altså svært stor betydning for regnskapsmessige utslipp. Med bakgrunn i overnevnte, bør man derfor orientere seg rundt en del estimater for utslippene knyttet til norsk elektrisitetsforbruk.

Tallene presentert i tabell 24 viser med all tydelighet at det vil være vanskelig å finne et eksakt tall for utslippene knyttet til norsk strømforbruk. Dersom man ser bort fra den produktspesifikke strømmen på Trollheim og vurderingen til Oslo kommune, så varierer anslagene med 2 740% alt etter hvilke kriterier man velger å legge til grunn. Det er også interessant å se at laveste og høyeste anslag er fra samme kilde og at det høyeste anslaget skal være for lavt. SINTEF egne tall varierer med 990%. Globalt vil klimavirkningen være identisk uavhengig av hvilket estimat man velger å benytte til beregninger.

De tallene i *tabell 24* som inkluderer varedeklarasjon, baserer seg på det faktum at norske strømprodusenter kan selge dokumenter som gir kjøperen eierskap til klimavirkningen for den aktuelle strømmen. Dette fører til at dersom man ikke betaler for en slik opprinnelsesgaranti, så vil man nødvendigvis måtte benytte den reststrømmen som er til overs. Ettersom norske forbrukere og produsenter i liten grad kjøper slike garantier, står de naturligvis igjen med reststrømmen. Denne inneholder da vesentlige mengder kullkraft (NVE, 2018).

EPD-Norge er for eksempel helt klare i sin høringsuttalelse til Olje- og energidepartementet på at opprinnelsesgaranti ikke skal brukes i norske EPDer (EPD-Norge, 2018).

Det må kunne betegnes som et paradoks at norske myndigheter, forbrukere og produsenter anser strøm produsert i Norge som norsk, men samtidig ikke anerkjenner et system som garanterer strømmens opprinnelse. Dette betyr i praksis at norsk strøm blir hevdet benyttet to ganger, først i Norge, deretter hos dem som har kjøpt garantier for den samme strømmens opprinnelse. Rent prinsipielt bør opprinnelsesgaranti egentlig kunne antas å være en nødvendig konsekvens av betydningen «norsk strøm».

Tabell 24: Forskjellige anslag for CO2e-faktorer knyttet til norsk strømforbruk.

Kilde	**CO_2e-faktor [g CO_2e kWh^{-1}]**	**Forklaring/ kommentar**	**Nettside [30.04.2020]**
Oslo kommune Plan og bygningsetaten Mail (Simonsen, H.O. [17.06.2020])	**0**	Faktor for vurdering av miljømessig beste alternativ etter pbl §27-5	
NVE EPD Trollheim kraftasjon	**8**	Produktspesifikk EPD	https://www.epd-norge.no/energi/category332.html
NVE	**19**	NVE nasjonal elektrisitetsmiks	https://www.nve.no/energiforsyning/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2018/
One Click LCA	**29**	Generisk EPD nasjonal norsk elektrisitetsmiks	
Byggforskserien datablad 470.102	**40**	Norsk praksis for LCA	
Egen oppdatering av ZEB (s.105-106)	**79**	ZEB/SINTEF europeisk elektrisitetsmiks oppdatert for 2020	
Byggforskserien datablader 473.020 og 470.102	**132**	*«den CO_2-faktoren forskningssenteret ZEB har anvendt mest»* 2010	
Byggforskserien datablad 470.102	**160-220**	Nordisk elektrisitetsmiks	
EEA Europa	**296**	Europeisk elektrisitetsmiks 2016	https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4
One Click LCA	**390**	Generisk EPD europeisk elektrisitetsmiks 2020	
Byggforskserien TEK-sjekk energi [30.04.2020]	**395**	SINTEF prosjektrapport 42, hentet fra tidligere NS3700	
Byggforskserien datablad 470.102	**420**	NVE varedeklarasjon 2012. Dette tallet er ifg SINTEF antagelig for lavt pga dobbelttelling.	
NVE varedeklarasjon 2018	**520**	Varedeklarasjon skal ifg EPD Norge ikke brukes og kan være for lavt pga dobbelttelling.	

Man bør også kommentere utslippstallet som ifølge Byggforskserien datablad 473.020 er den *CO_2-faktoren (132g CO_2e kWh^{-1}) forskningssenteret ZEB har anvendt mest.* Dette gjennomsnittstallet er en revidert utgave av tallene som fremkommer i SINTEF prosjektrapport 42 (Tor Helge Dokka, 2009) vist i *tabell 23*. Tallet er basert på europeisk

elektrisitetsmiks der en beregner et gjennomsnitt over 60år som tar hensyn til eventuelle reduserte utslippstall knyttet til fremtidig europeisk elektrisitetsproduksjon.

SINTEF har tatt utgangspunkt i det klart mest optimistiske av fem ulike scenarioer for utviklingen i europeisk elektrisitetsproduksjon (Ingeborg Graabak, 2014/13). Scenarioet bygger på forutsetningen om at utslippene reduseres med 85-95% innen 2050. Dette forklares med 23% økning i tilgangen på atomkraft, 14% reduksjon i strømforbruk og at det blir etablert et *smart supergrid* som skal erstatte et samlet europeisk sentralnett (Dokka, 2011). Dette er nødvendig for å kunne transportere store mengder strøm over grensene, slik at for eksempel norsk strøm skal kunne erstatte mer skitten strøm i europeiske land. Nettet må antagelig være *smart* for å kunne motstå den destabiliserende effekten som omfattende bruk av PV og vindkraft vil utgjøre på sentralnettet.

På bakgrunn av EUs ambisjon om reduksjon i utslippene knyttet til elektrisitetsproduksjon på 85-95% innen 2050, settes tallet til 31g CO_2e kWh^{-1} i 2050. Deretter interpoleres utslippene lineært fra 361g CO_2e kWh^{-1} via 31g CO_2e kWh^{-1} i 2050 og ned mot 0g CO_2e kWh^{-1} i 2054 (Dokka, 2011) (Selamawit Mamo Fufa, 2016) *figur 35*.

Avslutningsvis blir utslippsfunksjonen numerisk integrert for årene mellom 2010 og 2054 og resultatet vektes over 60år[33]. ZEB-funksjonen for 2010 er uttrykt med likning (19):

$$\overline{K}_{el\,2010} = \frac{361\text{g CO}_2\text{e kWh}^{-1}}{2} * \frac{\text{år 2054} - \text{år 2010}}{60\text{ år}} = 132\text{g CO}_2\text{e kWh}^{-1} \qquad (19)$$

(Dokka, 2011)

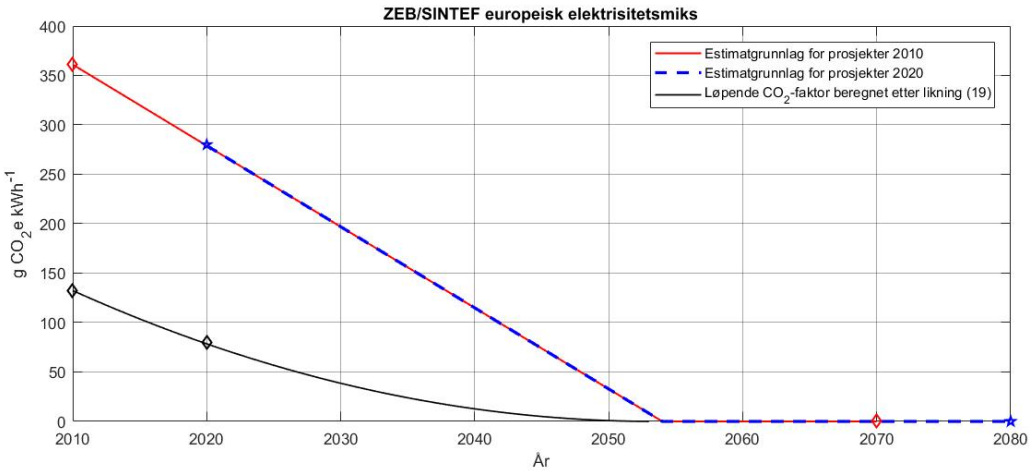
Dette er en veldig interessant tanke og resonnementet har mye for seg, men det kan oppstå usikkerhet rundt tall som baserer seg på hypotetiske forutsetninger 60år frem i tid. Det kan for eksempel være vanskelig å forutsi 0g CO_2e kWh^{-1} utslipp fra og med 2054. Utslippsfaktoren er kalkulert i 2010 og baserer seg på en lineær funksjon med negativt stigningstall. Det

[33] Det kan være mer intuitivt å se hva ligning (19) og *figur 35* viser dersom man ser på dette som integrasjon.

$$f(x) = -8{,}2\text{g CO}_2\text{e år}^{-1}x + 361\text{g CO}_2\text{e kWh}^{-1} \rightarrow \int_0^{44\text{år}} (-8{,}2x + 361)\,dx \rightarrow {}_0^{44\text{år}}[-4{,}1x^2 + 361x] \rightarrow$$

$$7946{,}4\text{ g CO}_2\text{e kWh}^{-1}\text{å}r \rightarrow \frac{7946{,}4\text{ g CO}_2\text{ e kWh}^{-1}\text{ år}}{60\text{ år}} = 132\text{g CO}_2\text{e kWh}^{-1}$$

forutsettes årlig revisjon av tallet (Dokka, 2011). Byggforskserien datablad 473.020 skriver samtidig at man anbefales å ikke bruke data eldre enn 10år. Ved hjelp av (19) bør man derfor beregne løpende gjennomsnittlige utslippstall for prosjekter med oppstart senere enn 2010. Tallgrunnlaget for interpoleringen vil få et lavere konstantledd for nye tiltak, eksempelvis 279g CO_2e kWh^{-1} for 2020, samtidig som det aldri vil være utslipp etter 2054:



Figur 35: ZEB/SINTEF utslippsfunksjon y= -8,2x + 361 for 0 ≤ x ≤ 44. Kilde: Proposal for CO2-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition (Dokka, 2011)

Dette betyr slik jeg forstår det at SINTEFs utslippstall for europeisk elektrisitetsmiks i virkeligheten skal være 79g CO_2e kWh^{-1} for prosjekter med oppstart 2020[34].

ZEB-rapporten som presenterer tallet for første gang, Dokka 2011, forutsetter at tallet revideres årlig. Allikevel gjøres ikke dette, slik som Selamawit 2016 eller SINTEFs Byggforskseriens datablader 473.020 (2017) og 470.102 (2015). Man ser også at BREEAM-NOR (Grønn Byggalianse, 2016) og SIMIEN (Programbyggerne, 2018) benytter en konstant utslippsfaktor på 132g CO_2e kWh^{-1}. Dette fører igjen til at svært mange rapporter benytter dette tallet som en tidsuavhengig og konstant utslippsfaktor. Det gjelder også rapporter skrevet på oppdrag for statlige virksomheter slik som Statsbygg (Eivind Selvig, 2017) og Riksantikvaren (Fuglseth, 2016). Tallet fra 2010 virker å ha skapt presedens og dermed overestimeres utslippene knyttet til forbruksstrøm med rundt 70% i forhold til selve premisset som ZEB/ SINTEF legger til grunn for bruken av funksjonen. En slik feil vil ha betydning for vurderingen av miljøvirkningene mellom forskjellige energikilder og byggeløsninger. Dette

[34] SINTEF besvarer ikke gjentatte henvendelser vedrørende deres tallgrunnlag.

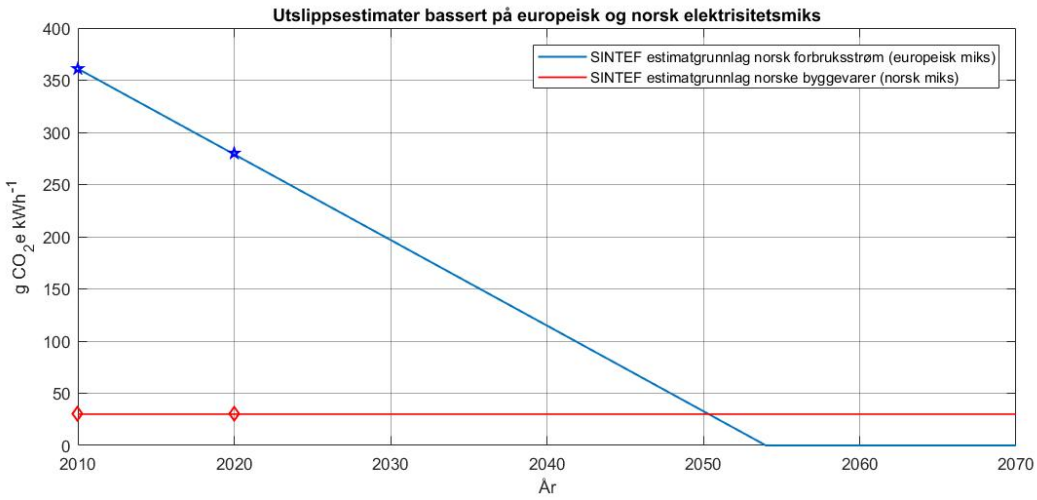
kan igjen være direkte utløsende årsak til beslutninger i et stadig mer miljøbevisst byggemarked.

Enkelt oppsummert kan man si at dersom man bruker en høy faktor for utslipp knyttet til strømforbruk, kan det bli enklere å regnskapsmessig oppfylle statlige ambisjoner om reduserte utslipp. Øker man referanseverdien, øker også differansen til løsninger med da antatt lavere utslippsverdier, slik man eksempelvis ser i de to rapportene for Statsbygg og Riksantikvaren.

Det er også viktig å være klar over at ZEB-funksjonen gir et gjennomsnittstall som kun kan brukes for elektrisitetsforbruket over bygningens driftsfase. I *figur 35* er dette gjennomsnittstallet markert med svart linje. Ettersom det også er utslipp knyttet til produksjon av byggematerialer til bygningskroppen, må man også benytte en faktor for dette. Byggematerialene er ikke produsert over et lengre tidsrom og en slik faktor blir da spesifikk for det året byggevaren produseres. Denne faktoren vil da naturlig være den røde og blå linjen i *figur 35*.

