asplan
viak

Klimagassberegninger av tiltak støttet av Enova



Dato: 06.05.2026

asplanviak.no

Versjon: **03**

asplan
viak

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Enova SF
Tittel på rapport:	Klimagassberegninger av tiltak støttet av Enova
Oppdragsnavn:	Klimagassberegninger av tiltak støttet gjennom Enova
Oppdragsnummer:	649037-01
Utarbeidet av:	Sofie Møller, Espen Løken, Christian Solli, Oddbjørn Dahlstrøm Andvik, Alexander Borg og Vidar Lind Yttersian
Oppdragsleder:	Sofie Møller
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Denne rapporten presenterer livsløpsberegninger av å implementere ulike energieffektiviseringstiltak. Utslippene tilknyttet implementering av tiltak er sammenliknet mot klimaeffekten av energibesparelsen tiltakene gir.

Nesten alle energitiltak som er beregnet gir en netto klimagassbesparelse for alle bygningstyper, årsklasser og energiforsyningsløsninger når norsk-europeisk strømmiks og maks utslipp fra fjernvarme legges til grunn.

Når norsk strømmiks og minimale utslipp fra fjernvarme legges til grunn gir mange tiltak en netto reduksjon i klimagassutslipp, men ikke for alle årsklasser, bygningstyper og energiforsyningsløsninger. Det er gjerne for de nyeste byggene og bygg med varmepumpe tiltakene ikke gir en besparelse for.

Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS
03	06.mai.2026	Spissing av sammendrag og noe endring av tekst	SM, EL CS, ODA,AB, VLY	CS
02	11.april.2025	Oppretting av kommentarer fra Enova	SM, EL CS, ODA,AB, VLY	CS
01	31. mar. 2025	Nytt dokument	SM, EL CS, ODA,AB, VLY	CS

Forord

Denne rapporten er utarbeidet av Asplan Viak på oppdrag fra Enova. Rapporten skal være et kunnskapsgrunnlag for Enova og gir informasjon om klimaeffekten av ulike energieffektiviseringstiltak.

Arbeidet har funnet sted i perioden januar 2025 – mars 2025. Rapporten er oppdatert i mai 2026.

Sofie Møller har vært oppdragsleder hos Asplan Viak.

Vibeke Askeland har vært kontaktperson hos oppdragsgiver.

Sofie Møller, Oddbjørn Dahlstrøm Andvik og Alexander Borg har gjort klimagassberegninger av tiltakene. Espen Løken og Vidar Lind Yttersian har gjort energiberegninger. Christian Solli har kvalitetssikret rapporten og vært en fagressurs i prosjektet.

Flere fagpersoner fra Asplan Viak har også vært involvert for å få materialmengder for energitiltakene.

Oslo, 06.05.2026

Sofie Møller
Oppdragsleder

Christian Solli
Kvalitetssikrer

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon 6

2. Tiltaksvurderinger og case 7

2.1. Tiltaksvurderinger 7
2.2. Case 8
2.3. Referansebygg 9

3. Metode og forutsetninger 10

3.1. Klimagassberegninger av tiltak 10
3.2. Energiberegninger 40
3.3. Klimagassbesparelser som følge av redusert forbruk av energi 46

4. Resultater 56

4.1. Tiltak 57
4.2. Case 95

5. Diskusjon 107

5.1. Tilgjengelighet av elektrisitet 107
5.2. Energieffektiv belysning 107
5.3. Konvertering til vannbåren varme 109

6. Konklusjon og oppsummering 111

Vedlegg 116

Vedlegg A 116

1. Introduksjon

Byggenæringen står for en stor andel av Norges klimafotavtrykk og bygg står for omtrent 40 % av energibruken i Norge. Det ligger et stort potensial for effektivisering og omlegging av energibruken til bygg. Dette kan bidra både til å frigjøre energi til andre formål og til å redusere klimagassutslippene til bygg.

Enova har en stor satsing på energieffektivisering innenfor både privatboligmarkedet og næringsbygg og fikk i 2023 et tilleggsoppdrag som forsterker innsatsen på energitiltak i yrkesbygg og boliger. Enovas programmer skal blant annet bidra til å øke lokal energiproduksjon, forbedre byggs energitilstand og frigjøre kapasitet på strømnettet.

Tiltak for energieffektivisering og egenproduksjon av energi krever oftematerialer, transport og avfallshåndtering. Dette gir et bidrag til klimafotavtrykket til bygg. Byggenæringens ressursforbruk er den største driveren bak næringens høye klimafotavtrykk. Energieffektiviseringstiltak og lokal energiproduksjon vil generere klimagassutslipp andre steder i livsløpet. Energieffektiviseringstiltak kan gi en så stor reduksjon i energiforbruk at de sparte utslippene fra å bruke mindre energi blir større enn materialutslippene tilknyttet implementeringen av tiltaket.

Denne analysen vurderer klimagassutslipp for tiltak innenfor energieffektivisering og lokal energiproduksjon som støttes gjennom Enovas programmer til næringsbygg og det private boligmarkedet. Beregningene er gjort for bygningskategoriene småhus, boligblokk, skole og kontorbygg samt for de byggetekniske forskriftene som omfatter eldre, TEK49, TEK69, TEK 87, TEK 97 og TEK 07. De ulike byggetekniske forskriftene er videre i dokumentet omtalt som årsklassene. Klimagassberegningene benytter livsløpsbaserte utslippsfaktorer og er fra vugge til grav.

Formålet med analysen er å synliggjøre klimagassutslippene for ulike energieffektiviseringstiltak gjennom livsløpet sett opp mot nytten.

2. Tiltaksvurderinger og case

En rekke tiltak for energieffektivisering av bygg er vurdert i denne analysen. Alle tiltakene er vurdert enkeltvis for de aktuelle bygningstypene og årsklassene i analysen. Det er i tillegg gjennomført case hvor flere tiltak er satt sammen for å vurdere effekten av flere energitiltak i ett bygg. Dette kapittelet gir en introduksjon til tiltakene og casene som er vurdert i analysen.

Tiltak er valgt i samråd med Enova. Det er kun beregnet tiltak som Enova kan støtte. Tiltakene omfatter både energieffektivisering og energiproduksjon.

For case er det valgt tiltak som gjerne gjøres samtidig. Disse er også valgt i samråd med Enova.

2.1. Tiltaksvurderinger

Det er gjennomført klimagassberegninger av en rekke tiltak for yrkesbygg, småhus og boligblokker og for årsklasser som spenner seg fra eldre bygg til TEK 07. Det ble innledningsvis avklart med Enova at for yrkesbygg ble det satt en begrensning til å utelukkende gjøre vurderinger for skoler og kontorbygninger.

Tabell 2-1 viser oversikten over de ulike tiltakene som er vurdert med en beskrivelse.

Tabell 2-1 Tiltaksbeskrivelser for enkelttiltak

Felles for yrkesbygg, småhus og boligblokk	
Tiltak	***Beskrivelse av tiltak***
Etterisolering vegg	Antas at tiltaket gjøres når utvendig kledning allerede skal fjernes. Ny isolasjon legges utenpå eksisterende med ny utlekting, vindsperre og nytt panel. Utslipp fra isolasjon og nytt bindingsverk er inkludert i tiltaket. Vindsperre er ikke inkludert i tiltaket ettersom energiberegningene kun omfattet ny oppnådd U-verdi fra nye vinduer og ikke omfatter at bygget blir tettere.
Etterisolering tak-kaldt loft	Hvordan det etterisoleres på kaldt loft avhenger av hvordan taket er bygget opp fra før. Det er ulike løsninger på de ulike årsklassene. Løsningene omfatter både tilleggsisolering i etasjeskille, og nedforing i taket. For TEK 87 bygg er det lagt trykkfast isolasjon på oversiden. Utslippene fra ny isolasjon er inkludert i beregningene.
Utskiftninger av vinduer	Vinduer skiftes ut. Det antas at vinduene passer inn i formen og tykkelsene til de eksisterende vinduene. Inkluderer nye vinduer + lister og foring
Behovsstyrt ventilasjon	Vi antar at bygget har eksisterende kanalnett. Ventilasjonsaggregat og spjeld må installeres (NB, tiltaket er kun relevant for yrkesbygg)

Energieffektiv belysning	Bytte ut eksisterende armaturer til LED med styring (NB tiltaket et kun relevant for yrkesbygg)
Solcellepanel	Installere solcelleanlegg på tak. Tiltaket inkluderer solcellepanelene, montasjesystem, vekselretter og ballast for solcellepaneler
Varmepumpe og grunnvarme	Installasjon av væske til vann varmepumpe som dekker 85% av grunnlast og 50% av spisslast. El-kjel dekker resterende spisslast. Det antas at alle bygg får installert ny el-kjel til spisslast. Antas at bergvarme utnyttes. Konvertering til vannbåren varme ved enten radiatorer eller gulvvarme må gjøres for bygg med direkte elektrisitet.
Biokjel	Biokjel som dekker 85% av grunnlast og 50% av spisslast. El-kjel dekker resterende spisslast og det er antatt at alle bygg får installert ny el-kjel.
Småhus og boligblokk	
Solfanger	Installasjon av solfanger og akkumulatortank + rør til varmtvannstank
Ettermontering av balansert ventilasjon	Det antas at byggene ikke har kanalnett. Tiltaket omfatter installasjon av kanaler og luftbehandlingsenhet (aggregat)
Etterisolering av kjeller	Etterisolering på utsiden. Tiltaket inkluderer grøfting, ny pukk og ny isolasjon.

2.2. Case

Det er også gjort beregninger for flere tiltak samtidig. Dette er gjort i ulike case. Casene er oppsummert i Tabell 2-2

Tabell 2-2 Beskrivelse av casene som er beregnet.

Case		
Navn	**Beskrivelse**	**Årsklasser og bygningstyper**
Fasaderehabilitering	Etterisolere + bytte vinduer og dører og bytte vindsperre. som gir bedre tetthet	Alle bygningstyper og alle årsklasser
Fasaderehabilitering + etterisolering av tak		Alle bygningstyper og alle årsklasser
Fasaderehabilitering med varmepumpe	Fasaderehabilitering + luft til luft varmepumpe	Småhus alle årsklasser
Fasaderehab VV	Fasaderehabilitering + væske til vann varmepumpe	Yrkesbygg og boligblokk alle årsklasser
Ventilasjon og etterisolering	Balansert ventilasjon, etterisolering yttervegg	Småhus og boligblokk - alle årsklasser utenom TEK07
Ventilasjon og etterisolering og VV		Legge til varmepumpe VV for boligblokk

2.3. Referansebygg

Referansebygg er benyttet i alle beregninger. Referansebyggene tar utgangspunkt i arealer benyttet i modellbygg fra SINTEF. Modellbyggene til SINTEF ble først utviklet i 2003, men ble noe revidert i 2006 i forbindelse med arbeidet med å fastsette energirammekrav i revidert TEK 97. I ettertid har disse modellbyggene blitt brukt i noe omarbeidet form for reviderte energikrav i forskriftene (TEK 10, TEK 17), samt passivhusstandardene (NS 3700 og NS 3701), med mer. Referansebyggene er definert som enkle, skoeskeformede bygg.

Tabellen under gir en oversikter over arealer, og etasjer for referansebyggene.

Tabell 2-3 Arealer for referansebyggene benyttet i analysen

Bygningskategori	Bruttoareal (BTA)	Bruksareal (BRA)	Grunnflate, for BRA, m²	Antall etasjer	Areal vinduer/dører av oppvarmet BRA
Kontor	3 800	3 600	1 200 (20x60)	3	20 %
Boligblokk	986	900	300 (10x30)	3	20 %
Enebolig	191	160	80 (10x8)	2	20 %
Skole	2 534	2 400	1 200 (20x60)	2	20 %

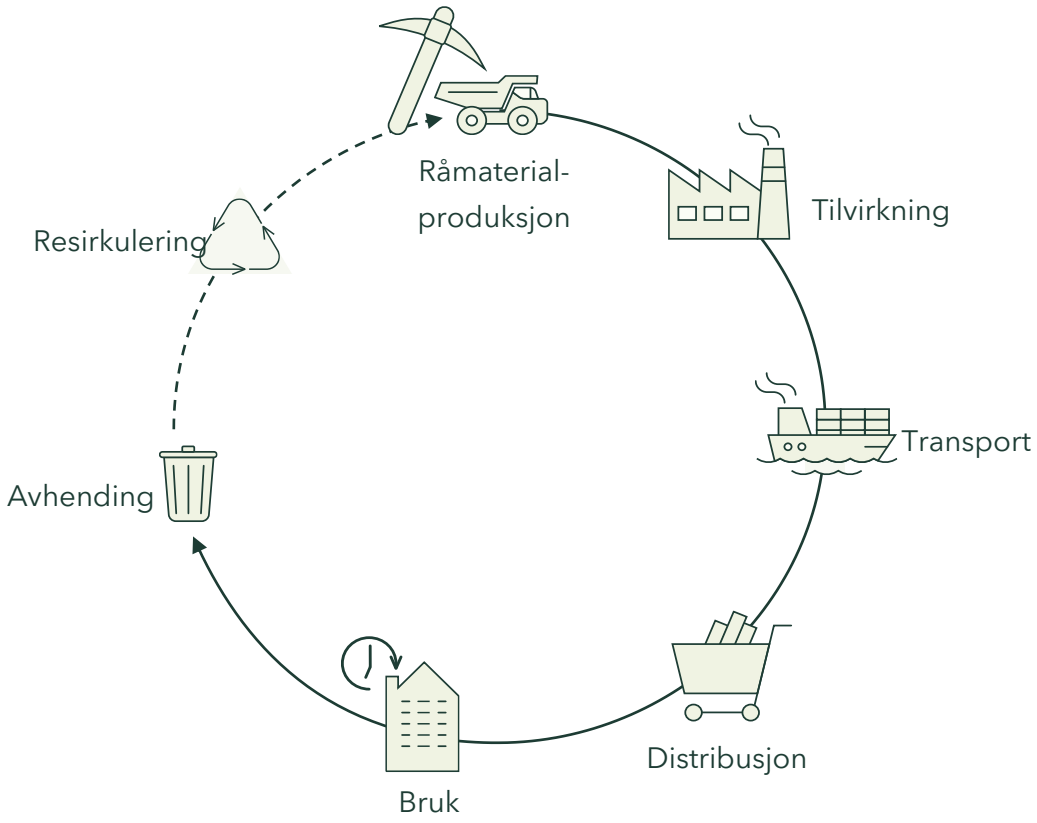
2.3.1. Referansebygg med planløsninger

For å beregne noen av tiltakene kreves det et romprogram og planløsninger. Da dette ikke er tilgjengelig for SINTEF-byggene, er det hentet planløsninger fra Holte-kalkulasjonsnøkkelen. Holte-byggene har sammenlignbart areal til SINTEF-byggene og resultatene anses representative også for SINTEF modellbygg.

3. Metode og forutsetninger

3.1. Klimagassberegninger av tiltak

Klimagassberegningene er basert på livsløpsanalyser (LCA) og inkluderer utslipp fra vugge til grav. Det vil si at råmaterialproduksjon, tilvirkning, transport, utskiftning og bruk samt avhending er inkludert i utslippsfaktorene. Figuren under illustrerer livsløpet for ett produkt.



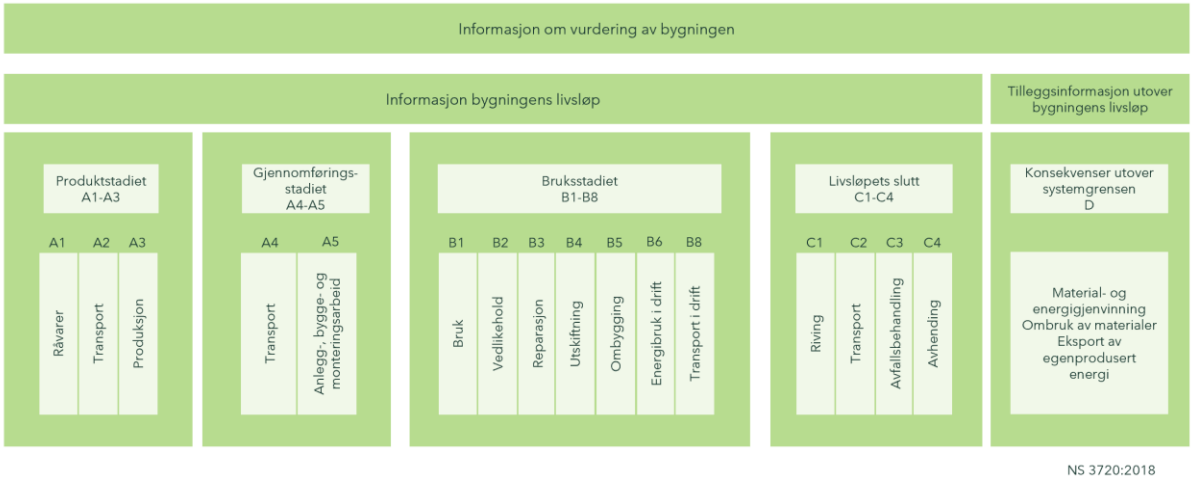
Figur 3-1 Livsløpsfaser for ett produkt

De ulike livsløpsfasene beskrives ofte i ulike moduler som vist i Figur 3-2.

- A1-A3: **Produksjonsstadiet** inkluderer verdikjeden helt fra råvareuttak, transport av råvarer og fabrikasjon. Dette blir ofte omtalt som «vugge-til-port».
- A4-A5: **Gjennomføringsstadiet** inkluderer både transportleddet fra produksjonssted til kunde samt utslipp for installasjon. Dette kan være materialutslipp i form av kapp og svinn men også utslipp som skjer på anleggsplass

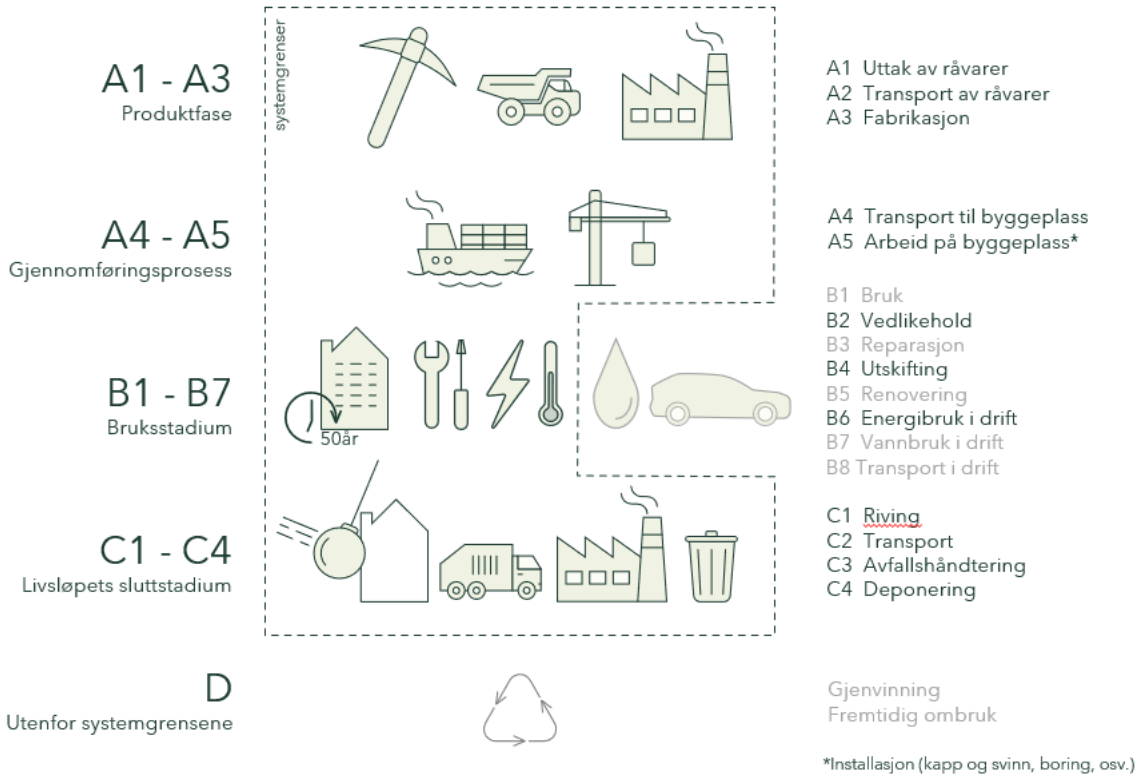
(f.eks. dieselforbruk i gravemaskiner for grøfting, anleggsmaskiner) og utslipp fra arealbruksendringer (f.eks. nedbygging av skogsareal til bebygd areal

- B1-B8: **Bruksstadiet** inkluderer energiforbruk i drift, vedlikehold og utskiftning av komponenter over levetiden.
- C1-C4: **Livsløpets slutt** omfatter demontering, transport til avfallshåndtering eller resirkuleringsanlegg, samt deponering av materialer som ikke håndteres på annet vis.



Figur 3-2 Bygningers livsløp fordelt på ulike moduler iht. NS 3720

I denne analysen er klimagassutslipp fra materialer inkludert med følgende faser; Produksjon av materialer (A1-A3), transport til bygget (A4), installasjon (A5), utskiftning ved kortere levetid enn 50 år (B2, B4) og livsløpets slutt (C1-C4). I tillegg er utslipp fra energibruk i drift inkludert (B6). Figuren under illustrerer livsløpsfasene som er inkludert.



Figur 3-3 Livsløpsfasene inkludert i beregningene

Regnereglene i norsk standard for klimagassberegninger av bygg, NS3720, er i stor grad fulgt i beregningene ettersom tiltakene omfatter bygg. I henhold til standarden er det benyttet en beregningsperiode på 50 år. Det vil si at for materialer som har en kortere levetid enn 50 år er utskiftning av disse inkludert. Utskiftning er inkludert i form av desimalutskiftning. Det vil si at for et produkt som har en levetid på 30 år vil det være behov for en utskiftning etter 30 år. Ettersom bygget har en beregningsperiode på 50 år vil kun deler av utslippet for produktet som skiftes ut allokeres til bygget. For et produkt med levetid på 30 år vil det være et nytt utslipp som tilsvarer 2 tredjedeler av produktet etter 30 år (50/30 – 1).

Det er benyttet i hovedsak to datakilder for å gjennomføre livsløpsberegningene. Miljøvaredeklarasjoner (EPDer) har blitt benyttet for produkter som har dette. Der hvor dette ikke er tilgjengelig er utslippsfaktorer fra Ecoinvent v3 benyttet. Ecoinvent er en database for livsløpsbasert inventardata. Reduzer er også benyttet i analysen. Reduzer er et verktøy for å gjøre klimagassberegninger av bygg. Verktøyet samler en rekke utslippsfaktorer i form av EPDer og bransjetall.

Levetider er også i hovedsak hentet fra NS 3720:2018/G2:2024. Veiledning, verdier til bruk i klimagassbudsjettering, -beregninger og -regnskap for bygninger etter NS 3720 og informasjonsmoduler A4, A5, B2 og B4. Der hvor levetider ikke har vært tilgjengelig i veilederen er levetider fra EPD eller Ecoinvent benyttet.

Utslippsfaktorene er satt sammen med mengder av materialer som trengs for å etablere de ulike energitiltakene.

Videre i kapittelet beskrives mengder og forutsetninger for beregning av klimagassutslipp fra tiltakene.

3.1.1. Etterisolering av vegg

Etterisolering av vegger krever både ny isolasjon og for noen bygg nytt bindingsverk. I noen tilfeller vil det også være behov for å avfallshåndtere den eksisterende isolasjonen. Dette er kun for eldre småhus og handler om at den eldre isolasjonen har dårlig isoleringsevne. For å oppnå ønsket U-verdi uten at veggen blir veldig mye tykkere må derfor eksisterende isolasjon fjernes. Om eksisterende isolasjon fjernes er en avveining mellom hvor tykk man ønsker at veggen skal bli.

For å vurdere klimagassutslipp fra etterisolering av vegg har bygningsfysiker gjort en vurdering av hvor mye isolasjon som er nødvendig å etterisolere med for å oppnå de ønskede U-verdiene. Det er også gjort en vurdering av antatt oppbygning av eksisterende isolasjon. Oppbygning av eksisterende vegger er hentet fra Potensial- og barrierestudiet for boliger, utarbeidet av Prognosesenteret for Enova i 2012[1].

Ny U-verdi er lik for alle bygningstyper og årsklasser og er 0,18. Utvendig påforing vil si at isolasjonen legges i et nytt bindingsverk. Kontinuerlig isolasjon krever derimot ikke bindingsverk.

For isolasjon i bindingsverk er det antatt at bindingsverket utgjør 12% av arealet og er like tykk som isolasjonen[2].

---

[1] https://www.enova.no/download/?objectPath=upload_images/88D859C5C13E4BE3A6192F4F642131D2.pdf

[2] 471.401 U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere - Byggforskserien

Tabell 3-1 Forutsetninger for etterisolering av vegg. Tabellen gir behovet for ny isolasjon for å oppnå ny U-verdi samt lambda verdien til den nye isolasjonen.

Årsklasse	Egenskap	Småhus	Boligblokk	Kontorbygg	Skolebygning
Eldre	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,96	1,3	1,3	1,3
	Eksisterende isolasjon	Uisolert	Massivmur, uisolert	Massivmur, uisolert	Massivmur, uisolert
	Ny isolasjon [mm]	250 mm	200 mm	200 mm	200 mm
	Type og lambda verdi ny isolasjon	100 mm blåseisoalsjon og 150 mm utvendig påforing med mineralull. Lambda 0,034	Mineralull. Lambda 0,040	Mineralull. Lambda 0,040	Mineralull. Lambda 0,040
TEK 49	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,5	0,96	0,96	0,96
	Eksisterende isolasjon [mm]	100 mm mineralull	100 mm porebetong	100 mm porebetong	100 mm porebetong
	Ny isolasjon [mm]	150mm utvendig påforing	200 mm utvendig påforing	200 mm utvendig påforing	200 mm utvendig påforing
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037
TEK 69	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,4	0,7	0,7	0,7
	Eksisterende isolasjon [mm]	100 mm mineralull	150 mm porebetong	150 mm porebetong	150 mm porebetong
	Ny isolasjon [mm]	150mm utvendig påforing	150 mm kontinuerlig isolasjon	150 mm kontinuerlig isolasjon	150 mm kontinuerlig isolasjon
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,036	Mineralull. Lambda 0,036	Mineralull. Lambda 0,036
TEK 87	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,3	0,3	0,3	0,3
	Eksisterende isolasjon [mm]	150 mm mineralull	150 mm mineralull	150 mm mineralull	150 mm mineralull

Årsklasse	Egenskap	Småhus	Boligblokk	Kontorbygg	Skolebygning
	Ny isolasjon [mm]	100mm utvendig påforing	50 mm murplate	50 mm murplate	50 mm murplate
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,035	Mineralull. Lamdba 0,034	Mineralull. Lamdba 0,034	Mineralull. Lamdba 0,034
TEK 97	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,21	0,21	0,22	0,22
	Eksisterende isolasjon [mm]	200 mm mineralull	200 mm mineralull	200 mm mineralull	200 mm mineralull
	Ny isolasjon [mm]	50 mm utvendig påforing	50 mm utvendig påforing	50 mm utvendig påforing	50 mm utvendig påforing
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037
TEK 07	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	Ikke relevant	0,22	Ikke relevant	
	Eksisterende isolasjon [mm]		200 mm mineralull		
	Ny isolasjon [mm]		50 mm utvendig påforing		
	Type og lambda verdi ny isolasjon		Mineralull. Lambda 0,037		

Utslippsfaktorene for de ulike isolasjonstypene og bindingsverket er vist under. Det er i stor grad mineralull (steinull) som er brukt men det er for noen bygg benyttet andre isolasjonstyper. Dette fremgår av tabell Tabell 3-1.

Tabell 3-2 Utslippsfaktorer for ulike veggisolasjoner og bindingsverk

Type produkt	Utslippsfaktor [kg CO_2e/m^3]				Kilde
	A1-A3	A4	A5	C1-C4	
Mineralull. Lambda 0,040, 0,037 og 0,036	16,1	1,1	0,6	0,5	NEPD-3413-2026-EN
Mineralull. Lambda 0,035 og 0,034	17,2	1,5	0,7	0,7	NEPD-5095-4423-EN

Type produkt	Utslippsfaktor [kg CO_2e/m^3]				Kilde
	A1-A3	A4	A5	C1-C4	
Murplate, mineralul. Lambda 0,034	24,0	1,7	0,9	0,8	NEPD-3413-2026-EN (RW 55280)
Blåseisolasjon. Lambda 0,035	23,0	1,1	0,6	0,5	NEPD-3413-2026-EN
Konstruksjonsvirke	56,8	15,1	7,4	2,0	Referansetall for standard bygg

3.1.2. Etterisolering av tak

Etterisolering av tak gir utslipp tilknyttet ny isolasjon samt avfallshåndtering av eksisterende isolasjon der hvor det er relevant.

Bygningsfysiker har gjennomgått behov for ny isolasjon ut ifra oppgradering av U-verdi. Alle bygg skal oppgraderes til en U-verdi for tak på 0,13 W/m^2K.

Tabell 3-3 Forutsetninger som ligger til grunn for etterisolering av tak. Tabellen gir en oversikt over nye U-verdier samt behovet for ny isolasjon med tilhørende lambda verdi.

Årsklasse	Egenskap	Småhus	Boligblokk	Kontorbygg	Skolebygning
Eldre	Eksisterende U-verdi [W/m^2K]	0,81	0,81	1,0	1,0
	Eksisterende isolasjon	Isolert med stubbloftsleire	Isolert med stubbloftsleire	Uisolert	Uisolert
	Ny isolasjon [mm]	300 mm	300 mm	300 mm	300 mm
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037
TEK 49	Eksisterende U-verdi [W/m^2K]	0,33	0,33	0,81	0,81
	Eksisterende isolasjon [mm]	100 mm mineralull	100 mm mineralull	Stubbloftsleire	Stubbloftsleire
	Ny isolasjon [mm]	100 mm	150 mm	300 mm	300 mm
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,034	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037

Årsklasse	Egenskap	Småhus	Boligblokk	Kontorbygg	Skolebygning
TEK 69	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,3	0,2	0,2	0,2
	Eksisterende isolasjon [mm]	100 mm mineralull	100 mm mineralull	100 mm mineralull	100 mm mineralull
	Ny isolasjon [mm]	200mm	150 mm	150 mm	150 mm
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,034	Mineralull. Lambda 0,034	Mineralull. Lambda 0,034
TEK 87	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,2	0,2	0,2	0,2
	Eksisterende isolasjon [mm]	200 mm mineralull	180 mm trykkfast isolasjon	180 mm trykkfast isolasjon	180 mm trykkfast isolasjon
	Ny isolasjon [mm]	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Trykkfast isolasjon. Lambda 0,038	Trykkfast isolasjon. Lambda 0,038	Trykkfast isolasjon. Lambda 0,038
TEK 97	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,14	0,14	0,14	0,14
	Eksisterende isolasjon [mm]	300 mm mineralull	220 mm trykkfast isolasjon.	220 mm trykkfast isolasjon.	220 mm trykkfast isolasjon.
	Ny isolasjon [mm]	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
	Type og lambda verdi ny isolasjon	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037	Mineralull. Lambda 0,037
TEK 07	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	Ikke relevant	0,14	Ikke relevant	
	Eksisterende isolasjon [mm]		220 mm trykkfast isolasjon.		
	Ny isolasjon [mm]		50mm		
	Type og lambda verdi ny isolasjon		Mineralull. Lambda 0,037		

Det er i stor grad benyttet mineralull (steinull) i beregningene. Det er behov for trykkfast isolasjon i noen av bygningstypene for noen av årsklassene. Utslippsfaktorene som er benyttet i beregningene, er vist i tabellen under.

Tabell 3-4 Utslippsfaktorer for isolasjon benyttet i til etterisolering av tak

Type produkt	**Utslippsfaktor [kg CO_2e/m^3]**				**Link til EPD**
	A1-A3	**A4**	**A5**	**C1-C4**	
Mineralull. Lambda 0,037	16,1	1,1	0,6	0,5	NEPD-3413-2026-EN
Trykkfast isolasjon Lambda 0,038	38,7	0,3	0,02	48	NEPD-4298-3533-EN
Avfallshåndtering stubbleire				10,4	Avfallshåndtering av betong fra materialsammensetning

3.1.3. Utskiftning av vinduer

Tiltak med utskifting av vinduer omfatter følgende:

- Ta ut (demontere) og avfallsbehandling eksisterende vinduer, lister (utvendig og innvendig) utforing og isolasjon (dyttestrimmel) mellom vindu og vegg
- Installere nye vinduer, lister (utvendig og innvendig) utforing og isolasjon (dyttestrimmel) mellom vindu og vegg

Det er utført beregninger med installasjon av 2-lags vinduer (U verdi 1,2) og 3-lags vinduer (U-verdi 0,8).

Utslippsfaktor for vinduer er hentet fra *Life-cycle assessment of Modern highly effective windows U1,2 - U0,8*[3]. Utslippsfaktorer fra denne studien er representative i forhold til tilgjengelige EPDer.

For utforing, lister og isolasjon er det benyttet utslippsfaktor fra EPDer.

Det er antatt at nye vinduer som installeres har en levetid på 30 år. I beregningene ligger det utskifting til nytt (tilsvarende) vindu, utforing, list og karm i år 30.

[3] Masterprosjekt *Life-cycle assessment of Modern highly effective windows U1,2 - U0,8, NTNU, 2010, Dahlstrøm O.*

Tabell 3-5 gir en oversikt over eksisterende u-verdier og nye U-verdier for tiltaket og Tabell 3-6 gir en oversikt over utslippsfaktorene benyttet.

Tabell 3-5 Forutsetninger som ligger til grunn for utskifting av vindu. Tabellen gir en oversikt over eksisterende og nye U verdier for vinduer

Årsklasse	Egenskap	Småhus	Boligblokk	Kontorbygg	Skolebygning
Eldre	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	2,8			
	Ny U-verdi 2 lags vindu [W/m²K]	1,2			
	Ny U-verdi 3 lags vindu [W/m²K]	0,75			
TEK 49	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	2,8			
	Ny U-verdi 2 lags vindu [W/m²K]	1,2			
	Ny U-verdi 3 lags vindu [W/m²K]	0,75			
TEK 69	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	2,8			
	Ny U-verdi 2 lags vindu [W/m²K]	1,2			
	Ny U-verdi 3 lags vindu [W/m²K]	0,75			
TEK 87	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	2,4			
	Ny U-verdi 2 lags vindu [W/m²K]	1,2			
	Ny U-verdi 3 lags vindu [W/m²K]	0,75			
TEK 97	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	1,6		2,0	
	Ny U-verdi 2 lags vindu [W/m²K]	1,2			
	Ny U-verdi 3 lags vindu [W/m²K]	0,75			
TEK 07	*Eksisterende U-verdi [W/m²K]*	1,2			
	Ny U-verdi 2 lags vindu [W/m²K]	Ingen utbytting av eksisterende vindu			
	Ny U-verdi 3 lags vindu [W/m²K]	0,75			

Tabell 3-6: Utslippsfaktorer for vinduer, utforinger, lister og isolasjon

Type produkt	Utslippsfaktor [kg CO_2e/m² vindusflate]					Kilde
	A1-A3	A4 (300 km)	A5	B2/B4 (30 år)	C1-C4 (benyttes i år 0 og år 50)	
Vindu, 2 lag, U-1,2	64,3	1,2	0	47,6	5,91	*LCA of Modern highly effective windows U1,2 - U0,8*
Vindu, 3 lag, U-0,8	73,7	1,4	0	54,0	5,91	
Utforing	4,39	0,2	0,47	3,4	0,03	NEPD-2373-1107
List inne/ute	2,53	0,1	0,26	1,9	0,01	NEPD-4374-3600
Isolasjon	0,56	0,0	0,06	0,4	0,01	EPD-IES-0017391

3.1.4. Ettermontering av balansert ventilasjon

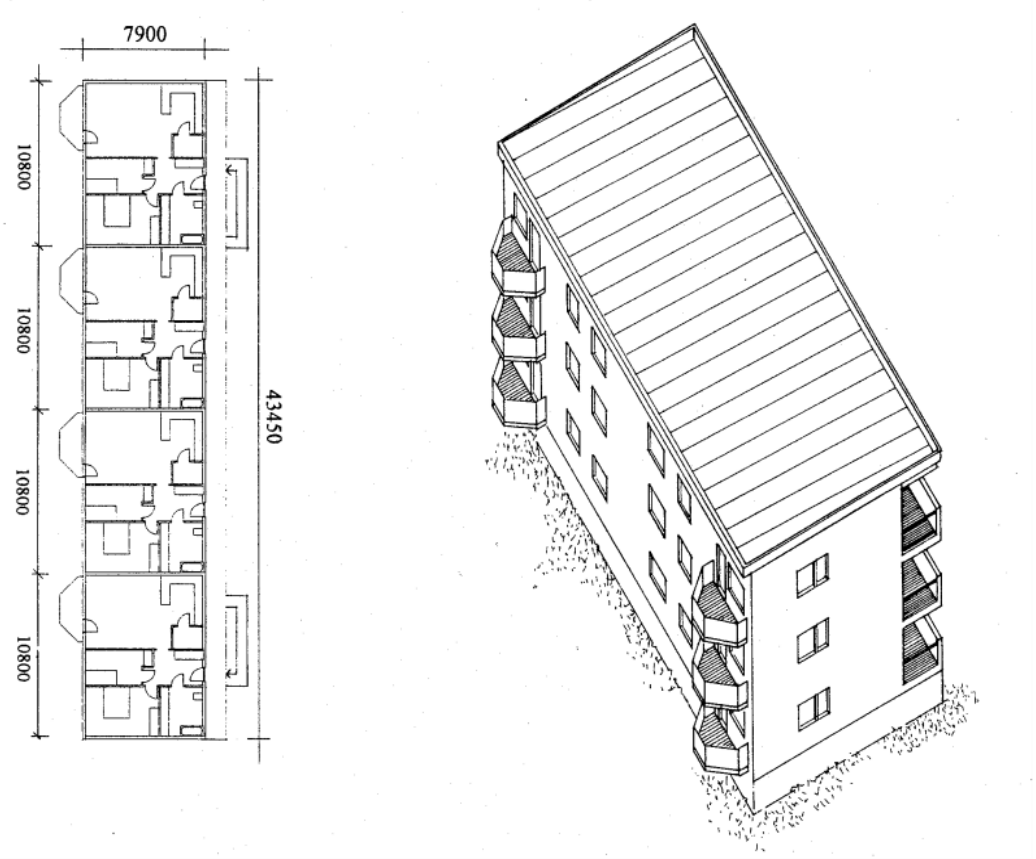
For småhus og boligblokk er det gjort en beregning av ettermontering av balansert ventilasjon. Siden referansebyggene ikke har fullstendige plantegninger, er det benyttet

bygg med tilsvarende arealer fra HoltePortalen4. Malbyggene benyttet er «Enebolig, flatt terreng» og «Boligblokk, svalgang». Plantegninger og prinsippskisser for disse er vist i Figur 3-4 og Figur 3-5. Arealet for småhus er 160 m² BTA, mens for Boligblokk er mengdene for 1 etasje (300 m² BTA), som multipliseres med 3 for å få fullstendige mengder for hele bygget.



Figur 3-4 Plantegning og prinsippskisse for «Enebolig, flatt terreng». Kilde: Holte Kalkulasjonsnøkkel.

[4] EG HoltePortalen Kalkulasjonsnøkkelen - kalkyleverktøy med veiledning



Figur 3-5 Prinsippskisse og plantegning for «Boligblokk, svalgang». Kilde: Holte Kalkulasjonsnøkkel.

Prinsippene for dimensjonering av ventilasjonsanlegget i boligen er hentet fra Sintef Byggforsk Detaljblad 552.303 Balansert ventilasjon i Småhus[5]. For boligblokk er det benyttet tilsvarende prinsipper med individuelle ventilasjonsenheter i hver bolig. Verdiene og valg av produkter er sjekket opp mot referanseverdi i Reduzer for boligblokk.

Det er benyttet levetider tilsvarende middels levetid iht. veileder for NS3720 G2 – Veiledning for verdier til bruk i klimagassbudsjettering[6]. Dette er valgt da det forutsettes at bygget allerede har en viss levetid og det dermed ikke kan forventes levetider tilsvarende «lang levetid». Transportavstander for alle komponenter er satt til Europa (2000 km) som en konservativ antagelse.

Et fullstendig ventilasjonssystem krever komponenter som vist i Tabell 3-7, som representerer typiske produkter benyttet i boligblokker og småhus.

[5] 552.303 Balansert ventilasjon i småhus - Byggforskserien

[6] Standard Norge | standard.no. NS 3720:2018/G2:2024

Tabell 3-7 Mengder og produkter benyttet for balansert ventilasjon for småhus og boligblokk.

Produkt	**EPD Referanse**	**Enhet**	**Mengde, småhus 160 m² BTA**	**Mengde boligblokk 1 etg. 300 m² BTA**
Ventilasjonskanaler DN 160	MD-23022-EN	kg	46,3	288
Lyddempet kanalnett DN 160	MD-23022-EN	kg	8,9	
Tilluftsventil	NEPD-5764-5051-EN	kg/stk	25,76 / 7	25,76 / 7
Lyddemper	NEPD-4039-3073-EN	kg/stk		54,72 / 12
Avtrekksventil 160 mm	NEPD-5764-5051-EN	kg/stk	18,5 / 5	25,76 / 7
Brannspjeld	NEPD-8124-7747-EN	kg/stk		15 / 3
Luftbehandlingsenhet, aggregat, vifte, varmegjenvinning.	NEPD-4630-3847-EN	kg/stk		190,64 / 4
	NEPD-7301-6569-EN	kg/stk	71,28 / 1	
Isolasjon rundt inntak og avkast, 50 mm + lyddemping	NEPD-1696-683-NO	m²		21,5
		m³	0,059	

3.1.5. Behovsstyrt ventilasjon

Tiltaket omfatter installasjon av behovsstyrt ventilasjon i kontor og skolebygg. Mengdene for tiltaket er basert på referanseverdier for tekniske installasjoner i Reduzer, som representerer et komplett anlegg for behovsstyrt ventilasjon. Mengdene er gitt for en etasje på henholdsvis 837 m² BTA og 790 m² BTA for kontor og skole. Disse mengdene er deretter justert tilsvarende benyttede referansebygg for skole og kontor i resten av utredningen. Mengdene er sjekket opp mot Sintef Byggforsk detaljblad 552.325 Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Systemløsninger og regulering[7].

Det er benyttet levetider tilsvarende middels levetid iht. veileder for NS3720 G2 – Veiledning for verdier til bruk i klimagassbudsjettering[8]. For kontorbygg forutsettes det dermed relativt lange leiekontrakter og at ventilasjonsanlegget ikke vil ha vesentlige endringer ved bytte av leietager. Transportavstander for alle komponenter er satt til Europa (2000 km) som en konservativ antagelse.



Figur 3-6 VAV-spjeld av typen LEO (t.v.) og IRIS (t.h)

For å oppnå balansert ventilasjon må det installeres automatiserte VAV-spjeld tilsvarende LEO eller Iris som vist i Figur 3-6, samt en ny luftbehandlingsenhet som er tilpasset DCV. For luftbehandlingsenheten er det benyttet aggregat tilpasset luftmengdene for referansebyggene. Samtidighet er også hensyntatt i dimensjoneringen.

[7] 552.325 Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Systemløsninger og regulering - Byggforskserien

[8] Standard Norge | standard.no. NS 3720:2018/G2:2024

Tabell 3-8 Mengder benyttet til klimagassberegninger for behovsstyrt ventilasjon, kontor og skolebygg.

Produkt	EPD referanse	Enhet	Mengde, kontor, 837 m² BTA	Mengde, skole, 790 m² BTA
VAV Spjeld, LEO, DN 125-400, 13 stk	NEPD-4048-3076-NO	kg	57,91	139,92
Iris flow damper, DN 25-200, 5 stk	S-P-07610	kg	5,2	
HHFlex PHE Luftbehandlingsenhet R16.08	NEPD-7456-6848-EN	kg	809	797

3.1.6. Energieffektiv belysning

Tiltaket som omfatter energieffektiv belysning, omfatter utskiftning av all eksisterende belysning med ny LED belysning med styring for tilstedeværelse. Det finnes en rekke EPDer for LED-lys og alle har funksjonell enhet stykk. Watt-tallet er også oppgitt i EPDene og det er hentet ut utslippsfaktorer per stykk og fordelt på antall Watt. Det er hentet ut EPDer for de mest brukte belysningene i skolebygg og kontorbygg i samråd med lysrådgivere i Asplan Viak.

Gjennomsnittlig kg CO_2e per W for alle livsløpsfaser blir for et utvalg EPDer 2,2 kg CO_2e.

Denne verdien er multiplisert med antall watt som skal benyttes til belysning per m^2 for skolebygg og kontorbygg. En levetid på 25 år er benyttet og dette er hentet fra NS 3720:G2.

3.1.7. Etterisolering av kjeller (utvendig)

Scenario med etterisolering av kjeller omfatter kun småhus. Ved etterisolering av kjeller er det antatt at det ikke eksisterer noe tidligere isolasjon utenfor kjellerveggen. Det antas at tiltaket med utvendig etterisolering av kjeller utføres samtidig og ofte som en konsekvens av at drenering rundt bygget må utbedres. Vanligvis vil ikke tiltak *etterisolering av kjeller* i seg selv være *god nok grunn* for å igangsette utgraving rundt bygget. Videre vil det ved utbedring av drenering rundt bygget være svært gunstig å også etterisolere utvending da det allerede må graves, samt at isolasjon forhindrer vanninntrenging i bygget og reduserer varmetapet.

Klimaberegninger for etterisolering av kjeller omfatter isolering med trykkfast isolasjon, XPS. Beregningene inkluderer også (som *worst case)* effekt av utgraving, samt produksjon og transport av pukk, selv om dette vanligvis kan tilskrives tiltaket *utbedring av drenering*.

For å vurdere klimagassutslipp fra etterisolering av kjellervegg har bygningsfysiker i Asplan Viak gjort en vurdering av hvor mye isolasjon som er nødvendig å etterisolere med for å oppnå de ønskede U-verdiene. Ny U-verdi for årsklasser til og med TEK 87 er på 0,25 W/m²K. TEK 97 og TEK 07 bygg har allerede isolert kjellervegg så ingen ytterligere tiltak utføres for disse årsklassene.

Tabell 3-9 Forutsetninger for etterisolering av kjellervegg. Tabellen gir behovet for ny isolasjon for å oppnå ny U-verdi samt lambda verdien til den nye isolasjonen.

Årsklasse	**Egenskap**	**Småhus**
Eldre	Eksisterende U-verdi kjellervegg [W/m²K]	3,8
	Eksisterende isolasjon	Uisolert betongvegg
	Ny isolasjon [mm]	150 mm kontinuerlig utvendig isolert betongvegg
	Lambda verdi ny isolasjon	XPS, Lambda 0,038
TEK 49	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	1,1
	Eksisterende isolasjon [mm]	Betongvegg isolert med 30 mm korkisolasjon
	Ny isolasjon [mm]	Fjerne eksisterende kork, 150 mm kontinuerlig utvendig isolert betongvegg
	Lambda verdi ny isolasjon	XPS, Lambda 0,038
TEK 69	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	1,0
	Eksisterende isolasjon [mm]	Betongvegg isolert med 100 mm porebetong
	Ny isolasjon [mm]	100 mm kontinuerlig utvendig isolasjon
	Lambda verdi ny isolasjon	XPS, Lambda 0,038
TEK 87	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,8
	Eksisterende isolasjon [mm]	Betongvegg isolert med 125 mm porebetong
	Ny isolasjon [mm]	100 mm kontinuerlig utvendig isolasjon
	Lambda verdi ny isolasjon	XPS, Lambda 0,038
TEK 97	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,15
	Eksisterende isolasjon [mm]	Betongvegg med utvendig kontinuerlig isolasjon lik 250 mm
	Ny isolasjon [mm]	Ingen endring
TEK 07	Eksisterende U-verdi [W/m²K]	0,15
	Eksisterende isolasjon [mm]	Betongvegg med utvendig kontinuerlig isolasjon lik 250 mm
	Ny isolasjon [mm]	Ingen endring

Utslippsfaktorene er vist under. XPS er benyttet som isolasjon og EPDen som er benyttet inkluderer en grunnmurplate, se Tabell 3-10.

Tabell 3-10 Utslippsfaktorer for isolasjon, pukk og graving til kjellervegg

Type produkt	Utslippsfaktor [kg CO_2e/m^3]				Kilde
	A1-A3	A4	A5	C1-C4	
XPS 300	98	1,13	11,9	125	NEPD-5398-4708-EN
Pukk	4,88	1,60	0	0	VegLCA 5.14b
Graving	0	0	0,78	0	VegLCA 5.14b

3.1.8. Solcelleanlegg

Solcellepaneler gir klimagassutslipp både i form av selve solcellepanelet, men også i form av montasjesystem, ballast og vekselrettere.

For å finne mengder av de ulike bestanddelene av et solcelleanlegg har vi tatt utgangspunkt i anbudsunderlag fra solenergiprosjekter der Asplan Viak har deltatt. Basert på disse har vi funnet en gjennomsnittlig mengde av de ulike komponentene. Vi har neglisjert utslippsbidraget fra kabler. Se Tabell 3-11 for mengder og levetid for bestanddeler i et solcelleanlegg.

Utslippsfaktor for solcellepanel er hentet fra et utvalg av EPDer som er tilgjengelig på EPD-Norge. Det er hentet ut fra ulike produsenter for å få et best mulig gjennomsnittstall. Utslippene er hentet ut for hele livsløpet til solcellepanelene.

Montasjesystemet og vekselrettere er modellert i Simapro ved utslippsfaktorer fra Ecoinvent. For ballast er utslippsfaktor fra EPD for belegningsstein benyttet[9]. For alle produkter er hele livsløpet inkludert i utslippene. Levetider er hentet fra NS 3720:G2 foruten om ballast. Ballasten har lengre levetid enn 30 år, men det er antatt at man også skifter ut ballasten når det resterende anlegget skiftes ut.

[9] https://www.epd-norge.no/epder/byggevarer/betongvarer/belegningsstein-heller-stottemur-forskalingsblokk-og-kantstein-i-betong

Tabell 3-11 Mengder og levetid for bestanddeler i et solcelleanlegg

	Mengder	**Levetid**
Ballast	64 kg per kWp	30 år
Montasjesystem	4,2 kg aluminium per kWp 8,8 kg stål per kWp	30 år
Vekselretter	0,75 kVA per kWp	15 år
Solcellepanel		30 år

Totale materialutslipp for solcelleanlegget over 50 år er ca. 1 000 kg CO_2ekv per kW_p.

3.1.9. Varmepumpe og bergvarme

Vurderinger for væske til vann varmepumper er gjort og det er antatt at bergvarme benyttes som kilde til varmepumpene.

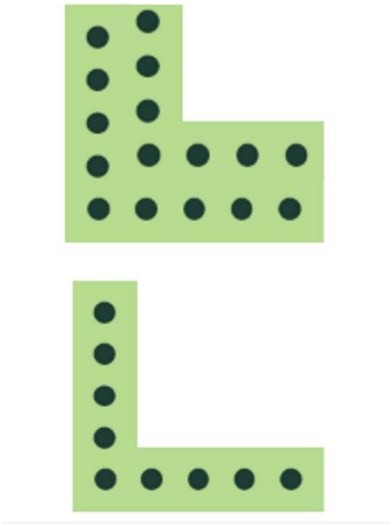
- Varmepumpe
- Grunnvarmesystem med brønner og rør
- El-kjel til spisslast
- Konvertering til vannbåren varme for bygninger med direkte elektrisitet

Bergvarme krever både kollektorbrønner, samlekummer, kollektor til samlekum og foringsrør. For å kunne gjøre klimagassberegninger er det gjort en enkel prosjektering av brønnparken for de ulike bygningstypene og for de ulike årstallene. Det er antatt at det er gode grunnforhold på tomten.

For at energibrønnene skal oppnå best mulig virkningsgrad, bør brønnkonfigurasjonen være så åpen som mulig. En rett linje vil være det beste alternativet dersom man har flere brønner og har plass til dette. Ofte er det plassmangel på tomtene (spesielt i Oslo), så et godt alternativ til en rett linje er en L-formet linje. Denne konfigurasjonen er også åpen, og reduserer virkningsgraden i liten grad sammenlignet med virkningsgraden ved en enkel linje (se figuren under). Krever bygget enda flere brønner og det ikke er plass til en enda større enkel L-konfigurasjon, kan man bruke en dobbel L-konfigurasjon. Virkningsgraden til en dobbel L sammenlignet med en enkel L vil være dårligere, men ikke så dårlig som en kvadratformet brønnpark hvor alle de innerste brønnene grenser til andre brønner.

Enkel L-formasjon er at brønnene er plassert på en L-formet linje.

Dobbel L-formasjon er at brønnene er plassert i en L-formet linje med to rader. Dette er illustrert i figuren under



Figur 3-7 Illustrasjon av enkel og dobbelt L formet linje.

I beregningene er dobbelt L benyttet for store brønnparker og enkel L benyttet for middels. Dette påvirker lengden på rørene og påvirker derfor beregningene.

Tabell 3-12 Antakelser for dimensjonering av brønnparker

Antakelser for dimensjoneringer	
Brønndybder som gjennomsnittsverdier er basert på	250 - 350 [meter] (lang) og 200 [meter] (kort)
Antatt brønnkonfigurasjon stor	Dobbel L
Antatt brønnkonfigurasjon middels	Enkel L
Antatt brønnkonfigurasjon liten	Enkel brønn eller linje
Antatt varmeledningsevne	3,3 [W/mK]
Antatt borehullsmotstand varmeuttak (lang)	0,1 [mK/W]
Antatt borehullsmotstand varmeuttak (kort)	0,09 [mK/W]
Antatt gjennomsnittlig temperatur i brønn (lang)	8,8 [°C]
Antatt gjennomsnittlig temperatur i brønn (kort)	7,5 [°C]
Antatt avstand mellom brønner	15 [meter]
Dieselforbruk til boring snitt fra erfaringstall fra ulike brønnborere	3 [liter/meter]

Forutsetninger for materialtyper og tykkelser på rør er vist i tabellen under. Alle mengder er modellert i SimaPro med utslippsfaktorer fra Ecoinvent.

Tabell 3-13 Forutsetninger for materialtyper og tykkelser benyttet i LCA beregningene for grunnvarme

	Forutsetninger på materialtype og tykkelse
Dybde brønn	Ø 115 [meter]
Kollektor brønn	Ø 45 mm PE100, SDR17, 2,7 mm tykk [meter tur retur]
Kollektor brønn - samlekum (preisolert) se utklipp og gul linje	Ø 45 mm PE100, SDR17, 2,6 mm tykk + 7,75 mm tykk isolasjon [meter tur retur] XPS antatt for isolasjon
Kollektor samlekum - teknisk rom (stor)	Ø 125 mm PE100, SDR17, 7,4 mm tykk [meter tur retur]
Kollektor samlekum - teknisk rom (liten)	Ø 90 mm PE100, SDR17, 5,4 mm tykk [meter tur retur]
Samlekum (prefabrikkert) (stor)	10 påkoblingspunkter [stk] fra brønnborer: kan anta 200 kg stål totalt
Samlekum (prefabrikkert) (liten)	5 påkoblingspunkter [stk] fra brønnborer: kan anta 150 kg stål totalt
Foringsrør	Ø 140 mm, stål, 5 mm tykk [meter]
Kollektorvæske	HX24 % (etanol) [liter per rørstrekk fra brønn til teknisk rom]

Fullstendig oversikt over mengder for alle bygningstyper og alle årsklasser er vist i Vedlegg A.

Utslippsfaktorer for varmepumpen er hentet fra Reduzer sin database. Deres varmepumper er skalert basert på "DAIKIN ALTHERMA 3 WS" av Daikin Europe N.V. sin gjennomsnittlige GWP ($kgCO_2e$)/kg varmepumpevekt. Vekten til produktet er kalkulert basert på Reduzer's gjennomsnittsverdi for kg/kW. Gjennomsnittsverdi for kg per kW er 6,46 kg per kW.

Tabell 3-14 viser utslippsfaktorene benyttet for varmepumpe. Levetiden er satt iht NS 3720 og er 25 år.

Tabell 3-14 Utslippsfaktor for varmepumpe fra Reduzer.

Livsløpsfase	**Utslippsfaktor [kg CO_2e/kg]**
A1-A3	7,34
A4	0,33
A5	0,07
C1-C4	0,36

Det er antatt at det også er behov for en el-kjel for å dekke spisslast. Effektbehovet til el-kjelen er vist i Vedlegg A. Utslippene er skalert basert på EPDen til Oso Water[10] og vist i tabellen under. Levetiden er satt fra informasjon oppgitt i EPDen, da NS 3720 ikke har levetid for el-kjel. Levetiden er 20 år.

Tabell 3-15 Utslippsfaktor for el-kjel fra Oso Water per kg el-kjel

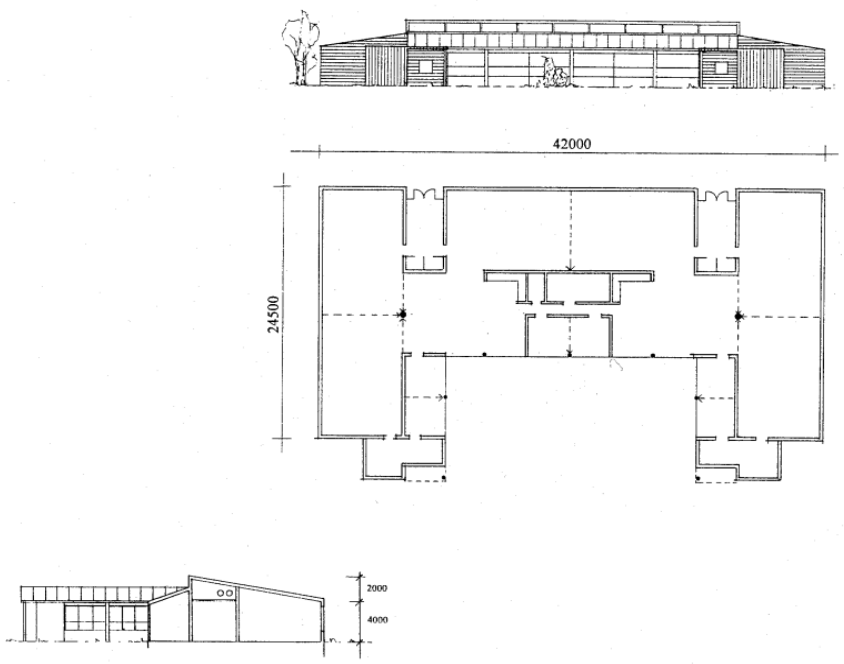
Livsløpsfase	Utslippsfaktor [kg CO_2e/kg]
A1-A3	5,12
A4	0,33
A5	0,05
C1-C4	0,39

For å finne vekten per kW for å kunne skalere utslippsfaktoren til de ulike el-kjelene er det hentet ut effekt og vekt til en rekke el-kjeler. Den gjennomsnittlige vekten per kW benyttet i beregningene er 1,38 kg/kW.

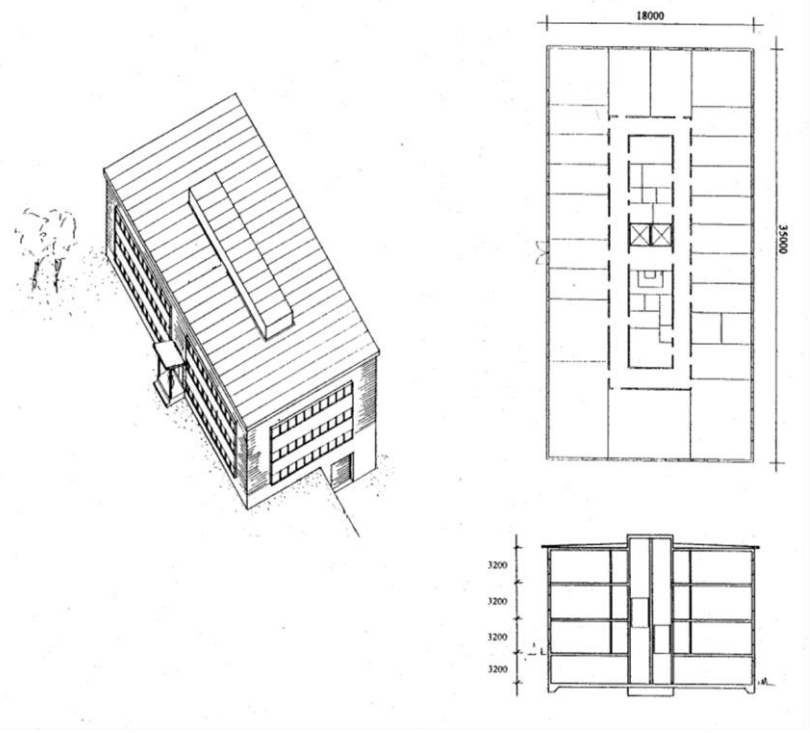
3.1.9.1 Konvertering til vannbåren varme

Ved konvertering til vannbåren varme er det tatt utgangspunkt i prinsippskisser og plantegninger fra Holte kalkulasjonsnøkkel. Prinsippskisser og plantegninger for enebolig og boligblokk er beskrevet i kapittel 3.1.4. Prinsipptegninger for skole og kontorbygg er vist i Figur 3-8 og Figur 3-9

[10] products/189E4TlYvsLI0ubDo0MU/documents/sourcePdf.pdf



Figur 3-8 Prinsippskisse og plantegning for «Barneskole». Kilde: Holte Kalkulasjonsnøkkel.



Figur 3-9 Prinsippskisse og plantegning for «Kontorbygg». Kilde: Holte Kalkulasjonsnøkkel.

Det er estimert materialmengder for to ulike løsninger for vannbåren varmedistribusjon:

- Gulvvarme med oppforet gulv, PEX rør, delta T: 5-10 grader
- Radiatorvarme, galvaniserte stålrør, delta T: 15-20 grader

For gulvvarme er det brukt leggeløsning som beskrevet i Uponor sin Håndbok for prosjektering av vannbåren gulvvarme[11] med gulvvarmerør lagt i 36 mm trinnlydsplater, med aluminiumsplater til varmefordeling da dette anses gjennomførbart for de fleste rehabiliteringer. Resten av gulvsystemet (overflate, etasjeskille) tilskrives ikke varmedistribusjonssystemet. Dimensjonering av rør er gjort med utgangspunkt i Brødrene Dahls «Varmebok – dimensjonering av rørnett»[12], og komponenter er valgt ut basert på Sintef Byggforsk detaljblad *552.111 Vannbåret gulvvarme. Rørsystem og dimensjonering.*[13]

For skolebygget er det i tillegg benyttet komponenter og rørstørrelser for et kombinert radiator- og gulvvarmesystem prosjektert for Flesberg skole, der skoledelen har et tilsvarende areal som referansebygget.

Levetider og transportavstander

Levetider er satt lik standard levetider for materialgrupper i Reduzer. Transportavstander for alle komponenter er satt til Europa (2000 km) som en konservativ antagelse.

Radiatorvarme, rørlengder og dimensjoner

Basert på plantegninger er det estimert en rørlengde for fordelingsnettet for radiatorer. Det er forutsatt at eldre bygg til og med TEK 69 må ha radiatorer langs med yttervegg for å unngå kaldras, mens nyere bygg kan ha kortere ledningsnett med radiatorer plassert nærmere teknisk rom. Rørlengder, dimensjoner og antall radiatorer for de ulike byggene og årsklassene er vist i Tabell 3-16 og Tabell 3-17

[11] Håndbok for prosjektering og legging av vannbåren gulvvarme

[12] Bødrene Dahl Varmebok 5. utgave.

[13] 552.111 Vannbåret gulvvarme. Rørsystem og dimensjonering - Byggforskserien

Tabell 3-16 Dimensjon, rørlengde, og antall radiatorer for enebolig og boligblokk, vannbåren varme.

	Eldre bygg	TEK 49	TEK 69	TEK 87	TEK 97	TEK 07
Enebolig, 160 m² BTA						
Dimensjon galv. stålrør	28	28	22	22	18	18
Rørlengde, meter	59	59	59	47	47	47
Antall radiatorer	16	13	13	10	8	7
Boligblokk, en etasje 300 m² BTA						
Dimensjon galv. stålrør	28	28	22	22	18	18
Rørlengde, meter	104	104	104	100	100	100
Antall radiatorer	24	22	22	18	16	12

Tabell 3-17 Dimensjon, rørlengde, og antall radiatorer for skole og kontor, vannbåren varme.

	Eldre bygg	TEK 49	TEK 69	TEK 87	TEK 97	TEK 07
Skole 2 400 m² BTA						
Dimensjon galv. stålrør	50	50	40	40	32	25
Rørlengde, meter	158	158	158	108	108	108
Antall radiatorer	160	144	132	120	104	92
Kontor, en etasje 630 m² BTA						
Dimensjon galv. stålrør	25	25	20	20	15	15
Rørlengde, meter	127	127	127	82	82	82
Antall radiatorer	31	28	25	22	18	13

Gulvvarme, rørlengder og dimensjoner

For gulvvarme er rørlengder estimert ved å dele gulvarealet på avstanden mellom rørene. Det er gjort en differensiering på rørdimensjoner basert på nødvendig effekt og romstørrelse for forskjellige årsklasser av bygg. For skole og kontor er rommene så store at den største dimensjonen er nødvendig for alle årsklasser. Det er dermed differensiert på avstand mellom rør for å oppnå nødvendig effekt. Dimensjoner og rørlengder for byggene er vist i Tabell 3-18, Tabell 3-19 og Tabell 3-20.

Tabell 3-18 Dimensjoner, røravstand og rørlengde for PEX rør, enebolig.

Enebolig, 160 m² BTA	**Dimensjon PEX rør**						**Avstand mellom rør [meter]**	**Rørlengde [meter]**
	Eldre bygg	**TEK 49**	**TEK 69**	**TEK 87**	**TEK 97**	**TEK 07**		
1. etg								
Kjellerstue	22	22	18	18	15	15	0,2	67
Soverom	18	18	15	15	15	15	0,3	27
Soverom	18	18	15	15	15	15	0,3	29
Soverom	18	18	15	15	15	15	0,3	28
Hall	22	22	22	18	18	18	0,2	81
Vindfang	15	15	15	15	15	15	0,125	34
Vaskerom	15	15	15	15	15	15	0,125	48
Bad	14	14	12	12	10	10	0,125	42
2. etg								
Bad	12	12	10	10	10	10	0,125	33
Stue - kjøkken	22	22	22	22	22	22	0,3	147
Soverom	18	18	15	15	15	15	0,3	63

Tabell 3-19 Dimensjoner, røravstand og rørlengde for PEX rør, boligblokk.

Boligblokk, en leilighet, 4 leiligheter i hver etasje	**Dimensjon PEX rør**						**Avstand mellom rør [meter]**	**Rørlengde [meter]**
	Eldre bygg	**TEK 49**	**TEK 69**	**TEK 87**	**TEK 97**	**TEK 07**		
Stue/kjøkken	22	22	18	18	15	15	0,2	171
Gang	18	18	15	15	15	15	0,3	28
Lite soverom	18	18	15	15	15	15	0,3	43
Stort soverom	18	18	15	15	15	15	0,3	71
Bad	15	15	15	15	15	15	0,125	68

Tabell 3-20 Avstand mellom rør og rørlengde for gulvvarme Skole og kontor

PEX rør, dimensjon 22	Eldre bygg	TEK 49	TEK 69	TEK 87	TEK 97	TEK 07
Skole, 2400 m² BTA						
Avstand mellom rør, meter	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3
Rørlengde, meter	12 385	12 385	9 908	9 908	8 257	8 257
Kontor, en etasje, 300 m² BTA						
Avstand mellom rør, meter	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3
Rørlengde, meter	3 150	3 150	2 520	2 520	2 100	2 100

Andre komponenter, kilder til EPD'er

Felles for alle varmesystemene er det lagt til komponenter som vist i Tabell 3-21. Utslippsfaktorer er hentet fra representative EPD'er.

Tabell 3-21 Utslippsfaktorer og EPD'er benyttet til å modellere vannbåren varme med radiatorer og gulvvarme.

Komponent	EPD-nummer	Kommentar
Ekspansjonskar	S-P-12392	
Termostat	NEPD-5028-4359-EN	
Fordelerskap med ventiler, vannmåler og shuntenhet	S-P-07233	
Sirkulasjonspumpe	EPD-GRU-20240021-CCD2-EN	For småhus og boligblokk
	EPD-GRU-20230076-CBC1-EN	For kontor og skole
Spesifikt for gulvvarme		
PEX rør	Teppfa, crosslinked polyethylene (PEX)	
Trinnlydsplate, 36 mm	NEPD-2792-1490-EN	1 m2 per gulvareal
Varmefordelingsplate, aluminium, 0,3 mm	S-P-02399	0,8 m2 per gulvareal
Spesifikt for radiatorer		
Galvaniserte stålrør	S-P-10996	
Radiator 500x700 mm	NEPD-3296-1940-EN	For kontor og skole representerer fire radiatorer en stor radiator på 2000x700 mm.

3.1.10. Biokjel

For biokjel vil det være behov for en biokjel samt en el-kjel. Det er antatt at biokjelen vil benytte pellets. Biokjelen vil også ha behov for et lager til pelletsene. Det er antatt at dette

lageret vil finne sted i et rom i bygget som allerede eksisterer og at det ikke vil bygges noe nytt rom til dette. Dette er derfor utelukket fra beregningene.

Utslippsfaktorene for biokjelen er hentet fra to ulike Ecoinventprosesser med effekt på 9 W og 25 W. Vekten av biokjelen er hentet ut per kW og gjennomsnittlig utslippsfaktor per kg biokjel er benyttet. Tabell 3-22 viser effektbehovet og vekten til de ulike bygningstypene og de ulike årsklassene. En levetid på 15 år er benyttet da dette er levetiden som er oppgitt i Ecoinvent.

For el-kjelen er samme utslippsfaktor og dimensjonering benyttet som for grunnvarme. Dette er beskrevet i kapittel 3.1.9.

Tabell 3-22 Effektbehov for biokjel og vekt

Bygningstype	Årsklasse	Effektbehov [kW]	Vekt [kg]
Boligblokk	TEK07	13	269
	TEK97	22,3	461
	TEK87	26,5	547
	TEK69	35	723
	TEK49	38	785
	Eldre	46	950
Kontorbygg	TEK07	50	1 033
	TEK97	63	1 302
	TEK87	77	1 591
	TEK69	100	2 066
	TEK49	122	2 520
	Eldre	134	2 768
Skolebygg	TEK07	37,5	775
	TEK97	51	1 054
	TEK87	63	1 302
	TEK69	76	1 570
	TEK49	96	1 983
	Eldre	107	2 211
Småhus	TEK07	3	62
	TEK97	4,3	89
	TEK87	5,5	114
	TEK69	6,6	136
	TEK49	6,9	143
	Eldre	10	207

Biokjelen har også et klimagassutslipp i produksjon og forbrenningen av pellets. Disse utslippene sammenliknes med bruk av fjernvarme og elektrisitet. Utslippene fra forbrenning av pellets er beskrevet i kapittel 3.3.6.3.

3.1.11. Solfanger

En solfanger vil gi klimagassutslipp i form av produksjon av selve solfangeren, akkumulatortanken og isolerte kobberrør som transporterer varmen. Levetiden til solfangeren og akkumulatortanken er satt til 20 år. Isolerte kobberrør har en levetid satt til 50 år. Forutsetningene lagt til grunn i beregningene, er vist i Tabell 3-23. Tall på størrelse på solfanger og energiproduksjon for småhus er hentet fra Enova sine egne erfaringstall[14]. For boligblokk er det gjort en skalering basert på energibehovet til oppvaring av tappevann i en boligblokk (samme boligblokk som i resten av beregningene) sammenlignet med et småhus. Det er antatt at solfangeren kun benyttes til tappevann. For akkumulatortank er det lagt til grunn vanlige størrelser på varmtvannstank i et småhus, samt en skalering basert på småhus for boligblokk. Lengde på kobberrørene er basert på ca. avstand fra tak og ned til en akkumulatortank, samt avstand mellom hvert panel.

Tabell 3-23 Forutsetninger for solfangere

	Småhus	**Boligblokk**
Solfanger [m²]	7	37,5
Nyttbar energiproduksjon [kWh/år]	2 570	13 770
Akkumulatortank [liter]	200	1 000
Lengde på isolerte kobberrør [m]	20	100

Utslipp for solfangere er hentet fra Reduzer og er basert på TalTech[15]. Utslippene er per kg og en faktor på 17,6 kg/m^2 er benyttet for konvertering. Levetiden er 30 år iht. EPDen.

Tabell 3-24 Utslippsfaktor for solfanger benyttet

Livsløpsfase	**Utslippsfaktor [kg CO_2e/kg]**
A1-A3	5,17
A4	0,33
A5	0,05

[14] Enova -Solfanger - 03.03.25

[15] ENG Estonian material emissions.xlsx

Livsløpsfase	Utslippsfaktor [kg CO_2e/kg]
C1-C4	0,01

Utslippsfaktorer for akkumulatortankene er hentet fra en tysk EPD fra Sphere Solutions[16]. Utslippene er oppgitt i kg CO_2e/kg og konvertering fra kg til stykk er også oppgitt i EPDen. Levetiden er satt fra EPDen og er 20 år.