Det kommer tydelig frem i *figur 35* at dersom man skal benytte SINTEF anbefalte CO_2e-faktor for strømforbruk, vil elektrisiteten til produksjon av byggematerialer være 3-4 ganger mer utslippsintensiv enn selve forbruksstrømmen. Man ser at for 2020 vil faktoren for produksjon av byggematerialer være 279g CO_2e kWh^{-1} og faktoren for produksjon av forbruksstrøm være 79g CO_2e kWh^{-1}.

Hverken ZEB eller SINTEF benytter europeisk utslippsfaktor for produksjon av byggematerialer. Her anbefales man å bruke norsk el-miks og norske EPDer (Selamawit Mamo Fufa, 2016)(Byggforsk datablad 470.103). Følgelig vil utslippsfaktoren for byggematerialene fremstå 90% lavere. Dette synliggjøres i *figur 36*. Prinsipielt kan dette fremstå betenkelig.



Figur 36: Forskjell på europeisk og norsk elektrisitetsmiks. ZEB/ SINTEF benytter europeiske tall til beregning av utslippene knyttet til forbruksstrøm og norske tall for beregning av byggevarenes miljøavtrykk.

Man ser i *figur 36* en betydelig forskjell i utslippsfaktor avhengig av om man velger å bruke europeisk eller norsk el-miks for beregning av byggevarenes miljøavtrykk. I følge ZEB prosjektrapport 29 (Selamawit Mamo Fufa, 2016) vil europeisk tilgang på norsk strøm medføre en reduksjon i europeiske utslipp mellom 526g CO_2e kWh^{-1} og 711g CO_2e kWh^{-1}. Dette fremmes som argument for at ZEB ikke overestimerer nullutslippsbyggenes miljøprestasjon. Dette er også grunnen til at de regner norsk forbruksstrøm som europeisk miks. Teorien er altså at norsk strømforbruk påvirker europeisk strømproduksjon og dermed også europeiske utslipp.

Dersom resonnementet er gyldig, må det samme antagelig gjelde for alt norsk strømforbruk, ikke kun enkelte deler av det.

SINTEF setter ingen krav til hvilke tall man ønsker å bruke, men skriver at valget er utfordrende (Byggforsk datablad 470.102). SINTEF skriver også at valget av CO_2-faktor for forbruksstrøm er av stor betydning for resultatet (Byggforsk datablad 473.020). Dette betyr i praksis at LCA-beregninger kan fremstå helt vilkårlig og at alle norske LCA-beregninger derfor bør tolkes med varsomhet. Dette er uheldig og det burde ikke være vanskelig å internasjonalt forenes om de relativt enkle forutsetningene som må antas å kunne gjelde for en slik faktor. Det hjelper altså lite om man etter NS3720 enten skal bruke nasjonal eller regional elektrisitetsmiks, så lenge man også kan velge helt fritt hvilke kriterier som ligger til grunn, fritt kan kompensere tallene deretter og man i tillegg kan kombinere varianter av dette igjen.

I denne sammenheng kan det være interessant å kompensere et utvalg norske EPDer med europeisk el-miks, for på den måten å sammenligne hvordan et passivhus og et TEK97-bygg ville komme ut med de to helt forskjellige metodene. EPDer til fem vanlige norske byggevarer ble valgt for sammenligning[35].

Samtlige EPDer benytter forskjellige CO_2e-faktorer for standard norsk el-miks. Norcem bruker nordisk el-miks for sitt anlegg på Brevik i Porsgrunn kommune og har derfor rundt 5 ganger høyere CO_2e-faktor enn de andre. Det viser seg ingen åpenbar måte å identifisere elektrisitetsforbruket i EPDene, så kompensasjoner lot seg derfor ikke gjennomføre. EPD-Norge skriver i mail (Hauan, 29.05.2020) at de hverken har tid eller mulighet til å vise hvordan man identifiserer elektrisitetsforbruket i norske EPDer og at de ikke forstår hvorfor man skulle ønske dette. Videre opplyser de at produsenter oftest bruker lokal el-miks og følger opp:

Dvs at det gir ingen mening å «standardisere» el-miks, da el-miks er en veldig viktig komponent i beregning av EPD.

EPD-Norge forklarer observasjonen av ulike faktorer for standard norsk el-miks med at det kan være variasjoner fra år til år og også fra versjon til versjon av bakgrunnsdata. Noen produsenter bruker også pellets eller andre energikilder som kan påvirke el-miks. Nettopp denne forklaringen kan være et argument for at det kan gi mening å ha tilgang på tallene for selve elektrisitetsforbruket[36]. Østfoldforskning har på oppdrag for EPD-Norge laget en rapport med tanke på hvilken betydning valg av CO_2e-faktor vil ha på beregnede klimagassutslipp i norske EPDer. Konklusjonen er en differanse i totale produksjonsutslipp rundt 9-14% for norsk og europeisk el-miks (Anne Rønning, 2017). Valget av CO_2-faktor har altså ikke like stor betydning for produksjon av byggematerialer som for forbruksstrøm.

[35] Glava glass wool NEPD-1696-683-EN, Norgips Standard type A (STD) NEPD-113-177-EN, EPS-gruppen Lavlambda EPS 80 NEPD-1236-244-NO, Norcem Standard Sement 00023N rev1, NorDan NTech Innadslående toveis vindu NEPD 00176RE Rev1

[36] Det er antagelig ikke like varierende faktor for andre energibærere. ZEB benytter i dag de samme utslippsfaktorene for samtlige andre energibærere som SINTEF presenterer i Prosjektrapport 42 (2009).

Det ligger uansett i sakens natur at det ikke vil være mulig å konkludere med hva utslippene knyttet til elektrisitetsforbruk i virkeligheten er. Man bør derfor heller forenes internasjonalt om en måte å fastsette CO_2e-faktorer og koordinere bruken av disse.

Med bakgrunn i observasjonene omtalt i dette kapittelet, har jeg valgt å benytte samme kilde for alle EPDer, inklusive forbruksstrøm og oppnår forhåpentligvis prinsipielt proporsjonale resultater.

Ved hjelp av *Figur 32* avsluttes dette temaet med å konkludere at dersom man har tilgang på nok fornybar energi, vil strømforbruket nå en nedre grense. Ved like forutsetninger for teknisk strøm vil alle tidsavhengige utslipp bli like. I det tilfellet er det kun konstantleddet (utslipp knyttet til byggematerialene) som avgjør hvilket bygg som har best miljøprestasjon. Dette beskrives også i Byggforskserien datablad 470.102 (61).

11.4 Ventilasjonsanlegg

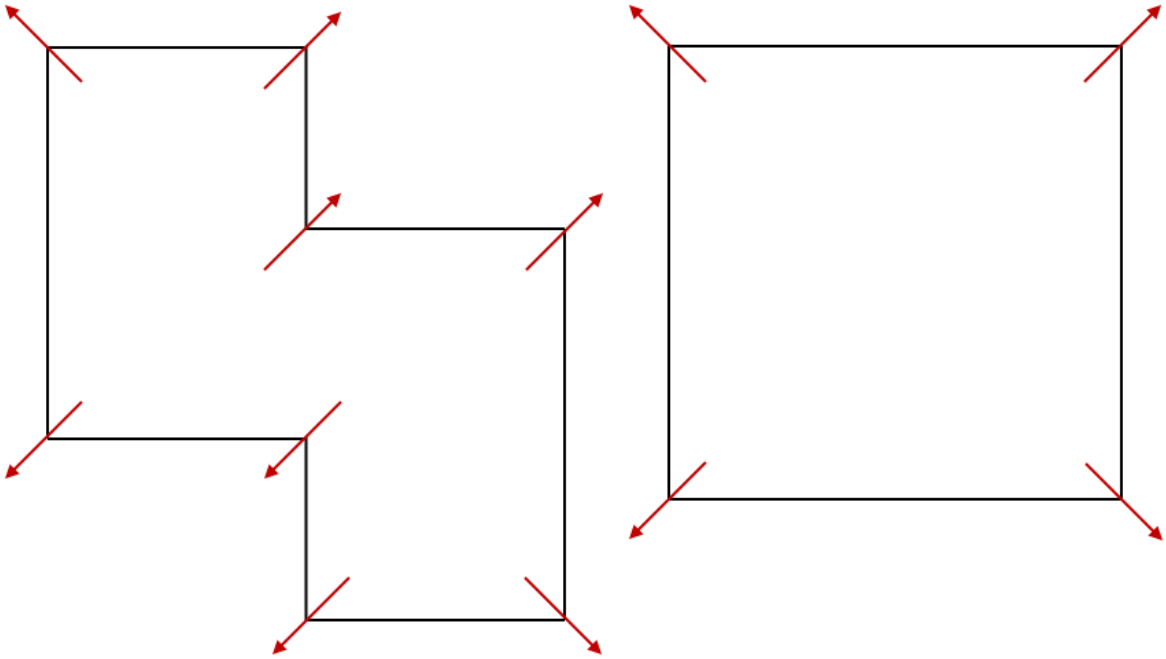
Det er ikke direkte krav om balansert ventilasjonsanlegg eller varmegjenvinning i TEK, men resultatene i 7.1 viser at det vil være vanskelig å oppnå energikravene uten en form for gjenvinning av energi fra ventilasjonsluften. Det er ikke noe stor grunn til å gå veldig langt inn i noe diskusjon om hvorvidt man bør benytte et slikt anlegg eller ikke. Det får være opp til den enkelte boligeier å avgjøre. Man trenger uansett ikke montere omfattende anlegg med teknisk rom, lange kanaler, stort effekttap og vedlikeholdsbehov. Det kan være nok å montere distribuerte løsninger, slik som vifter med gjenvinnere direkte montert i yttervegg. Disse fungerer med opp mot 83% gjenvinningsgrad[37] og har svært lavt effektbehov ettersom de ikke opplever spesielt mye friksjons- og singulærtap. Det siste skyldes at de ikke krever kanaler for transport av ventilasjonsluft. Morten Storegjerde i lavenergiSYSTEMER AS opplyser at deres system kan oppfylle kravene til luftomsetning i TEK. Et slikt system kan omtrent like enkelt monteres i eksisterende bygg, som i nybygg.

SINTEF Prosjektrapport 90 (Michael Klinski, 2012) konkluderer med at det er bedre luft i boliger med ventilasjonsanlegg enn i boliger uten.

[37] Dersom man sammenligner gjenvinningsgraden mellom to systemer, er det ikke den absolutte differansen man skal sammenligne. Det er den relative forskjellen som er viktig. Et system med 83% gjenvinningsgrad, taper 15% mindre energi enn et system med 80%. Øker man gjenvinningsgraden til 90%, vil dette systemet tape 50% mindre enn systemet med 80% gjenvinning.

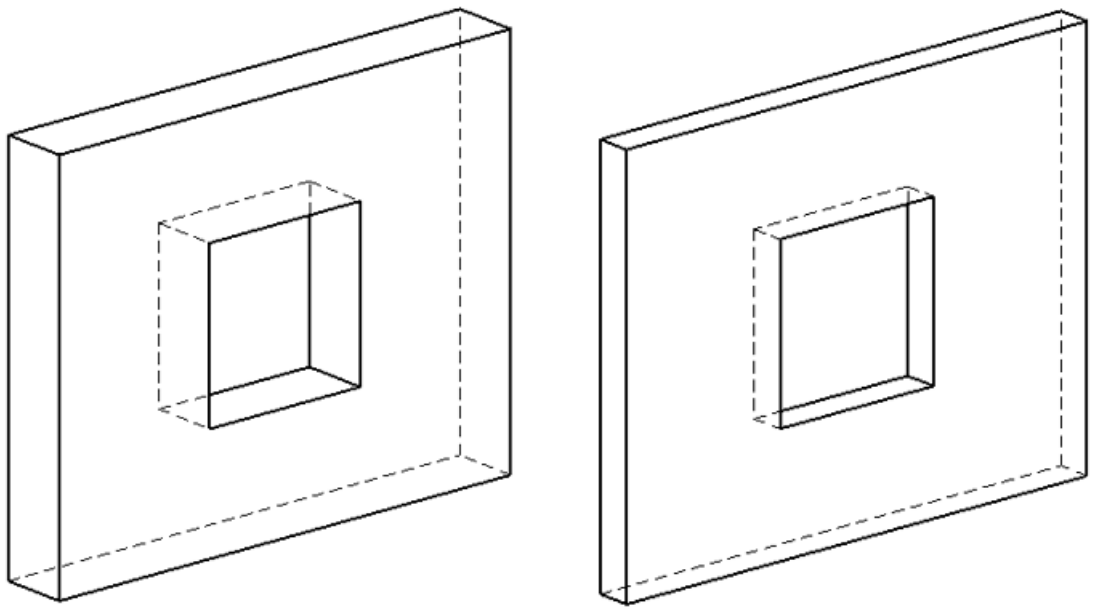
11.5 Estetiske valg og begrensninger

Teoretiske energirammer vil legge en del føringer for utformingen av nye bygg. Begrensningene blir større jo strengere kravene er. For eksempel vil plassering av vinduer være av betydning for oppvarming/ nedkjøling av bygget og vinduene må først og fremst plasseres med tanke på energirammer fremfor brukerbehov. I tillegg vil man måtte bygge så kubisk form som mulig. *Figur 37* gir et enkelt eksempel på hvordan man får redusert varmetapstall ved enklere utforming. Figuren til venstre har 8 hjørner med tilhørende kuldebroer og 22% større veggoverflate for samme BRA. Den økte lengden på veggene fører også til økte kuldebroer i overgangene vegg/ gulv og vegg/ tak. Dette vil føre til større varmetapstall og utformingen til venstre vil ikke kunne la seg benytte dersom energirammene utregnes som i dag og samtidig er veldig strenge.