- 200 liter – 56 kg
- 300 liter – 59,5 kg
- 1 000 liter – 164,8 kg
- 2 000 liter – 239,5 kg

Tabell 3-25 Utslippsfaktorer for akkumulatortank

Livsløpsfase	Utslippsfaktor [kg CO_2e/kg]
A1-A3	3,01
A4	0,33
A5	0,03
C1-C4	0,01

For isolerte kobberrør er utslippsfaktorer fra Ecoinvent benyttet. Det er antatt en tykkelse på 3,2 mm og 9 mm for isolasjonen basert på rørene til grøntklima[17].

3.1.12. Case – luft til luft varmepumpe

For ett av casene er det gjort beregninger for luft til luft varmepumpe for småhus. Tabell 3-26 viser dimensjoneringen for luft til luft varmepumpe for småhus.

Tabell 3-26 Dimensjonering av luft til luft varmepumpe for småhus

Årsklasse	Dimensjonering [kW]
TEK07	3
TEK97	4,3
TEK87	5,5
TEK69	6,6
TEK49	6,9

[16] Process Data set: Buffer storage (steel); Steel (en) - OEKOBAU.DAT

[17] Kobberrør isolerte 1/4"-3/8" Prefix 5m

Årsklasse	Dimensjonering [kW]
Eldre	10

Utslippsfaktorer og skalering for Daikin Sky Air Alpha er benyttet[18]. Varmepumpen har en effekt på 5,15 kW og veier 102 kg. Skaleringsfaktor på 20 kg per kW er benyttet og utslippsfaktorene i Tabell 3-27.

Tabell 3-27 Utslippsfaktor benyttet i analysen[19]

	A1-A3	A4	A5	C-fasen
Utslippsfaktor [kg CO_2e per kg]	25,29	0,33	0,25	0,45

3.1.13. Oppsummering utslippsfaktorer og metodiske valg

Tabellen under oppsummerer kilder for utslippsfaktorer, levetider og transportdistander benyttet i de ulike beregningene. Alle relevante livsløpsfaser er inkludert for alle tiltak. NS 3720 er fulgt der hvor det har vært informasjon tilgjengelig. Det er for flere produktgrupper ikke tilgjengelig informasjon om levetider og transportdistanser i NS 3720. Da er EPD spesifikk informasjon eller data fra Ecoinvent benyttet. Utslipp fra transport har lite å si for livsløpsutslippene til produktene. Det som bidrar mest er produksjonsutslippet samt utskiftning. Levetiden er derfor vesentlig i beregningene.

Tabell 3-28 Oppsummering av kilder og underlag benyttet i analysen

Tiltak	Kilde for utslippsfaktorer	Livsløpsfaser inkludert	Utskiftning/levetid	Transportdistanse
Etterisolering av vegg	EPD	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	>50 år. Ikke behov for utskiftning	Spesifikk transportdistanse fra EPD
Etterisolering av tak	EPD	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	>50 år. Ikke behov for utskiftning	Spesifikk transportdistanse fra EPD
Utskiftning av vinduer	EPD og publiserte studier	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	30 år for vinduer etter NS 3720	Norge, 300 km fra NS 3720

[18] products/VdIhtuqhpcr6X4DznHPQ/documents/sourcePdf.pdf

[19] products/VdIhtuqhpcr6X4DznHPQ/documents/sourcePdf.pdf

Tiltak	Kilde for utslippsfaktorer	Livsløpsfaser inkludert	Utskiftning/levetid	Transportdistanse
Ettermontering av balansert ventilasjon	EPDer	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	25 år for kanaler og ventilasjon. 30 år for luftbehandlingsenhet iht NS 3720	Europa, 2000 km fra NS 3720
Behovsstyrt ventilasjon	EPDer	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	15 år for spjeld. 30 år for luftbehandlingsenhet iht NS 3720	Europa, 2000 km fra NS 3720
Energieffektiv belysning	EPDer	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	25 år etter NS 3720	Spesifikk transportdistanse fra EPD
Etterisolering av kjeller	EPDer og VegLCA	A1-A3,A4,A5,C1-C4	>50 år. Ikke behov for utskiftning	Spesifikk transportdistanse fra EPD
Solcelleanlegg	EPDer og Ecoinvent	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	30 år for ballast, solcellepanel og montasjesystem. 15 år for vekselretter etter NS 3720.	Spesifikk transportdistanse fra EPD
Varmepumpe og bergvarme	EPDer og Ecoinvent	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	25 år for varmepumpe, 20 år for elkjel og >50 år for bergvarmesystemet. Iht NS 3720.	Europa, 2000 km fra NS 3720
Biokjel	EPDer og Ecoinvent	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	15 år iht Ecoinvent (levetider ikke oppgitt i NS 3720)	Europa, 2000 km fra NS 3720
Solfanger	EPDer og Ecoinvent	A1-A3,A4,A5, B2,B4 ,C1-C4	30år iht EPDen (levetider ikke oppgitt i NS 3720)	Europa, 2000 km fra NS 3720

3.2. Energiberegninger

3.2.1. Generelt

For å finne energibesparelser for de vurderte energitiltakene er det tatt utgangspunkt i energiberegninger i Simien 6 utarbeidet av Multiconsult v/Trond Ivar Bøhn i et tidligere

oppdrag utført på vegne av Enova. Enova har gitt Asplan Viak tilgang til de nevnte Simien-filene samt et regneark der resultatene var oppsummert.

Multiconsult hadde i det tidligere prosjektet kun sett på netto energibehov for tiltakene. For å kunne regne på klimagassvirkningen av gjennomførte tiltak, er det nødvendig å regne om fra netto energibehov til levert energibehov av de enkelte energibærerne. Se kap. 3.2.5 for ytterligere detaljer om dette.

3.2.2. Vurderte tiltak

Multiconsult hadde i sitt oppdrag gjort beregninger av 12 ulike tiltak, som inkluderer både tiltak på bygningskroppen og tiltak på tekniske anlegg. Etter avtale med Enova har vi sett nærmere på 5 av disse tiltakene (tiltak 1–5 i lista nedenfor).

I tillegg har vi vurdert to tiltak på varmeforsyning (tiltak 11 og 12 i lista nedenfor).

1. Etterisolering av yttervegg til U = 0,18 W/m²K
    i. Dette tiltaket påvirker også normalisert kuldebroverdi
2. Etterisolering av tak til U = 0,13 W/m²K
3. Utskifting av vinduer
    i. Utskifting til 2-lagsvindu med U = 1,2 W/m²K og g = 0,51
    ii. Utskifting til 3-lagsvindu med U = 0,75 W/m²K og g = 0,40
4. Balansert ventilasjon med virkningsgrad varmegjenvinner på 85 % og SFP på 1,5 kW/m³/s
    i. Etablering av mekanisk ventilasjon for småhus/boligblokk (unntatt TEK07).
    ii. Modernisering av eksisterende ventilasjonsanlegg for øvrige scenarioer. Lagt til grunn behovsstyring i kontorbygg og skolebygg.
5. Energieffektiv belysning med lysstyring
    i. Tiltak vurdert for kontorbygg med gjennomsnittlig effekt belysning i driftstid på 4,0 W/m² og for skolebygg med gjennomsnittlig effekt belysning i driftstid på 4,0 W/m².
    ii. Tiltak ikke ansett relevant for boligbygg.
11. Varmeforsyning med væske-vann-varmepumpe
    i. Det er lagt til grunn energidekning fra varmepumpa på 85 % av netto varmebehov.
    ii. Spisslast forutsatt ivaretatt med el-kjel.
12. Varmeforsyning med pelletskjel
    i. Det er lagt til grunn energidekning fra pelletskjel på 85 % av netto varmebehov.

ii. Spisslast forutsatt ivaretatt med el-kjel.

Når det gjelder tiltaket som omhandler energieffektiv belysning, har vi for kontorbygg (ikke for skolebygg) gjort en tilleggsvurdering der det er lagt til lagt til grunn at det er installert romkjøling. Dette medfører at mer energieffektiv belysning også medfører redusert energibehov til romkjøling. Følgelig øker energibesparelsen for tiltaket, sammenlignet med tilfellet uten romkjøling.

Dette finnes i Excel-fila «*2. Energitall og tilhørende klimagassutslipp for belysning kontorbygg med romkjøling.xlsx*».

3.2.3. Vurderte scenarioer

Etter avtale med Enova har vi i dette oppdraget valgt å gjøre analyser av følgende bygningskategorier (med angitt oppvarmet BRA):

- Småhus 160 m²
- Boligblokk 900 m²
- Kontorbygg 3 600 m²
- Skolebygg 2 400 m²

For hver av bygningskategoriene er det lagt til grunn 6 forskjellige bygningsstandarder:

- Eldre (før 1949)
- TEK49
- TEK69
- TEK87
- TEK97
- TEK07

Det benyttes mange ulike varmeforsyningsløsninger i Norge, og vi har etter avtale med Enova gjort beregninger med 4 løsninger som vi anser er blant de mest brukte.

- Direktevirkende elektrisitet (panelovner)
- El-kjel
- Fjernvarme
- Varmepumpe (væske-vann)

Dette innebærer at det er sett nærmere på energitiltak for til sammen $4 \cdot 6 \cdot 4 = 96$ scenarioer.

Beregningene av netto energibehov for energitiltakene for alle scenarioene finnes i de 6 blåmarkerte arkene i vedlagte Excel-filer «*1. Tiltak bygg.xlsx*» og «*2. Belysning kontorbygg*

med romkjøling.xlsx». I disse arkene finner man også detaljer ang. hvilke parametere som er endret og hvilke verdier det er endret fra og til.



I tillegg til de nevnte tiltakene på ulike bygningskategorier, har vi sett på virkningen av etterisolering av kjellerveggen i en kjeller. Det er lagt til grunn en kjeller på 100 m², som er energiberegnet med normerte inndata tilsvarende et småhus. Det er gjort vurderinger for de samme 6 bygningsstandardene og 4 varmeforsyningsløsningene som er benyttet for de øvrige bygningskategoriene. Disse er vist i figuren over.

Resultater og inndata som er benyttet i beregningene av kjelleren finnes i egen Excel-fil «*3. Tiltak kjeller.xlsx.*»

3.2.4. Vurderte caser

Enova har også etterspurt klimagassberegninger av noen utvalgte caser, der flere energitiltak er kombinert. Dette er relevant å undersøke, fordi energibesparelsen av å gjennomføre flere tiltak i mange tilfeller vil avvike ganske mye fra summen av energibesparelsen fra de enkelte tiltakene.

Tiltakene som er inkludert i casene, er de samme som er omtalt i kap. 3.2.2.

Følgende caser er vurdert:

A. Fasaderehabilitering
    i. Etterisolasjon yttervegg til U = 0,18 W/m²K +
    ii. Utskifting til 3-lagsvindu med U = 0,75 W/m²K og g = 0,40 +
    iii. Ny vindsperre og nyinnsatte vinduer forbedrer tetthetstallet til 1,5 h^{-1} +
    iv. Dette tiltaket påvirker også normalisert kuldebroverdi
B. Fasaderehabilitering + etterisolasjon tak
    i. Som case A +
    ii. Etterisolasjon tak til U = 0,13 W/m²K
C. Fasaderehabilitering + varmepumpe (denne casen er kun vurdert for scenarioene med direktevirkende elektrisitet eller el-kjel)
    i. Som case A +
    ii. Væske-vann-varmepumpe for boligblokk og næringsbygg
    iii. Luft-luft-varmepumpe for småhus
D. Etterisolasjon yttervegg + balansert ventilasjon
    i. Etterisolasjon yttervegg til U = 0,18 W/m²K +

ii. Etablering av balansert ventilasjonsløsning for småhus og boligblokk (unntatt TEK07)
iii. Modernisering av eksisterende ventilasjonsanlegg for øvrige scenarier. Lagt til grunn behovsstyring i kontorbygg og skolebygg.

E. Etterisolasjon yttervegg + balansert ventilasjon + varmepumpe (denne casen er kun vurdert for boligblokk)
   i. Som case D +
   ii. Væske-vann-varmepumpe

Netto energibehov etter gjennomføring av hver av disse casene for hver av bygningskategoriene og hver av byggestandardene er beregnet i Simien (til sammen 24 beregninger). Resultatene fra Simien-beregningene finnes i de 6 blåmarkerte arkene i vedlagte Excel-fil «*4. Vurderte caser.xlsx*». I disse arkene finner man også detaljer ang. hvilke parametere som er endret og hvilke verdier det er endret fra og til.



3.2.5. Behov for levert energi

For alle energitiltakene og casene for hvert av scenarioene er det beregnet redusert behov av hver energibærer ved bruk av Excel. Se de grønnmarkerte arkene i de 4 vedlagte Excel-filene omtalt i kap. 3.2.3 og 3.2.4.



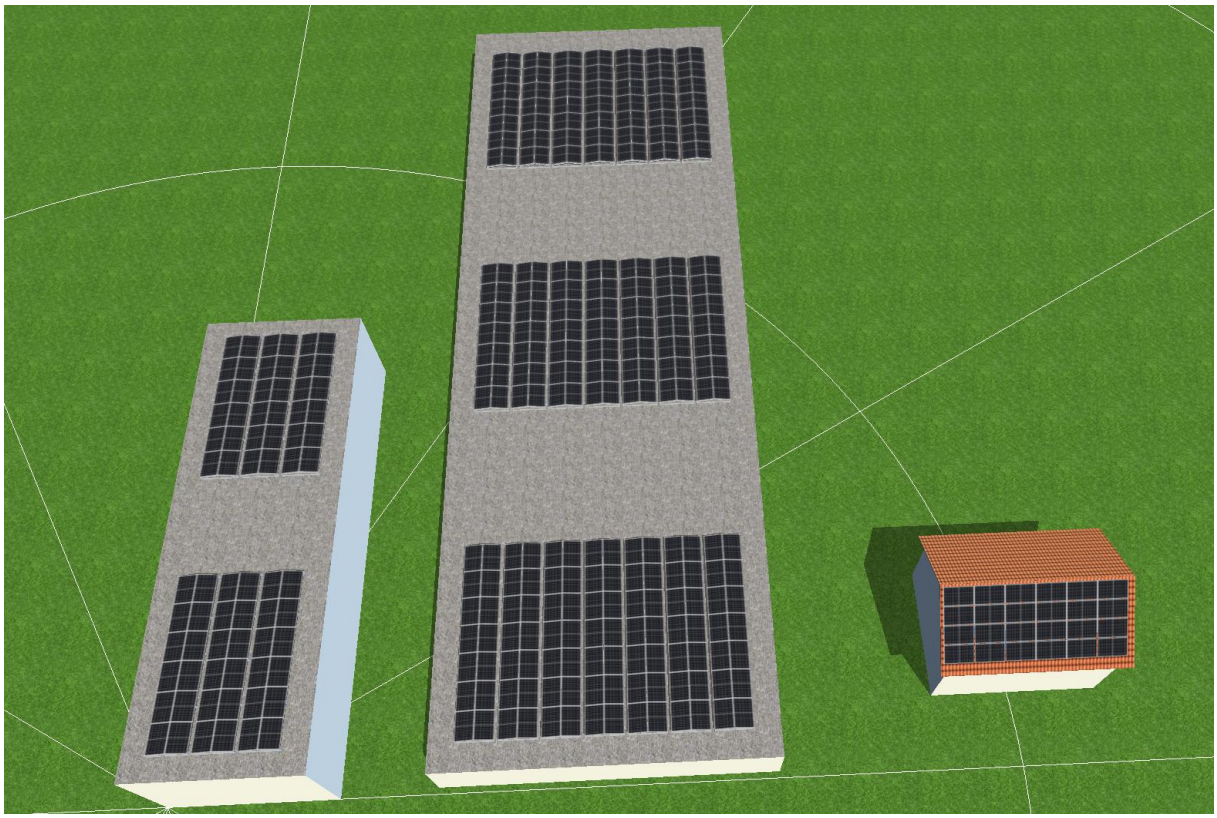
Det er benyttet virkningsgrader og effektfaktorer fra Tillegg B i NS 3031:2014 for alle varmeforsyningsløsningene. Iht. standarden er det benyttet ulike verdier for småhus og boligblokk/yrkesbygg. I tillegg er det skilt mellom verdier for bygg fra før TEK97, TEK97 og TEK07. Detaljerte kildehenvisninger for alle virkningsgradene og effektfaktorene som er benyttet i analysen, er angitt som notater i de nevnte Excel-filene.

Det gulmarkerte arket er kun benyttet for å beregne systemvirkningsgraden for alternativene som inkluderer konvertering til pelletskjel.

3.2.6. Solcelleanlegg

For beregningene av solcelleanlegg er det tatt utgangspunkt i referansebyggene og deres mål. Deretter er det gjort en vurdering av hvor mye det vil være naturlig å plassere ut av solcellepaneler på hvert av byggene. Dette kan sees i Figur 3-10. Tak er ikke fullt utnyttet da det er satt av plass til gangbaner og andre installasjoner i tillegg til at bygg ikke trenger

å være like godt utformet for et solcelleanlegg som disse byggene. For småhus er det kun brukt én av takflatene da det som oftest ikke er aktuelt med mer enn én takflate.



Figur 3-10 Modellbygg med solcellepanel på seg. Fra venstre; boligblokk, kontorbygg/skolebygg og småhus.

Tabell 3-29 viser nøkkelinformasjon om energiproduksjon for solcelleanleggene på hver av byggene. Solinnstråling er fra PVGis og solinnstrålingsdatabasen Sarah 3. Det er lag til grunn en årlig degradering på 0,5 % på panelene, og en utskifting av paneler i år 30.

Tabell 3-29 Installert effekt og energiproduksjon for hvert av byggene

	Boligblokk	**Kontorbygg**	**Skolebygg**	**Småhus**
Installert effekt [kW_P]	30,24	123,48	123,48	10,08
Solinnstråling [kWh/kW_P]	742	742	742	792
Årlig energiproduksjon [kWh/år]	22 438	91 622	91 622	7 980
Energiproduksjon over 50 år [kWh]	1 054 614	4 306 339	4 306 339	375 069
Energiproduksjon per kWp over 50 år [kWh/kW_P]	34 875	34 875	34 875	37 209

3.3. Klimagassbesparelser som følge av redusert forbruk av energi

En sentral parameter i denne analysen er hvor stor reduksjon i klimabelastning som oppnås som en følge av redusert behov for tilført energi i form av strøm og/eller fjernvarme. Tilsynelatende er dette en enkel øvelse, hvor man multipliserer antall kWh spart energi, med en utslippsfaktor per kWh for enten strøm eller fjernvarme.

I virkeligheten er energisystemene komplekse systemer hvor konsekvensen av å spare energi varierer over kortere (timer) tidsrom, samt på tvers av lokasjoner. Det er også ulike måter å allokere utslipp på noe som gir ulike utslippsfaktorer.

I tillegg gir de ulike tiltakene en reduksjon i energibehov som varer over ulike tidsrom, avhengig av levetiden til tiltaket. Siden energisystemene er gjenstand for teknologisk utvikling og stort fokus på reduksjon av klimautslipp, forventes det en reduksjon av utslipp over tid. Dette gjenspeiles for eksempel i regnereglene for klimagassberegninger for bygg, NS3720. Siden alle tiltakene gjennomføres med en beregningsperiode på 50 år i denne analysen, er det tatt hensyn til dette ved å benytte en gjennomsnittlig utslippsfaktor over dette tidsrommet, samt at de ulike tiltakene justeres slik at levetiden er 50 år totalt.

3.3.1. Regnskapsperspektiv vs «tiltaksperspektiv»/marginalperspektiv

Innen livsløpsvurderinger skilles det ofte mellom to ulike «analyseperspektiv», alt etter hva formålet med vurderingen er. Regnskapsperspektivet bruker ulike metoder for å prøve å *fordele* utslipp fra produksjonsnettverk til de ulike funksjonene som prosessene leverer, på en mest mulig «rettferdig» måte.

Tiltaksperspektivet søker i større grad å kvantifisere *konsekvensen* av en *endring* på den totale miljøbelastningen. Her er ikke fokuset å fordele utslipp på en rettferdig måte, men snarere å vurdere hva som er den mest sannsynlige konsekvensen av en marginal endring i det analyserte systemet.

De fleste standardene som regulerer regneregler for klimaregnskap i bygg eller miljødokumentasjon for byggevarer, legger til grunn et regnskapsperspektiv. Dette kan være hensiktsmessig i en dokumentasjonssammenheng, men vil ikke alltid være egnet til å estimere effekten av ulike typer tiltak, konseptvalg o.l.

Forskjellen mellom et regnskapsperspektiv og tiltaksperspektiv vil i denne analysen være størst for beregningene som omfatter klimagasseffekten av redusert behov for tilført energi.

NS3720 har delvis prøvd å ta høyde for dette gjennom å definere to eksplisitte strøm-scenarioer som skal brukes i beregningene. Det ene av disse scenarioene (europeisk strømmiks) kan sies å legge seg mot et tiltaksperspektiv, idet det tar inn over seg at energibruk i Norge har en konsekvens i hele det europeiske energisystemet. Det andre perspektivet ligger nærmere et regnskapsperspektiv (norsk miks). For fjernvarme er det ikke tilsvarende krav i NS3720 om å benytte de samme scenarioene. Unntaket fra dette er i tilfeller der el-andelen av energimiksen er betydelig; da benyttes de samme scenarioene for strøm inn i fjernvarmen). Standarden legger til rette for at man frivillig kan inkludere flere alternative valg enn det som er beskrevet.

I tillegg skal lokal fjernvarmemiks benyttes, hvis bygget er lokalisert innenfor et konsesjonsområde. NS 3720 spesifiserer at utslipp fra forbrenning skal regnes i henhold til PCR for elektrisitet, varme og kjøling. PCR for elektrisitet, varme og kjøling følger forurenser betaler-prinsippet som innebærer at den som genererer avfallet (forbrukeren) skal bære konsekvensene av utslippene fra forbrenning. Det vil si at utslippene fra avfallsforbrenningen ikke allokeres til fjernvarmen og at bruk av fjernvarme derfor nærmest er utslippsfritt. Det eneste som må regnes med er utslipp fra materialene til anlegget og liknende, men ikke de direkte utslippene fra forbrenningen.

Om utslipp fra avfallsforbrenning skal allokeres til forbruker av fjernvarme eller ikke er mye diskutert. Når avfall forbrennes og brukes til fjernvarme er det høye utslipp fra denne forbrenningen. Så de reelle utslippene vil være å inkludere dem. Futurebuilt har løst dette annerledes enn NS 3720. Futurebuilt allokerer forbrenningsutslipp i fjernvarmeanlegg (energigjenvinning) mellom avfallsektoren og energisektoren (50/50), mens NS 3720 allokerer alle utslipp fra energigjenvinning til avfallssektoren.

For å speile strømscenarioene med høy og lav miks har vi valgt å inkludere et høyt scenario for fjernvarme i tillegg, som inkluderer utslipp fra avfallsforbrenning. Dette er også for å speile de realistiske utslippene fra fjernvarmeanlegget.

I det følgende vil vi diskutere energispesifikke betraktninger som er relevante i tolkningen av resultatene fra denne studien.

3.3.2. Lokasjonsbetraktninger

Energimiksen varierer mellom ulike lokasjoner. Strømmarkedet er delt inn i ulike prisområder, basert på utvekslingskapasitet mellom områdene. Disse varierer både i hvilke typer produksjon som finnes i området, samt hvilke områder det utveksles energi med.

For fjernvarme er det egne lokale anlegg i forskjellige byer, med svært ulik profil på hvilke energikilder som benyttes for å produsere varmen.

Ideelt sett bør disse forskjellene inkluderes når man skal vurdere effekten av ulike tiltak.

For denne analysen er det tatt utgangspunkt i at resultatene skal være basert på en generisk lokasjon, og hovedresultatene er basert på et bygg plassert i Oslo. For strøm og fjernvarme er det benyttet nasjonale gjennomsnitts-mikser, mens det for energiberegningene er benyttet Oslo-klima og Oslo-solforhold som hoved-case.

3.3.3. Tidsbetraktninger, kort tid

På samme måte som at energimiksen er lokasjonsspesifikk, så varierer egenskapene i energisystemene mye over tid. Noen deler av året så er energibehovet høyt, gjerne om vinteren. På sommeren er gjerne behovet lavere, mens for eksempel mulighetene for produksjon av solenergi høyere. For strøm er det tilgjengelig statistikk per time om aktuell miks for ulike prisområder, men dette gjenspeiler gjennomsnitt og trenger ikke være representativt for marginaleffekten av energiforbruket (stort innslag av magasinbasert vannkraft gjør dette vanskeligere).

For fjernvarme vil det også være variasjoner gjennom sesongen, hvor det på sommeren ofte er et overskudd av varme pga. løpende forbrenning av avfall, mens det på vinteren kan være behov for tilleggsfyring med andre energikilder for å kunne levere nok energi på alle steder i fjernvarmenettet. Dette gjør at marginaleffekten av å spare energi kan være vesentlig annerledes om besparelsen skjer på sommertid eller vintertid. Denne informasjonen er imidlertid ikke lett tilgjengelig i form av statistikk.

Ideelt sett burde beregninger av klimaeffekten fra ulike tiltak inkludert disse effektene. Dette krever imidlertid en omfattende dypere forståelse for energisystemene, i kombinasjon med et datagrunnlag som ikke er offentlig tilgjengelig. Vi har vurdert det som lite aktuelt å dykke dypere ned i problemstillingen i analysen vår, men vi nevner det som et forbedringspunkt som sannsynligvis vil bli viktigere i årene som kommer.

3.3.4. Tidsbetraktninger, lang tid (utvikling av energisystemene over tid)

Som tidligere nevnt er det også forventet at energisystemene endrer seg over lengre tidsrom, forhåpentligvis i retning av lavere klimafotavtrykk. Dette er allerede hensyntatt gjennom bruk av beregningslogikken fra NS3720, men da som en konstant gjennomsnittsfaktor gjennom en 50-års beregningsperiode. Siden resultatene også omfatter beregning av «klimamessig tilbakebetalingstid» vil denne bli feilestimert ved bruk

av en konstant faktor. Det er derfor også benyttet årlige utslippsfaktorer for å illustrere effekten dette har på tilbakebetalingstiden for utvalgte tiltak.

3.3.5. Slår forutsetningene ulikt ut på ulike tiltak?

For noen typer tiltak så vil *tidsprofilen* for energibesparelser avvike fra andre. Mens typiske ENØK-tiltak vil ta ned forbruksprofilen over hele året, vil både egenproduksjon av solenergi og (luft-basert) varmepumpe ha mindre effekt på vinteren, når energibehovet er høyest.

Det kan derfor tenkes at også klimaeffekten per energienhet vil være ulike for disse tiltakene. Analysen vår klarer imidlertid ikke å fange opp dette.

I absoluttverdi vil forutsetningene for klimaeffekt fra energibesparelser påvirke resultatene mye; det er derfor inkludert resultater med «høy» og «lav» utslippsfaktor for både strøm og fjernvarme, basert på NS3720 og et eget ekstra scenario for fjernvarme. Dette fanger i noen grad opp utfallsrommet i nettoeffekten fra tiltakene.

3.3.6. Utslippsfaktorer benyttet i denne analysen

I denne analysen har vi valgt i stor grad å følge regnereglene som ligger i NS3720, til tross for at denne standarden ikke nødvendigvis klarer å fange opp alle effektene av redusert behov for tilført energi på marginen.

Videre arbeid bør søke å undersøke - i større detalj - marginaleffekter av redusert energiforbruk, med høyere spatial og temporal oppløsning enn det som er tilgjengelig i eksisterende standarder og rammeverk.

Det er benyttet to scenarioer for energiforsyning. Ett scenario hvor norsk strømmiks benyttes sammen med den laveste utslippsfaktoren på fjernvarme samt ett scenario hvor norsk-europeisk strømmiks benyttes sammen med den maksimale utslippsfaktoren for fjernvarme.

De påfølgende delkapitlene forklarer utslippsfaktorene som er benyttet for henholdsvis strøm og fjernvarme.

3.3.6.1 Elektrisitet

I henhold til NS 3720 er det benyttet to ulike scenarioer for elektrisitetsforsyning. Scenariene representerer livsløpsbaserte utslippsfunksjoner for elektrisitetsforsyning for en tidsperiode tilsvarende objektets levetid med startdato fra bygget idriftsettelse.

- Scenario 1: Norsk forbruksmiks

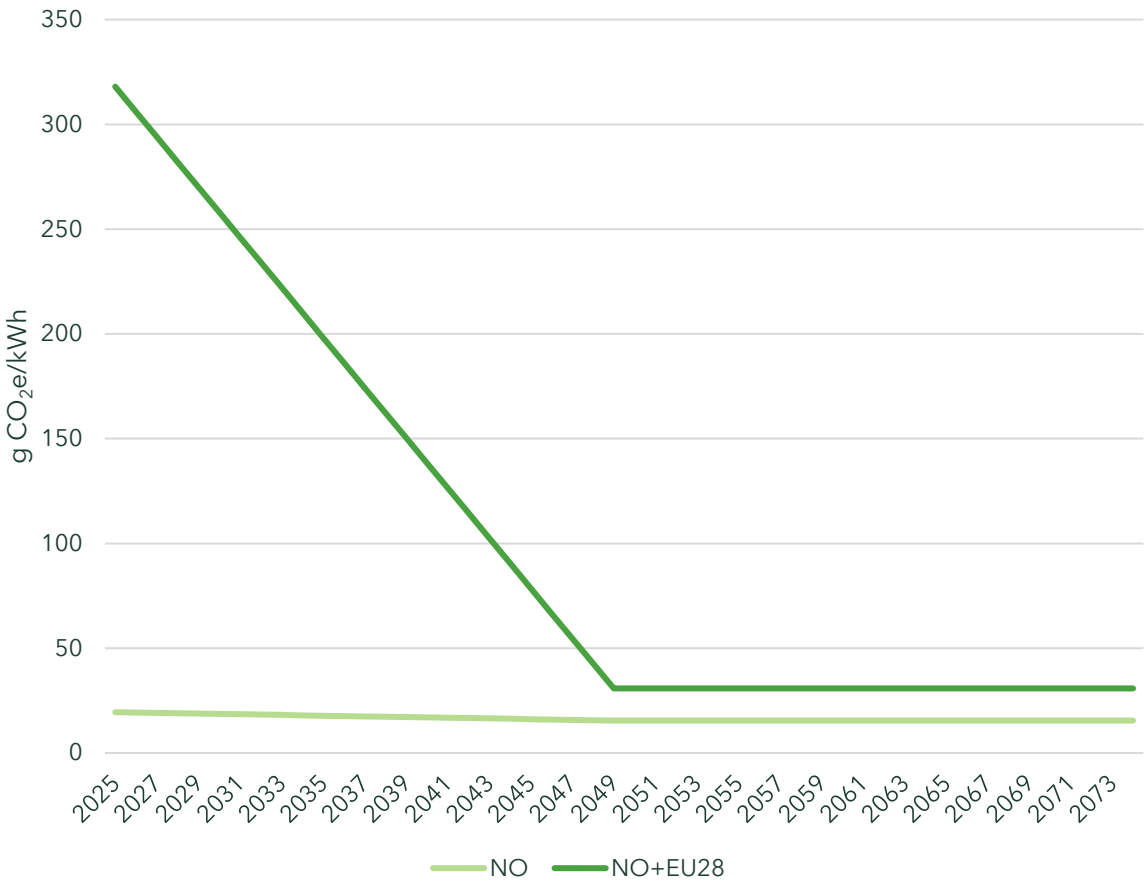
- Scenario 2: Europeisk (EU28+NO) forbruksmiks

Startpunktet er satt til 2025 og er et gjennomsnitt for de siste 3 årenes forbruksmiks. For objektets levetid beregnes faktoren ved en lineær funksjon til nær null utslipp i 2050 som deretter holdes på dette nivået frem til sluttpunktet for perioden.

Tabell 3-30 viser utslippsfaktorene benyttet i analysen. Figur 3-11 viser utslippene per år med startår i 2025 og 50 år frem i tid.

Tabell 3-30 Utslippsfaktorer for norsk og norsk-europeisk strømmiks benyttet i analysen

Strømmiks	**Utslippsfaktor [g CO_2/kWh]**
Norsk strømmiks NO	16
Norsk-europeisk strømmiks NO+EU28	103



Figur 3-11 Framskrivning av utslippsfaktorer for strøm med startår i 2025.

3.3.6.2 Fjernvarme

For fjernvarme finnes det mange ulike energikilder som benyttes i fjernvarmeproduksjon i Norge. Det vil derfor være stor variasjon i utslippsfaktorene ut ifra hvor i landet man befinner seg. Denne studien ser på tre hovedteknologier som benyttes inn som hovedenergikilde i fjernvarmesystemer; avfallsforbrenning, biokjel eller varmepumpe. Det er derfor hentet ut utslippsfaktorer for tre ulike sammensetninger av fjernvarme som benytter disse tre ulike energikildene.

Tabell 3-31 Sammensetning av energiforsyninger til fjernvarme for tre lokasjoner i Norge

	Fjernvarme basert på avfallsforbrenning	**Biobasert fjernvarme**	**Varmepumpe basert fjernvarme**
Gjenvunnet varme fra avfall	51 %		
Bioolje	6,6 %		
Biokjel med pellets	10,4 %		
Omgivelsesvarme fra varmepumpe	3,2 %		93 %
Spillvarme fra industri	8 %		
LNG	2 %		
LPG		5 %	7 %
El-kjel	19 %	2 %	
Biokjel med returtre		93 %	

Det er benyttet en distribusjonsvirkningsgrad på 90% for fjernvarmesystemet. Denne virkningsgraden inkluderer varmetap fra fjernvarmeleverandørens produksjonsanlegg og fram til husveggen. Distribusjonstapet inne i byggene inngår allerede i beregningene av levert energi omtalt i kap. 3.2.

Utslippsfaktorene for de ulike energikildene er i stor grad hentet fra Ecoinvent og modellert i Simapro. Utslippsfaktoren for strøm er den samme som beskrevet tidligere. For avfallsforbrenning er gjennomsnittsdata fra www.norskeutslipp.no benyttet.

Tabellen under oppsummerer kildene til de ulike utslippsfaktorene som er benyttet.

Tabell 3-32 Kilde til utslippsfaktorer for fjernvarme

Energikilde	**Utslippsfaktor kilde**
Gjenvunnet varme fra avfall	Gjennomsnittsdata fra fjernvarmeanlegg med gjenvunnet varme fra norskeutslipp.no fra 2016-2020

Energikilde	Utslippsfaktor kilde
Bioolje	Fatty acid methyl ester {US}| esterification of soybean oil | Cut-off, U
Biokjel med pellets	Heat, central or small-scale, other than natural gas {NO}| heat production, wood pellet, at furnace 9 kW, state-of-the-art 2014 | Cut-off, U
Omgivelsesvarme fra varmepumpe	COP på 3 benyttet, utslippsfaktor fra elektrisitet som over.
Spillvarme fra industri	0
LNG	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland}| heat production, natural gas, at industrial furnace >100 kW | Cut-off, U
LPG	Heat, district or industrial, other than natural gas {NO, NORDIC, RER}| heat production, propane, at industrial furnace >100 kW | Cut-off, U
El-kjel	Utslippsfaktor fra elektrisitet som beskrevet i forrige delkapittel
Biokjel med returtre	Heat, district or industrial, other than natural gas {NO}| heat production, proxy for waste wood, at furnace 1 000 kW, | Cut-off, U

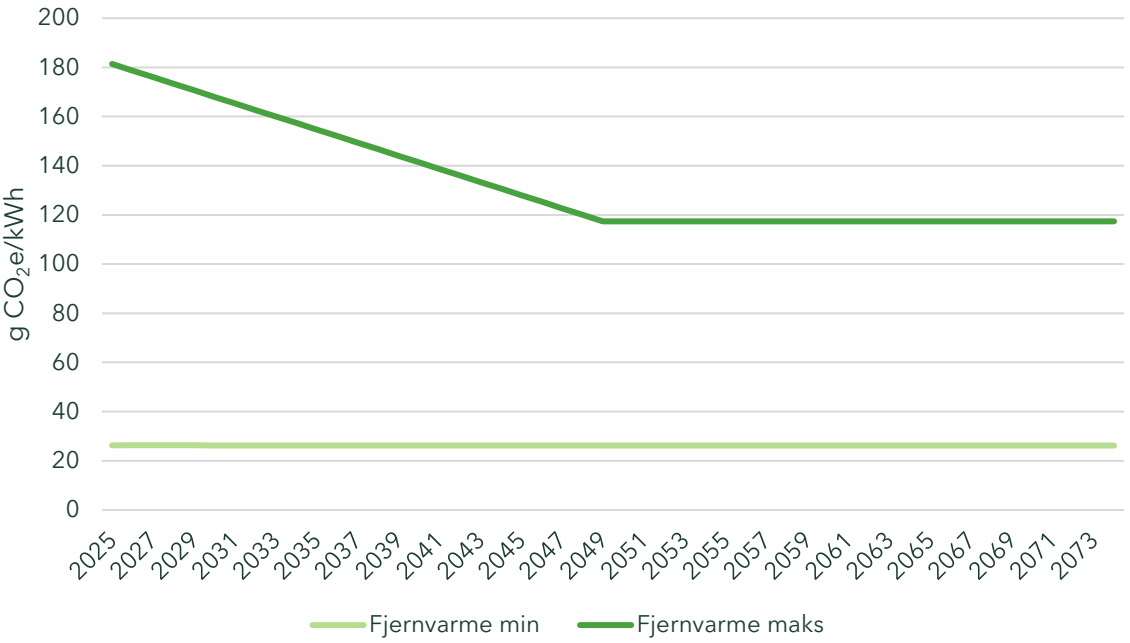
Strømmiksen påvirker også klimagassutslippene til fjernvarmen ettersom det benyttes el-kjel og varmepumpe som benytter strøm. Det er ikke hensyntatt ulike avtaleformer. De tre ulike fjernvarmesystemene er beregnet både med norsk og norsk-europeisk strømmiks. For fjernvarmesystemene med avfallsforbrenning er utslippene beregnet hvor all forbrenning av avfall allokeres til forbruker og hvor ingen av utslippene fra avfallsforbrenning allokeres til forbruker. Fjernvarmeutslippene som benyttes i analysen er den høyeste og den laveste som er funnet av de som er beregnet. Disse er vist i tabellen under. Det påpekes igjen at når utslipp fra forbrenning av avfall allokeres til forbrukeren av fjernvarme så er dette ikke iht. NS 3720.

Systemene har ikke utelukkende avfallsforbrenning eller biokjel men har systemer som er bygget opp rundt det som vist i Tabell 3-31.

Tabell 3-33 Utslippsfaktorer for fjernvarme benyttet i analysen

Strømmiks	Utslippsfaktor [g CO_2e/kWh]
Biokjel med norsk strømmiks	26
Avfallsforbrenning med norsk-europeisk strømmiks, avfallsutslipp allokert til forbruker	133

Figur 3-12 viser framskrivingen av utslippsfaktorene for fjernvarme over 50 år.



Figur 3-12 Utslippsfaktor for fjernvarme over 50 år

3.3.6.3 Pellets

Utslippsfaktorer for produksjon av trepellets er hentet fra tilgjengelige EPDer fra EPD-Norge. Det er benyttet følgende EPDer er:

- Wood Pellets in Bulk (NEPD-6458-5720-EN)
- Packaged Wood Pellets (NEPD-6459-5720-EN)
- Bulk wood pellets (NEPD-7670-7050-EN)
- Wood pellets in sack (NEPD-7671-7049-EN)

Det er benyttet følgende forutsetninger for beregningene:

- Nedre brennverdi: 17,3 MJ/kg (EPD)
- A4, transportavstand: 500 km med lastebil[20]
- Virkningsgrad pelletsovn: inkludert i energiberegninger, utslippstall i g CO2-e/kWh er basert på 100% virkningsgrad.
- B6, GWP-fossil utslipp fra forbrenning pellets: 3,93 g CO2-ekv/kWh varme[21]

[20] 0,12 kg CO2-ekv/tkm (NS 3720 G2)

[21] Ecoinvent: 1 kWh Heat, central or small-scale, other than natural gas {NO}| heat production, wood pellet, at furnace 9kW, state-of-the-art 2014. Utslipp er fra N2O, Dinitrogenoksid.

Tabell 3-34: Utslippsfaktor for A1-A3 produksjon, A4 transport og B6 forbrenning av pellets, i g CO_2e/kWh (100 % virkningsgrad)

EPD	Wood Pellets in Bulk	Packaged Wood Pellets	Bulk wood pellets	Wood pellets in sack	Enhet, GWP-fossil
A1-A3, produksjon pellets	13,5	15,8	15,8	19,3	g CO_2e/kWh
A4, transport pellets	12,5	12,5	12,5	12,5	g CO_2e/kWh
B6, utslipp forbrenning	3,93	3,93	3,93	3,93	g CO_2e/kWh
Sum, utslipp	29,9	32,2	32,2	35,8	g CO_2e/kWh
Gjennomsnitt, utslipp (GWP-fossil), 100% virkningsgrad			**32,5**		g CO_2e/kWh
B6, GWP-biogent	419	419	380	380	g CO_2e/kWh

Tabell 3-34 viser utslippsfaktor for A1-A3 produksjon, A4 transport og B6 forbrenning av pellets i ovn med 100 % virkningsgrad. Reell virkningsgrad inkluderes i beregnet energibehov. Som tabellen viser, har utslipp fra transport av pellets ca. like store utslipp som produksjon av pellets. Det er også noe direkte utslipp i fossil GWP. Dette kommer fra N2O ved forbrenning og er rundt 10 % av utslippene. Snittfaktoren basert på de 4 tilgjengelige EPDene er 32,5 g CO_2-ekv/kWh.

Tabell 3-34 viser også utslippsfaktor for biogent klimagassutslipp. Med biogent utslipp menes utslipp av biogent karbon som er tatt opp i biomasse via fotosyntese, og som er en del av det naturlige karbonkretsløpet. Det har vært vanlig å beregne opptak og utslipp av biogent karbon som nøytralt i klimaberegninger, dvs. at opptak og utslipp settes til 0.

Hvor stor effekt og utslipp det er av biogent karbon ved forbrenning vil være avhengig av type råstoff, rotasjonstid (hvor lang tid det tar før ny biomasse vokser) og om biomassen oppfyller bærekrafts- og utslippsreduksjonskriterier iht. fornybardirektivet[22].

Utslipp (og opptak) av biogent karbon er ikke inkludert i beregninger og resultat vist i denne rapporten.

[22] Miljødirektoratet: https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimakvoter/utslipp-bruk-av-biomasse-klimakvoter/

3.3.7. Endringer i klimagassutslipp for tiltak og caser

Beregning av endringer i klimagassutslipp for alle tiltakene og casene omtalt i kap. 3.2.2–3.2.5 finnes i egne rødmarkerte ark i de 4 Excel-filene omtalt i de samme kapitlene.

Første del av navnet på hvert ark (f.eks. «Direkte el» og «Fjernvarme» viser til energiforsyningsløsningen som gjelder før evt. tiltak er gjennomført.



4. Resultater

For alle tiltak er det gjort beregninger med to scenarioer for utslippsfaktorer for strømmikser.

- **Scenario 1**: Norsk strømmiks og minimale utslipp fra fjernvarme (Biokjel med pellets)
- **Scenario 2**: Norsk-europeisk strømmiks og maks utslipp fra fjernvarme (Fjernvarme med avfallsforbrenning allokert til forbruker av varme). NB – avfallsforbrenning allokert til forbruker av fjernvarme er ikke iht. NS 3720.

I rapporten er scenario 1 vist først for alle tiltak og case. Dette er gjort for å vurdere robustheten i resultatene. Dersom tiltaket gir en besparelse for scenario 1 vil det også gjøre det for scenario 2. Det er trukket frem resultater for ulike årsklasser og ulike bygningskategorier i rapporten, men alle resultatene er tilgjengeliggjort for Enova i Excel.

Når vurderingen skal gjøres på om tiltakene er klimavennlige i sin helhet eller ikke, anbefaler vi at vurderingene gjøres mot scenario 2. Utslippene for elektrisitet 50 år frem i tid er usikker, men med en stadig tettere kobling til det europeiske strømnettet er det forventet at utslippsfaktor for elektrisitet vil være tilnærmet den europeiske i fremtiden. Tilgjengelig elektrisitet kan også benyttes til å erstatte andre utslippsintensive energikilder for mobilitet (biler, busser og lastebiler på strøm) og i industrien. Dette tilsier at utslippsfaktor på strøm kan være tilnærmet lik energikilden strømmen erstatter (lik eller høyere enn scenario 2). Når det gjelder fjernvarme viser scenario 2 det høyest tenkelige utslippet fra fjernvarme hvor man også teller med utslippene fra forbrenning av avfall. Dette er de høyst reelle utslippene, men utslipp fra fjernvarme er svært varierende ut ifra hvordan fjernvarmen produseres. Utslippsfaktoren for fjernvarme er også avhengig av hvordan utslipp fra avfallsforbrenning allokeres. Iht. NS3720 allokeres utslippene fra avfallsforbrenning til produsentene av avfallet. Scenario 2 er dermed ikke iht. NS3720 men viser de høyeste reelle utslippene.

Kapittelet tar for seg tilbakebetalingstid og gevinst av tiltak. Det er da ment miljømessig tilbakebetalingstid og miljømessig gevinst.

4.1. Tiltak

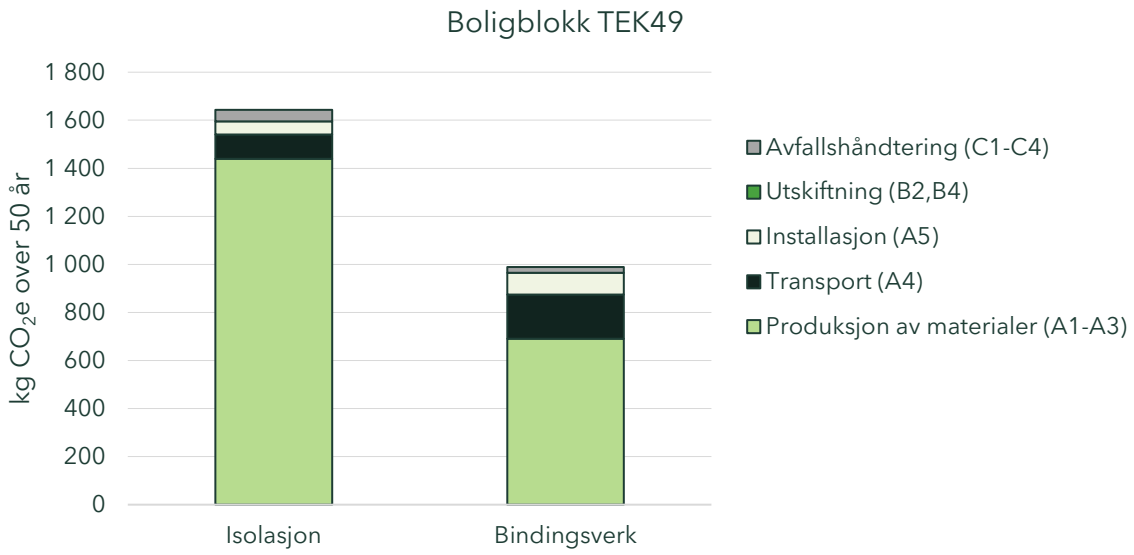
4.1.1. Etterisolering av vegg

Etterisolering av vegg krever ny isolasjon og nytt bindingsverk. Det vil også kreve ny vindsperre og ny kledning, men dette er ikke medtatt i beregningene ettersom det kun er materialene som går direkte på energiforbruket som er medtatt. Energiforbruket går kun på de forbedrede U-verdiene og ikke på tetthet. Vindsperre er derfor ikke medtatt i beregningene.

Tiltaket er beregnet for alle bygningstyper og alle årsklasser.

Klimagassutslipp

Figur 4-1 viser de livsløpsbaserte klimagassutslippene for materialene som inngår i tiltaket, fordelt på livsløpsfaser. Utslippene er vist for en etterisolering av TEK 49 boligblokk.

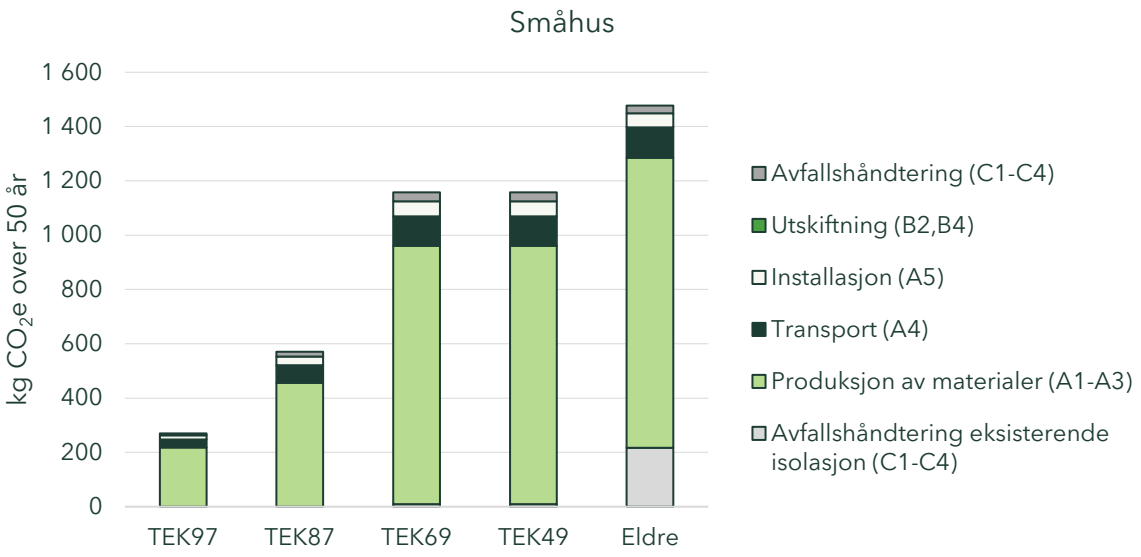


Figur 4-1 Klimagassutslipp for etterisolering av TEK49 boligblokk

Utslippene er høyest for isolasjonen og det er produksjon av isolasjonen som bidrar mest til utslippene. Det er ingen utslipp fra utskiftning ettersom både isolasjonen og bindingsverket har en levetid på 50 år eller mer.

Fordelingen av klimagassutslipp mellom isolasjon og bindingsverk er lik for de resterende bygningstypene og årsklassene som for eksempelet over. For eldre småhus er det også et utslipp forbundet med avfallshåndtering av eksisterende stubbleire, men dette er ikke det største bidraget til utslippene. Bidraget for isolasjon øker for de eldre årsklassene

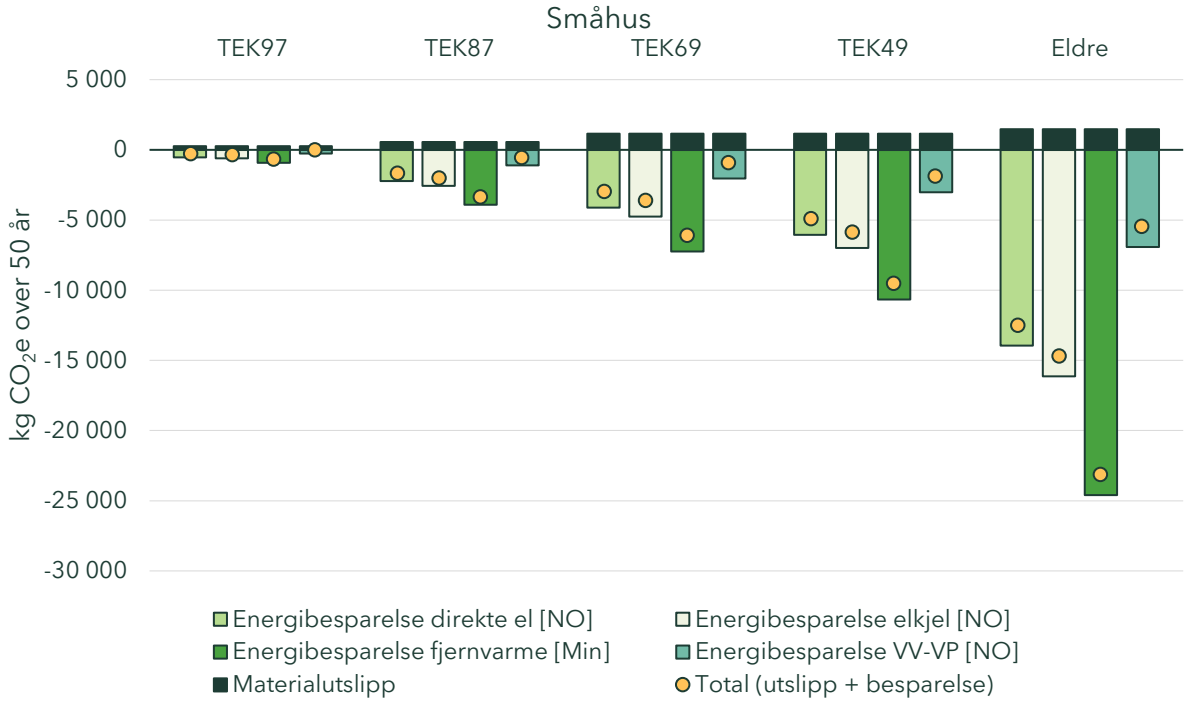
ettersom det her er behov for tykkere isolasjon. For de eldste småbyggene må også den eksisterende isolasjonen avfallshåndteres ettersom det ikke var mulig å oppnå ønsket U-verdi dersom den ble beholdt. Dette bidrar lite til klimagassutslipp. Utviklingen av utslipp tilknyttet etterisolering for småhus er illustrert i Figur 4-2.



Figur 4-2 Klimagassutslipp fra isolasjon og bindingsverk for etterisolering av småhus

Klimagassutslipp og energibesparelse

Besparelse fra energi kommer fra at det er mindre behov for oppvarming i byggene. Figur 4-3 viser materialutslipp og klimabesparelser med de ulike energiforsyningsløsningene for alle relevante årsklasser for småhus. Etterisolering av TEK 07 bygg er ikke relevant for småhus da dette ikke gir en forbedret U-verdi for veggene. Resultatene er vist for scenario 1: NO-strømmiks og min fjernvarme.

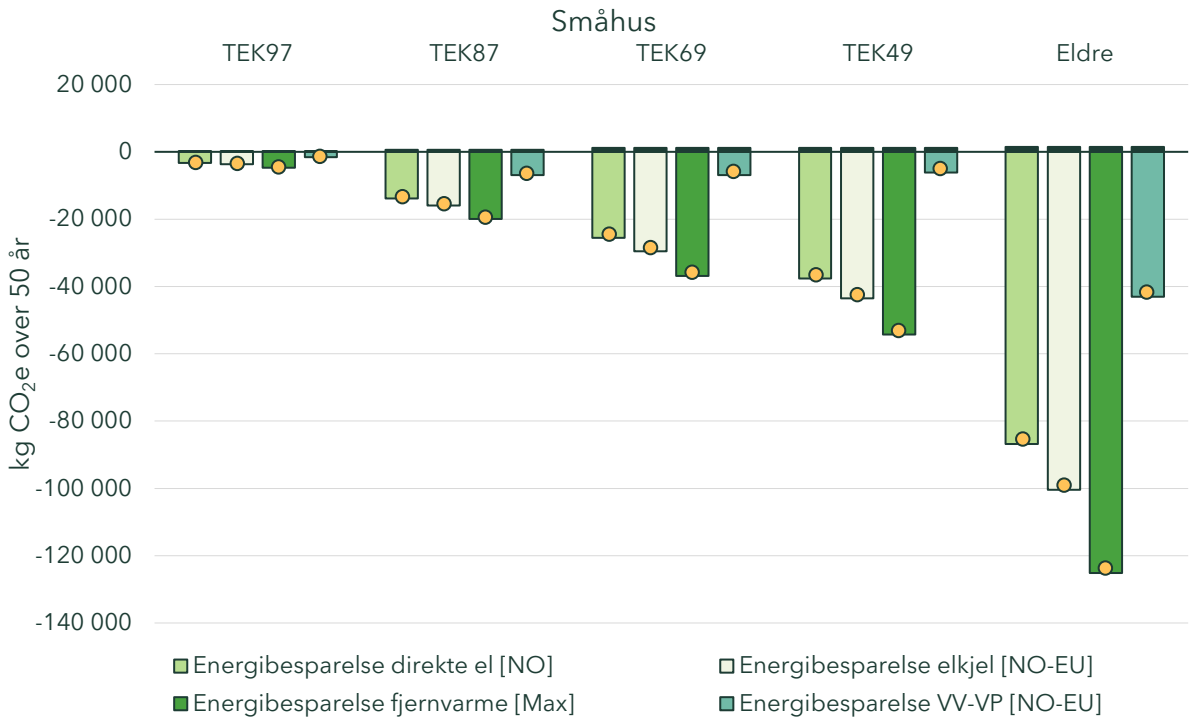


Figur 4-3 Klimagassutslipp og besparelser for småhus for alle årsklasser for scenario 1

Alle årsklasser får en klimabesparelse som følge av etterisolering. TEK 97 bygget som har væske-vann varmepumpe får ikke en besparelse. Dette gjelder kun for småhuset. TEK 07 byggene er ikke inkludert for småhus ettersom de har gode isoleringsevner og tiltaket ikke er relevant for dem. De andre bygningstypene oppnår en besparelse for alle årsklasser utenom TEK07 boligblokkene med varmepumpe.

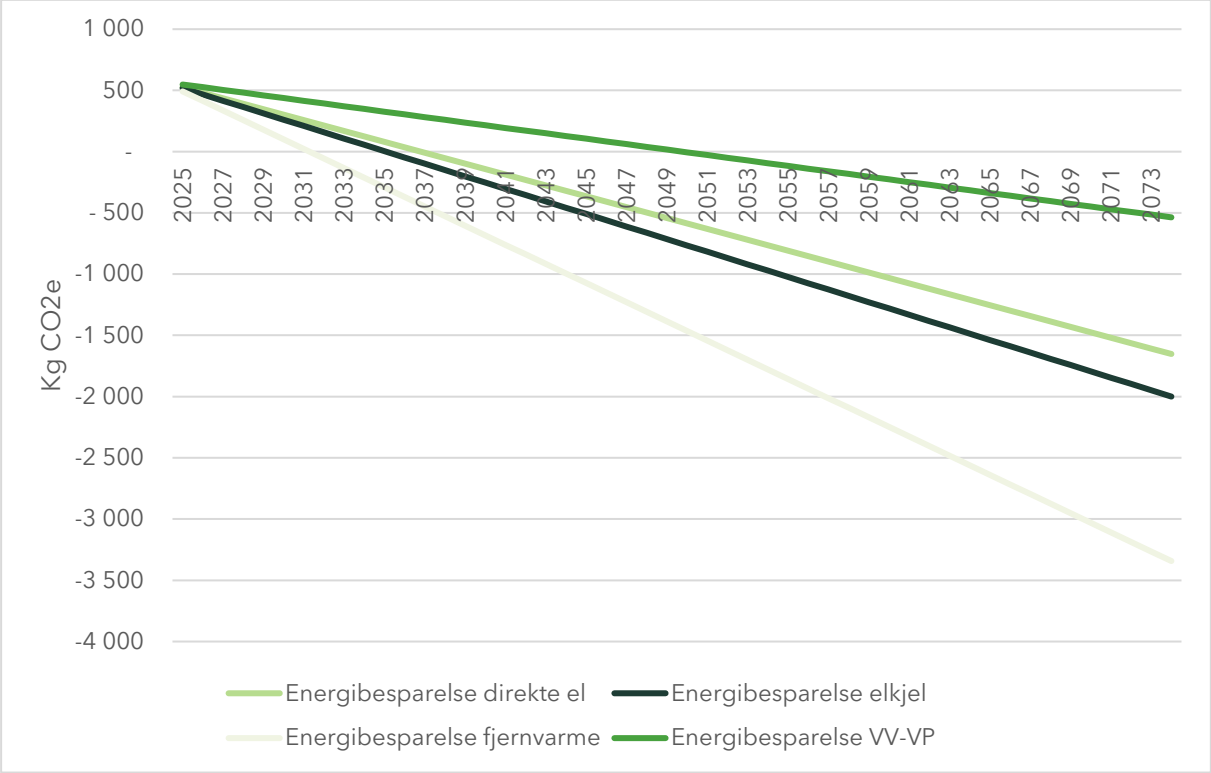
Besparelsen er minst for de byggene som har væske-vann varmepumpe ettersom de vil spare mindre energi på oppvarmingsbehovet som det ikke lenger er behov for ettersom varmepumpe er en svært effektiv energiforsyningsløsning. Byggene med fjernvarme har størst klimagevinst, ettersom utslippene fra fjernvarme er noe høyere enn for elektrisitet.

Figur 4-4 viser besparelser og utslipp med scenario 2. Alle årsklasser gir en besparelse.



Figur 4-4 Klimagassutslipp og besparelser for småhus for alle årsklasser for scenario 2

Tilbakebetalingstiden på tiltaket for TEK 87 småhus er vist i Figur 4-5. Tilbakebetalingstiden avhenger av hvilken energiforsyningsløsning bygget har. Tilbakebetalingstiden er kortest for byggene med fjernvarme (ca. 6 år). For byggene med el-kjel og direkte elektrisitet som oppvarming er tilbakebetalingstiden 12 år. Byggene med varmepumpe har lengst tilbakebetalingstid på 26 år.



Figur 4-5 Tilbakebetalingstid småhus TEK 87 for scenario 1

Hvis man legger scenario 2 til grunn, vil tiltakene tilbakebetale seg etter kortere tid. Alle årsklasser og bygningstyper får en klimabesparelse med scenario 2.

4.1.2. Etterisolering tak

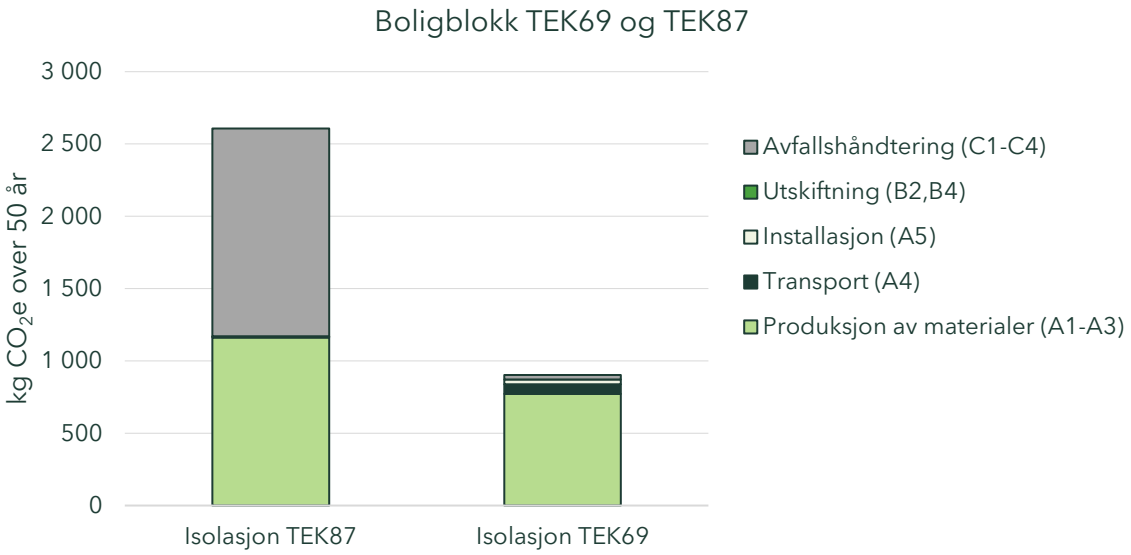
Etterisolering av tak krever ny isolasjon til taket, og i noen tilfeller vil det være behov for å avfallshåndtere eksisterende isolasjon. De fleste av byggene krever mineralull, mens TEK 87 byggene krever en trykkfast isolasjon. Bakgrunnen for dette er at modellbyggene benyttet har et kompakt flatt tak som utgangspunkt med behov for 100 mm tilleggsisolasjon. Det foreslåtte alternativet er da å fjerne taktekking og etterisolere utvendig. Da er trykkfast isolasjon anbefalt. Tiltaket er beregnet for alle bygningstyper og alle årsklasser.

Klimagassutslipp

Figur 4-6 viser klimagassutslippene til materialene som må tilføres en TEK 87 og TEK 69 boligblokk. TEK 87 bygget krever trykkfast isolasjon mens TEK 69 bygget krever mineralull.

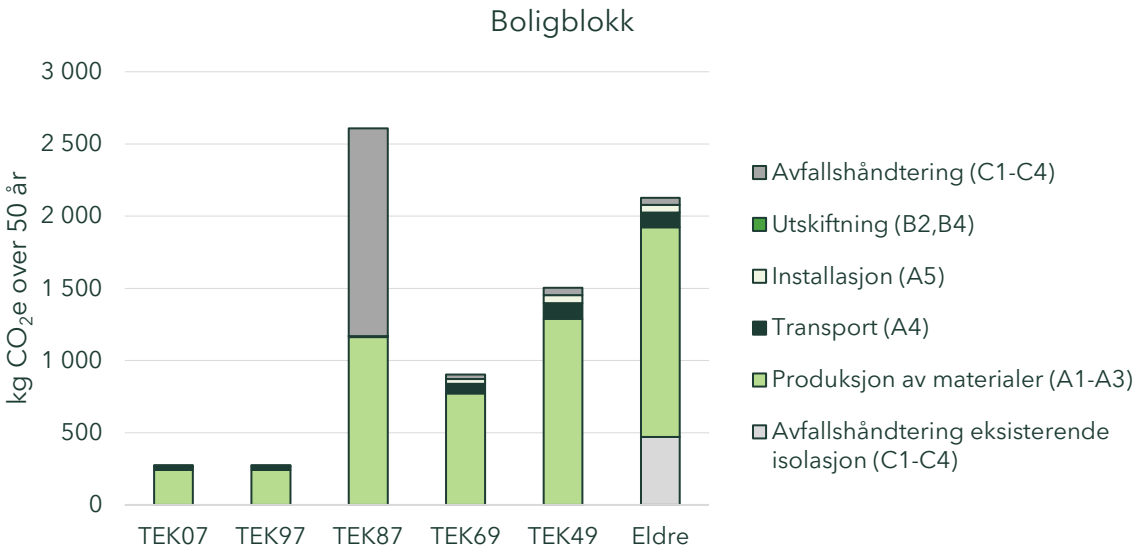
Det er stor forskjell i utslippene mellom den trykkfaste isolasjonen og vanlig mineralull. Forskjellen er størst i avfallshåndteringsfasen ettersom den trykkfaste isolasjonen består av plast og energigjenvinnes når den avfallsbehandles. Forbrenning av plast gir svært høye

utslipp noe som gjenspeiles i figuren under. Mineralull avfallshåndteres med noe materialgjenvinning, noe energigjenvinning og noe deponi. Dette gir lavere utslipp i avfallshåndteringsfasen.



Figur 4-6 Klimagassutslipp fra isolasjon for etterisolering av tak for et TEK 87 og TEK 69 boligblokk

Som for etterisolering av vegg har etterisolering av tak også et økende utslipp for de eldre årsklassene. Unntaket er TEK 87 som krever trykkfast isolasjon som gir høyere utslipp grunnet avfallsbehandlingen. Dette er illustrert i Figur 4-7 for boligblokker. Bakgrunnen for at TEK 87 byggene krever trykkfast isolasjon er fordi det kun er for denne årsklassen vi har et kompakt flatt tak som utgangspunkt, med behov for 100 mm tilleggsisolasjon.



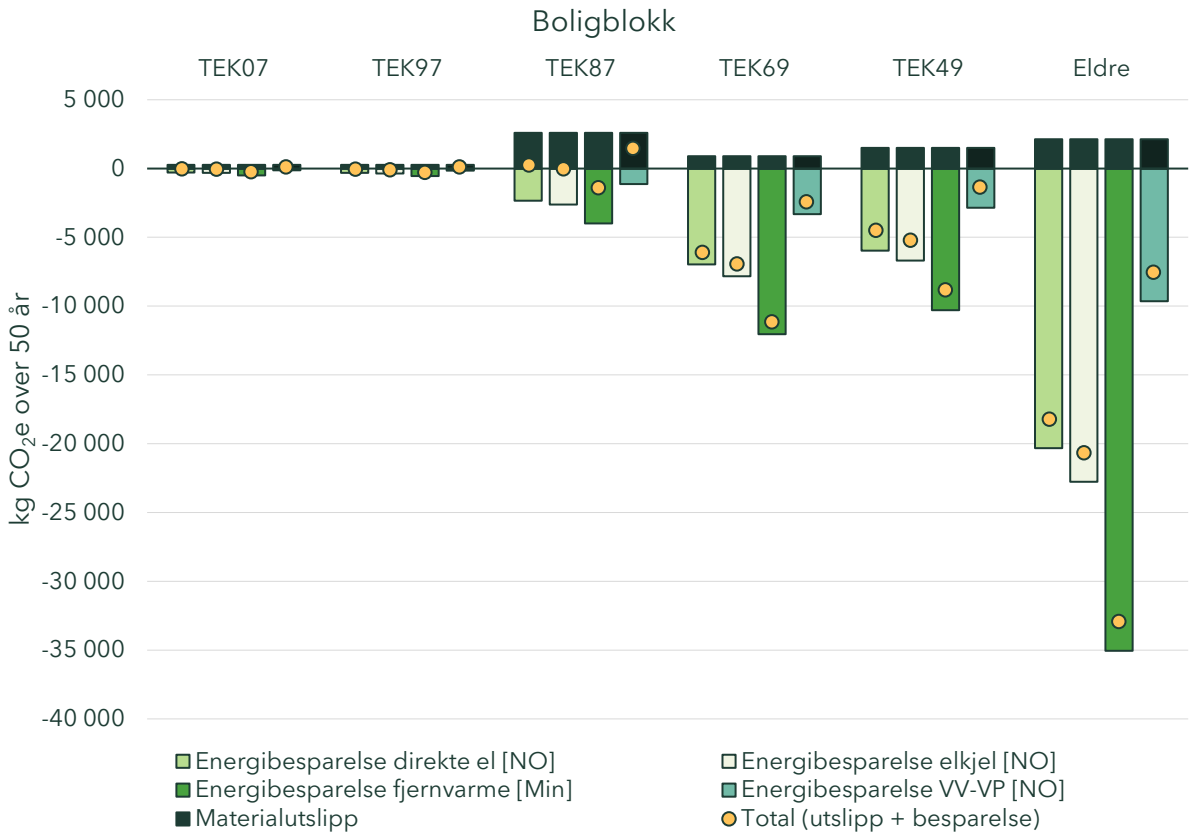
Figur 4-7 Materialutslipp fra isolasjon for boligblokker for alle årsklasser

Det er en mulighet å ha 100 mm innvendig nedforing med mineralull for TEK 87 bygget. Dette kan fungere, men er ikke optimalt da det spiser av innvendig takhøyde og kan skape problemer ift. isolering på varme side med et damptett dekke.

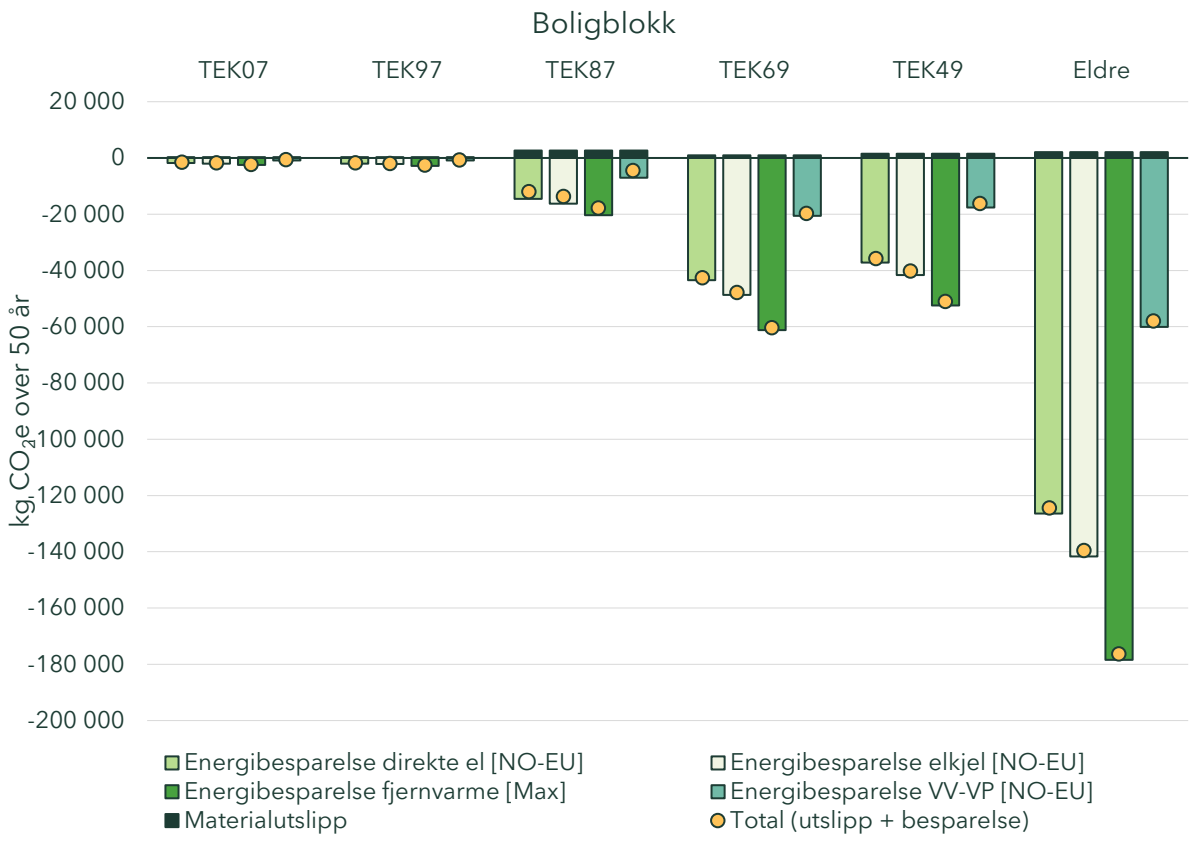
Klimagassutslipp og energibesparelse

Besparelsene fra energi kommer som følge av mindre behov for oppvarming. Figur 4-8 viser klimagassutslippene over besparelsene fra energi som følge av tiltaket. Figuren viser besparelsene med scenario 1: norsk strømmiks og min utslipp fra fjernvarme. Tiltaket gir en klimabesparelse for alle årsklasser bortsett fra TEK 07, TEK97 og TEK 87 byggene som har varmepumpe.