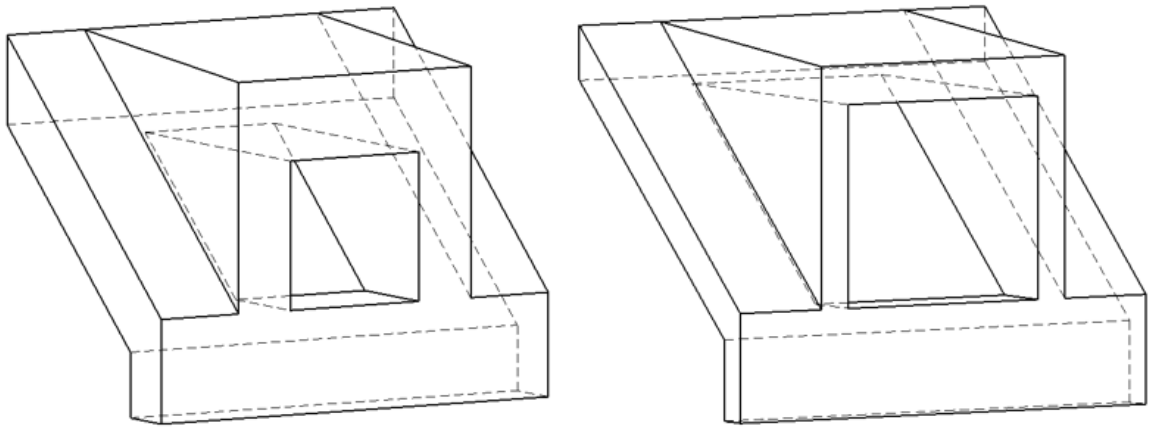
Figur 37: Eksempler på forskjellige utforminger for samme BRA. Figuren til venstre har 8 kuldeboer i hjørnene og 22% mer veggareal.

Ikke alle vil oppleve en ensidig kubisk fremtidig bygningsmasse som positivt. Mange vil antagelig sette pris på variasjon og arkitektoniske valgmuligheter. Dersom man kan oppnå lik eller bedre miljøprestasjon også på andre måter, er det god grunn til også å legge til rette for dette. Et annet eksempel er tykkere vegger, som vil gi mindre utsyn gjennom vinduer:



Figur 38: To vegger med 1 000x1 000mm vinduer. Utsynet reduseres i den tykkere veggen.

Eksempelet viser to vinduer på 1 000mm x 1 000mm i vegger med 200mm og 400mm tykkelse. Dersom man ser ut i 45°C vinkel blir lysåpningen fra passivhuset redusert med 25%. Et annet eksempel kan være takopplett. Her er det skissert 400mm og 200mm vegger, samt 450mm og 250mm tak:



Figur 39: Takopplett for passivhus og TEK17. På grunn av tykkere vegger og tak, blir vinduene forskjellige for samme konstruksjon. Vinduene er 1 000x1 000mm og 1 400x1 250mm. Passivhuset vil antagelig ikke kunne ha en slik løsning.

Vinduene i *figur 39* er 1 000x1 000mm og 1 400x1 250mm, men opplettet til passivhuset vil antagelig ikke la seg benytte på grunn av varmetap som følge av flere kuldebroer og økt

overflate. Man kan legge merke til at det 40% mindre passivhusvinduet vil kunne slippe igjennom mindre lys enn størrelsen skulle tilsi på grunn av lavere lystransmisjon.

Mange vil nok oppleve passivhuset som et svært godt alternativ og forståelig nok er godt fornøyd med minimalistisk byggestil, men det er ikke entydig at det representerer det eneste alternativet miljømessig. Det finnes få rapporter om brukeropplevelser i passivhus og den eneste jeg har funnet sammenligner nye passivhus med utenlandske boliger. Rapporten kan derfor ikke brukes til norske forhold, da de omtalte utenlandske boligene hverken har ventilasjonsanlegg, luftespalter over vinduer eller ventiler i vegger (Michael Klinski, 2012). De norske intervjupartnerne i rapporten sammenligner også passivhuset opp mot eldre boliger. Slike erfaringer er ikke relevante for undersøkelsene i denne oppgaven. Man ser for eksempel at *intervjupartnere 1* er meget fornøyde med passivhuset i forhold til sin tidligere bolig fra 1790.

I denne sammenheng mener jeg det er svært viktig å også respektere at nettopp et slikt gammelt hus kan være drømmen for mange. Folk har forskjellige preferanser og dersom boligen man ønsker seg ikke fører til større klimaavtrykk eller ressursbruk, bør et samfunn respektere og legge til rette også for dette.

Rapporten er helt entydig på bedre inneklima i passivhus, men forklarer dette med balansert ventilasjonsanlegg. Nær samtlige av eksempelboligene i denne oppgaven har slikt anlegg. Det beskrives noe brukeropplevd forvirring og oppstartsproblemer med tanke på de tekniske styringssystemene. Dette er naturlig og de fleste problemene løste seg relativt raskt. Allikevel bør man legge merke til beboer 5 som hadde feil på det elektriske anlegget. Feilen var knyttet til en strømsparingsfunksjon med hovedbryter. Beboeren fikk beskjed om at feilen var for komplisert å utbedre. Dette kan være et anekdotisk eksempel på at kompliserte løsninger øker faren for bygge- og prosjekteringsfeil og at det finnes fordeler ved å prøve å benytte enklest mulige løsninger.

12 Konklusjon

Det er vist et tydelig og varig hopp i byggekostnadene i 2007, sammenfallende med endringen i TEK07. Konklusjonen er at hoppet for det aller meste skyldes endringene i energireglene og har alene en økt byggekostnad rundt 300 000NOK for en standard norsk enebolig.

Det er sannsynliggjort at man kan oppnå samme, om ikke bedre, miljøprestasjon for norske bygg på andre måter enn kun ved en absolutt overgang til passivhus/ nullenergihus. Dette gjelder både med tanke på CO_2e-utslipp og rent elektrisitetsforbruk. Beregningene viser også relativt store potensielle økonomiske besparelser dersom man unngår en slik overgang. Dette gjelder både investeringskostnader og nåverdikostnader. Det er vist at TEK i praksis kan hindre satsning på alternative energikilder gjennom målepunktet *netto energi*. Dette målepunktet gjenspeiler hverken husets reelle energibehov eller hvilken type energi huset bruker. På denne måten premieres ikke alternative energikilder. Eksempler på energityper kan være elektrisitet, PV, vind og solvarme. Eksempler på reelt energibehov kan være varmepumper med virkningsgrad > 1 og det interne elektriske distribusjonssystemet med virkningsgrad < 1.

Energirammen i TEK er i stor grad basert på den elektriske besparelsen som oppnås via ventilasjonsanleggets varmegjenvinning, men påvirkes ikke av den elektriske besparelsen som følger av varmepumper, solfangeranlegg eller andre systemer. Dette er vanskelig å forstå, ettersom det ikke er noen reell forskjell i måtene å spare elektrisitet.

I tillegg innrømmer TEK lettelser i energirammen dersom man kan produsere egen strøm. Dette fremstår inkonsistent, da det også finnes andre måter å redusere elektrisitetsbehovet.

Norske LCA-analyser kan slik jeg forstår det fremstå nærmest vilkårlige og man kan ikke forsvare at resultatene i kapittel 8 blir brukt som annet enn innbyrdes referanseverdier. Dette på tross av at beregningene er utført med Statsbygg anbefalte LCA-verktøy (One Click LCA) og utført med verktøyets standardverdier. Usikkerheten skyldes at man står helt fritt til å velge hvilke kriterier som ligger til grunn for CO_2e-faktorer, fritt kan kompensere tallene og i tillegg bruke kombinasjoner av dette igjen. Estimatene for CO_2e-faktorer viser usedvanlig store variasjoner og det er derfor viktig å ikke «shoppe» tallgrunnlag når man utfører slike

beregninger. Alle tilgjengelige estimater bygger på forskjellige antagelser og forutsetninger og det vil slik jeg forstår det ikke være mulig å objektivt avgjøre hva som er de reelle utslippene knyttet til elektrisitetsforbruk. Dersom man ønsker å ha sammenlignbare LCA-analyser er man helt avhengig av en internasjonalt omforent praksis uten mulighet for egne tolkninger og egne forventinger om fremtiden.

Sett opp mot regjeringens ambisjon for budsjettåret 2020:

Regjeringen tar sikte på at energikravene i TEK17, som allerede er strenge, skal skjerpes ytterligere blant annet som følge av klimaforliket

anbefaler jeg på bakgrunn av resultatene i oppgaven følgende:

- Man bør revurdere målsetningen om en absolutt overgang til passivhus/ nullenergihus. En slik overgang er ikke entydig positiv i et miljøperspektiv. Det er potensiale for lavere CO_2e-utslipp, elektrisitetsforbruk og relativt store reduserte kostnader dersom man dreier fokuset mot faktiske miljøprestasjoner fremfor kun metode.
- Flytt målepunktet i TEK17 § 14-2 fra *netto energi* til *energiforsyning* og knytt dette opp mot elektrisk energi. Dette vil kunne gjøre satsning på fornybare energikilder lønnsomme. På denne måten kan man spare utslipp, penger og elektrisitet. I dag premieres kun ventilasjonssystemets virkningsgrad, men overser elektrisitetsbesparelsene til for eksempel varmepumper og solvarmeanlegg
- Gi eventuelt også like lettelser til elektrisitetsbesparende tiltak i TEK17 § 14-5 (5) slik som å likestille strøm og energi (PV/ vind mot varme)
- Lag entydige regler for LCA-beregninger, slik at de kan sammenlignes og benyttes uavhengig av hvem som har utført dem. Da vil man også kunne innføre utslippskrav i TEK. I dag synliggjøres det for eksempel ingen steder at 80mm betongsåle og grunnmur kan stå for hoveddelen av CO_2e-utslippene knyttet til bygningskroppen, eller at aluminiumsbekledte vinduer har høyere utslipp enn vanlige trevinduer selv med 50% lengre levetid
- Norske EPDer bør spesifisere elektrisitetsforbruket slik at man kan kompensere dem for utdaterte data og også mot de forskjellige anerkjente anslagene for utslipp.

- Nasjonal elektrisitetsmiks må fastsettes, både spesifikke tall og gjennomsnittstall. *Tabell 24* viser variasjon opp mot 2700%
- Økonomiske støtteordninger bør gjelde likt for alle sammenlignbare energitiltak.

Siterte verk

Almås, A.-J., 2012. *Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK,* Oslo: Multiconsult og SINTEF Byggforsk.

Almås, A.-J., 2014. *Konsekvensutredning av Energiregler 2015,* Oslo: Multiconsult.

Anne Rønning, I. S. M. C. V., 2017. *EÅD review Importance of electricity mix in A3 for GWP and compliance with EPD format and its user manual,* s.l.: Østfoldforskning.

Bo Carlsson, H. P. M. M. J. R., 2014. A total cost perspectice on use of polymeric materials in solar collectors - Importance of enviromental performance on sustaibility. *Applied Energy,* 20 10.

Bygg21, 2018. *Enkelt og presist -nødvendig kunnskap om bygg- og eiendomsnæringens utvikling,* s.l.: Bygg21.

Byggforsk, 2020. *byggforsk.no.* [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien
[Funnet 23 05 2020].

Cowi AS, 2012. *Faktastudie- kostnader for elektrisk og vassboren oppvarming,* Trondheim: Cowi AS.

Det Kongelige Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, 2019. *Prop. 1 S (2019-2020),* Oslo: Regjeringen.

Det kongelige Miljøverndepartementet, 2012. *Meld. St 21(2011-2012),* Oslo: Regjeringen.

DiBK, 2020. *DiBK.no.* [Internett]
Available at: https://dibk.no/byggereglene/
[Funnet 23 01 2020].

Dirk Mangold, L. D., 2012. *Seasonal thermal energy storage. Report on state of the art and necessary further R+D,* Stuttgart: Solites.de.

Dokka, T. H., 2011. *Proposal for CO2-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition,* s.l.: ZEB.

Eivind Selvig, M. K. W. Å. L. S., 2017. *Campus Evenstad- Statsbyggpilot. Jakten på nullutslippsbygget ZEB-COM.,* s.l.: Statsbygg.

EPD-Norge, 2018. *regjeringen.no.* [Internett]
Available at: https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing--ordningen-med-opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjon-for-strom/id2611034/?expand=horingssvar
[Funnet 05 06 2020].

European Environment Agency, 2016. *eea.europa.eu.* [Internett]
Available at: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5#tab-googlechartid_chart_11_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_ugeo%22%3A%5B%22European%20Union%20(current%20composition)%22%5D%7D%7D
[Funnet 18 02 2020].

Fuglseth, M., 2016. *Klimagassberegninger VIlla Drammen,* Sandvika: Asplan Viak.

G.P. Williams, L. G., 1976. *Ground Temperatures,* s.l.: Division of Building Research, National Research Counsil Canada.

Grønn Byggalianse, 2016. *BREEAM-NOR 2016 for nybygg, TEKNISK MANUAL SD5075NOR-Ver:1.2,* Oslo: Grønn Byggalianse.

Havskjold, M., 2020. *Vannbåren varme - Forventet virkelig energibruk, energifleksibilitet og kostnader,* Oslo: Erichsen Horgen.

Ingeborg Graabak, B. H. B. N. F., 2014/13. Zero Emission Building and Conversion Factors between Electriciti Consumption and Emissions of Greenhouse Gases in a Long Term Perspective. *Environmental and CLimate Technologies,* pp. 12-19.