Energiforsyningsløsningen som har høyest klimagassutslipp er den som gir mest besparelse. Dette er fjernvarme etterfulgt av el-kjel og deretter direkte el. Varmepumpe gir lavest besparelse. Besparelsen øker jo eldre byggene blir. Dersom scenario 2 legges til grunn gir alle årsklasser og energiforsyningsløsninger en besparelse som vist i Figur 4-9.



Figur 4-8 Klimagassutslipp og besparelse for alle årsklasser for boligblokker, scenario 1



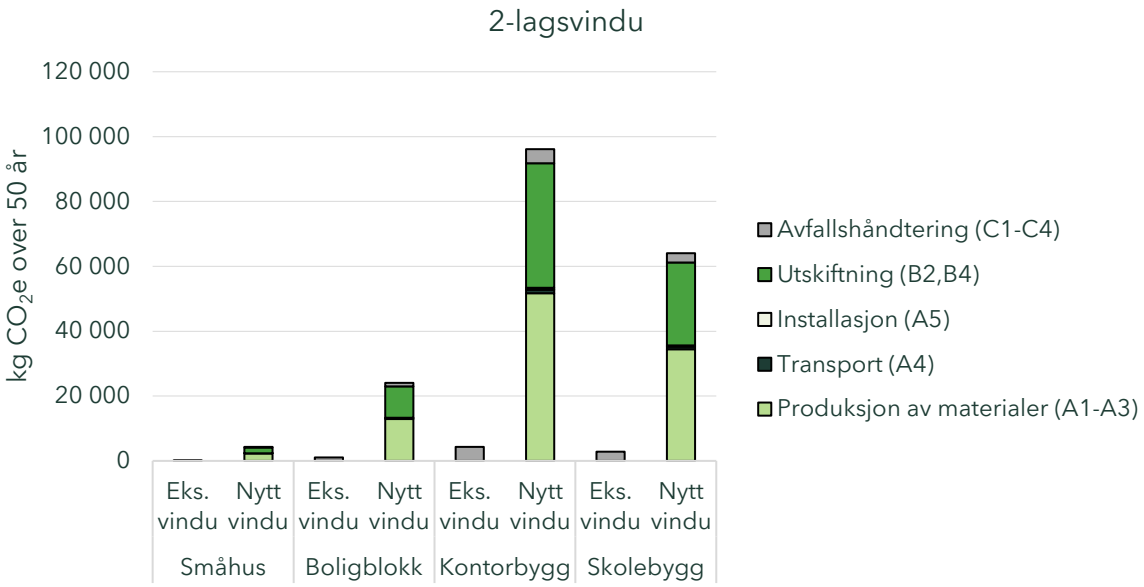
Figur 4-9 Klimagassutslipp og besparelse for alle årsklasser for boligblokker, scenario 2

4.1.3. Utskiftning av vinduer

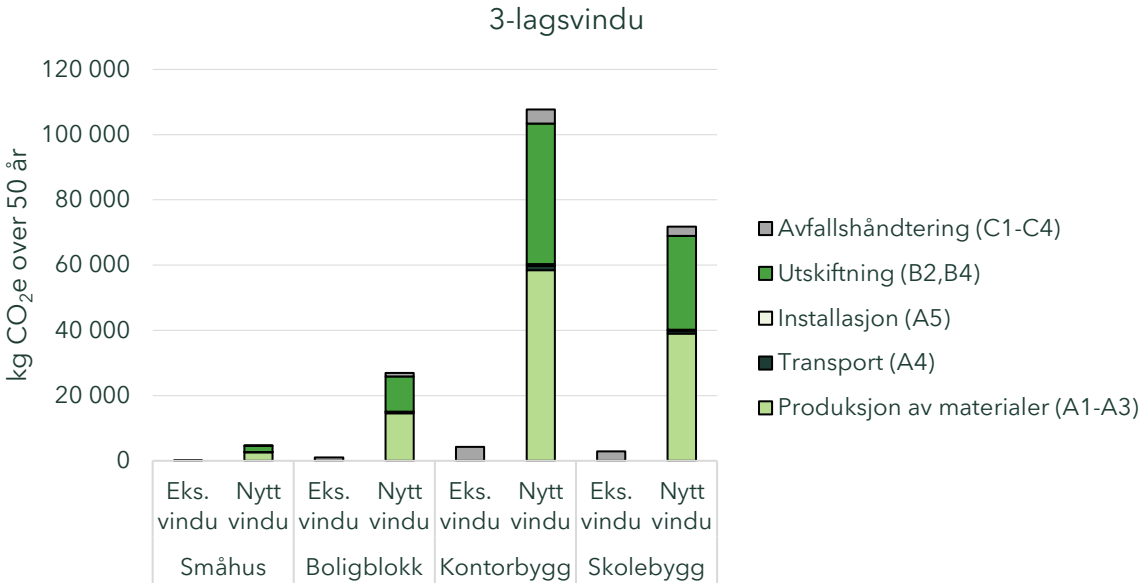
For vinduer er det gjort to beregninger. Bytte til 2-lagsvindu og bytte til 3-lagsvindu. Beregningene er gjort for alle bygningstyper og alle årsklasser. Det er antatt at alle bygg har sine originale vinduer og at det ikke er gjort noen utskiftninger.

Klimagassutslipp

Klimagassutslipp fra utskiftning av vinduer til 2-lags og 3-lags er vist i henholdsvis Figur 4-10 og Figur 4-11. Utslippene for vinduene som settes inn i byggene er like per m^2, men utslipp fra materialbruk varierer mellom bygningskategoriene ettersom det er ulikt vindusareal som settes inn i de ulike byggene. Kontorbygg har høyest vindusareal og får derfor høyest materialutslipp fra vinduer. Utslippene for 3-lagsvinduer er noe høyere enn 2-lags. Produksjon av materialer (A1-A3) er det som bidrar mest til utslippene. Det er også høye utslipp fra utskiftning ettersom vinduet har en levetid på 30 år og det er lagt inn en utskiftning etter 30 år.



Figur 4-10 Klimagassutslipp fra utskiftning av vinduer til 2-lagsvindu

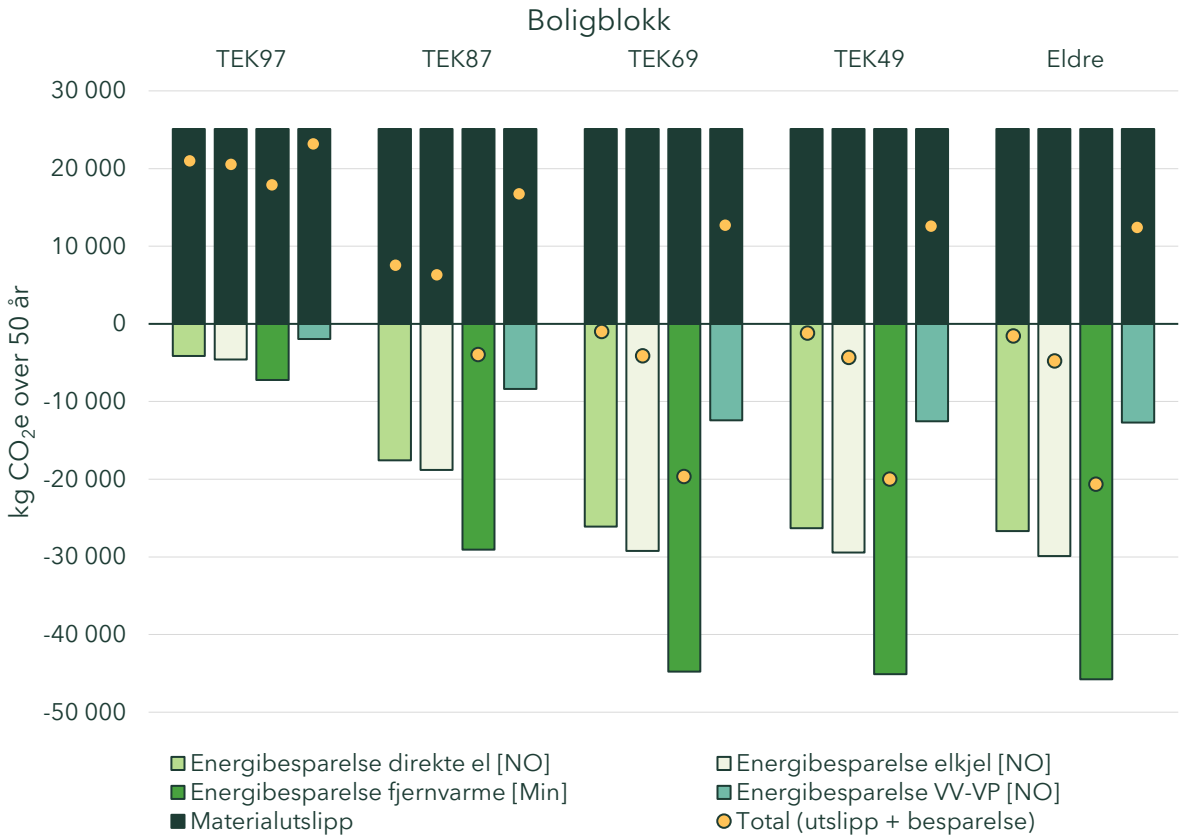


Figur 4-11 Klimagassutslipp fra utskiftning av vinduer til 3-lagsvindu

Klimagassutslipp og energibesparelse

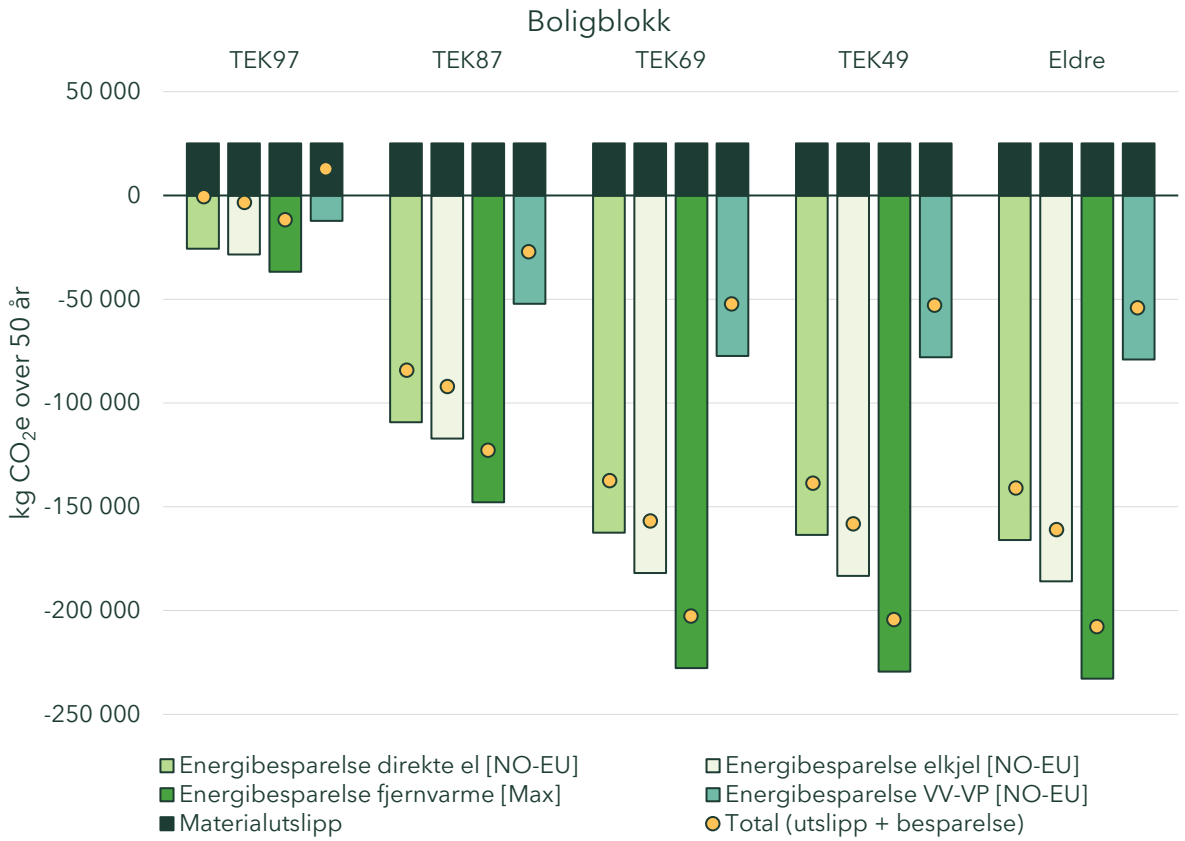
Energibesparelsen kommer som følge av et minimert behov for oppvarming etter tiltaket er gjennomført. Figur 4-12 viser utslippene og besparelsene for en boligblokk for de ulike årsklassene for scenario 1. Tiltaket gir en besparelse for de byggene med fjernvarme, direkte-el og el-kjel for TEK 69, TEK 49 og eldre bygg. TEK 87 byggene har også en

besparelse for byggene med fjernvarme. For de andre energiforsyningsløsningene er det netto utslipp.



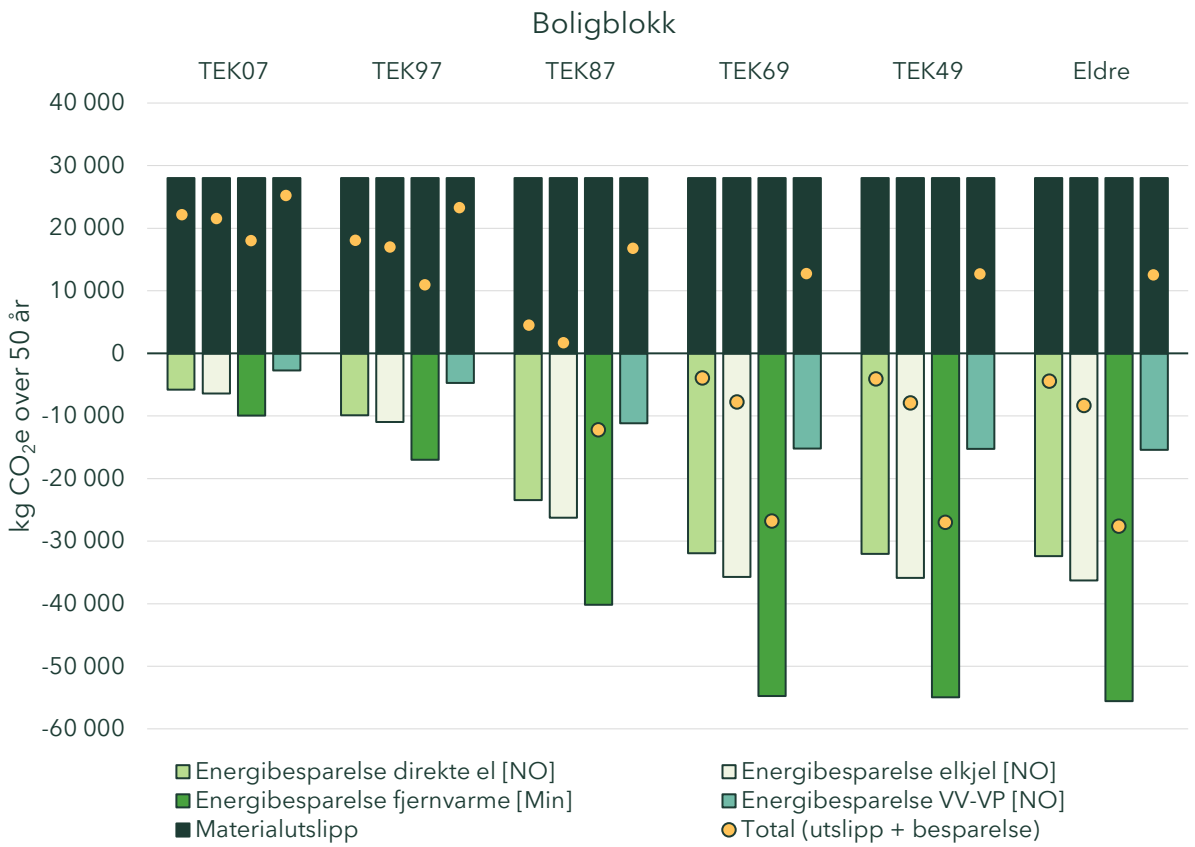
Figur 4-12 Bytte til 2-lagsvindu for boligblokker, scenario 1

Når utslippsfaktorene for energi endres til scenario 2 blir besparelsene større. Dette er vist i Figur 4-13. Alle årsklasser har en besparelse, men for TEK 97 byggene er det byggene med fjernvarme, direkte-elektrisitet eller el-kjel som oppnår en netto klimagevinst.



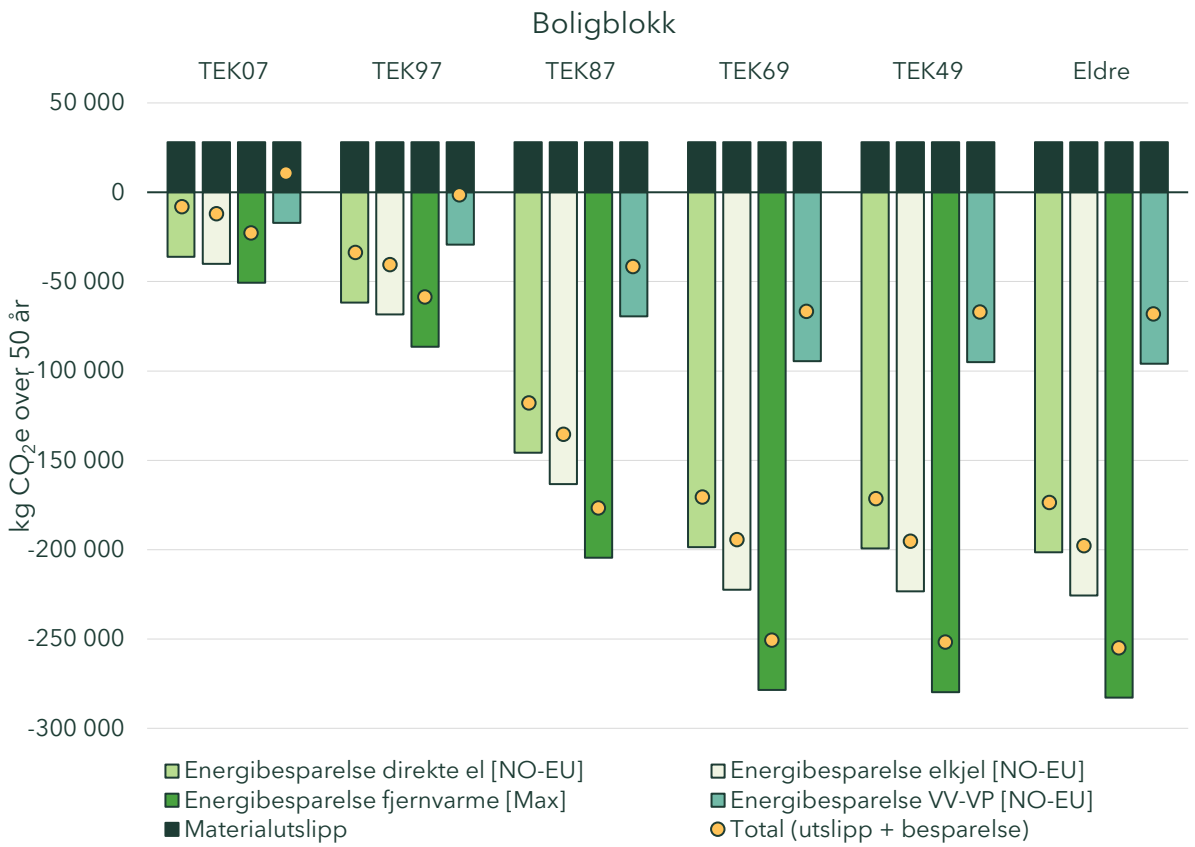
Figur 4-13 Bytte til 2-lagsvindu for boligblokker, scenario 2 norsk-europeisk strømiks og maks fjernvarme

For utskiftning av vinduer til 3-lags glass er både utslippene og besparelsene større. Figur 4-14 viser resultatene for utskiftning til 3-lagsvindu for boligblokker med utslippsfaktorer for scenario 1. Konklusjonene er relativt like som for utskiftning til 2-lagsvindu. Tiltaket gir netto klimabesparelse for de eldste byggene (eldre og TEK49) for byggene som benytter fjernvarme og el-kjel. For TEK 87 bygg er det kun bygg med fjernvarme som får en netto klimabesparelse. For TEK 97 og TEK 07 er utslippene høyere enn besparelsen for alle energiforsyningsløsninger.



Figur 4-14 Bytte til 3-lagsvindu for boligblokker, scenario 1 norsk strømiks og min fjernvarme

Når besparelsene regnes med utslippsfaktorer for scenario 2 (norsk europeisk og maks fjernvarme), får alle årsklassene en besparelse, men for TEK 07 og TEK 97 bygg får ikke byggene med varmepumpe en netto besparelse.



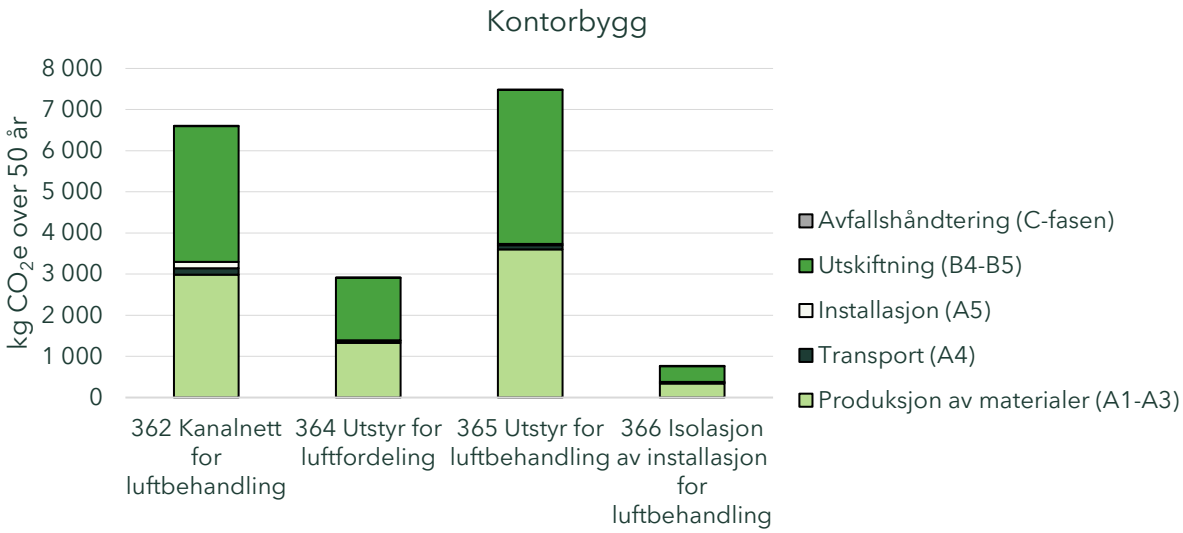
Figur 4-15 Bytte til 3-lagsvindu for boligblokker, scenario 2 norsk-europeisk strømiks og maks fjernvarme

4.1.4. Ettermontering av balansert ventilasjon

Ettermontering av balansert ventilasjon er beregnet for småhus og boligblokker ettersom kontor og skole allerede har montert dette.

Klimagassutslipp

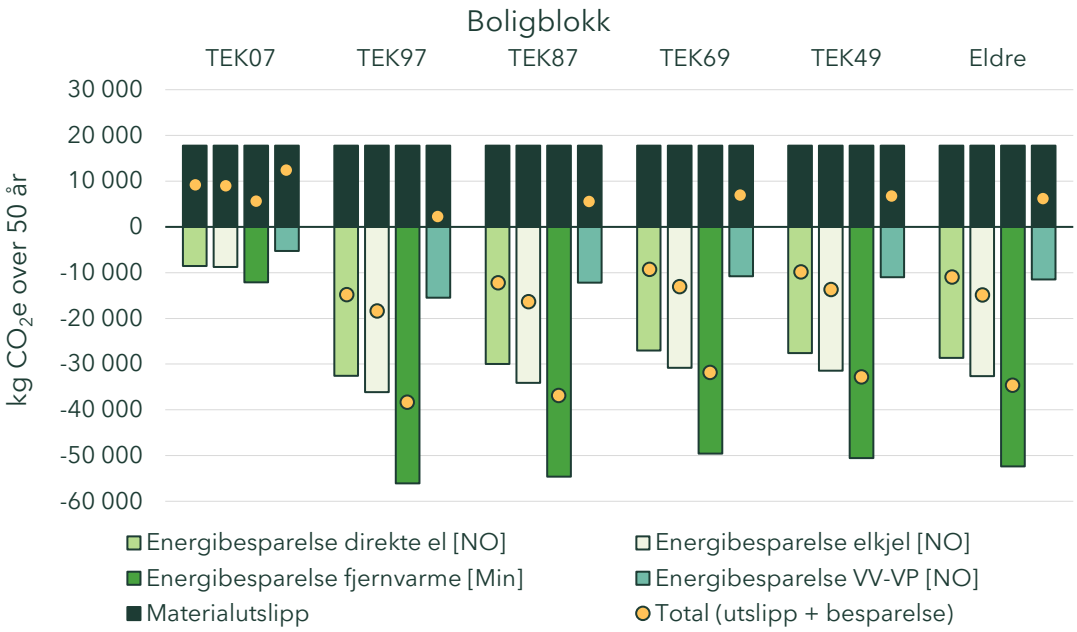
Tiltaket består av å installere ventilasjonskanaler, og andre ventilasjonsdeler, spjeld, ventiler og luftbehandlingsenhet. Luftbehandlingsutstyret bidrar med høyest klimagassutslipp både i produksjonsfasen og i utskiftningsfasen. Utslippene for materialene som inngår i en boligblokk fordelt på livsløpsfaser og bygningsdelstabellnummer er vist i Figur 4-16.



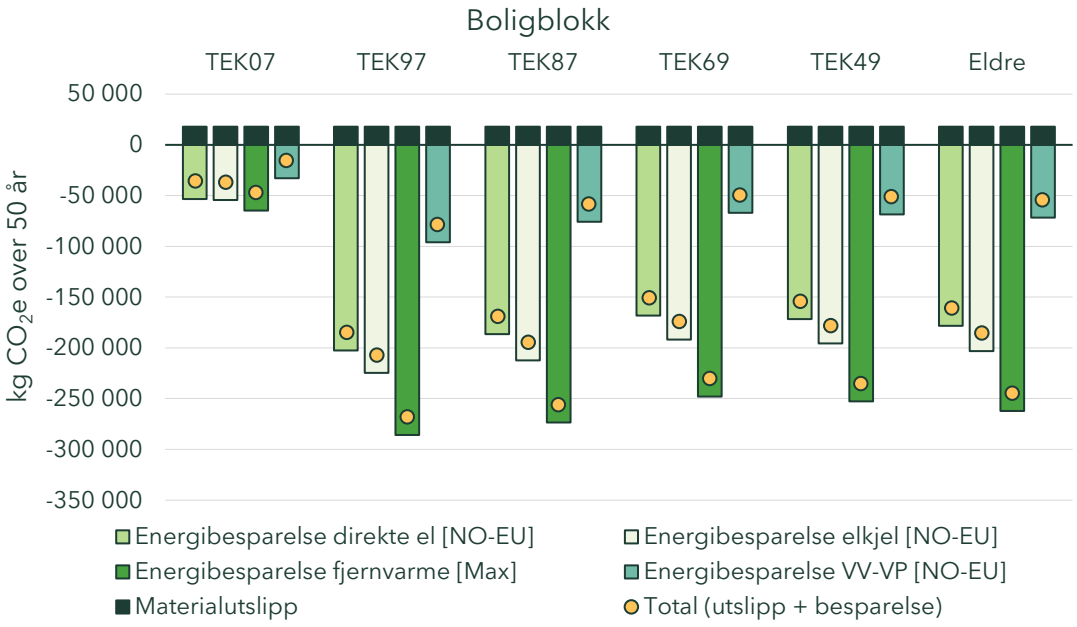
Figur 4-16 Klimagassutslipp for ettermontering av balansert ventilasjon for boligblokker

Klimagassutslipp og energibesparelser

Klimagassutslipp og energibesparelser er vist i Figur 4-17 for boligblokker beregnet med utslippsfaktorer i scenario 1. Alle årsklasser utenom TEK07 har en besparelse for alle energiforsyningsløsninger for utenom byggene med varmepumpe. Dersom scenario 2 legges til grunn, har alle årsklasser og alle bygningskategorier en besparelse som vist i Figur 4-18.



Figur 4-17 Klimagassutslipp og energibesparelser for boligblokker for scenario 1



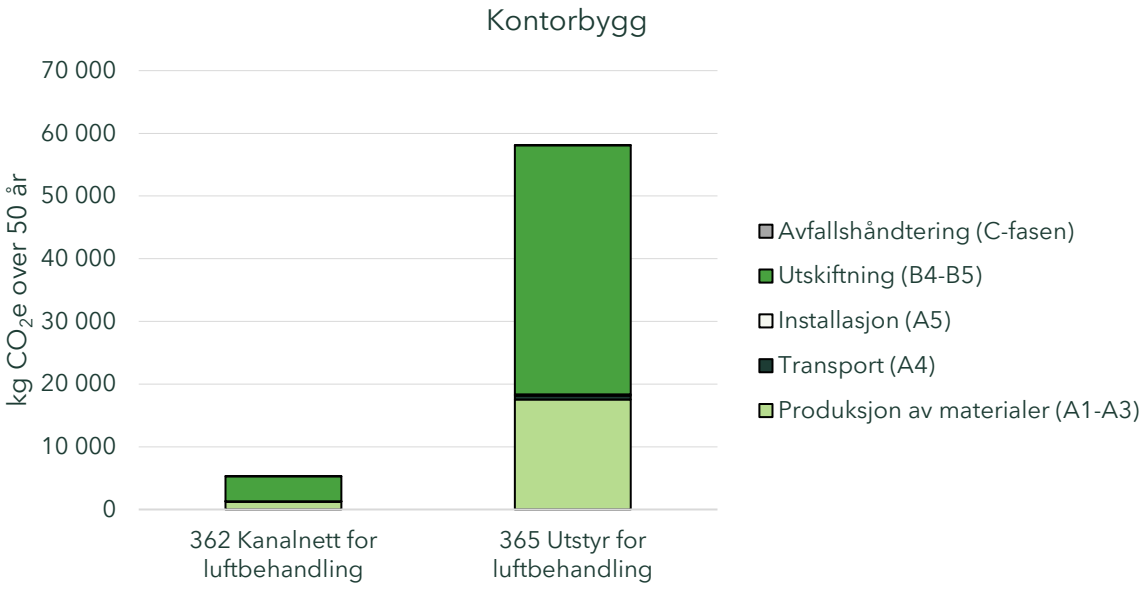
Figur 4-18 Klimagassutslipp og energibesparelser for boligblokker for scenario 2

4.1.5. Behovsstyrt ventilasjon

Behovsstyrt ventilasjon er beregnet for alle årsklasser for skoler og kontorbygg.

Klimagassutslipp

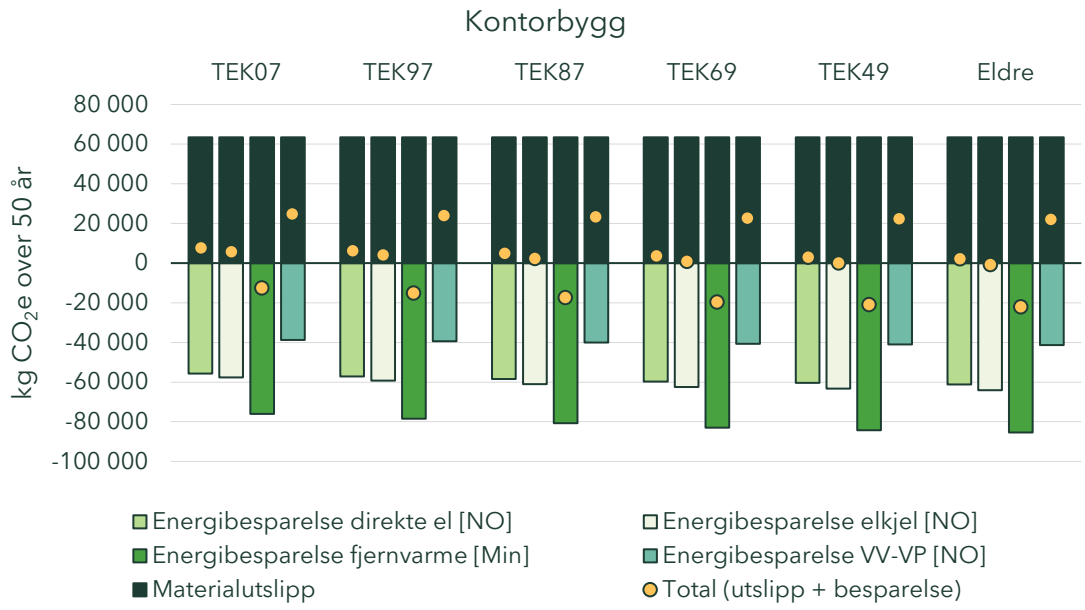
Klimagassutslipp fra behovsstyrtventilasjon kommer som følge av installasjon av luftbehandlingsenhet og VAV-spjeld. De største utslippene kommer fra luftbehandlingsenheten. Utslippene for kontorbygg er vist i Figur 4-19. Utslippene er like for alle årsklasser ettersom luftmengden ikke varierer mellom årsklassene.



Figur 4-19 Klimagassutslipp for behovsstyrtventilasjon for kontor

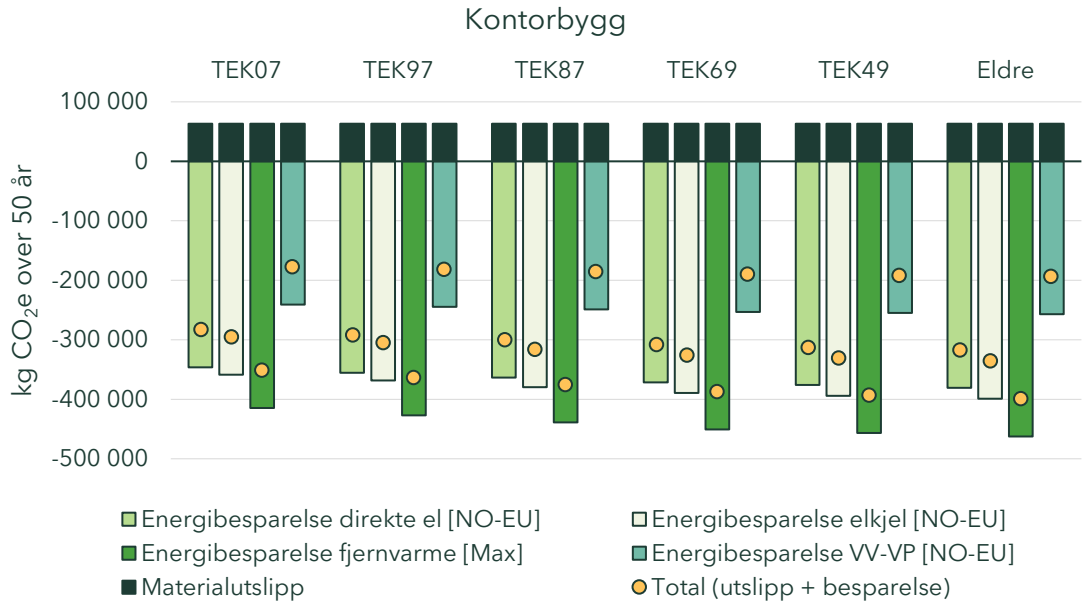
Klimagassutslipp og energibesparelser

Klimagassutslipp og besparelser for kontorbygg er vist i Figur 4-20 for scenario 1. Tiltaket får en besparelse for alle årsklasser for byggene med fjernvarme. For de resterende energiforsyningene går enten utslippene opp i besparelsene eller så er det netto økte utslipp.



Figur 4-20 Klimagassutslipp og besparelser for kontorbygg og behovsstyrt ventilasjon beregnet med scenario 1: norsk strømmiks og min fjernvarme.

Figur 4-21 viser utslipp og besparelser for kontorbygg beregnet med scenario 2: norsk-europeisk strømmiks og maks utslipp fra fjernvarme. Alle energiforsyningsløsninger gir en besparelse for alle årsklasser for kontorbygg.



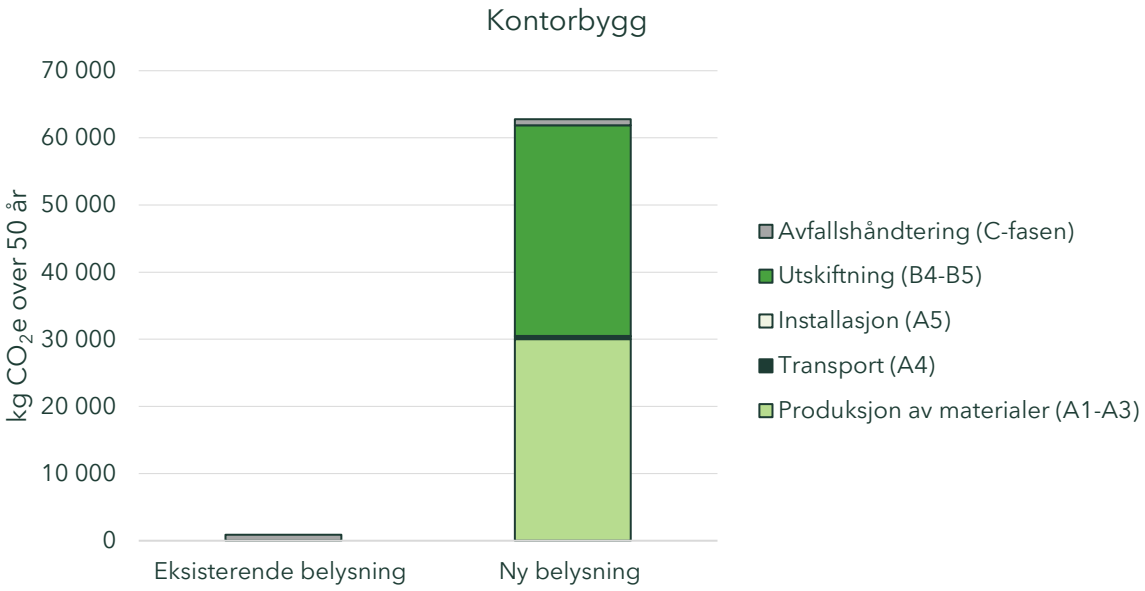
Figur 4-21 Klimagassutslipp og besparelser for kontorbygg og behovsstyrt ventilasjon beregnet med scenario 2: norsk-europeisk strømmiks og maks. fjernvarme.

4.1.6. Energieffektiv belysning

Tiltaket innebærer å skifte ut eksisterende belysning med LED-lys med styring. Tiltaket er beregnet for kontorbygg og skoler, for alle årsklasser. Resultatene er vist for kontorbygg, men hovedresultatene er like for skoler.

Klimagassutslipp

Tiltaket innebærer utskiftning av eksisterende belysning med LED-belysning med styring. Utslippene for er vist i Figur 4-22. Hoveddelen av utslippene kommer fra utskiftning. Dette er ettersom beregningsperioden for tiltaket er 50 år, men levetiden på LED-belysningen er 25 år og må derfor skiftes ut i løpet av beregningsperioden. Avfallshåndtering, transport og installasjon er neglisjerbart, og det er produksjonen av produktet og utskiftning som står for de største utslippene fra produktet.



Figur 4-22 Klimagassutslipp fra utskiftning av belysning til LED-lys for kontorbygg

Levetiden til belysningen er satt til 25 år ettersom dette er benyttet som standard verdi i NS 3720, norsk standard for klimagassberegninger. Levetiden til belysning vil derimot i stor grad avhenge av brukstiden, men ettersom tiltaket gjelder for skoler og kontorbygg kan man tenke at det vil være naturlig å skifte ut belysningen hvert 25 år.

Klimagassutslipp og energibesparelse

Klimagassutslipp tilknyttet materialer sett opp mot energibesparelse er vist i Figur 4-23 for kontorbygg. Utslippsfaktorene som er benyttet, er scenario 1: norsk strømmiks og min utslipp fra fjernvarme. Som figuren viser, gir alle årsklasser og alle

energiforsyningsløsninger netto økte klimagassutslipp fra å bytte ut eksisterende belysning med LED belysning.

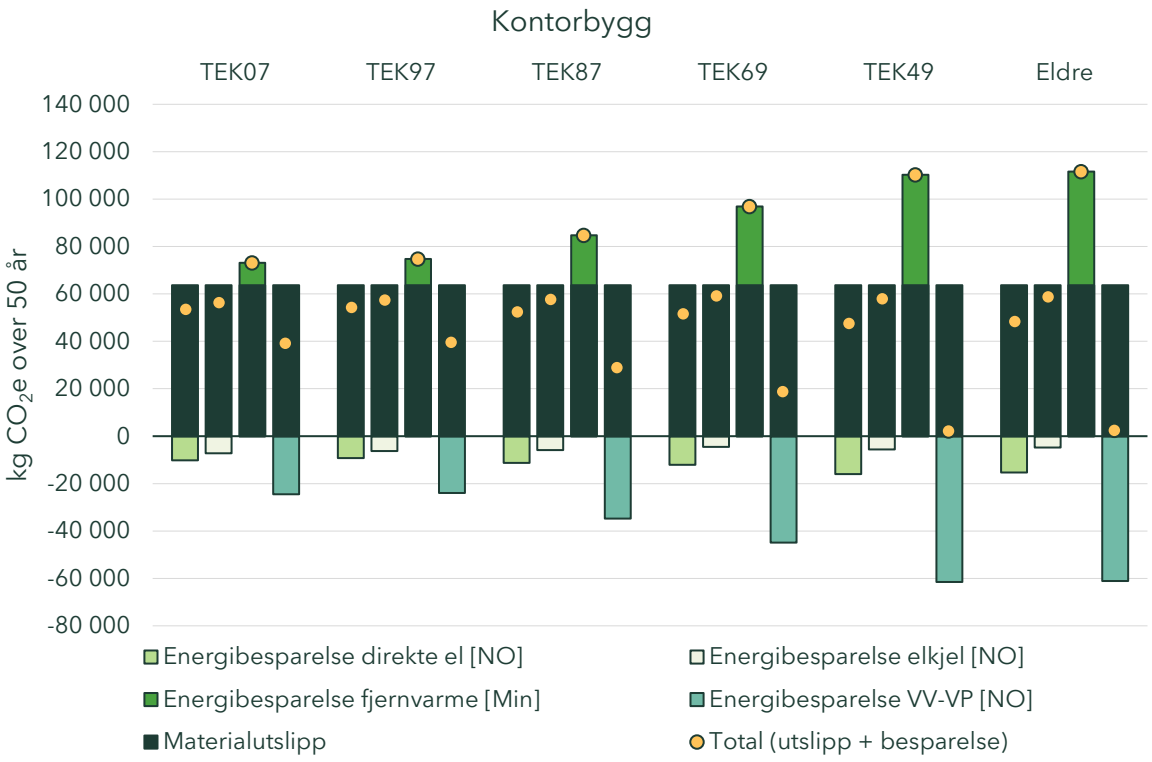
Når eksisterende belysning byttes med LED-belysning, vil man få et redusert behov for elektrisitet til å drifte belysningsanlegget. Samtidig vil det medføre et økt varmebehov, ettersom man ikke lengre får like mye «gratisvarme» fra belysningsanlegget.

Det vil si at netto energibesparelse i vurderingene i kap. 4.1.6 blir redusert elektrisitet tilført belysningsanlegget minus økt oppvarmingsbehov for å kompensere for den reduserte gratisvarmen.

Det er ikke lagt til grunn romkjøling i (modellene av) byggene. Følgelig blir det ikke tatt hensyn til redusert energibruk til romkjøling som følger av det mer energieffektivt belysningsanlegg. Se imidlertid kap. 5.2 der det er gjort tilleggsvurderinger av dette tiltaket for kontorbygg med romkjøling.

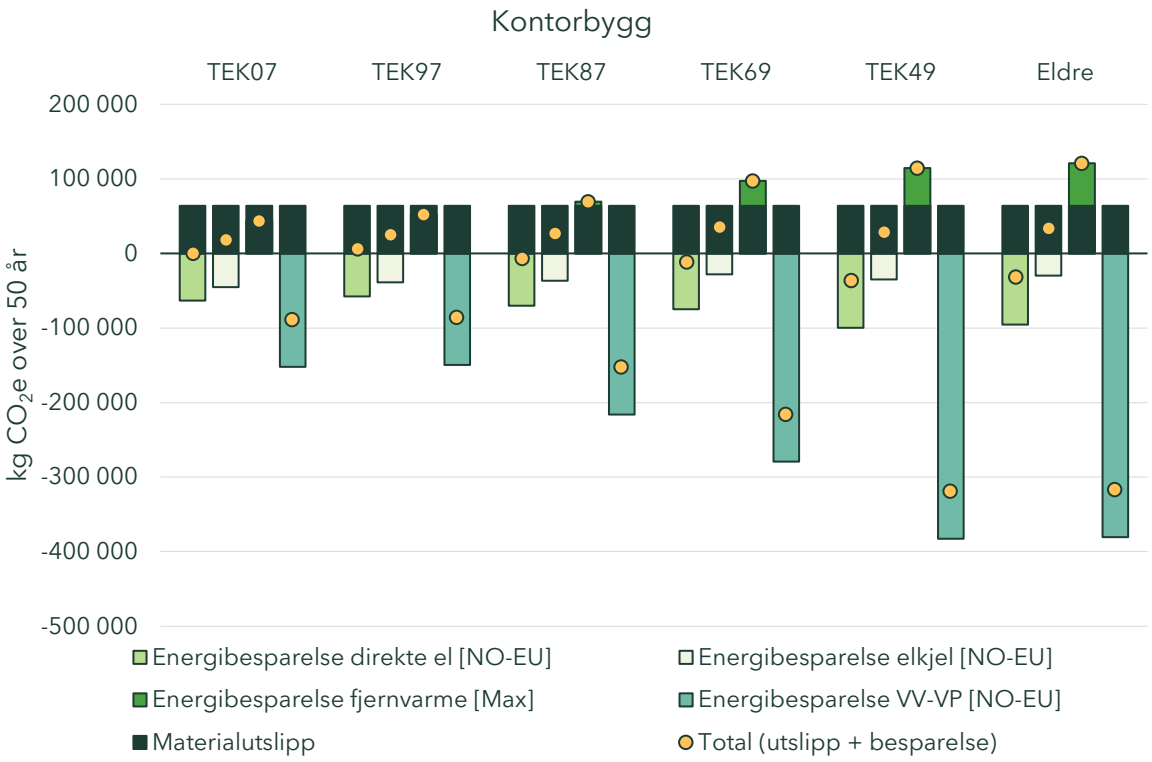
For alle energiforsyningsløsninger utenom fjernvarme oppnås det en reduksjon i behov for levert energi, men det betyr ikke nødvendigvis at det er en netto klimabesparelse for tiltaket. Fjernvarme gir en økning i utslipp fra energi ettersom oppvarmingen som tidligere skjedde med direkte elektrisitet gjennom eksisterende belysning nå gis gjennom fjernvarme som har en høyere utslippsfaktor enn elektrisitet.

I energiberegningene er det forutsatt at all elektrisitet tilført belysningsanlegget blir konvertert til varme (uten tap). Det vil si at eksisterende belysning beregningsmessig fungerer som en oppvarmingskilde uten tap. For direktevirkende elektrisitet derimot blir det tatt hensyn til romvirkningsgraden i panelovnene (tap) (dette tapet dekker forhold som plassering og regulering av varmelegemene, samt temperaturprofilen i rommet). For de andre oppvarmingsløsningene er det i tillegg tatt hensyn til tap i distribusjonsanlegget og i forbindelse med varmeproduksjonen. På den annen side så er selvfølgelig heller ikke belysningsanlegget en «perfekt» varmekilde, fordi store deler av varmeavgivelsen fra belysningsanlegget kommer på tider av året man ikke har bruk for den varmen.



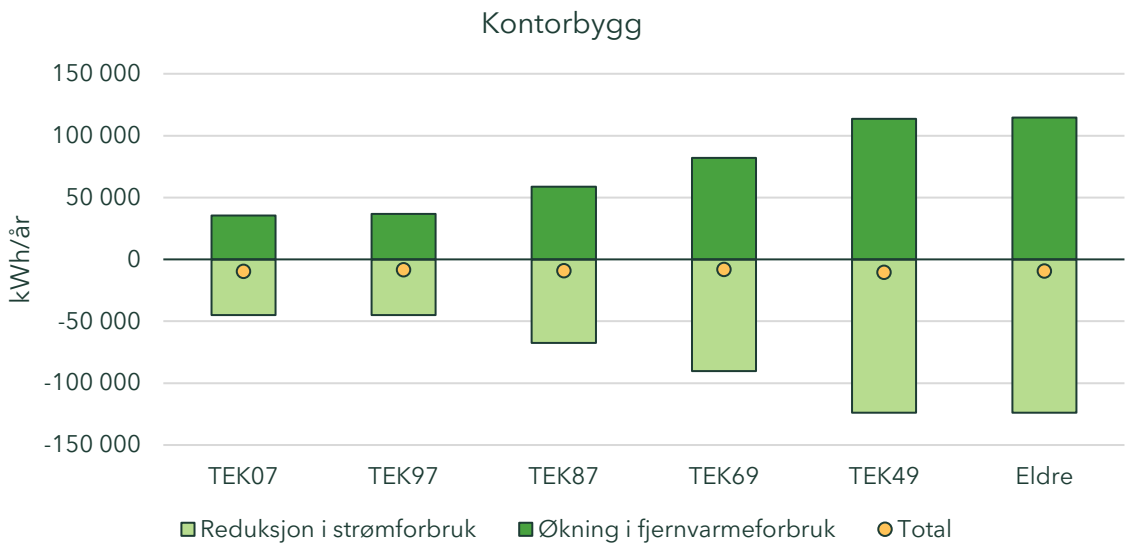
Figur 4-23 Klimagassutslipp og energibesparelse for tiltaket belysning for kontorbygg beregnet med scenario 1: norsk strømmiks og min. utslipp fra fjernvarme

Når besparelsene i energi beregnes med scenario 2: norsk-europeisk strømmiks og maks utslippsfaktor på fjernvarme, blir det større besparelser fra energi. Dette er vist i Figur 4-24 for kontorbygg. Alle byggene som benytter varmepumpe, får en reduksjon ettersom det økte behovet for oppvarming vil produseres energieffektivt med varmepumpen. De nyeste byggene som har mindre behov for oppvarming får en reduksjon når de har direkte elektrisitet også.



Figur 4-24 Klimagassutslipp og energibesparelse for tiltaket belysning for kontorbygg beregnet med scenario 2: norsk-europeisk strømmiks og maks. utslipp fra fjernvarme

For å tydeliggjøre hvordan et økt oppvarmingsbehov sammen med et redusert behov for elektrisitet til belysning spiller inn i resultatene kan Figur 4-25 benyttes. Figuren viser endret strømforbruk og fjernvarmeforbruk som følge av tiltaket. Reduksjonen i kWh til strøm kommer fra behovet til belysningen, ettersom belysningen krever mindre energi når man benytter LED reduseres strømforbruket. Økningen i fjernvarmeforbruk kommer som følge av det økte behovet for oppvarming når den gamle belysningen ikke lenger gir oppvarming. Reduksjonen i strømforbruket er større enn økningen i oppvarmingsbehovet i kWh, men ettersom utslippsfaktoren på fjernvarme er høyere enn utslippsfaktoren på strøm blir netto klimagassutslipp økt som følge av tiltaket.



Figur 4-25 Endringer i strøm og fjernvarmeforbruk etter montering av LED-lys for kontorbygg.

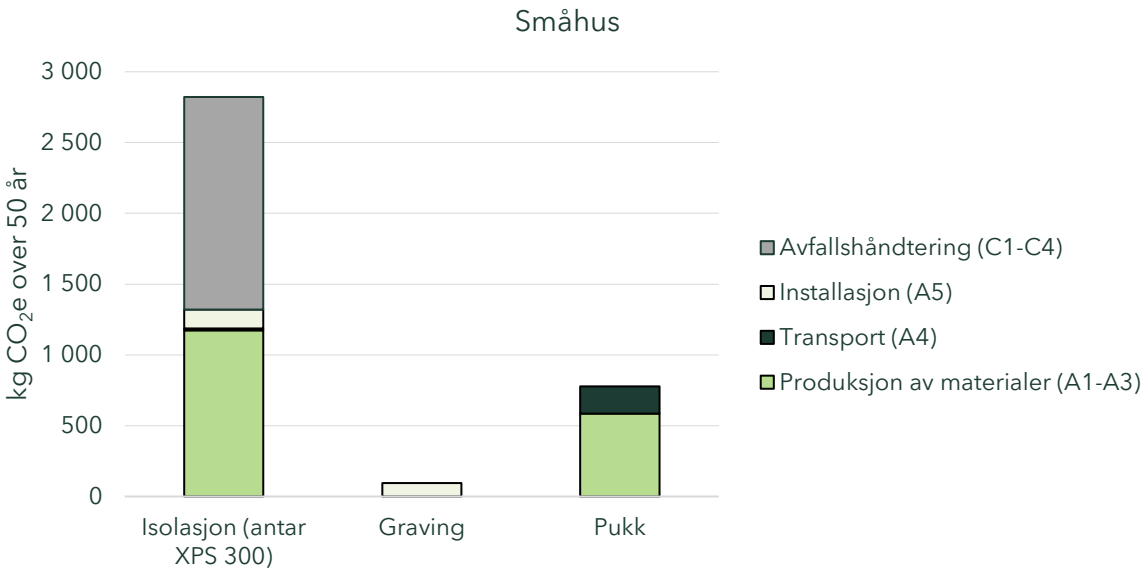
4.1.7. Etterisolering av kjeller

Etterisolering av kjeller er beregnet for en kjeller på 100 m2. Tiltaket omfatter småhus og innebærer utvendig isolering av kjeller for å oppnå en U-verdi på 0,25. Tiltaket gjelder ikke TEK 07 og TEK97 bygg ettersom disse allerede har utvendig isolering av kjeller.

Klimagassutslipp

De eldste byggene har behov for 150 mm med trykkfast isolasjon, mens de nyere byggene har behov for 100 mm. Tiltaket innebærer graving, pukk og isolasjon med grunnmurplate. Utslippene for isolering med 100 mm er vist i Figur 4-26.

Isolasjonen bidrar med høyest klimagassutslipp og utslippene er høyest i avfallshåndteringsfasen ettersom det er en trykkfast plastisolasjon som brennes når den avfallsbehandles. Utslipp fra pukk og graving er også inkludert, selv om dette kan allokeres til drenering dersom dette gjøres samtidig. Det er inkludert for å vise hvordan utslippet vil bli dersom man inkluderer alle materialutslipp.

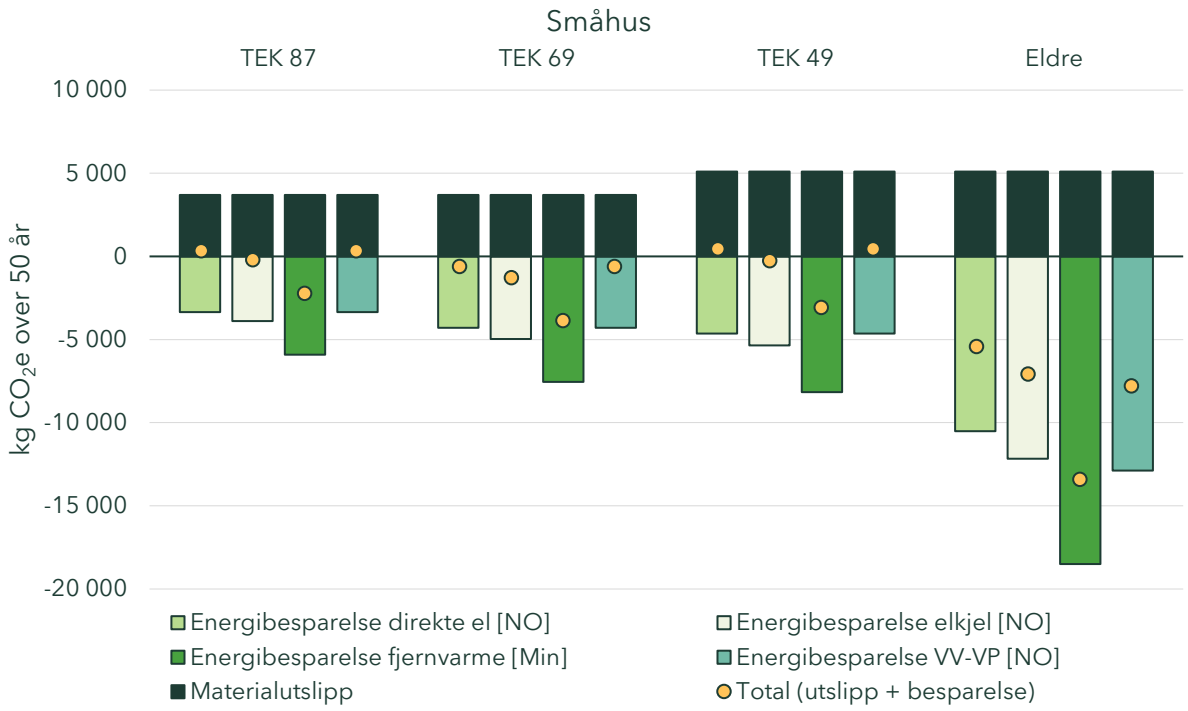


Figur 4-26 Materialutslipp for 100 mm isolasjon

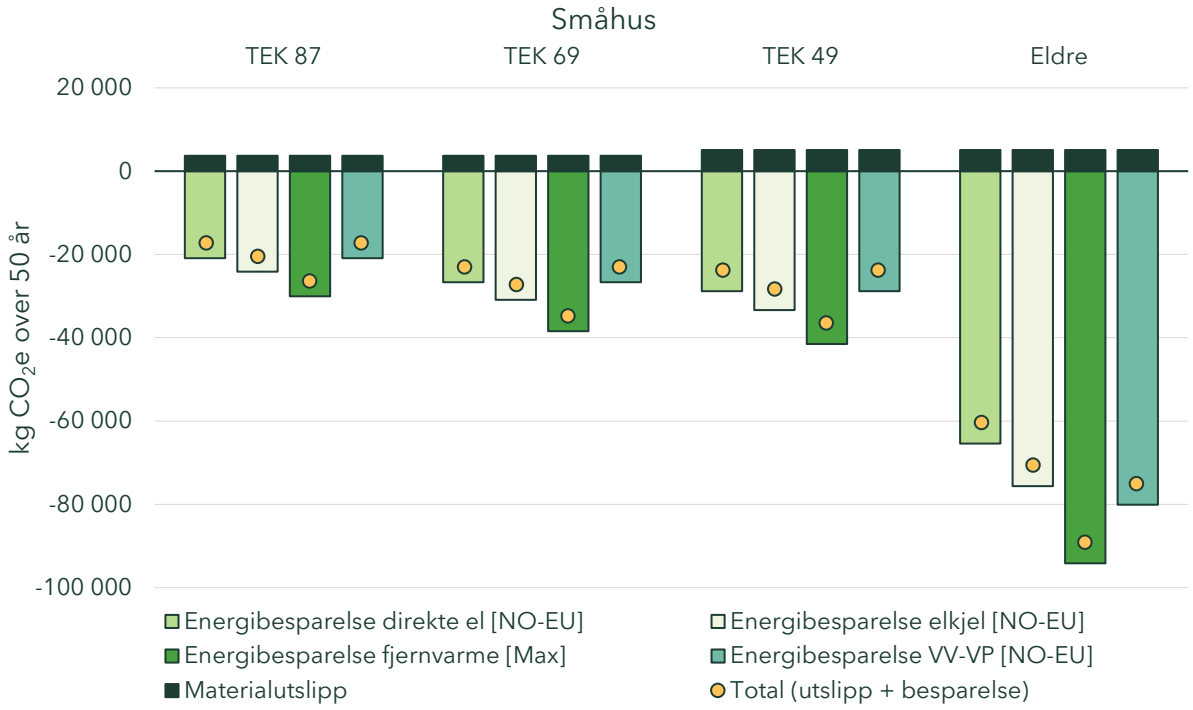
Klimagassutslipp og energibesparelser

Figur 4-27 viser klimagassutslipp og energibesparelser for alle årsklasser for småhus. Reduserte utslipp fra energiforbruk er beregnet med scenario 1, norsk strømmiks og minste utslippsfaktor for fjernvarme.

Tiltaket gir en klimabesparelse for eldre bygg og TEK 49 for alle energiforsyninger. For TEK 49 og TEK 87 byggene er det en besparelse for bygg med fjernvarme og el-kjel. Hvis scenario 2 legges til grunn er det en besparelse for alle årsklasser som vist i Figur 4-28.



Figur 4-27 Klimagassutslipp og besparelser for etterisolering av kjeller med scenario 1



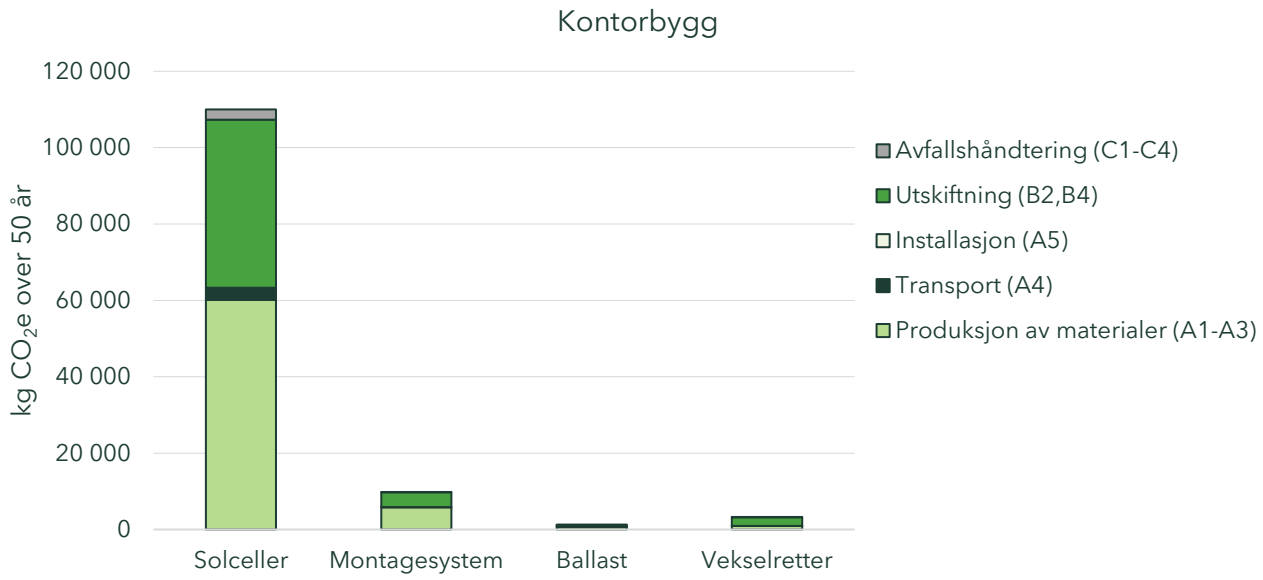
Figur 4-28 Klimagassutslipp og besparelser for etterisolering av kjeller med scenario 2

4.1.8. Solcelleanlegg

Solceller er beregnet for alle bygningstyper og alle årsklasser. Det er ikke skille i resultatene innad i årsklassene ettersom det er antatt at dersom det produseres mer strøm enn man selv har behov for så selges dette til strømnettet. Dette er beregnet til å ha lik klimaeffekt som hvis besparelsen tas i eget bygg.

Klimagassutslipp

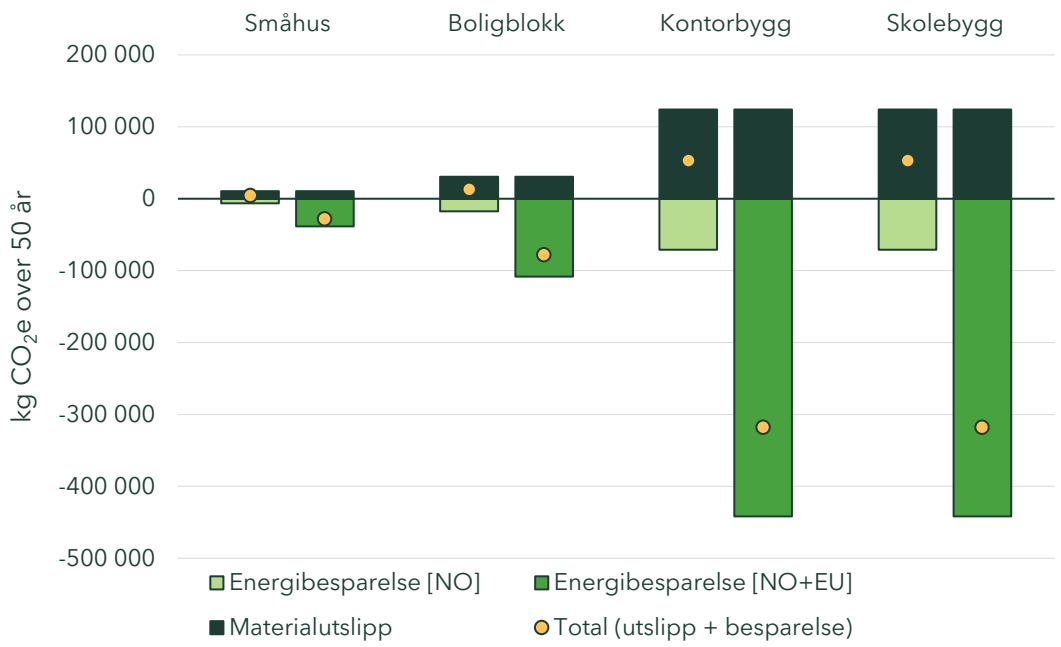
Installasjon av solcelleanlegg krever både selve solcellepanelene samt tilhørende montasjesystem, ballast og vekselretter. Figur 4-29 viser utslippene for solcelleanlegget til et kontorbygg. Utslippene er like for alle årsklasser ettersom det antas at strømmen som produseres selges til nettet dersom den ikke kan benyttes selv. Det er solcellepanelene som bidrar med høyest utslipp og det er høyest utslipp i produksjonsfasen. Det er også høye utslipp fra utskiftning da levetiden på panelene er 30 år.



Figur 4-29 Klimagassutslipp fra materialer som kreves inn i solcelleanlegget til et kontorbygg

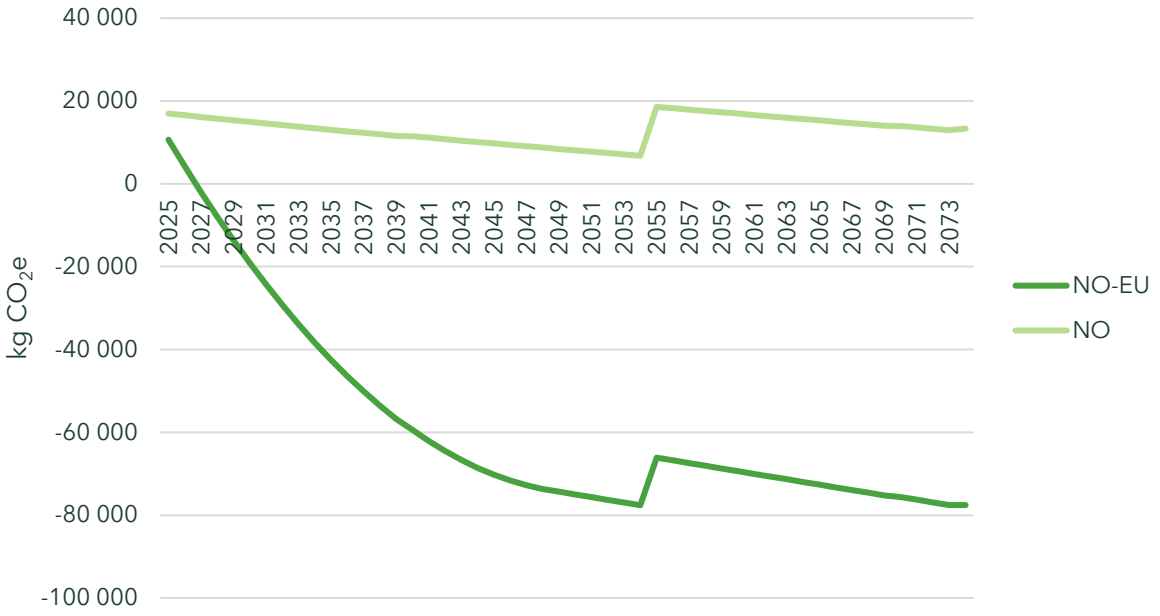
Klimagassutslipp og energibesparelser

Figur 4-30 viser utslippene opp mot besparelser for alle bygningstyper og de to ulike strømmiksene. Når norsk strømmiks legges til grunn lønner det seg ikke klimamessig å installere solceller. Dette gjelder for alle bygningstyper, men for småhus og boligblokker går utslippene og besparelsene nesten opp i opp. Med norsk-europeisk strømmiks derimot er det store klimabesparelser å hente på å installere solcelleanlegg.



Figur 4-30 Utslipp for solcelleanlegget samt besparelser fra energiproduksjon med norsk (scenario 1) og norsk-europeisk strømmiks (scenario 2)

Klimagassutslipp og besparelser per år for boligblokk er vist i Figur 4-31. Figuren tar hensyn til når utskiftninger for materialer skjer og år-for-år framskrivningen av utslippene til strømmiksen. Som figuren viser vil den norske strømmiksen aldri tilbakebetale seg hva gjelder klimagassutslipp, mens når den norsk europeiske legges til grunn tilbakebetales klimagassutslippene etter 3 år.



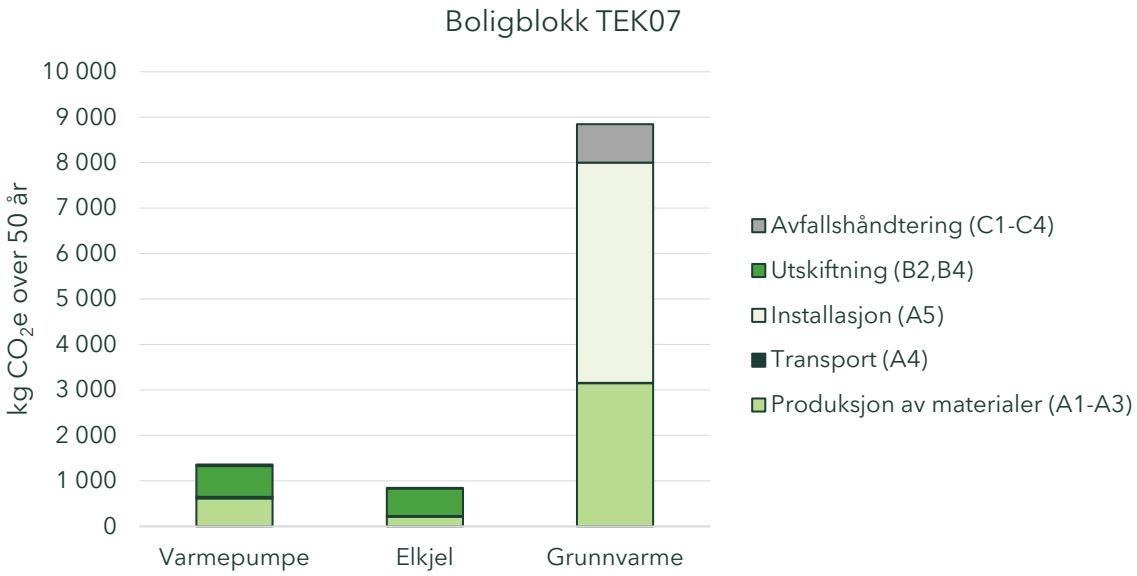
Figur 4-31 Tilbakebetalingstid for klimagassutslipp og besparelser for solcelleanlegg for boligblokker

4.1.9. Varmepumpe og grunnvarme

Tiltaket omfatter å etablere væske til vann varmepumpe med et grunnvarmesystem. Byggene som benytter seg av direkte elektrisitet i dag må også konvertere til vannbåren varme enten i form av radiatorer eller gulvvarme. Tiltaket er beregnet for alle årsklasser og alle bygningstyper.