Kallesøe, A. &. V.-P. T. (., 2019. *Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned,* s.l.: HEATSTORE project report, GEOTHERMICA – ERA NET Cofund Geothermal..
Kirsti Midttømme, B. O. H. H. S. o. A. N., 2000. *Kartlegging av energipotensialet i berggrunnen på kartblad Bekkestua, Bærum kommune: Varmeledningsevne til bergarter.,* Trondheim: NGU.
Knut Ivar Edvardsen, T. Ø. R., 2018. *Trehus.* 5 red. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
Kristian Stenerud Skeie, A. G. L. A. S. o. I. A., 2016. *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard,* Oslo: SINTEF akademisk forlag.
Lappegard, e. a., 2014. *Suksessfaktorer for økt bruk av solvarme,* Oslo: SINTEF akademisk forlag.
Lekang, O. I., 2019. *Formelsamling FYS235 Varmeoverføring og Energi.* Ås: NMBU.
Michael Klinski, J. T. Å. L. H. S. J. o. T. H. D., 2012. *Systematisering av erfaringer med passivhus,* Oslo: SINTEF akademisk forlag.
Nielsen, J. &. V.-P., 2019. *Underground Thermal Energy Storage (UTES)- general spesifications and design.,* s.l.: Geothermica-ERA Net.
NorDan, 2015. *portal.nordan.no.* [Internett]
Available at: https://portal.nordan.no/docs?filter=PRD.VK,TYP.VK.TS
[Funnet 20 01 2020].
NVE, 2018. *nve.no.* [Internett]
Available at: https://www.nve.no/energiforsyning/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2018/
[Funnet 18 02 2020].
One Click LCA, 2015. *One Click LCA.* Helsinki: Bionova Ltd..
Oslo Arbeiderparti, 2019. *oslo.arbeiderparti.no.* [Internett]
Available at: https://oslo.arbeiderpartiet.no/nyheter/byradsplattform-2019-2023/
[Funnet 22 06 2020].
Paul A. Tippler, G. M., 2008. *Physics For Scientists and Engineers.* 6 red. New York: W.H. Freeman and Company.
Prognosesenteret, 2010. *Kostnader ved installasjon av vannbåren varme,* Oslo: Prognosesenteret AS for Enova AS.
Programbyggerne, 2018. *programbyggerne.no.* [Internett]
Available at: https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/co2_faktor
[Funnet 06 03 2020].
Rolf Barlindhaug, B. N., 2011. *Boligbyggingens prisrespons. FOr mange hensyn eller for lite tilrettelegging?,* Oslo: Norsk institutt for by- og regionsforskning.
Selamawit Mamo Fufa, R. D. S. K. S. M. I. o. I. A., 2016. *A Norwegian ZEB Definition Guideline,* Oslo: SINTEF Academic Press.
Skarphagen, e. a. H., 2019. Design Considerations for Borehole Thermal Energy Storage (BTES): A Review with Emphasis on Convective Heat Transfer. *Geofluids,* 13 01, p. 26.
SSB1, 2019. *ssb.no.* [Internett]
Available at: https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/artikler-og-publikasjoner/revidert-vektgrunnlag-og-nytt-referansear-fra-neste-publisering
[Funnet 04 02 2020].
Stig Geving, J. H., 2010. *Høyisolerte konstruksjoner og fukt Prosjektrapport nr.53,* Oslo: Sintef Byggforsk.
Thomassen, A., 2000. *SSB.no.* [Internett]
Available at: https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/artikler-og-publikasjoner/byggekostnadsindeks-for-boliger
[Funnet 20 01 2020].

Tor Helge Dokka, M. K. M. H. o. M. M., 2009. *Kriterieer for passivhus- og lavenergibygg-Yrkesbygg,* Oslo: SINTEF byggforsk.
Torunn Kvinge, B. L. S. N., 2012. *Hva betyr kvalitetskrav for byggekostnader og boligtilbud?,* Oslo: Norsk Institutt for by- og regionsforskning.

Vedlegg

Tabeller

Tabell 25: Liste over forskjellige kuldebroer. Kilde: Byggforskserien, https://www.byggforsk.no/sok?sources=1&source=1&q=kuldebro

Datablad	**Type kuldebro**
472.001	Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi
472.051	Kuldebroverdier for tilslutniner mellom bygningdeler. Grunnlag for beregninger
472.101	Kuldebroverdier. Isolert ringmur med betong, bindingsverk av tre og betonggulv på grunnen
472.261	Kuldebroverdier. Betongvegg mot terreng, golv på grunnen
472.274	Kuldebroverdier. Vegg mot terreng, murt av lettklinkerblokker med isolasjon og golv på grunnen
472.301	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og trebjelkelag
472.304	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og dekke av betong
472.306	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og dekke av lettklinker
472.307	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og dekke av porebetong
472.308	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og hulldekke av betong
472.321	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon og trebjelkelag
472.326	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon og dekke av betong
472.329	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon og hulldekke av betong
472.362	Kuldebroverdier. Betongvegg, bindingsverkvegg av tre, trebjelkelag
472.365	Kuldebroverdier. Betongvegg, bindingsverk av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon, betongdekke
472.367	Kuldebroverdier. Betongvegg, bindingsverksvegg av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon, trebjelkelag
472.371	Kuldebroverdier. Vegg av lettklinkerblokker med isolasjon, dekke av lettklinkerbetong
472.375	Kuldebroverdier. Vegg av lettklinkerblokker med isolasjon, bindingsverksvegg av tre, dekke av lettklinkerbetong
472.376	Kuldebroverdier. Vegg av lettklinkerblokker med isolasjon, bindingsverksvegg av tre, trebjelkelag
472.501	Kuldebroverdier. Skrått tretak med kaldt loft og bindingsverksvegg av tre
472.503	Kuldebroverdier. Skrått tretak med kaldt loft og vegg av lettklinkerblokker med isolasjon
472.511	Kuldebroverdier. Isolert skrått tretak og bindingsverksvegg av tre
472.512	Kuldebroverdier. Isolert skrått tretak og bindingsverksvegg av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon
472.514	Kuldebroverdier. Møne i isolerte skrå tretak
472.531	Kuldebroverdier. Kompakt tak på betongdekke og bindingsverk av tre
472.532	Kuldebroverdier. Kompakt tak på betongdekke og bindingsverksvegg av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon
472.701	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og søyle av stål
472.711	Kuldebroverdier. Hjørne mellom bindingsvervegger av tre
472.721	Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre med utvendig kontinuerlig isolasjon og søyle av stål
472.723	Kuldebroverdier. Hjørne mellom betongvegger med kontinuerlig utvendig isolasjon
472.763	Kuldebroverdier. Hjørne mellom betongvegger med kontinuerlig utvendig isolasjon
472.871	Kuldebroverdier. Vindu i vegg av lettklinkerblokker med isolasjon
472.801	Kuldebroverdier. Vindu i bindingsverkegg av tre
472.861	Kuldebroverdier. Vindu i betongvegg

Datablad	**Type kuldebro**
472.911	Kuldebroverdier. Skorstein av lettklinkerbetongelementer og isolert trebjelkelag
472.931	Kuldebroverdier. Søyle av betong og dekke av betong

Tabell 26: BKI 1998-2019 Kilde SSB:08652

BKI einebustad av tre, SSB 08652

År	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
Indeks	54.2	55.6	57.7	60.5	62.4	64.3	66.1	68.3
År	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Indeks	70.7	76.6	80.7	82.7	85.4	88.5	91.3	93.9
År	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**		
Indeks	97.3	100.0	102.5	105.3	108.7	111.5		

Tabell 27: Tabell til figur 9

Tabell til figur 9

Tomtepriser FINN.no, lesedato 05.02.2020				
1000NOK	**stk**	**Tillegg fellesannonser**	**Feilplasseringer**	**Totalt**
0-100	16	34	-5	45
100-200	32	56	-5	83
200-300	58	12	-4	66
300-400	94	85	-6	173
400-500	109	47	-6	150
500-600	91	37	-5	123
600-700	107	42	-4	145
700-800	107	33	-6	134
800-900	90	41	-9	122
900-1000	111	14	-6	119
1000-1100	38	10		48
1100-1200	60	8	-7	61
1200-1300	73	36	-4	105
1300-1400	37	13	-2	48
1400-1500	57	4	-3	58
1500-1600	36	1	-1	36
1600-1700	38	2	-2	38
1700-1800	42		-3	39
1800-1900	24		-3	21
1900-2000	43		-6	37
2000-2100	7			7
2100-2200	10			10
2200-2300	14		-1	13
2300-2400	19	3	-2	20
2400-2500	36		-2	34

Tabell til figur 9 fortsetter

Tomter FINN.no, lesedato 05.02.2020

1000NOK	**stk**	**Tillegg fellesannonser**	**Feilplasseringer**	**Totalt**
2500-2600	13		-1	12
2600-2700	10		-1	9
2700-2800	7		-1	6
2800-2900	13		-4	9
2900-3000	28		-5	23
3000-3100	2			2
3100-3200	7			7
3200-3300	3			3
3300-3400	2			2
3400-3500	10			10
3500-3600	3			3
3600-3700	1			1
3700-3800	6			6
3800-3900	1			1
3900-4000	5			5
4000-4100				
4100-4200	2			2
4200-4300	2			2
4300-4400				
4400-4500	4			4
4500-4600	1			1
4600-4700				
4700-4800				
4800-4900	1			1
4900-5000				
6100-6200	1			1
	1471	**478**	**-104**	**1845**

Tabell 28: Tabell figur 14

Tabell til figur 14

Bygningsdel [NOK]	**Almås 2012**	**Almås 2014***	**Skeie 2016**
Vegger	350	160	887
Tak	150	140	133
Gulv	60	240	
Vindu/dør	200	170	164
Lekkasjetall	190	270	100
Andre	20	50	185
Sum	970	1030	1469
Regulert mot BKI	**1184**	**1180**	**1598**

**Almås 2014 gjelder kun TEK10 → foreslått variant av TEK15*

Tabell 29: CO2e-utslipp elektrisk energiforsyning. Kilde: OneClick LCA, iht NS-EN 15978

Tabell til figur 16

	TEK97		**TEK97 med varmegjenvinning**		**TEK17**		**Passivhus**	
Bygningsdel	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**
Grunn/fundament								
Betong [m^3]	10.4	**14**	10.4	**14**	10.4	**14**	10.6	**14**
EPS [m^3]	22.8	**1.6**	42.3	**1.6**	36.3	**2.6**	44.0	**3.1**
Knust stein [m^3]	45	**0.3**	95	**0.3**	46	**0.3**	49	**0.3**
Armering K131[kg]	231	**0.1**	231	**0.1**	231	**0.1**	231	**0.1**
Vegger								
Bindingsverksystem yttervegg [m^3]	38.3	**0.1**	38.3	**0.1**	48.2	**0.1**	48.9	**0.1**
Isolasjon [m^3]	33.5	**0.4**	33.5	**0.4**	42.2	**0.5**	68.7	**4.2**
Kledning 19mm [m^3]	3.6	**0.4**	3.6	**0.4**	3.7	**0.4**	3.7	**0.4**
Gipsplater [m^2]	265	**0.9**	265	**0.9**	265	**0.9**	265	**0.9**
OSB 18mm [m^3]							3.5	**0.2**
Tak								
Bindingsverksystem Himling [m^3]	18.0	**0.1**	18.0	**0.1**	18.4	**0.1**	14.7*	**0.1**
Isolasjon [m^3]	22.5	**0.3**	22.5	**0.3**	27.6	**0.4**	44.1	**0.6**
Bindingsverksystem Yttertak [m^3]	22.6	**0.1**	22.6	**0.1**	23.0	**0.1**	24.4	**0.1**
Rupanel 19mm [m^3]	2.1	**0.2**	2.1	**0.2**	2.2	**0.2**	2.3	**0.3**
Takbelegg 2 lag [m^2]	226	**0.5**	226	**0.5**	230	**0.6**	244	**0.6**
Installasjoner 25 års levetid								
Vindu [m^2]	24 2-lag	**2.6**	24 2-lag	**2.6**	24 3-lag	**2.9**	24 3-lag	**2.9**
Ventilasjon bolig [m^2]			164	**2**	164	**2**	164	**2**
Plateveksler [stk.]			1	**2.3**	1	**2.3**	1	**2.3**

Tabell til figur 16 fortsetter

	TEK97		**TEK97 med varmegjenvinning**		**TEK17**		**Passivhus**	
Bygningsdel	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**
Varmepumpe [kW]							1	**0.2**
VVbereder [kW]	2	**0.1**	2	**0.1**	2	**0.1**	1	**0.1**
Elektriske panelovner[kW]	8.6	**0.8**	6.4	**0.6**	4.0	**0.4**	2.7	**0.3**
CO_2e eksklusive el [Tonn livsløp^{-1}]		**22.5**		**26.7**		**28.1**		**32.8**
Elektrisitetsforbruk [kWh år^{-1}]	30000	**43.0**	23900	**34.0**	16800	**24.0**	9600	**14.0**
Tot. CO_2e inklusive el [Tonn livsløp^{-1}]		**65.5**		**60.7**		**52.1**		**46.8**

Tabell 30: CO2e-utslipp energiforsyning via solfanger. Kilde: OneClick LCA, iht NS-EN 15978

Tabell til figur 17

	TEK97		**TEK97 med varmegjenvinning**		**TEK17**		**Passivhus**	
	Mengde	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**	**Mengde**	**CO_2e[t]**
CO_2e eksklusive el inn [Tonn livsløp^{-1}]		**22.5**		**26.7**		**28.1**		**32.8**
Varmepumpe [kW]							-1	**-0.2**
Elektriske panelovner [kW]	-8.6	**-0.8**	-6.4	**-0.6**	-4.0	**-0.4**	-2.7	**-0.2**
Solfangere [m^2]	52	**3.8**	52	**3.8**	52	**3.8**	52	**3.8**
Vannvarme distribusjon [m^2]	164	**2.3**	164	**2.3**	164	**2.3**	82	**1.7**
CO_2e eksklusive el [Tonn livsløp^{-1}]		**27.8**		**32.2**		**33.8**		**37.9**
Elektrisitetsforbruk [kWh år^{-1}]	21400	**31.0**	15500	**22.0**	8400	**12.0**	7300	**10.5**
CO_2e inklusive el [Tonn livsløp^{-1}]		**58.8**		**54.2**		**45.8**		**48.4**

Tabell 31: T_∞ for de kjente prosjektene. Kilde yr.no [07.05.2020]

Tallgrunnlag T_∞ til tabell 16

Måned [°C]	**Drake Landing Okotoks, Canada**	**Luleå Norrbotten, Sverige**	**Anneberg Uppsala, Sverige**	**Brændstrup Jylland, Dannmark**
Januar	-9.6	-10.1	-2.8	0.7
Februar	-6.3	-9.6	-3.0	0.7
Mars	-2.5	-5.1	0.1	2.9
April	4.1	0.2	4.6	6.2
Mai	9.7	6.6	10.7	10.9
Juni	14.0	12.9	15.6	13.8
Juli	16.4	15.9	17.2	15.7
August	15.7	13.7	16.2	15.7
September	10.6	8.4	11.9	12.4
Oktober	5.7	2.7	7.5	8.7
November	-3.0	-3.8	2.6	4.6
Desember	-8.3	-8.3	-1.0	2.1
Gjennomsnitt	**3.9**	**2.0**	**6.6**	**7.9**

https://www.yr.no/place/Canada/Alberta/Okotoks/statistics.html
https://www.yr.no/place/Sweden/Norrbotten/Lule%C3%A5/statistics.html
https://www.yr.no/place/Sweden/Uppsala/anneberg/statistics.html
https://www.yr.no/place/Denmark/South_Denmark/Skrydstrup/statistics.html

Tabell 32: Sammenstilling av produsentkostnader for de forskjellige løsningene, før kompensasjon mellom produsentkost og kundekost.

Bygningsdel [NOK]	**TEK97**	**TEK97 med varmegjen-vinning**	**TEK07 med varmelager**	**Passivhus med varmelager**	**TEK07 elektrisk**	**Passivhus elektrisk**
Bygningskropp		86 500	229 800	494 000	229 800	494 000
Varmelager	140 000	140 000	140 000	140 000		
Solfanger	88 400	88 400	88 400	88 400		
Yttertak	-26 000	-26 000	-26 000	-26 000		
1kW luft/tappevann[38]						30 000
Pipe[39]					24 500	
Elektrisk oppvarming[40]	66 400	55 100			41 800	26 500

[38] Almås 2014
[39] Skeie 2016
[40] Almås 2014, TEK97-husene er basert på prisforholdet mellom passivhuset og Tek07

Tabell 32 fortsetter

Bygningsdel [NOK]	**TEK97**	**TEK97 med varmegjen-vinning**	**TEK07 med varmelager**	**Passivhus med varmelager**	**TEK07 elektrisk**	**Passivhus elektrisk**
Vannbåren distribusjon	101 200	101 200	101 200	72 900	101 200	72 900
Luft/vann varmepumpe						61 900
Varmesentral	30 300	30 300	30 300	30 300		30 300
Bereder	6 100	6 100			6 100	6 100
Sum med VBV:	**333 900**	**420 600**	**560 400**	**796 300**		**685 800**
Sum med panelovner:	**72 500**	**147 900**			**298 900**	**553 300**

Tabell 33: Tallgrunnlag Scenario 1

Tabell til figur 29. Scenario 1

Byggemåte [NOK]	**Byggekostnad**	**Elektrisitetskostnad**	**Sum**
TEK97	137 300	644 500	**781 800**
TEK97 varmegjenvinning	324 400	513 400	**837 800**
TEK17	517 600	360 900	**878 500**
TEK97 VB solvarme	455 200	459 700	**914 900**
TEK97 varmegjenvinning VB solvarme	664 100	333 000	**997 100**
TEK17 VB solvarme	851 800	182 600	**1 034 400**
Passivhus elektriske panelovner	853 200	205 600	**1 058 800**
Passivhus VB solvarme	1 123 100	155 800	**1 278 900**
Passivhus elektrisk VBV	1 115 400	197 600	**1 313 000**

Tabell 34: Tallgrunnlag Scenario 2

Tabell til figur 30. Scenario 2

Byggemåte [NOK]	**Byggekostnad**	**Elektrisitetskostnad**	**Sum**
TEK97 referanse	137 300	644 500	**781 800**
TEK17 referanse	517 600	360 900	**878 500**
TEK97 104m^2 solfangere	776 000	154 700	**930 700**
TEK17 52m^2 solfangere	788 100	154 700	**942 800**
Passivhus panelovner referanse	853 200	205 600	**1 058 800**
TEK17 104m^2 solfangere	921 800	154 700	**1 076 500**
Passivhus 52m^2 solfangere	1 035 400	154 700	**1 190 100**
Passivhus 104m^2 solfangere	1 177 100	154 700	**1 331 800**

Tabell 35: Tallgrunnlag Scenario 3

Tabell til figur 31. Scenario 3

Byggemåte [NOK]	**Byggekostnad**	**Elektrisitetskostnad**	**Sum**
TEK97	137 300	644 500	**781 800**
TEK17	517 600	360 900	**878 500**
TEK97 varmegjenvinning VB solvarme	771 000	154 700	**932 900**
TEK17 VB solvarme	838 600	154 700	**993 300**
Passivhus elektriske panelovner	853 200	205 600	**1 058 800**
Passivhus VB solvarme	1 061 400	154 700	**1 216 000**

Resultater fra TEK-sjekk energi

Boligen oppfyller ikke kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

1: GENERELT						
	Beskrivelse av bygning:	TEK97		*Utførende*	Kunde / byggherre / referanse:	
	Bygningskategori:	Småhus: Enebolig			Beregningen utført av firma:	
Type beregning	Type kontrollberegning:	TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)			Beregningen utført av person:	Even Bull Holmen
	Beregningen omfatter:	Hele bygningen		*Ytre klima*	Lokalt klima:	Oslo
Tilleggsinfo.	Antall boenheter i bygget:	1	Byggeår: 2020		Vindeksponering:	Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk
	Ev. matrikkelinfo:				Jordart:	Sand og grus

2: BYGNINGEN							Dokumentasjon / kommentar
Dimensjoner	Oppvarmet del av bruksareal, *BRA*	164	m²	BRA for bygningskomplekset er	164	m²	
	Oppvarmet luftvolum	394	m³				
	Eksponert omkrets	38	m				
Bygningskropp	Normalisert kuldebroverdi, ψ''	0	W/(m²K)				Inkludert i TEK97
	Lekkasjetall (lekkasjetest), n_{50}	4	Luftomsetninger / time, ved 50 Pa	Uteluftventiler:	0	oms./time	Anbefaler verdi over 2
	Bygningens varmekapasitet	32	Wh/(m²K)				
Ventilasjon	Ventilasjonsprinsipp	Naturlig					
	Luftmengde, dagtid	1.2	(m³/h)/m² = 197 m³/h.	Spesifikk vifteeffekt (SFP), dagtid:	0	kW/(m³/s)	
	Luftmengde, natt / helg	som over		Spesifikk vifteeffekt (SFP), natt / helg:	som over	kW/(m³/s)	
	Varmegjenvinning, virkningsgrad	0 %					
	Avkastluft, frostsikring	-10	°C				
Klimatisering	Styring av tilluftstemperatur	Utetemperatur		Driftsdata (driftstid, internlast, settpunkter)	standard		
	Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting		Arealandel vinduer som kan åpnes:	100 %		
	Nattsenking (utenom driftstid)	Nei					
Belysning	Styring av belysning	Vanlig manuell					
	Ønsket lysstyrke	300	Lux		1.95	W/m²	

3: KONSTRUKSJONSTYPER Konstruksjonstype	Beskrivelse	U-verdi W/(m²K)	Ekstra motstand +Δ*R* , (m²K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar
Yttervegg mot friluft	_TEK 1997 forskriftsnivå, vegg	0.220	-	Ventilert, lys	(U-verdien endret. Rediger beskrivelse?)
Golv på grunnen	_TEK 1997 forskriftsnivå, golv	0.150	(+jord)	-	U-verdi fra forskriftstekst (0.15 for golv på grunn)
Tak/himling mot kald loft	_TEK 1997 forskriftsnivå, tak	0.150	0.30	-	U-verdi fra forskriftstekst

4: TYPER VINDU / DØR Vindus-/dørtype	U-verdi W/(m²K)	Lysåpning *F* , %	Glass lystransmisjon / solfaktor *LT* % / *g* %	Solskjerming type	Solskjerming *Te% / Re%*	Vindussmyg ↕ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu inkl. karm, ikke yrkesbyg	1.600	80 %	71/50	Manuell (inne	19/67	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst
_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu inkl. karm, ikke yrkesbyg	1.600	80 %	71/50	Manuell (ute)	07/47	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst
Ytterdør, eldre heltre, 0% glass	2.000	0 %	-	-	-	-	(Verdiene endret. Rediger beskrivelse?)

5: FASADER / BYGNINGSKROPPEN Beskrivelse	Konstruksjonstype	Himmelretning (grader fra N.)	Bruttoareal m²	Vindus-/dørtype	Vindu/dør m²	Horisonten grader	Utspring ↑ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
VeggN	Yttervegg mot friluft	N (0°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
				Ytterdør, eldre heltre, 0% glass	2.00	-	-	
VeggS	Yttervegg mot friluft	S (180°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
VeggØ	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
VeggV	Yttervegg mot friluft	V (270°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
Golv	Golv på grunnen	-	82	-	-	-	-	
Tak	Tak/himling mot kald loft	-	82			-	-	

6: ENERGIFORSYNING Energivare	Systemtype (grunnforsyning øverst i listen, topplast-forsyning nederst)	Andel last dekket	Dokumentasjon / kommentarer
El.varmepumpe	Varmepumpe luft/vann. Dynamisk beregning: Vannbåren golvvarme og tappevann	0 %	COP=3.9 ved 10/35°C. Virkningsgrader er faste verdie
Elektrisitet	Helelektrisk bygning (termostatstyrte elektriske radiatorer, varmtvannsbereder, varmebatteri, forbruksstrøm)	rest	SINTEF Byggforsk

Bygning / prosjekt: TEK97.
Type beregning: TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg). Hele bygningen (småhus: enebolig) er beregnet.

NETTO ENERGIBEHOV (normalklima)

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m²år)
Romoppvarming	18679	113.9
Ventilasjonsvarme	-	-
Varmtvann	4885	29.8
Vifter	-	-
Pumper	-	-
Belysning	1868	11.4
Teknisk utstyr	2873	17.5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
Sum denne bygning:	28304	**173**
Krav i TEK10 §14-2(1) ≤	**-**	**110**
	-	**-**

VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m²	U-verdi [W/m²K] Denne bygning	U-verdi [W/m²K] TEK10 §14–2(2) energitiltak	U-verdi [W/m²K] TEK10 §14–3(1) minstekrav	Varmetap [(W/K)/m²] Denne bygning	Varmetap [(W/K)/m²] TEK10 §14–2(2) krav
Vegger	155.6	0.220	0.18	0.22	0.209	0.161
Tak	82.0	0.144	0.13	0.18	0.072	0.065
Gulv	82.0	0.128	0.10	0.18	0.064	0.050
Vinduer & døre	32.0	1.625	0.80	1.20	0.317	0.200
Kuldebro	164.0	ψ"=0	ψ"=0,05	-	0.000	0.050
Infiltrasjon	-	n_{50}=4	n_{50}=0,6	n_{50}=1,5	0.222	0.033
Ventilasjon	-	$\eta_{år}$≈0%	$\eta_{år}$=80%	-	0.396	0.079
Bygningens varmetapstall, *H"* [(W/K)/m²]:					**1.280**	**0.640**
					-	**-**

ENERGIFORSYNING (normalklima)

Energivare	Levert energi kWh/år	Spesifikk levert kWh/(m²år)	Dekningsgrad varmebehov
Direktevirkende el.	30028	183.0	100.0 %
El. til VP & solenergi	-	-	-
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	-	-	-
Annen fornybar	-	-	-
Sum denne bygning:	30028	183	100.0 %
	-	**-**	**-**
	-	**-**	**-**

Tilleggsinfo, dekningsgrad pr energisystem (normalklima)

Energisystem	Dekning av netto energibehov, kWh/år: Romoppv.	Vent.varme	Varmtvann	Romkjøling	Vent.kjøl.	El.spesifikt	Dekningsgrad av egen last	System-virkningsgrad
El.varmepumpe	0	-	0	-	-	-	**0 %**	-
Elektrisitet	18679	0	4885	-	-	4741	**100 %**	0.94
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
Total behov:	18679	-	4885	-	-	4741	-	

SAMMENDRAG

Energi: Minstekrav til U-verdi er ikke oppfylt.
Infiltrasjon er for høy. Minstekravet til lekkasjetall er n50 ≤ 1,5
Verken energirammen [TEK10 §14-2(1)] eller energitiltak [TEK10 §14-2(2)] er oppfylt.
Boligen må ha skorstein, ettersom den mangler vannbåren oppvarming (romoppvarming/ventilasjonsvarme), og 114 Wh/m²år oppvarming overskrider passivhus-kravet på ≤ 20 Wh/m²år; jf. TEK10 §14-4(4).
► Boligen oppfyller derfor ikke kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

Miljø: CO_2 utslipp cirka 72 kg/m² pr år ved lokalklima.

Inneklima: Tilfredsstillende innetemperatur. Den overskrider komfortgrensen (Inneklimakategori II i EN 15251:2007 §A.2) bare 4 timer i året, med vinduslufting.

Dagslys: Estimert arealmidlet dagslysfaktor i randsone Nord=2,6%; Øst=2,6%; Sør=2,6%; Vest=2,6%; Kjerne=0%; dvs. cirka 89% av BRA har en dagslysfaktor på minst 2%.
- Total glassareal (ekskl. karm) utgjør 14,6% av BRA.