Klimagassutslipp grunnvarmesystem

Grunnvarmesystemet består av mye plastrør og noe stålrør. Lengden på rør og antall brønnparker er dimensjonert basert på varmebehovet til byggene. El-kjel er benyttet som spisslast. Figur 4-32 viser klimagassutslippene fordelt på livsløpsfaser for varmepumpe, el-kjel og grunnvarmesystemet for en TEK 07 boligblokk. Det er grunnvarmesystemet som har høyest klimagassutslipp. Utslippene er størst i installasjonsfasen og dette er grunnet bruk av diesel til boring. Dersom man hadde brukt andre energikilder til boring ville installasjonsfasen bidratt mindre. Varmepumpen og el-kjelen har høye utslipp i utskiftningsfasen ettersom de har kortere levetid enn 50 år og må byttes ut flere ganger i løpet av 50 år.

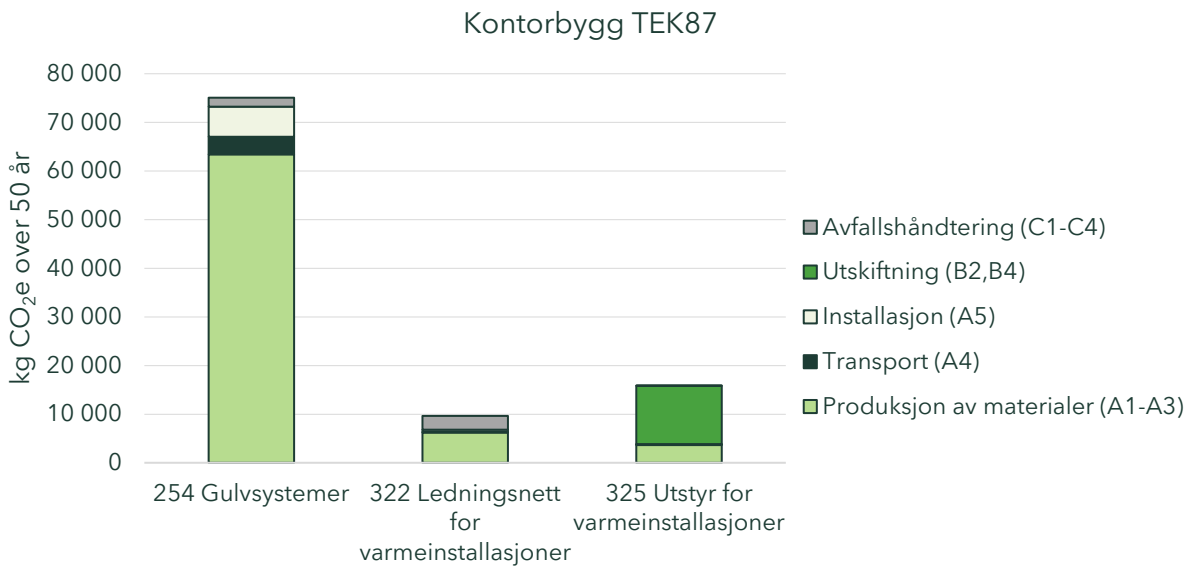


Figur 4-32 Materialutslipp for boligblokker TEK 07

For byggene som ikke har konvertert til vannbåren varme vil det også være behov for dette. Dette kan gjøres i form av gulvvarme eller radiatorer. Disse utslippene vil komme i tillegg.

Klimagassutslipp gulvvarme

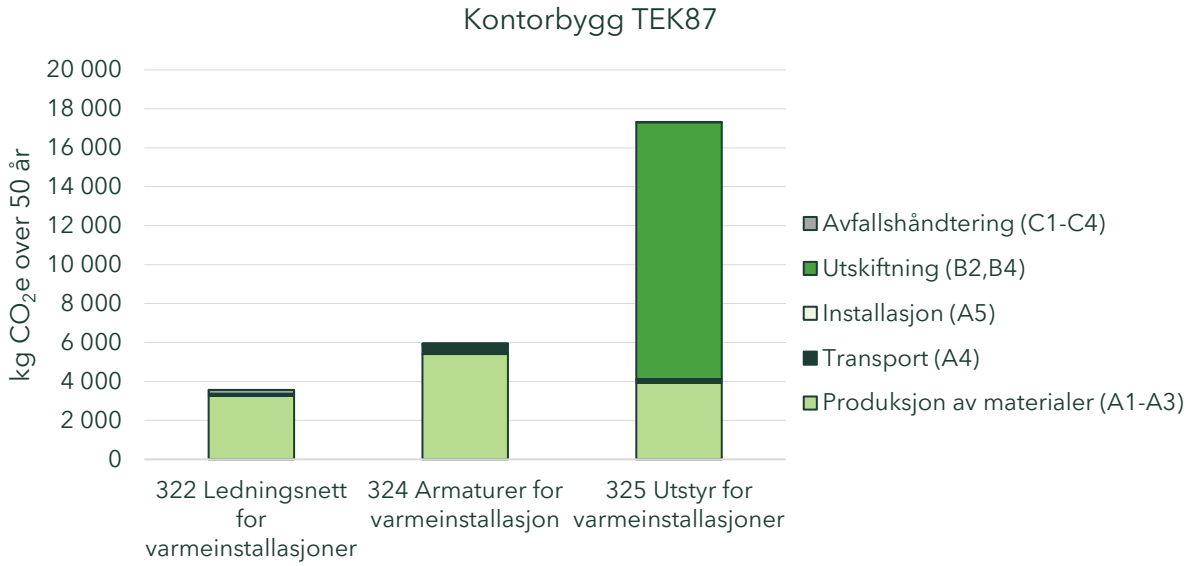
Klimagassutslipp for å legge gulvvarme i hele bygget eller radiatorer er beregnet. Klimagassutslippene for gulvvarme for et TEK 87 kontorbygg er beregnet og vist i Figur 4-33. Fordelingen mellom bygningsdeler er lignende for alle årsklasser. Utslippene er fordelt på bygningsdelstabellen 3-sifret nivå. Det er størst bidrag fra gulvsystemer, altså sponplater og varmefordelingsplater som rørene legges i, slik det er beskrevet i kapittel 3.1.9.1. Dette systemet får høye utslipp ettersom det skal legges på hele gulvet.



Figur 4-33 Klimagassutslipp for gulvvarme for et TEK 87 kontorbygg

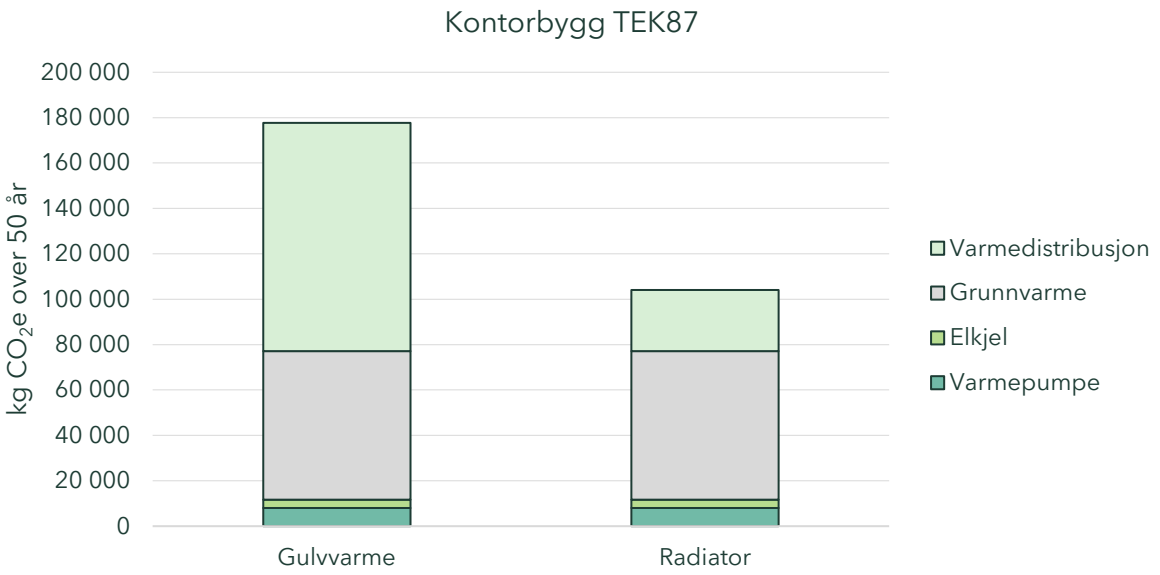
Klimagassutslipp radiatorvarme

En annen mulighet når man konverterer til vannbåren varme er å benytte radiatorer. Figur 4-34 viser klimagassutslippene for et TEK 87 kontorbygg som konverterer til vannbåren varme med radiatorer. Fordelingen mellom bygningsdeler er lignende for alle årsklasser.



Figur 4-34 Klimagassutslipp for omlegging til radiatorer for TEK 87 kontorbygg

Totalt sett er utslippene fra varmedistribusjon størst sett opp mot grunnvarmesystemet, elkjelen og varmepumpen dersom gulvvarme benyttes. Dersom radiatorer benyttes, bidrar grunnvarmesystemet med høyest klimagassutslipp. Figur 4-35 viser alle materialutslipp for omleggingen med radiatorer eller gulvvarme.



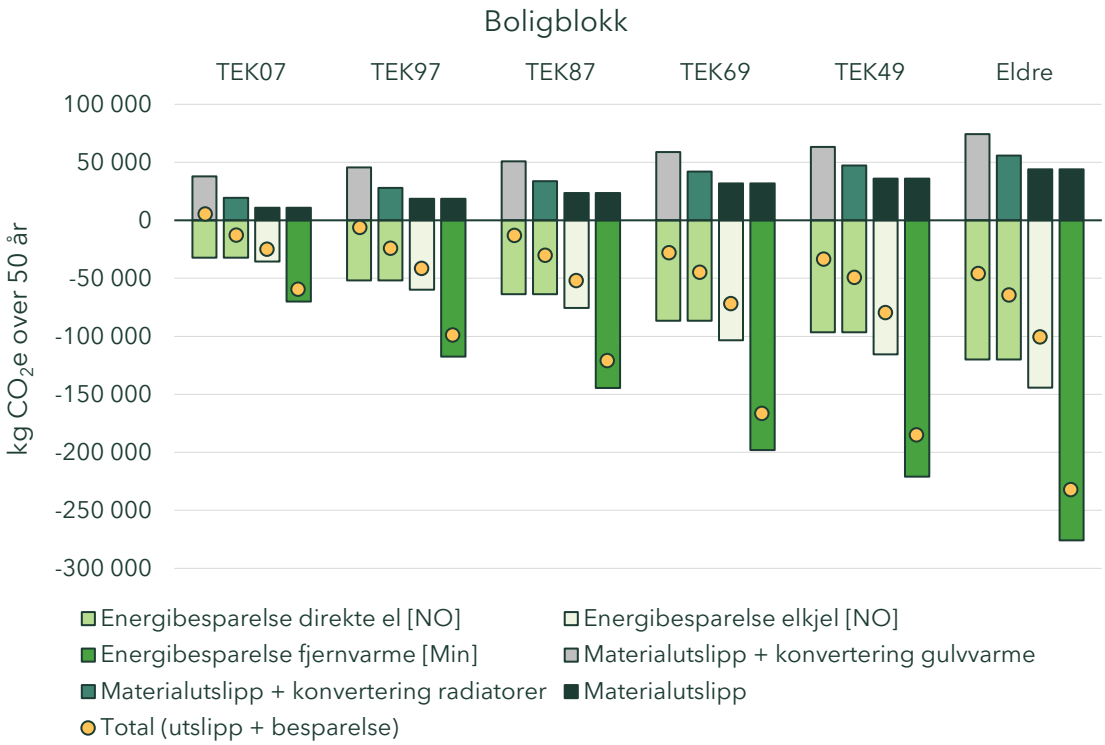
Figur 4-35 Klimagassutslipp for materialer for et TEK 87 kontorbygg som konverterer til vannbåren varme

Klimagassutslipp og energibesparelse

Figur 4-36 viser klimagassutslippene og besparelsene for boligblokker som installerer varmepumpe (væske-vann) og grunnvarmesystem. Figuren viser utslipp beregnet etter scenario 1. Byggene som benytter direkte elektrisitet må også konvertere til ett vannbårent varmesystem i form av gulvvarme eller radiatorer. Grafen viser resultater for begge disse alternativene.

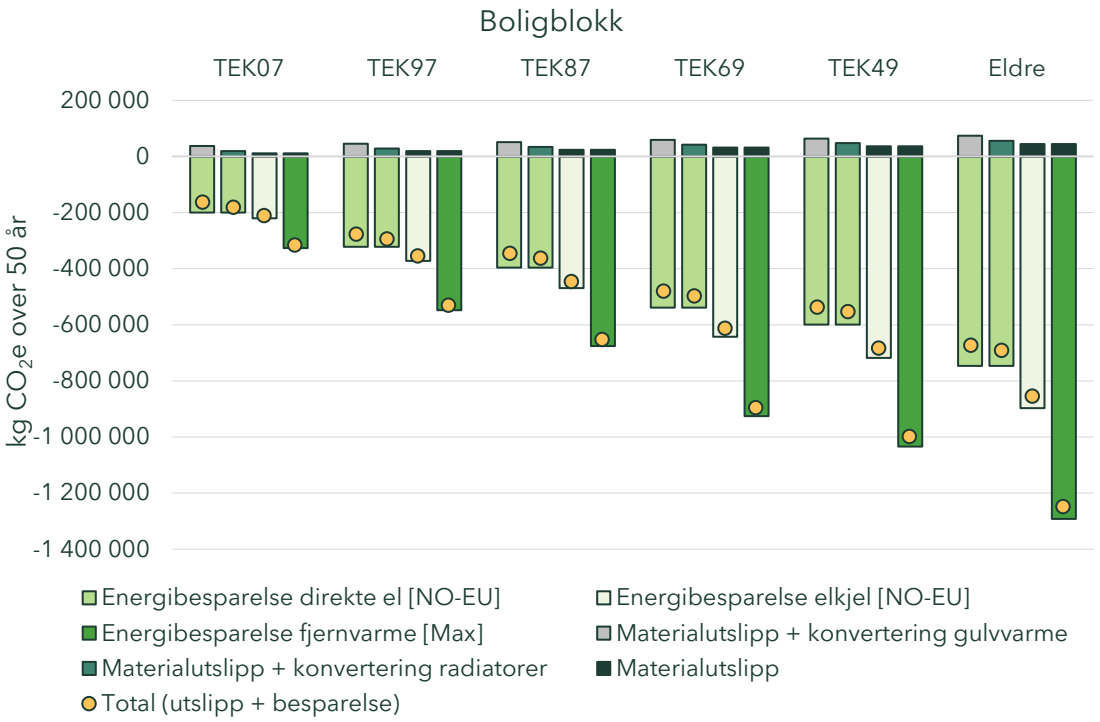
Det er større besparelser for byggene som legger om til radiatorer ettersom disse er mindre utslippsintensive å produsere. For gulvvarme er det besparelser for alle årsklasser utenom TEK 07.

For byggene som allerede har konvertert til vannbårent varmesystem er det store besparelser klimamessig ved å legge om til varmepumpe med grunnvarmesystem.



Figur 4-36 Utslipp og besparelser for varmepumpe og grunnvarmesystem med scenario 1

Når scenario 2 legges til grunn gir alle energiforsyningsløsninger og årsklasser en besparelse. Dette er vist i figuren under.



Figur 4-37 Utslipp og besparelser for varmepumpe og grunnvarmesystem med norsk-europeisk strømmiks og maks utslipp fra fjernvarme (Scenario 2)

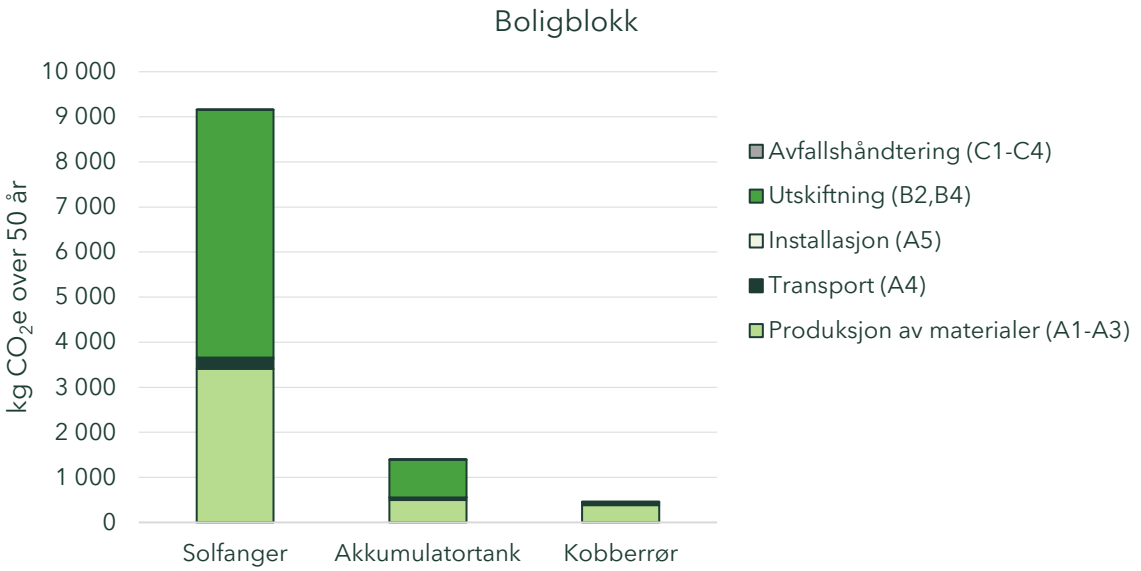
4.1.10. Solfanger

Solfanger er beregnet for småhus og boligblokker og resultatene er like for alle årsklasser. Det er antatt at solfangeren kun skal dekke varmtvannsbehovet, ikke oppvarmingsbehovet.

Klimagassutslipp

Installasjon av solfanger krever både selve solfangeren, akkumulatortank og isolerte kobberrør. Både akkumulatortanken og solfangeren har en levetid på 20 år og må derfor skiftes ut flere ganger i løpet av beregningsperioden på 50 år.

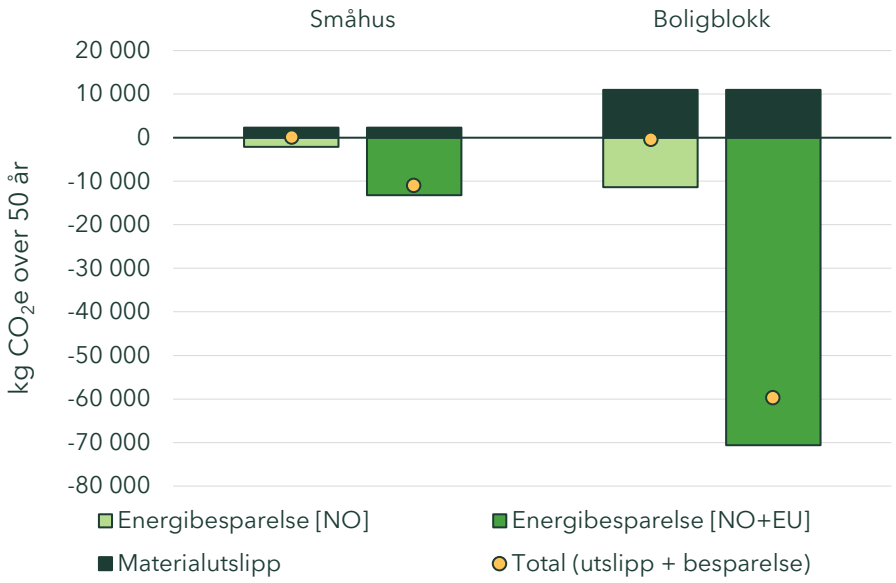
Figur 4-38 viser klimagassutslippene for en boligblokk som installerer solfanger. Utslippene er like for alle årsklasser. Det er solfangeren som bidrar med høyest utslipp og av livsløpsfasene er det utskiftningen som bidrar mest.



Figur 4-38 Installasjon av solfanger for boligblokker hvor solfanger betjenter varmtvannet (ikke romoppvarming)

Klimagassutslipp og energibesparelse

Energibesparelsen kommer som følge av at man ikke lenger trenger oppvarming til tappevann fra andre kilder, men nå kan benytte solfangeren til dette. Besparelsene gelder for bygg med direkte-elektrisitet. Figur 4-39 viser klimagassutslippene og besparelsene for småhus og boligblokker både med norsk strømmiks (scenario 1) og norsk-europeisk (scenario 2). Når scenario 1 legges til grunn er utslippene fra materialer og besparelsene nærmest identiske for begge bygningstyper. Med scenario 2 strømmiks er besparelsene betraktelig større enn utslippene og tiltaket gir en klimagevinst.



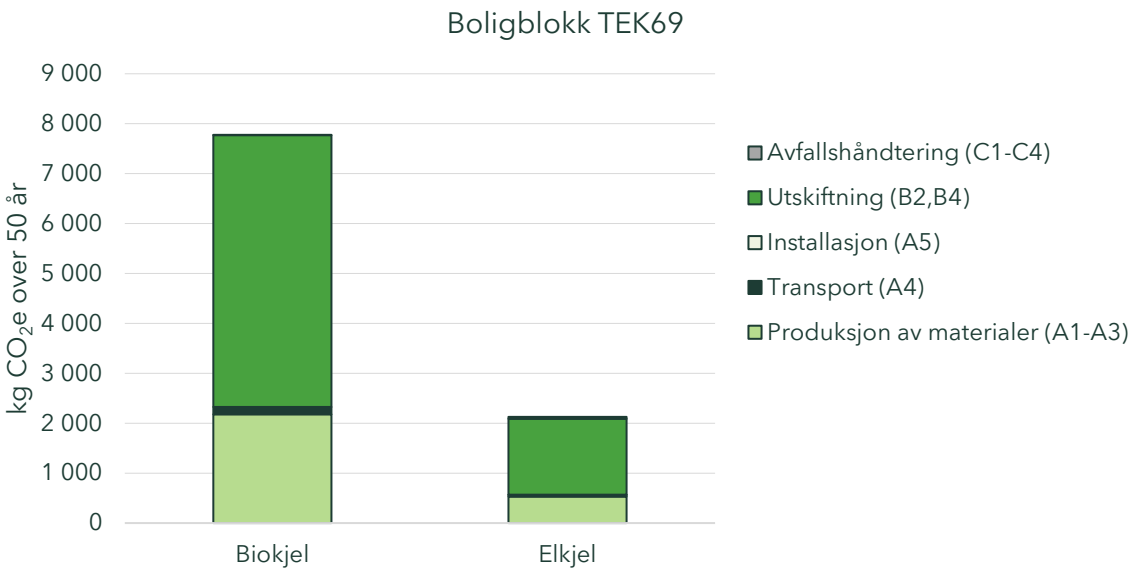
Figur 4-39 Klimagassutslipp fra materialer samt besparelse fra energi for solfangere for småhus og boligblokker. Scenario 1 og scenario 2 er vist i figuren.

4.1.11. Biokjel

Montering av biokjel er beregnet for alle bygningstyper og alle årsklasser. Tiltaket omfatter installasjon av biokjel som benytter pellets samt en el-kjel som dekker spisslast. Utslipp for lager til pellets er ikke inkludert ettersom det er antatt at det kun er bygg som har tilgjengelig lagerplass i kjeller som vil innføre tiltaket.

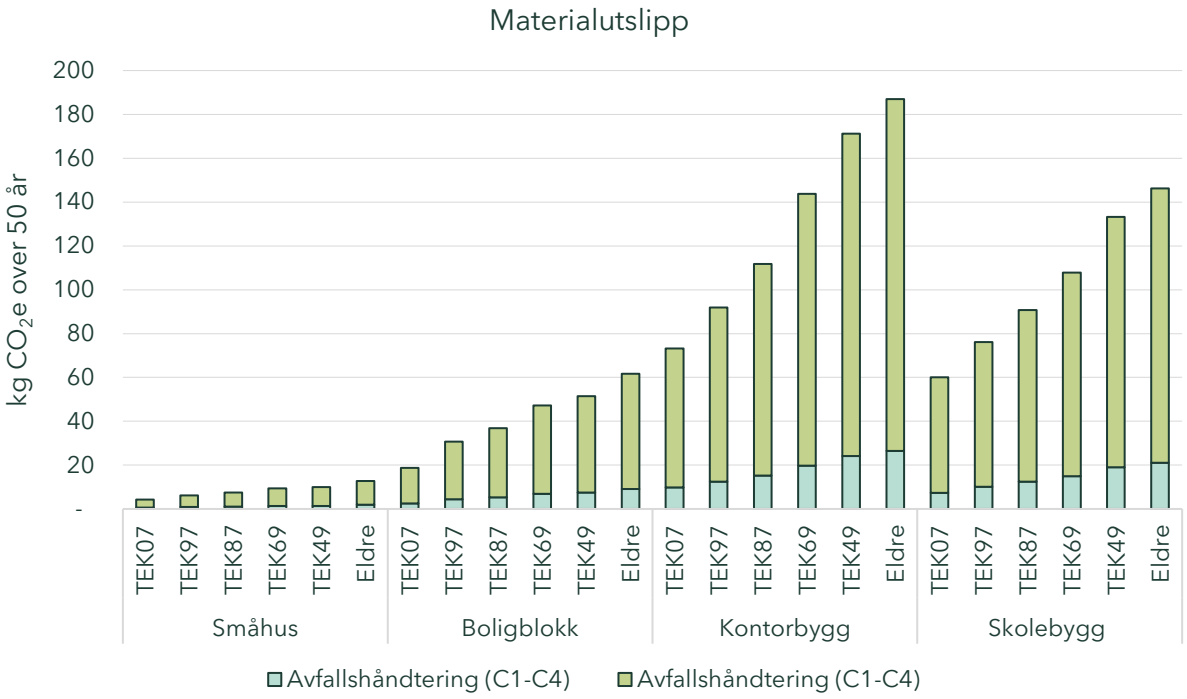
Klimagassutslipp

Materialutslippene fordelt på livsløpsfasene er vist i Figur 4-40 for en TEK 69 boligblokk. Det er høye utslipp fra utskiftning ettersom biokjelen har en levetid på 15 år og el-kjelen en levetid på 20 år.



Figur 4-40 Materialutslipp for biokjel for en TEK 69 boligblokk

Materialutslippene for tiltaket er vist i Figur 4-41 for alle bygningstyper og alle årsklasser. Utslippene er høyest for de eldste årsklassene og største bygningstypene. Det er biokjelen som har høyest klimagassutslipp og utslippene varierer med de ulike bygningstypene og årsklassene.



Figur 4-41 Materialutslipp for biokjel og el-kjel over 50 år.

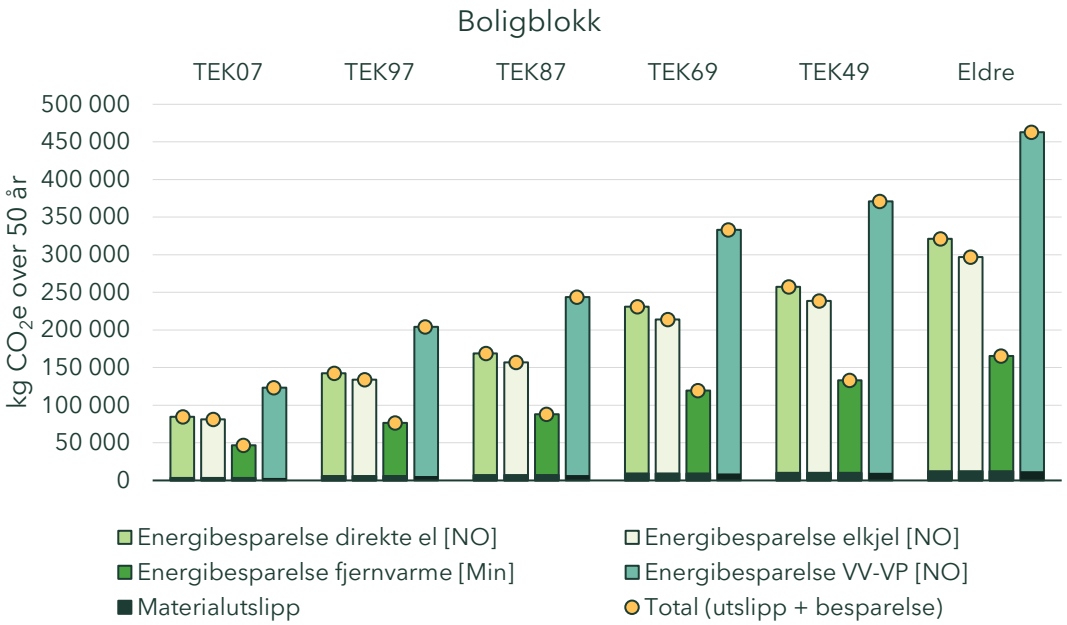
Klimagassutslipp og energibesparelse

Biokjel vil gi en klimabesparelse dersom man bytter ut en mer utslippsintensiv strømmiks eller fjernvarmemiks med biokjel. Dette er tilfelle for både fjernvarme og elektrisitet i scenario 2. Det er lett å tenke at biokjel som benytter pellets er utslippsfritt ettersom det er naturbaserte materialer, men dette stemmer ikke når de livsløpsbaserte utslippsfaktorene skal legges til grunn.

I utslippsfaktoren for forbrenning av pellets er kun de fossile utslippene inkludert. Det vil si at karbonet som frigjøres når naturbaserte materialer brennes ikke inkluderes. Pelletsen har utslipp i fra produksjonsprosessen og transport. Totalt sett gir dette et utslipp på 37 gram per kWh. Tallet er basert på et gjennomsnitt fra fire EPDer.

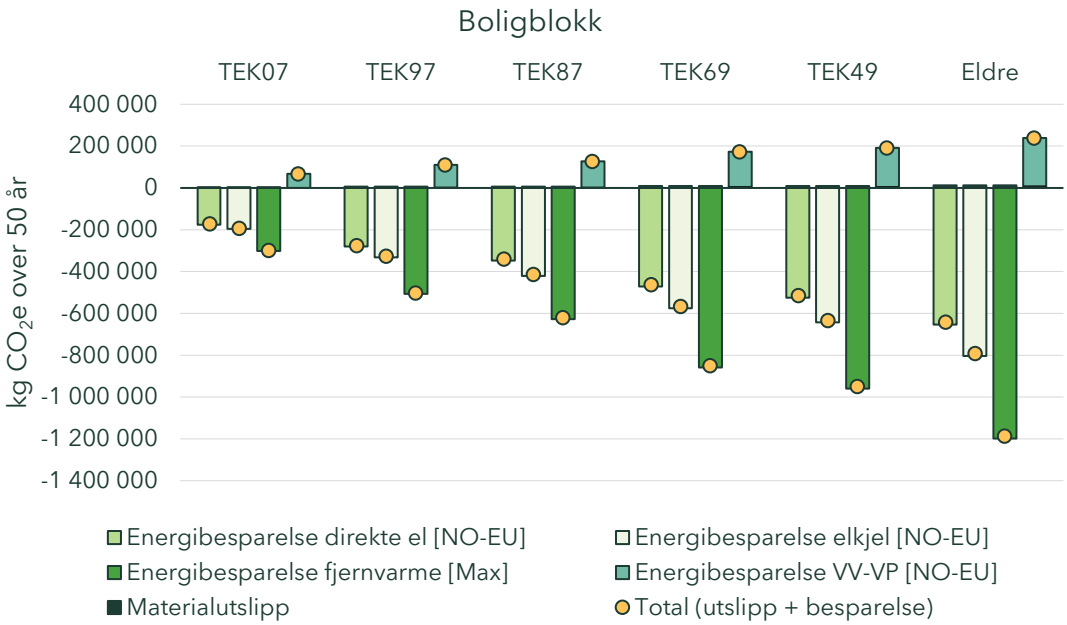
Den norske strømmiksen har utslipp på 17 gram/kWh og det laveste fjernvarmeutslippet har utslipp på 26 gram per kWh. Det vil si at å bytte fra elektrisitet og fjernvarme til biokjel vil omfatte en økning i klimagassutslipp når vi kun ser på utslippsfaktorene. Det er også virkningsgrader for de ulike energiforsyningsløsningene som spiller inn.

Figur 4-42 viser klimagassutslipp og besparelser for boligblokk beregnet med scenario 1 utslippsfaktorer for strøm og fjernvarme. Alle årsklassene gir en netto økning i klimagassutslipp. Dette er ettersom forbrenning av pellets i biokjelen har høyere klimagassutslipp enn både elektrisitet og fjernvarme. Det er fjernvarmen som gir minst økte utslipp ettersom forskjellen mellom utslipp fra fjernvarme og pellets er minst.



Figur 4-42 Utslipp og besparelser for boligblokker som konverterer til biokjel med scenario 1 for utslippsfaktorer for strøm og fjernvarme

Når utslipp og besparelser ses opp mot scenario 2: norsk europeisk strømmiks og maks utslipp fra fjernvarme, gir biokjel en besparelse for alle energiforsyningsløsninger bortsett fra varmepumpene. Varmepumpen har en COP på 3 som vil si at selv med norsk-europeisk strømmiks vil utslippene for å benytte varmepumpen være lavere enn å benytte biokjel. Resultatene er vist i Figur 4-43.