Dokumentasjon av kontrollberegning i henhold til NS 3031:2014

Bygningsbeskrivelse, adresse:	**TEK97**	Byggeår 2020.
Lokalt klima:	**Oslo**	(Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk)
Type kontrollberegning:	**TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)**	Hele bygningen er beregnet
Beregning utført av:	**-**	Even Bull Holmen

SENTRALE INNDATA FOR ENERGIBEREGNINGEN, dokumentert iht. NS 3031:2014 Tillegg J:

Størrelser		**Inndata**	**Dokumentasjon**
Bygningskategori		Småhus	Enebolig (1 boenhet)
Arealer [m²]	Yttervegger	156 m²	_TEK 1997 forskriftsnivå, vegg
	Tak	82 m²	_TEK 1997 forskriftsnivå, tak
	Gulv	82 m²	_TEK 1997 forskriftsnivå, golv
	Vinduer, dører, og glassfelt	32 m²	bl.a. _TEK 1997 forskriftsnivå, vindu inkl. karm, ikke yrkesbygg #2
Oppvarmet del av BRA (A_{fl}) [m²]		164 m²	-
Oppvarmet luftvolum (V) [m³]		394 m³	-
U-verdi for bygningsdeler [W/(m²·K)]	Yttervegger	0,22 W/(m²K)	(U-verdien endret. Rediger beskrivelse?)
	Tak	0,14 W/(m²K)	U-verdi fra forskriftstekst
	Gulv	0,13 W/(m²K)	U-verdi fra forskriftstekst (0.15 for golv på grunn)
	Vinduer, dører, og glassfelt	1,62 W/(m²K)	bl.a. U-verdi fra forskriftstekst
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt, som % av BRA (γ_{sol})		20 %	-
Normalisert kuldebroverdi (Ψ'') [W/(m²·K)]		0	Inkludert i TEK97
Normalisert varmekapasitet (C'') [Wh/(m²·K)]		32	-
Lekkasjetall (n_{50}) [/h]		4	Rapport Anbefaler verdi over 2.
Temperaturvirkningsgrad (η_T) for varmeveksler		0.0 %	-
Årsmiddel temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner pga. frostsikring (men ikke tillufttemperatur-styring)		0.0 %	-
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, i driftstiden [kW/(m³/s)]		0	Naturlig ventilasjon
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, utenom driftstiden [kW/(m³/s)]		-	-
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde i driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		1.2	Luftlekkasjer (dvs. infiltrasjon) utgjør ca. 0,67 (m³/h)/m² i tillegg
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde utenom driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		-	-
Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemet		93 %	-
Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri) [W/m²]		51.7	Ingen nattsenking
Settpunkt-temperaturer for romoppvarming [°C]		21	Ventilasjonsluft settpunkt: -1000/-1000°C sommer/vinter
Årsgjennomsnittlig effektfaktor for kjølesystemet		-	-
Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m²]		-	-
Settpunkt-temperaturer for kjøling [°C]		-	-
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/(ℓ/s)]		-	ingen pumper
Driftstid for oppvarming, kjøling, lys, utstyr, varmtvann / ventilasjon / personer		16 / 24 / 24 timer/døgn	Hhv. 7 døgn/uke og & 52 uker/år, jf. NS 3031
Spesifikk effektbehov for belysning i driftstiden [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra belysning i driftstiden (q''_{lys}) [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for utstyr i driftstiden [W/m²]		3.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra utstyr i driftstiden (q''_{uts}) [W/m²]		1.80	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for varmtvann i driftstiden (q''_{w}) [W/m²]		5.10	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra varmtvann i driftstiden [W/m²]		0.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra personer i driftstiden (q''_{pers}) [W/m²]		1.50	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Total solfaktor (g_T) for vindu og solavskjerming (N/Ø/S/V/Tak)		0,092	Beregnet iht. EN 13363-1. Manuell (ute) solskjerming.
Gjennomsnittlig karmfaktor (F_F)		0.20	-
Solskjermingsfaktor pga. horisont, nære bygninger, vegetasjon, og eventuelle bygningsutspring		0.75	-

KONKLUSJON FRA KONTROLLBEREGNINGEN:

► Boligen oppfyller ikke kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

21. mars 2020
dato

underskrift

Boligen oppfyller ikke kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

1: GENERELT						
	Beskrivelse av bygning:	TEK97		*Utførende*	Kunde / byggherre / referanse:	
	Bygningskategori:	Småhus: Enebolig			Beregningen utført av firma:	
Type beregning	Type kontrollberegning:	TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)			Beregningen utført av person:	Even Bull Holmen
	Beregningen omfatter:	Hele bygningen		*Ytre klima*	Lokalt klima:	Oslo
Tilleggsinfo.	Antall boenheter i bygget:	1	Byggeår: 2020		Vindeksponering:	Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk
	Ev. matrikkelinfo:				Jordart:	Sand og grus

2: BYGNINGEN							Dokumentasjon / kommentar
Dimensjoner	Oppvarmet del av bruksareal, *BRA*	164	m²	BRA for bygningskomplekset er	164	m²	
	Oppvarmet luftvolum	394	m³				
	Eksponert omkrets	38	m				
Bygningskropp	Normalisert kuldebroverdi, ψ"	0	W/(m²K)				Inkludert i TEK97
	Lekkasjetall (lekkasjetest), n_{50}	4	Luftomsetninger / time, ved 50 Pa				Anbefaler verdi over 2
	Bygningens varmekapasitet	32	Wh/(m²K)				
Ventilasjon	Ventilasjonsprinsipp	Mek. balansert					
	Luftmengde, dagtid	1.2	(m³/h)/m² = 197 m³/h.	Spesifikk vifteeffekt (SFP), dagtid:	1.5	kW/(m³/s)	
	Luftmengde, natt / helg	som over		Spesifikk vifteeffekt (SFP), natt / helg:	som over	kW/(m³/s)	
	Varmegjenvinning, virkningsgrad	80 %		Oppgitt virkningsgrad gjelder for:	Varmeveksleren (EN 308)		
	Varmegjenvinner, frostsikring	-10	°C				
Klimatisering	Styring av tilluftstemperatur	18°C		Driftsdata (driftstid, internlast, settpunkter)	standard		
	Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting		Arealandel vinduer som kan åpnes:	100 %		
	Nattsenking (utenom driftstid)	Nei					
Belysning	Styring av belysning	Vanlig manuell					
	Ønsket lysstyrke	300	Lux		1.95	W/m²	

3: KONSTRUKSJONSTYPER Konstruksjonstype	Beskrivelse	U-verdi W/(m²K)	Ekstra motstand +Δ*R* , (m²K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar
Yttervegg mot friluft	_TEK 1997 forskriftsnivå, vegg	0.220	-	Ventilert, lys	(U-verdien endret. Rediger beskrivelse?)
Golv på grunnen	_TEK 1997 forskriftsnivå, golv	0.150	(+jord)	-	U-verdi fra forskriftstekst (0.15 for golv på grunn)
Tak/himling mot kald loft	_TEK 1997 forskriftsnivå, tak	0.150	0.30	-	U-verdi fra forskriftstekst

4: TYPER VINDU / DØR Vindus-/dørtype	U-verdi W/(m²K)	Lysåpning *F* , %	Glass lystransmisjon / solfaktor *LT* % / *g* %	Solskjerming type	Solskjerming *Te% / Re%*	Vindussmyg ↕ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu inkl. karm, ikke yrkesbyg	1.600	80 %	71/50	Manuell (inne	19/67	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst
_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu inkl. karm, ikke yrkesbyg	1.600	80 %	71/50	Manuell (ute)	07/47	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst
Ytterdør, eldre heltre, 0% glass	2.000	0 %	-	-	-	-	(Verdiene endret. Rediger beskrivelse?)

5: FASADER / BYGNINGSKROPPEN Beskrivelse	Konstruksjonstype	Himmelretning (grader fra N.)	Bruttoareal m²	Vindus-/dørtype	Vindu/dør m²	Horisonten grader	Utspring ↑ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
VeggN	Yttervegg mot friluft	N (0°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
				Ytterdør, eldre heltre, 0% glass	2.00	-	-	
VeggS	Yttervegg mot friluft	S (180°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
VeggØ	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
VeggV	Yttervegg mot friluft	V (270°)	46.9	_TEK 1997 forskriftsnivå, vindu i	7.50	10°	0	
Golv	Golv på grunnen	-	82	-	-	-	-	
Tak	Tak/himling mot kald loft	-	82			-	-	

6: ENERGIFORSYNING Energivare	Systemtype (grunnforsyning øverst i listen, topplast-forsyning nederst)	Andel last dekket	Dokumentasjon / kommentarer
El.varmepumpe	Varmepumpe luft/vann. Dynamisk beregning: Vannbåren golvvarme og tappevann	0 %	COP=3.9 ved 10/35°C. Virkningsgrader er faste verdie
Elektrisitet	Helelektrisk bygning (termostatstyrte elektriske radiatorer, varmtvannsbereder, varmebatteri, forbruksstrøm)	rest	SINTEF Byggforsk

Bygning / prosjekt: TEK97.
Type beregning: TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg). Hele bygningen (småhus: enebolig) er beregnet.

NETTO ENERGIBEHOV (normalklima)

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m²år)
Romoppvarming	12110	73.8
Ventilasjonsvarme	289	1.8
Varmtvann	4885	29.8
Vifter	718	4.4
Pumper	-	-
Belysning	1868	11.4
Teknisk utstyr	2873	17.5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
Sum denne bygning:	22743	**139**
Krav i TEK10 §14-2(1) ≤	**-**	**110**
	-	**-**

VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m²	U-verdi [W/m²K] Denne bygning	U-verdi TEK10 §14–2(2) energitiltak	U-verdi TEK10 §14–3(1) minstekrav	Varmetap [(W/K)/m²] Denne bygning	Varmetap TEK10 §14–2(2) krav
Vegger	155.6	0.220	0.18	0.22	0.209	0.161
Tak	82.0	0.144	0.13	0.18	0.072	0.065
Gulv	82.0	0.128	0.10	0.18	0.064	0.050
Vinduer & døre	32.0	1.625	0.80	1.20	0.317	0.200
Kuldebro	164.0	ψ"=0	ψ"=0,05	-	0.000	0.050
Infiltrasjon	-	n_{50}=4	n_{50}=0,6	n_{50}=1,5	0.222	0.033
Ventilasjon	-	$\eta_{år}$≈79,9%	$\eta_{år}$=80%	-	0.079	0.079
Bygningens varmetapstall, *H"* [(W/K)/m²]:					**0.960**	**0.640**
					-	**-**

ENERGIFORSYNING (normalklima)

Energivare	Levert energi kWh/år	Spesifikk levert kWh/(m²år)	Dekningsgrad varmebehov
Direktevirkende el.	23907	146.0	100.0 %
El. til VP & solenergi	-	-	-
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	-	-	-
Annen fornybar	-	-	-
Sum denne bygning:	23907	146	100.0 %
	-	**-**	**-**
	-	**-**	**-**

Tilleggsinfo, dekningsgrad pr energisystem (normalklima)

Energisystem	Dekning av netto energibehov, kWh/år: Romoppv.	Vent.varme	Varmtvann	Romkjøling	Vent.kjøl.	El.spesifikt	Dekningsgrad av egen last	System-virkningsgrad
El.varmepumpe	0	-	0	-	-	-	**0 %**	-
Elektrisitet	12110	289	4885	-	-	5459	**100 %**	0.95
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
Total behov:	12110	289	4885	-	-	5459	-	

SAMMENDRAG

Energi: Minstekrav til U-verdi er ikke oppfylt.
Infiltrasjon er for høy. Minstekravet til lekkasjetall er n50 ≤ 1,5
Verken energirammen [TEK10 §14-2(1)] eller energitiltak [TEK10 §14-2(2)] er oppfylt.
Boligen må ha skorstein, ettersom den mangler vannbåren oppvarming (romoppvarming/ventilasjonsvarme), og 76 Wh/m²år oppvarming overskrider passivhus-kravet på ≤ 20 Wh/m²år; jf. TEK10 §14-4(4).
► Boligen oppfyller derfor ikke kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

Miljø: CO_2 utslipp cirka 58 kg/m² pr år ved lokalklima.

Inneklima: Tilfredsstillende innetemperatur. Den overskrider komfortgrensen (Inneklimakategori II i EN 15251:2007 §A.2) bare 4 timer i året, med vinduslufting.

Dagslys: Estimert arealmidlet dagslysfaktor i randsone Nord=2,6%; Øst=2,6%; Sør=2,6%; Vest=2,6%; Kjerne=0%; dvs. cirka 89% av BRA har en dagslysfaktor på minst 2%.
- Total glassareal (ekskl. karm) utgjør 14,6% av BRA.

Dokumentasjon av kontrollberegning i henhold til NS 3031:2014

Bygningsbeskrivelse, adresse:	**TEK97**	Byggeår 2020.
Lokalt klima:	**Oslo**	(Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk)
Type kontrollberegning:	**TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)**	Hele bygningen er beregnet
Beregning utført av:	**-**	Even Bull Holmen

SENTRALE INNDATA FOR ENERGIBEREGNINGEN, dokumentert iht. NS 3031:2014 Tillegg J:

Størrelser		**Inndata**	**Dokumentasjon**
Bygningskategori		Småhus	Enebolig (1 boenhet)
Arealer [m²]	Yttervegger	156 m²	_TEK 1997 forskriftsnivå, vegg
	Tak	82 m²	_TEK 1997 forskriftsnivå, tak
	Gulv	82 m²	_TEK 1997 forskriftsnivå, golv
	Vinduer, dører, og glassfelt	32 m²	bl.a. _TEK 1997 forskriftsnivå, vindu inkl. karm, ikke yrkesbygg #2
Oppvarmet del av BRA (A_{fl}) [m²]		164 m²	-
Oppvarmet luftvolum (V) [m³]		394 m³	-
U-verdi for bygningsdeler [W/(m²·K)]	Yttervegger	0,22 W/(m²K)	(U-verdien endret. Rediger beskrivelse?)
	Tak	0,14 W/(m²K)	U-verdi fra forskriftstekst
	Gulv	0,13 W/(m²K)	U-verdi fra forskriftstekst (0.15 for golv på grunn)
	Vinduer, dører, og glassfelt	1,62 W/(m²K)	bl.a. U-verdi fra forskriftstekst
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt, som % av BRA (γ_{sol})		20 %	-
Normalisert kuldebroverdi (Ψ'') [W/(m²·K)]		0	Inkludert i TEK97
Normalisert varmekapasitet (C'') [Wh/(m²·K)]		32	-
Lekkasjetall (n_{50}) [/h]		4	Rapport Anbefaler verdi over 2.
Temperaturvirkningsgrad (η_T) for varmeveksler		80.0 %	-
Årsmiddel temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner pga. frostsikring (men ikke tillufttemperatur-styring)		79.9 %	Avkast>-10°C, Tilluft=18°C.
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, i driftstiden [kW/(m³/s)]		1.5	Mek. balansert ventilasjon
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, utenom driftstiden [kW/(m³/s)]		-	-
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde i driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		1.2	Luftlekkasjer (dvs. infiltrasjon) utgjør ca. 0,67 (m³/h)/m² i tillegg
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde utenom driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		-	-
Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemet		94 %	-
Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri) [W/m²]		39.2	Ingen nattsenking
Settpunkt-temperaturer for romoppvarming [°C]		21	Ventilasjonsluft settpunkt: 18/18°C sommer/vinter
Årsgjennomsnittlig effektfaktor for kjølesystemet		-	-
Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m²]		-	-
Settpunkt-temperaturer for kjøling [°C]		-	-
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/(ℓ/s)]		-	ingen pumper
Driftstid for oppvarming, kjøling, lys, utstyr, varmtvann / ventilasjon / personer		16 / 24 / 24 timer/døgn	Hhv. 7 døgn/uke og & 52 uker/år, jf. NS 3031
Spesifikk effektbehov for belysning i driftstiden [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra belysning i driftstiden (q''_{lys}) [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for utstyr i driftstiden [W/m²]		3.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra utstyr i driftstiden (q''_{uts}) [W/m²]		1.80	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for varmtvann i driftstiden (q''_{w}) [W/m²]		5.10	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra varmtvann i driftstiden [W/m²]		0.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra personer i driftstiden (q''_{pers}) [W/m²]		1.50	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Total solfaktor (g_T) for vindu og solavskjerming (N/Ø/S/V/Tak)		0,092	Beregnet iht. EN 13363-1. Manuell (ute) solskjerming.
Gjennomsnittlig karmfaktor (F_F)		0.20	-
Solskjermingsfaktor pga. horisont, nære bygninger, vegetasjon, og eventuelle bygningsutspring		0.75	-

KONKLUSJON FRA KONTROLLBEREGNINGEN:

► Boligen oppfyller ikke kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

21. mars 2020
dato

underskrift

Boligen oppfyller kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

1: GENERELT						
	Beskrivelse av bygning:	TEK17 standard enebolig		*Utførende*	Kunde / byggherre / referanse:	
	Bygningskategori:	Småhus: Enebolig			Beregningen utført av firma:	
Type beregning	Type kontrollberegning:	TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)			Beregningen utført av person:	Even Bull Holmen
	Beregningen omfatter:	Hele bygningen		*Ytre klima*	Lokalt klima:	Oslo
Tilleggsinfo.	Antall boenheter i bygget:	1	Byggeår: 2020		Vindeksponering:	Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk
	Ev. matrikkelinfo:				Jordart:	Sand og grus

2: BYGNINGEN							Dokumentasjon / kommentar
Dimensjoner	Oppvarmet del av bruksareal, *BRA*	164	m²	BRA for bygningskomplekset er	164	m²	
	Oppvarmet luftvolum	394	m³				
	Eksponert omkrets	38.4	m				
Bygningskropp	Normalisert kuldebroverdi, ψ''	0.05	W/(m²K)				
	Lekkasjetall (lekkasjetest), n_{50}	0.6	Luftomsetninger / time, ved 50 Pa				Anbefalt verdi over 3
	Bygningens varmekapasitet	32	Wh/(m²K)				
Ventilasjon	Ventilasjonsprinsipp	Mek. balansert					
	Luftmengde, dagtid	1.2	(m³/h)/m² = 197 m³/h.	Spesifikk vifteeffekt (SFP), dagtid:	1.5	kW/(m³/s)	
	Luftmengde, natt / helg	som over		Spesifikk vifteeffekt (SFP), natt / helg:	som over	kW/(m³/s)	
	Varmegjenvinning, virkningsgrad	80 %		Oppgitt virkningsgrad gjelder for:	Varmeveksleren (EN 308)		
	Varmegjenvinner, frostsikring	-10	°C				
Klimatisering	Styring av tilluftstemperatur	18°C		Driftsdata (driftstid, internlast, settpunkter)	standard		
	Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting		Arealandel vinduer som kan åpnes:	100 %		
	Nattsenking (utenom driftstid)	Nei					
Belysning	Styring av belysning	Vanlig manuell					
	Ønsket lysstyrke	300	Lux		1.95	W/m²	

3: KONSTRUKSJONSTYPER Konstruksjonstype	Beskrivelse	U-verdi W/(m²K)	Ekstra motstand +Δ*R* , (m²K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar
Yttervegg mot friluft	_TEK 2017 energitiltak, vegg	0.180	-	Ventilert, lys	U-verdi fra forskriftstekst
Golv på grunnen	_TEK 2017 energitiltak, golv	0.113	(+jord)	-	Inkludert jordmotstand blir U-verdi som i forskriften
Tak/himling mot kald loft	_TEK 2017 energitiltak, tak	0.130	0.30	-	U-verdi fra forskriftstekst

4: TYPER VINDU / DØR Vindus-/dørtype	U-verdi W/(m²K)	Lysåpning *F* , %	Glass lystransmisjon / solfaktor *LT* % / *g* %	Solskjerming type	Solskjerming *Te% / Re%*	Vindussmyg ↕ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
_TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm	0.800	80 %	71/51	Manuell (inne	19/67	0.1/1;0.1/1	(Verdiene endret. Rediger beskrivelse?)
_TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm+solsjerming	0.800	80 %	71/51	Manuell (ute)	07/47	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst
Ytterdør, nyere isolert, 0% glass	0.800	0 %	-	-	-	-	U-verdi fra forskriftstekst

5: FASADER / BYGNINGSKROPPEN Beskrivelse	Konstruksjonstype	Himmelretning (grader fra N.)	Bruttoareal m²	Vindus-/dørtype	Vindu/dør m²	Horisonten grader	Utspring ↑ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
VeggN	Yttervegg mot friluft	N (0°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
				Ytterdør, nyere isolert, 0% glass	2.00	-	-	
VeggS	Yttervegg mot friluft	S (180°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
VeggØ	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
VeggV	Yttervegg mot friluft	V (270°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
Golv	Golv på grunnen	-	82	-	-	-	-	
Tak	Tak/himling mot kald loft	-	82			-	-	

6: ENERGIFORSYNING Energivare	Systemtype (grunnforsyning øverst i listen, topplast-forsyning nederst)	Andel last dekket	Dokumentasjon / kommentarer
El.varmepumpe	Varmepumpe luft/vann. Dynamisk beregning: Vannbåren golvvarme og tappevann	0 %	COP=3.9 ved 10/35°C. Virkningsgrader er faste verdie
Elektrisitet	Helelektrisk bygning (termostatstyrte elektriske radiatorer, varmtvannsbereder, varmebatteri, forbruksstrøm)	rest	SINTEF Byggforsk

Bygning / prosjekt: TEK17 standard enebolig.
Type beregning: TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg). Hele bygningen (småhus: enebolig) er beregnet.

NETTO ENERGIBEHOV (normalklima)

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m²år)
Romoppvarming	5547	33.8
Ventilasjonsvarme	288	1.8
Varmtvann	4885	29.8
Vifter	718	4.4
Pumper	-	-
Belysning	1868	11.4
Teknisk utstyr	2873	17.5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
Sum denne bygning:	16179	**99**
Krav i TEK10 §14-2(1) ≤	**-**	**110**
	-	**-**

VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m²	U-verdi [W/m²K] Denne bygning	U-verdi [W/m²K] TEK10 §14–2(2) energitiltak	U-verdi [W/m²K] TEK10 §14–3(1) minstekrav	Varmetap [(W/K)/m²] Denne bygning	Varmetap [(W/K)/m²] TEK10 §14–2(2) krav
Vegger	155.6	0.180	0.18	0.22	0.171	0.161
Tak	82.0	0.125	0.13	0.18	0.063	0.065
Gulv	82.0	0.100	0.10	0.18	0.050	0.050
Vinduer & døre	32.0	0.800	0.80	1.20	0.156	0.200
Kuldebro	164.0	ψ"=0,05	ψ"=0,05	-	0.050	0.050
Infiltrasjon	-	n_{50}=0,6	n_{50}=0,6	n_{50}=1,5	0.033	0.033
Ventilasjon	-	$\eta_{år}$≈79,9%	$\eta_{år}$=80%	-	0.079	0.079
Bygningens varmetapstall, *H"* [(W/K)/m²]:					**0.600**	**0.640**
					-	**-**

ENERGIFORSYNING (normalklima)

Energivare	Levert energi kWh/år	Spesifikk levert kWh/(m²år)	Dekningsgrad varmebehov
Direktevirkende el.	16773	102.0	100.0 %
El. til VP & solenergi	-	-	-
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	-	-	-
Annen fornybar	-	-	-
Sum denne bygning:	16773	102	100.0 %
	-	**-**	**-**
	-	**-**	**-**

Tilleggsinfo, dekningsgrad pr energisystem (normalklima)

Energisystem	Dekning av netto energibehov, kWh/år: Romoppv.	Vent.varme	Varmtvann	Romkjøling	Vent.kjøl.	El.spesifikt	Dekningsgrad av egen last	System-virkningsgrad
El.varmepumpe	0	-	0	-	-	-	**0 %**	-
Elektrisitet	5547	288	4885	-	-	5459	**100 %**	0.96
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
Total behov:	5547	288	4885	-	-	5459	-	

SAMMENDRAG

Energi: Boligen må ha skorstein, ettersom den mangler vannbåren oppvarming (romoppvarming/ventilasjonsvarme), og 36 Wh/m²år oppvarming overskrider passivhus-kravet på ≤ 20 Wh/m²år; jf. TEK10 §14-4(4).
► Boligen oppfyller kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

Miljø: CO_2 utslipp cirka 40 kg/m² pr år ved lokalklima.

Inneklima: Tilfredsstillende innetemperatur. Den overskrider komfortgrensen (Inneklimakategori II i EN 15251:2007 §A.2) bare 6 timer i året, med vinduslufting.

Dagslys: Estimert arealmidlet dagslysfaktor i randsone Nord=2,6%; Øst=2,6%; Sør=2,6%; Vest=2,6%; Kjerne=0%; dvs. cirka 89% av BRA har en dagslysfaktor på minst 2%.
- Total glassareal (ekskl. karm) utgjør 14,6% av BRA.

Dokumentasjon av kontrollberegning i henhold til NS 3031:2014

Bygningsbeskrivelse, adresse:	**TEK17 standard enebolig**	Byggeår 2020.
Lokalt klima:	**Oslo**	(Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk)
Type kontrollberegning:	**TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)**	Hele bygningen er beregnet
Beregning utført av:	**-**	Even Bull Holmen

SENTRALE INNDATA FOR ENERGIBEREGNINGEN, dokumentert iht. NS 3031:2014 Tillegg J:

Størrelser		Inndata	Dokumentasjon
Bygningskategori		Småhus	Enebolig (1 boenhet)
Arealer [m²]	Yttervegger	156 m²	_TEK 2017 energitiltak, vegg
	Tak	82 m²	_TEK 2017 energitiltak, tak
	Gulv	82 m²	_TEK 2017 energitiltak, golv
	Vinduer, dører, og glassfelt	32 m²	bl.a. _TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm+solsjerming
Oppvarmet del av BRA (A_{fl}) [m²]		164 m²	-
Oppvarmet luftvolum (V) [m³]		394 m³	-
U-verdi for bygningsdeler [W/(m²·K)]	Yttervegger	0,18 W/(m²K)	U-verdi fra forskriftstekst
	Tak	0,13 W/(m²K)	U-verdi fra forskriftstekst
	Gulv	0,1 W/(m²K)	Inkludert jordmotstand blir U-verdi som i forskriften
	Vinduer, dører, og glassfelt	0,8 W/(m²K)	bl.a. U-verdi fra forskriftstekst
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt, som % av BRA (γ_{sol})		20 %	-
Normalisert kuldebroverdi (Ψ'') [W/(m²·K)]		0.05	-
Normalisert varmekapasitet (C'') [Wh/(m²·K)]		32	-
Lekkasjetall (n_{50}) [/h]		0.6	Rapport Anbefalt verdi over 3.
Temperaturvirkningsgrad (η_T) for varmeveksler		80.0 %	-
Årsmiddel temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner pga. frostsikring (men ikke tillufttemperatur-styring)		79.9 %	Avkast>-10°C, Tilluft=18°C.
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, i driftstiden [kW/(m³/s)]		1.5	Mek. balansert ventilasjon
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, utenom driftstiden [kW/(m³/s)]		-	-
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde i driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		1.2	Luftlekkasjer (dvs. infiltrasjon) utgjør ca. 0,1 (m³/h)/m² i tillegg
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde utenom driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		-	-
Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemet		95 %	-
Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri) [W/m²]		23.9	Ingen nattsenking
Settpunkt-temperaturer for romoppvarming [°C]		21	Ventilasjonsluft settpunkt: 18/18°C sommer/vinter
Årsgjennomsnittlig effektfaktor for kjølesystemet		-	-
Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m²]		-	-
Settpunkt-temperaturer for kjøling [°C]		-	-
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/(ℓ/s)]		-	ingen pumper
Driftstid for oppvarming, kjøling, lys, utstyr, varmtvann / ventilasjon / personer		16 / 24 / 24 timer/døgn	Hhv. 7 døgn/uke og & 52 uker/år, jf. NS 3031
Spesifikk effektbehov for belysning i driftstiden [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra belysning i driftstiden (q''_{lys}) [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for utstyr i driftstiden [W/m²]		3.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra utstyr i driftstiden (q''_{uts}) [W/m²]		1.80	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for varmtvann i driftstiden (q''_{w}) [W/m²]		5.10	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra varmtvann i driftstiden [W/m²]		0.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra personer i driftstiden (q''_{pers}) [W/m²]		1.50	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Total solfaktor (g_T) for vindu og solavskjerming (N/Ø/S/V/Tak)		0,07	Alle solbelastede fasader like. Manuell (ute) solskjerming.
Gjennomsnittlig karmfaktor (F_F)		0.20	-
Solskjermingsfaktor pga. horisont, nære bygninger, vegetasjon, og eventuelle bygningsutspring		0.75	-

KONKLUSJON FRA KONTROLLBEREGNINGEN:

► Boligen oppfyller kriteriene i TEK10 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

21. mars 2020
dato

underskrift

Boligen oppfyller kriteriene i NS 3700: Passivhuskriterier (bolig).