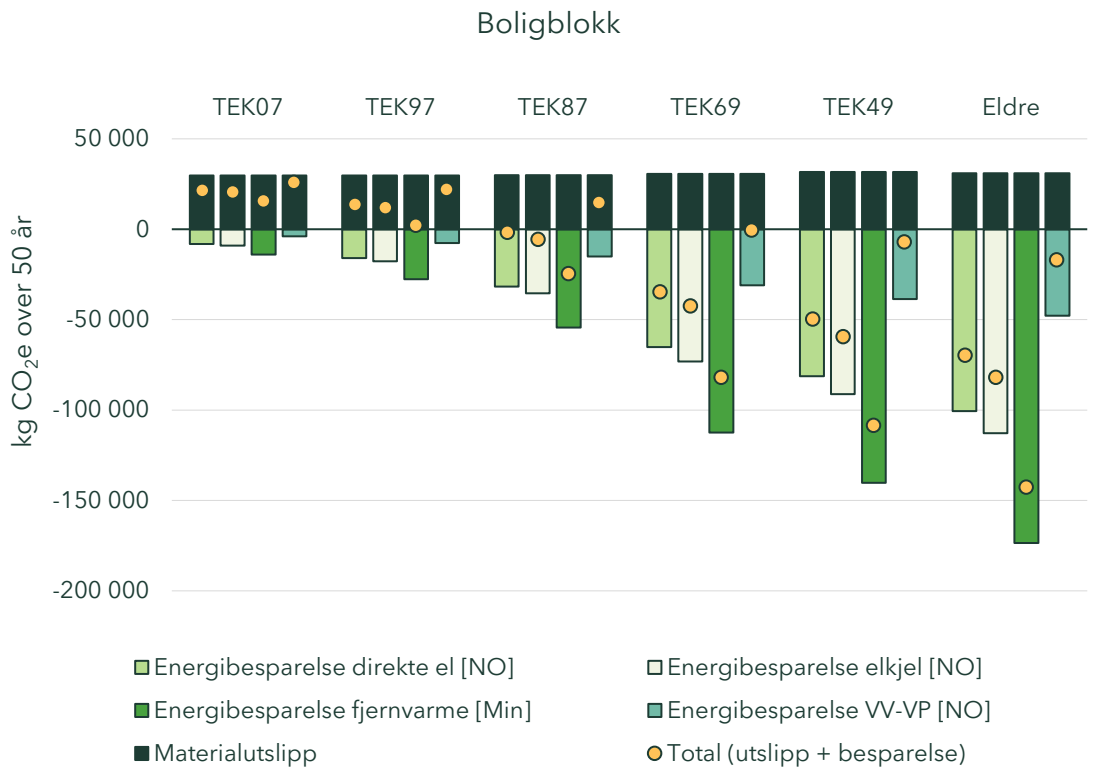
Figur 4-43 Utslipp og besparelser for boligblokker som konverterer til biokjel med scenario 2 for utslippsfaktorer for strøm og fjernvarme

4.2. Case

4.2.1. Fasaderehabilitering

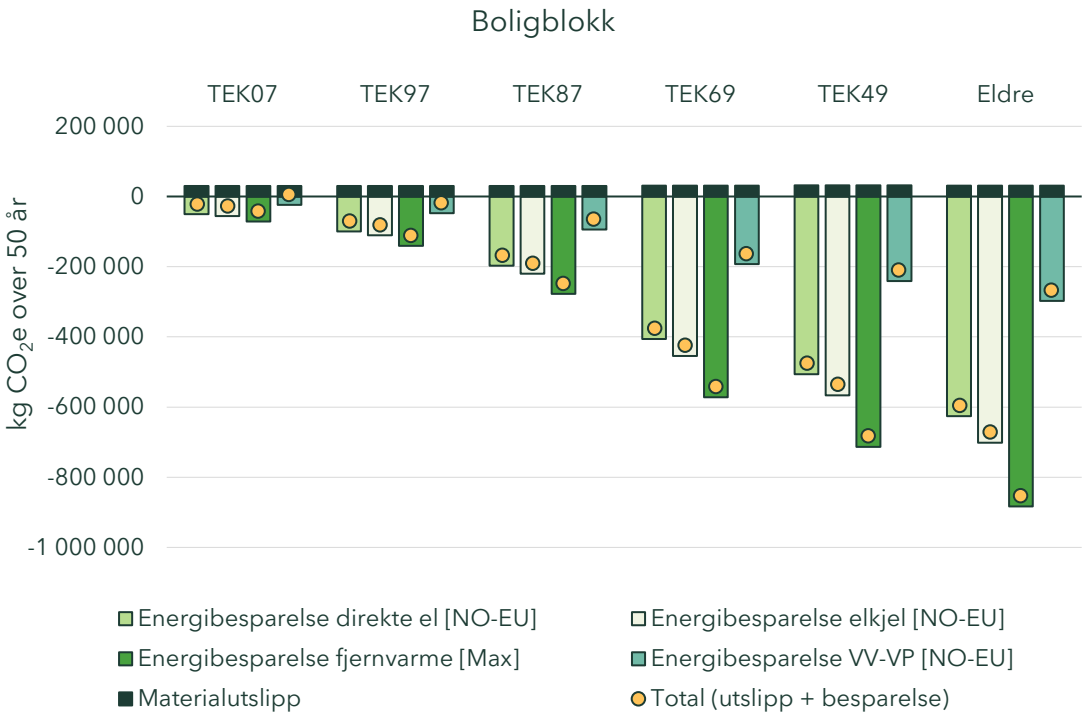
Caset fasaderehabilitering innebærer etterisolering, utskiftning av vinduer og vindsperre. Av disse tre tiltakene står vindusutskiftning for de største klimagassutslippene. Figur 4-44 viser klimagassutslippene og energibesparelsene for de ulike årsklassene for boligblokker for scenario 1: NO strømmiks og min fjernvarme.

For de nyeste årsklassene, både TEK 07 og TEK 97 er utslippene større enn besparelsene for alle energiforsyningsløsninger for bygget. For TEK 87 er det byggene som ikke har varmepumpe som får en besparelse. For eldre, TEK 49 og TEK 69 er reduksjonen i klimagassutslipp større enn utslippene fra materialene.



Figur 4-44 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering for boligblokker for scenario 1

For scenario 2 er besparelsen høyere enn utslippene for alle årsklasser og alle bygningstyper, bortsett fra TEK 07 skolebygg og boligblokker som benytter varmepumpe. Dette er vist for boligblokker i figuren under

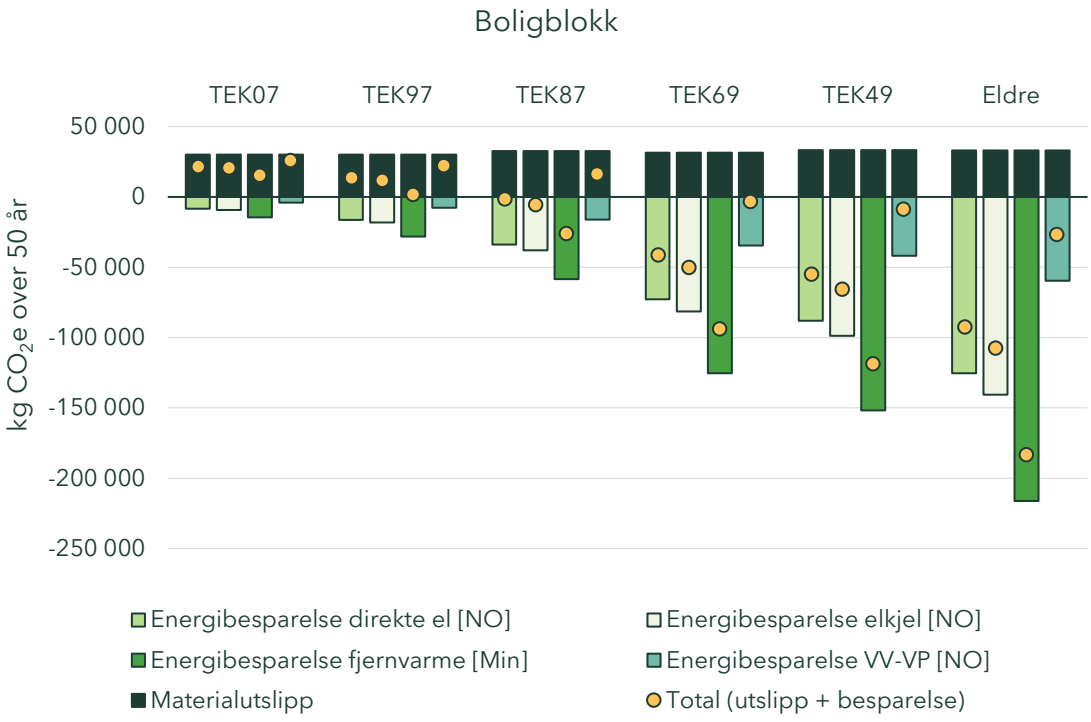


Figur 4-45 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering for boligblokker for scenario 2

4.2.2. Fasaderehabilitering og etterisolering av tak

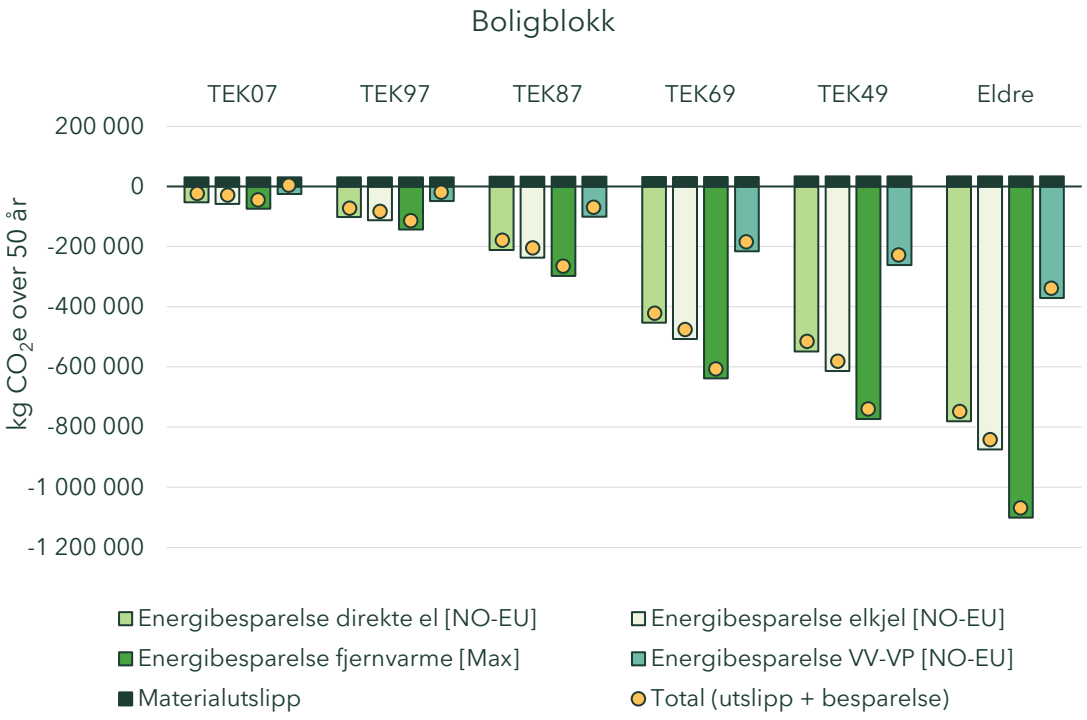
Når etterisolering av tak inkluderes som et tiltak samtidig som fasaderehabilitering, ser trendene innenfor besparelser og utslipp relativt like ut. Tiltakene lønner seg for bygg som er eldre enn TEK 87 for alle energiforsyningsløsninger. For TEK 87 har alle en besparelse bortsett fra byggene med varmepumpe. Utslipp og besparelser for scenario 1 er vist i Figur 4-46.

For de nyere byggene er det ikke en besparelse.



Figur 4-46 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering og etterisolering av tak for boligblokker for scenario 1

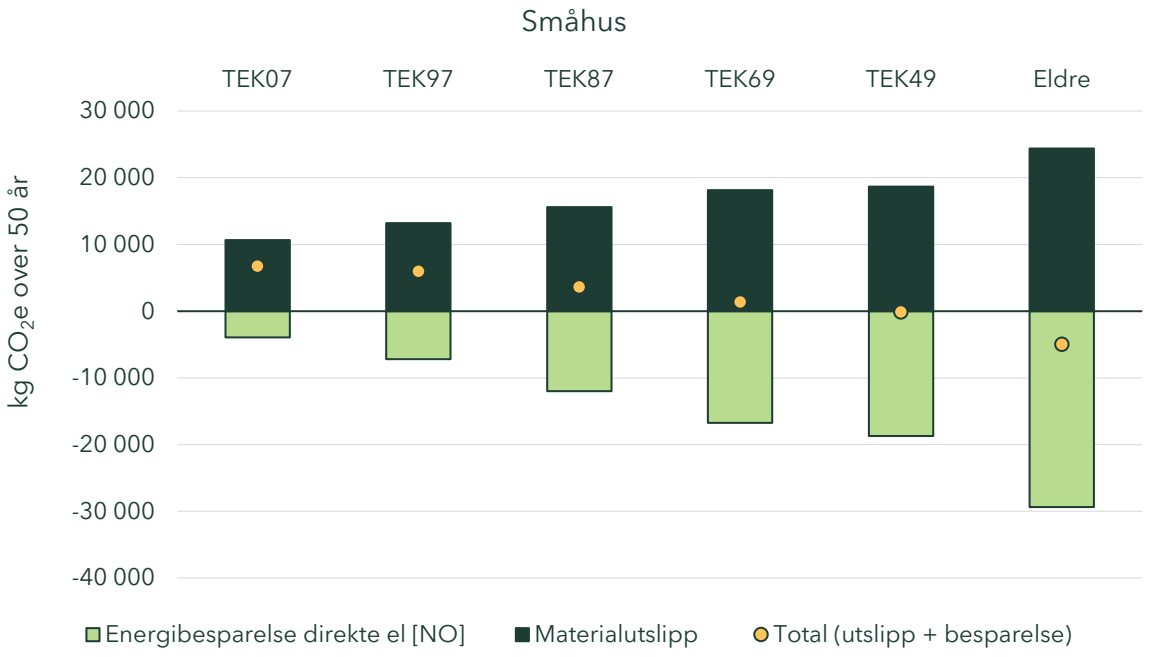
Når scenario 2 legges til grunn, får alle bygningstyper og årsklasser en klimabesparelse over 50 år bortsett fra TEK 07 boligblokker og skolebygg med varmepumpe.



Figur 4-47 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering og etterisolering av tak for boligblokker for scenario 2

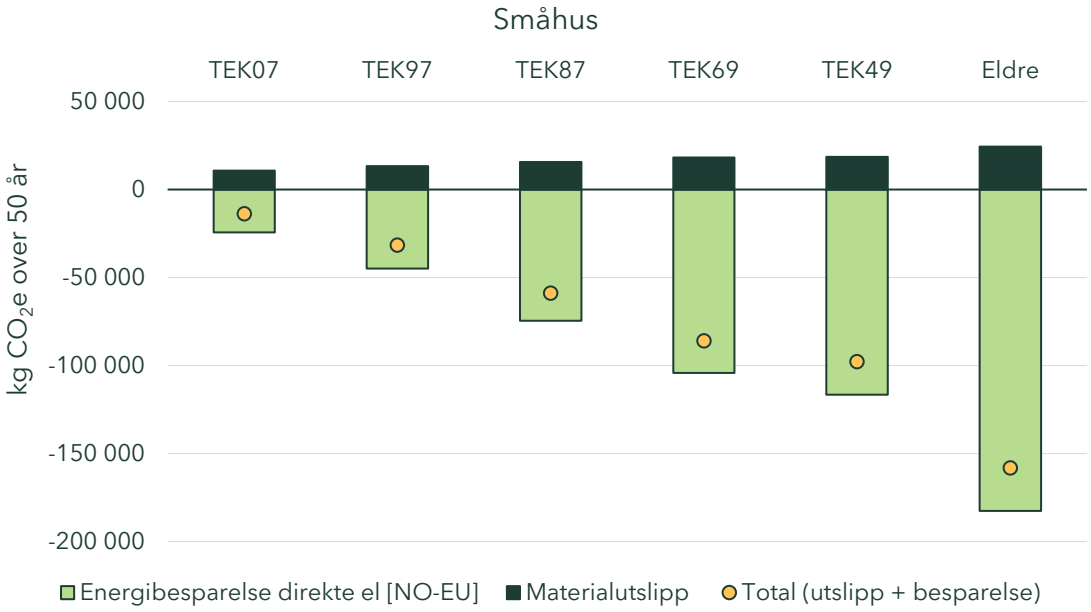
4.2.3. Fasaderehabilitering og luft-luft varmepumpe

For småhus vil det være relevant å installere luft-luft varmepumpe også. Dette er ikke beregnet i tidligere tiltak, men er inkludert som case for småhus. Figur 4-48 viser klimagassutslipp og besparelser for scenario 1. Eldre bygg og TEK 49 er de eneste byggene som får en besparelse av klimagassutslipp.



Figur 4-48 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering og luft-luft varmepumpe for småhus med scenario 1

Når scenario 2 legges til grunn, får alle årsklassene en besparelse. Dette er vist i Figur 4-49.

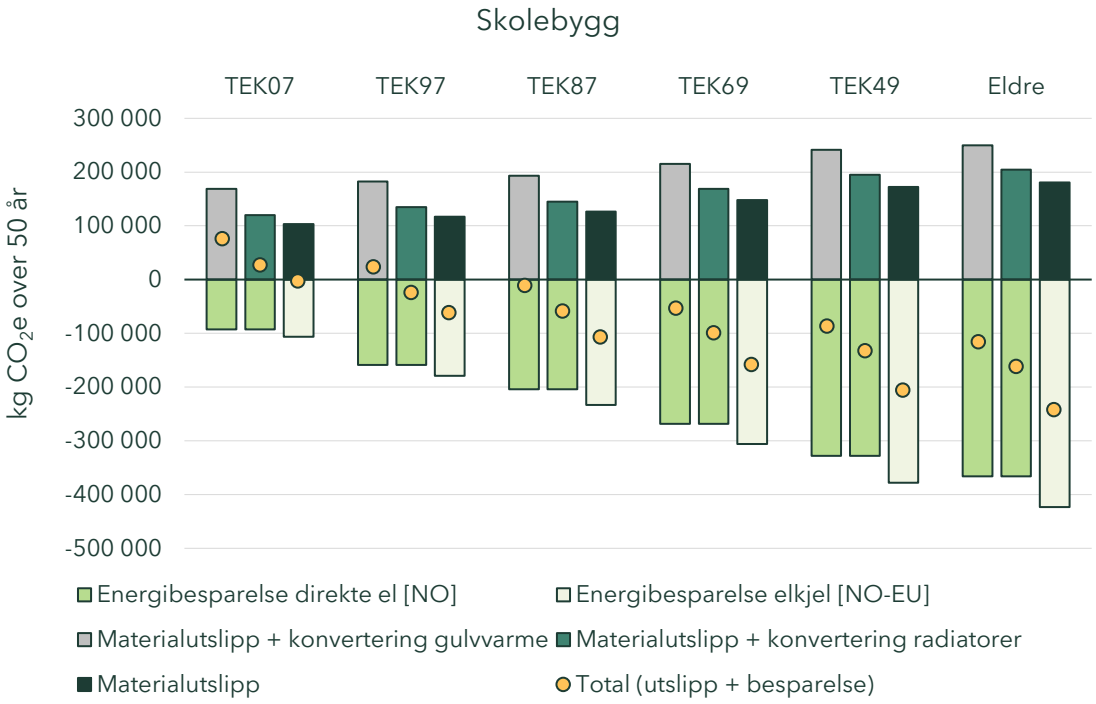


Figur 4-49 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering og luft-luft varmepumpe for småhus for scenario 2.

4.2.4. Fasaderehabilitering med VV-VP

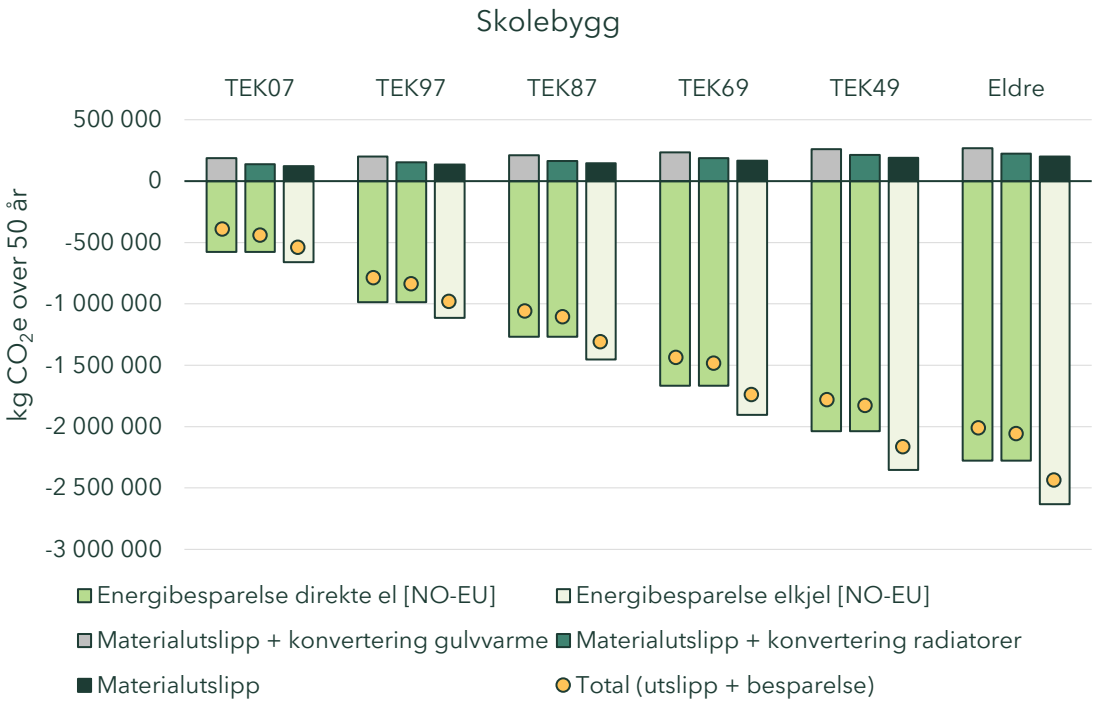
For boligblokker, kontorbygg og skolebygg vil væske-vann varmepumpe være mer relevant enn luft til luft. Caset fasaderehabilitering er derfor også beregnet med VV-VP for boligblokker, kontor og skolebygg. For byggene som ikke har lagt om til vannbåren varme, må disse konvertere til vannbåren varme enten i form av gulvvarme eller radiatorer.

Figur 4-50 viser klimagassutslipp og besparelser for skolebygg beregnet med scenario 1. Caset er kun beregnet for bygg som har el-kjel og direkte el. Tiltaket gir en besparelse for eldre bygg, TEK 49 og TEK 87. For TEK 97 er det kun byggene med el-kjel og byggene med direkte el som konverterer til radiatorer som har en besparelse. For TEK07 byggene oppnår en netto besparelse for byggene med el-kjel



Figur 4-50 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering og væske-vann varmepumpe for skolebygg med scenario 1

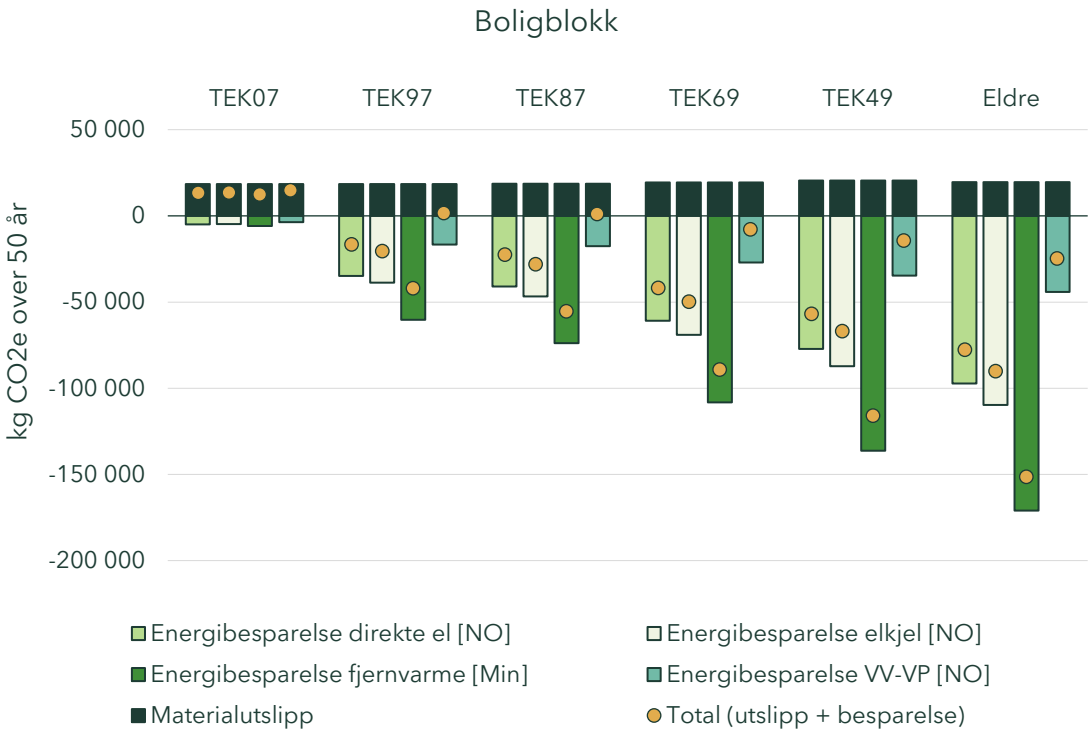
Når scenario 2 legges til grunn gir alle energiforsyninger besparelse. Dette er vist i Figur 4-51.



Figur 4-51 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset fasaderehabilitering og væske-vann varmepumpe for skolebygg med scenario 2

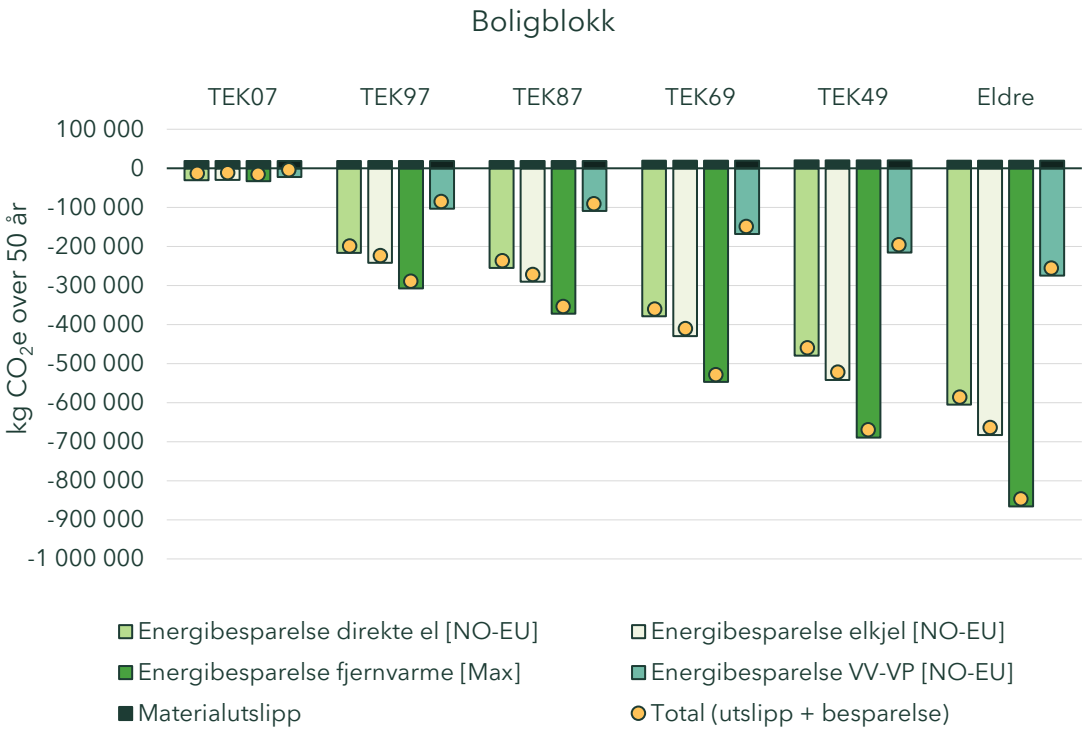
4.2.5. Etterisolering og balansert ventilasjon

Caset etterisolering og balansert ventilasjon er beregnet for skolebygg og kontorbygg. Resultatene for boligblokker og scenario 1 er vist i Figur 4-52. Caset gir en besparelse for alle årsklasser utenom TEK 07. For TEK 87 og TEK 07 gir ikke byggene med varmepumpe en netto besparelse.



Figur 4-52 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset etterisolering og balansert ventilasjon for boligblokk med scenario 1

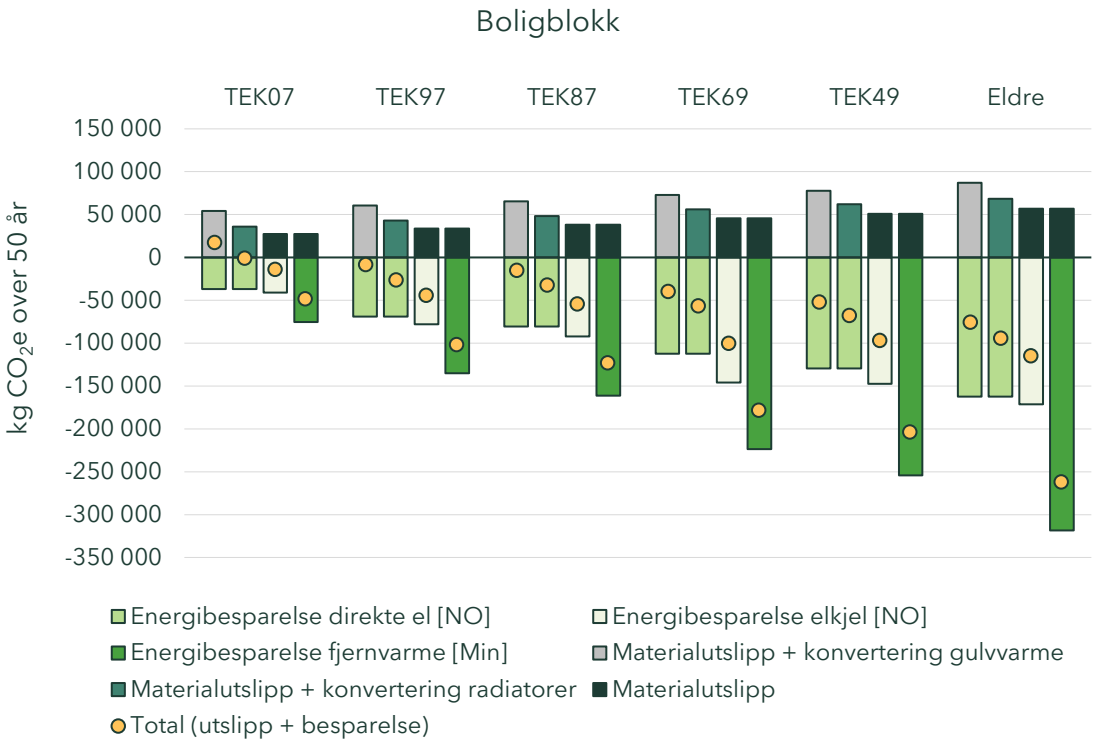
Hvis scenario 2 legges til grunn (norsk-europeisk strømmiks og maks fjernvarme) så gir alle årsklasser en besparelse. Dette er vist i figuren under.



Figur 4-53 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset etterisolering og balansert ventilasjon for boligblokk med scenario 2.

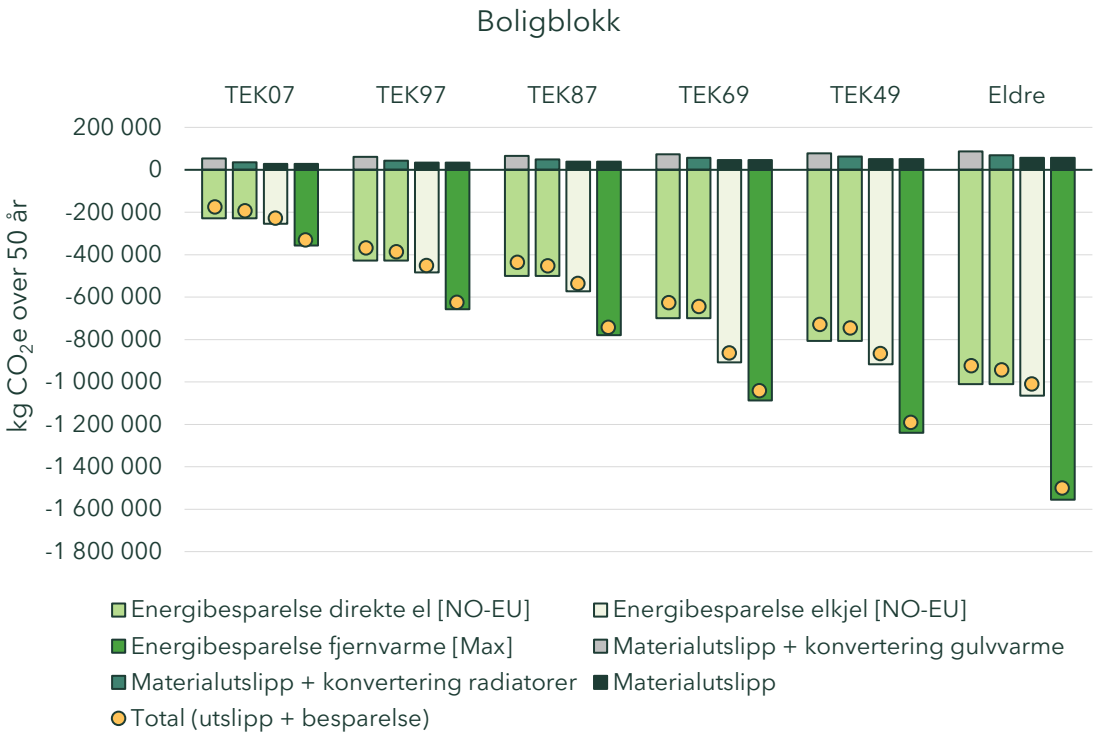
4.2.6. Etterisolering, balansert ventilasjon og væske til vann varmepumpe

Caset med etterisolering og balansert ventilasjon er også beregnet med installasjon av væske til vann varmepumpe boligblokker. Figur 4-54 viser besparelser og klimagassutslipp for boligblokker beregnet med scenario 1. Byggene med direkte elektrisitet til oppvarming må også konvertere til vannbåren varme enten i form av gulvvarme eller radiatorer. For alle årsklasser til og med TEK 97 er det en netto besparelse for tiltaket. For TEK 07 byggene er det en besparelse for alle energiforsyningsløsninger bortsett fra byggene med direkte EL som legger om til gulvvarme.



Figur 4-54 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset etterisolering, balansert ventilasjon og væske-vann varmepumpe for boligblokk med scenario 1.

Med scenario 2 blir det en besparelse for alle årsklasser som vist i Figur 4-55.



Figur 4-55 Klimagassutslipp og energibesparelser for caset etterisolering, balansert ventilasjon og væske-vann varmepumpe for boligblokk med scenario 2.

5. Diskusjon

5.1. Tilgjengelighet av elektrisitet

Det er i denne analysen antatt at det er tilgjengelig elektrisitet. Klimamessig vil elektrisitet være en foretrukket kilde til oppvarming ettersom elektrisitet har lavere klimagassutslipp enn fjernvarme. Dette kommer eksempelvis frem for tiltaket belysning hvor oppvarming gjennom eksisterende belysning gir en større klimagevinst enn å benytte fjernvarme til oppvarming.

Reelt sett er det mange industrier som skal elektrifiseres og det vil derfor ikke være tilgjengelig elektrisitet til alt og det vil være behov for å utnytte andre energikilder i energisystemet.

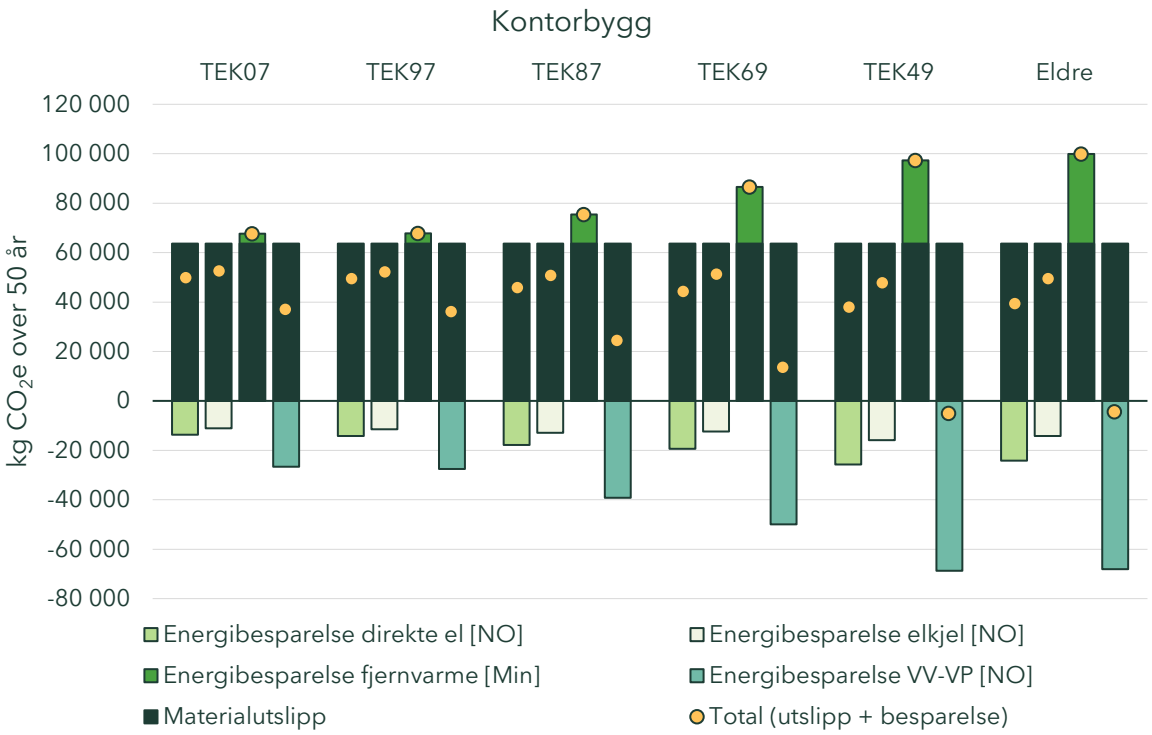
Dette er diskutert videre i kapittel 3.3.

5.2. Energieffektiv belysning

Referansebyggene har ikke romkjøling, men i realiteten vil flere bygg ha dette. Dette vil påvirke klimagassutslippene fra belysning. Bakgrunnen for dette er at eksisterende belysning vil gi oppvarming og i de tilfellene denne oppvarmingen ikke er ønsket må romkjøling benyttes for å redusere temperaturen i bygget.