1: GENERELT	Beskrivelse av bygning:	Passivhus		*Utførende*	Kunde / byggherre / referanse:	
	Bygningskategori:	Småhus: Enebolig			Beregningen utført av firma:	
Type beregning	Type kontrollberegning:	NS 3700: Passivhuskriterier (bolig)			Beregningen utført av person:	Even Bull Holmen
	Beregningen omfatter:	Hele bygningen		*Ytre klima*	Lokalt klima:	Oslo
Tilleggsinfo.	Antall boenheter i bygget:	1	Byggeår: 2020		Vindeksponering:	Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk
	Ev. matrikkelinfo:				Jordart:	Sand og grus

2: BYGNINGEN							Dokumentasjon / kommentar
Dimensjoner	Oppvarmet del av bruksareal, *BRA*	164	m²	BRA for bygningskomplekset er	164	m²	
	Oppvarmet luftvolum	394	m³				
	Eksponert omkrets	39.6	m				
Bygningskropp	Normalisert kuldebroverdi, ψ''	0.023	W/(m²K)				Satt manuelt
	Lekkasjetall (lekkasjetest), n_{50}	0.3	Luftomsetninger / time, ved 50 Pa				Anbefalt verdi
	Bygningens varmekapasitet	32	Wh/(m²K)				
Ventilasjon	Ventilasjonsprinsipp	Mek. balansert					
	Luftmengde, dagtid	1.2	(m³/h)/m² = 197 m³/h.	Spesifikk vifteeffekt (SFP), dagtid:	0.86	kW/(m³/s)	
	Luftmengde, natt / helg	som over		Spesifikk vifteeffekt (SFP), natt / helg:	som over	kW/(m³/s)	
	Varmegjenvinning, virkningsgrad	80 %		Oppgitt virkningsgrad gjelder for:	Varmeveksleren (EN 308)		
	Varmegjenvinner, frostsikring	-10	°C				
Klimatisering	Styring av tilluftstemperatur	18°C		Driftsdata (driftstid, internlast, settpunkter)	standard		
	Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting		Arealandel vinduer som kan åpnes:	100 %		
	Nattsenking (utenom driftstid)	Nei					
Belysning	Styring av belysning	Vanlig manuell					
	Ønsket lysstyrke	300	Lux		1.95	W/m²	

3: KONSTRUKSJONSTYPER Konstruksjonstype	Beskrivelse	U-verdi W/(m²K)	Ekstra motstand +Δ*R* , (m²K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar
Yttervegg mot friluft	_TEK 2017 energitiltak, vegg	0.090	-	Ventilert, lys	U-verdi satt manuelt
Golv på grunnen	_TEK 2017 energitiltak, golv	0.070	(+jord)	-	Inkludert jordmotstand blir U-verdi som i forskriften
Tak/himling mot kald loft	_TEK 2017 energitiltak, tak	0.080	0.30	-	U-verdi satt manuelt

4: TYPER VINDU / DØR Vindus-/dørtype	U-verdi W/(m²K)	Lysåpning *F* , %	Glass lystransmisjon / solfaktor *LT* % / *g* %	Solskjerming type	Solskjerming *Te% / Re%*	Vindussmyg ↕ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
_TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm	0.650	80 %	57/37	Manuell (inne	19/67	0.1/1;0.1/1	(Verdiene endret. Rediger beskrivelse?)
_TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm+solsjerming	0.650	80 %	57/37	Manuell (ute)	07/47	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst
Ytterdør, nyere isolert, 0% glass	0.650	0 %	-	-	-	-	U-verdi fra forskriftstekst

5: FASADER / BYGNINGSKROPPEN Beskrivelse	Konstruksjonstype	Himmelretning (grader fra N.)	Bruttoareal m²	Vindus-/dørtype	Vindu/dør m²	Horisonten grader	Utspring ↑ [;↔ [;→]]	Dokumentasjon / kommentar
VeggN	Yttervegg mot friluft	N (0°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
				Ytterdør, nyere isolert, 0% glass	2.00	-	-	
VeggS	Yttervegg mot friluft	S (180°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
VeggØ	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
VeggV	Yttervegg mot friluft	V (270°)	46.9	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	7.50	10°	0	
Golv	Golv på grunnen	-	82	-	-	-	-	
Tak	Tak/himling mot kald loft	-	82			-	-	

6: ENERGIFORSYNING Energivare	Systemtype (grunnforsyning øverst i listen, topplast-forsyning nederst)	Andel last dekket	Dokumentasjon / kommentarer
El.varmepumpe	Varmepumpe for varmt tappevann, med CO2 kuldemedium	1kW	COP 3.8 årsmiddel (ηvv=3,8.)
Elektrisitet	Helelektrisk bygning (termostatstyrte elektriske radiatorer, varmtvannsbereder, varmebatteri, forbruksstrøm)	rest	SINTEF Byggforsk

Bygning / prosjekt: Passivhus.
Type beregning: NS 3700: Passivhuskriterier (bolig). Hele bygningen (småhus: enebolig) er beregnet.

NETTO ENERGIBEHOV (normalklima)

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m²år)
Romoppvarming	2553	15.6
Ventilasjonsvarme	343	2.1
Varmtvann	4885	29.8
Vifter	412	2.5
Pumper	-	-
Belysning	1868	11.4
Teknisk utstyr	2873	17.5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
Sum denne bygning:	12933	**79**
Andel til oppvarming:	**2896**	**18**
Passivhus-krav ≤	**-**	**20**

VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m²	U-verdi [W/m²K] Denne bygning	-	Passivhus minstekrav	Varmetap [(W/K)/m²] Denne bygning	Passivhus varmetaps-ramme
Vegger	155.6	0.090	-	0.22	0.085	-
Tak	82.0	0.078	-	0.18	0.039	-
Gulv	82.0	0.065	-	0.18	0.033	-
Vinduer & dører	32.0	0.650	-	0.80	0.127	-
Kuldebro	164.0	ψ"=0,02	-	ψ"=0,03	0.023	-
Infiltrasjon	-	n_{50}=0,3	-	n_{50}=0,6	0.017	-
Ventilasjon	-	$\eta_{år}$≈79,9%	-	$\eta_{år}$=80%	0.079	-
Bygningens varmetapstall, *H"* [(W/K)/m²]:					**0.400**	**-**
Hvorav andelen transmisjon og infiltrasjon, H"tr,inf [(W/K)/m²]:					**0.320**	**0.480**

ENERGIFORSYNING (normalklima)

Energivare	Levert energi kWh/år	Spesifikk levert kWh/(m²år)	Dekningsgrad varmebehov
Direktevirkende el.	8285	51.0	37.2 %
El. til VP & solenergi	1285	8.0	62.8 %
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	-	-	-
Annen fornybar	-	-	-
Sum denne bygning:	9570	58	100.0 %
Levert fossilt & el:	**9570**	**100.0 %**	**-**
Passivhus-krav ≤	**10491**	**100.0 %**	**-**

Tilleggsinfo, dekningsgrad pr energisystem (normalklima)

Energisystem	Dekning av netto energibehov, kWh/år Romoppv.	Vent.varme	Varmtvann	Romkjøling	Vent.kjøl.	El.spesifikt	Dekningsgrad av egen last	System-virkningsgrad
El.varmepumpe	-	-	4885	-	-	-	**100 %**	3.80
Elektrisitet	2553	343	0	-	-	5153	**62 %**	0.97
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
-	-	-	-	-	-	-	**-**	-
Total behov:	2553	343	4885	-	-	5153	-	

SAMMENDRAG

Energi: ► Boligen oppfyller kriteriene i NS 3700: Passivhuskriterier (bolig).
Miljø: CO_2 utslipp cirka 23 kg/m² pr år ved lokalklima.
Inneklima: Tilfredsstillende innetemperatur. Den overskrider komfortgrensen (Inneklimakategori II i EN 15251:2007 §A.2) bare 3 timer i året, med vinduslufting.
Dagslys: Estimert arealmidlet dagslysfaktor i randsone Nord=2,1%; Øst=2,1%; Sør=2,1%; Vest=2,1%; Kjerne=0%; dvs. cirka 89% av BRA har en dagslysfaktor på minst 2%.
- Total glassareal (ekskl. karm) utgjør 14,6% av BRA.

Dokumentasjon av kontrollberegning i henhold til NS 3031:2014

Bygningsbeskrivelse, adresse:	**Passivhus**	Byggeår 2020.
Lokalt klima:	**Oslo**	(Landlig | Lave trær / boligstrøk / jordbruk)
Type kontrollberegning:	**NS 3700: Passivhuskriterier (bolig)**	Hele bygningen er beregnet
Beregning utført av:	**-**	Even Bull Holmen

SENTRALE INNDATA FOR ENERGIBEREGNINGEN, dokumentert iht. NS 3031:2014 Tillegg J:

Størrelser		**Inndata**	**Dokumentasjon**
Bygningskategori		Småhus	Enebolig (1 boenhet)
Arealer [m²]	Yttervegger	156 m²	_TEK 2017 energitiltak, vegg
	Tak	82 m²	_TEK 2017 energitiltak, tak
	Gulv	82 m²	_TEK 2017 energitiltak, golv
	Vinduer, dører, og glassfelt	32 m²	bl.a. _TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm+solsjerming
Oppvarmet del av BRA (A_{fl}) [m²]		164 m²	-
Oppvarmet luftvolum (V) [m³]		394 m³	-
U-verdi for bygningsdeler [W/(m²·K)]	Yttervegger	0,09 W/(m²K)	U-verdi satt manuelt
	Tak	0,08 W/(m²K)	U-verdi satt manuelt
	Gulv	0,07 W/(m²K)	Inkludert jordmotstand blir U-verdi som i forskriften
	Vinduer, dører, og glassfelt	0,65 W/(m²K)	bl.a. U-verdi fra forskriftstekst
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt, som % av BRA (γ_{sol})		20 %	-
Normalisert kuldebroverdi (Ψ'') [W/(m²·K)]		0.023	Satt manuelt
Normalisert varmekapasitet (C'') [Wh/(m²·K)]		32	-
Lekkasjetall (n_{50}) [/h]		0.3	Rapport Anbefalt verdi.
Temperaturvirkningsgrad (η_T) for varmeveksler		80.0 %	-
Årsmiddel temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner pga. frostsikring (men ikke tillufttemperatur-styring)		79.9 %	Avkast>-10°C, Tilluft=18°C.
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, i driftstiden [kW/(m³/s)]		0.86	Mek. balansert ventilasjon
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, utenom driftstiden [kW/(m³/s)]		-	-
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde i driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		1.2	Luftlekkasjer (dvs. infiltrasjon) utgjør ca. 0,05 (m³/h)/m² i tillegg
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde utenom driftstiden (V_{on}/A_{fl}) [(m³/h)/m²]		-	-
Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemet		176 %	-
Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri) [W/m²]		16.4	Ingen nattsenking
Settpunkt-temperaturer for romoppvarming [°C]		21	Ventilasjonsluft settpunkt: 18/18°C sommer/vinter
Årsgjennomsnittlig effektfaktor for kjølesystemet		-	-
Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m²]		-	-
Settpunkt-temperaturer for kjøling [°C]		-	-
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/(ℓ/s)]		-	ingen pumper
Driftstid for oppvarming, kjøling, lys, utstyr, varmtvann / ventilasjon / personer		16 / 24 / 24 timer/døgn	Hhv. 7 døgn/uke og & 52 uker/år, jf. NS 3031
Spesifikk effektbehov for belysning i driftstiden [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra belysning i driftstiden (q''_{lys}) [W/m²]		1.95	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for utstyr i driftstiden [W/m²]		3.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra utstyr i driftstiden (q''_{uts}) [W/m²]		1.80	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk effektbehov for varmtvann i driftstiden (q''_{w}) [W/m²]		5.10	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra varmtvann i driftstiden [W/m²]		0.00	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Spesifikk varmetilskudd fra personer i driftstiden (q''_{pers}) [W/m²]		1.50	J.fr. NS 3031 Tillegg A
Total solfaktor (g_T) for vindu og solavskjerming (N/Ø/S/V/Tak)		0,056	Beregnet iht. EN 13363-1. Manuell (ute) solskjerming.
Gjennomsnittlig karmfaktor (F_F)		0.20	-
Solskjermingsfaktor pga. horisont, nære bygninger, vegetasjon, og eventuelle bygningsutspring		0.75	-

KONKLUSJON FRA KONTROLLBEREGNINGEN:

► Boligen oppfyller kriteriene i NS 3700: Passivhuskriterier (bolig).

21. mars 2020
dato

underskrift

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitskapelege universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway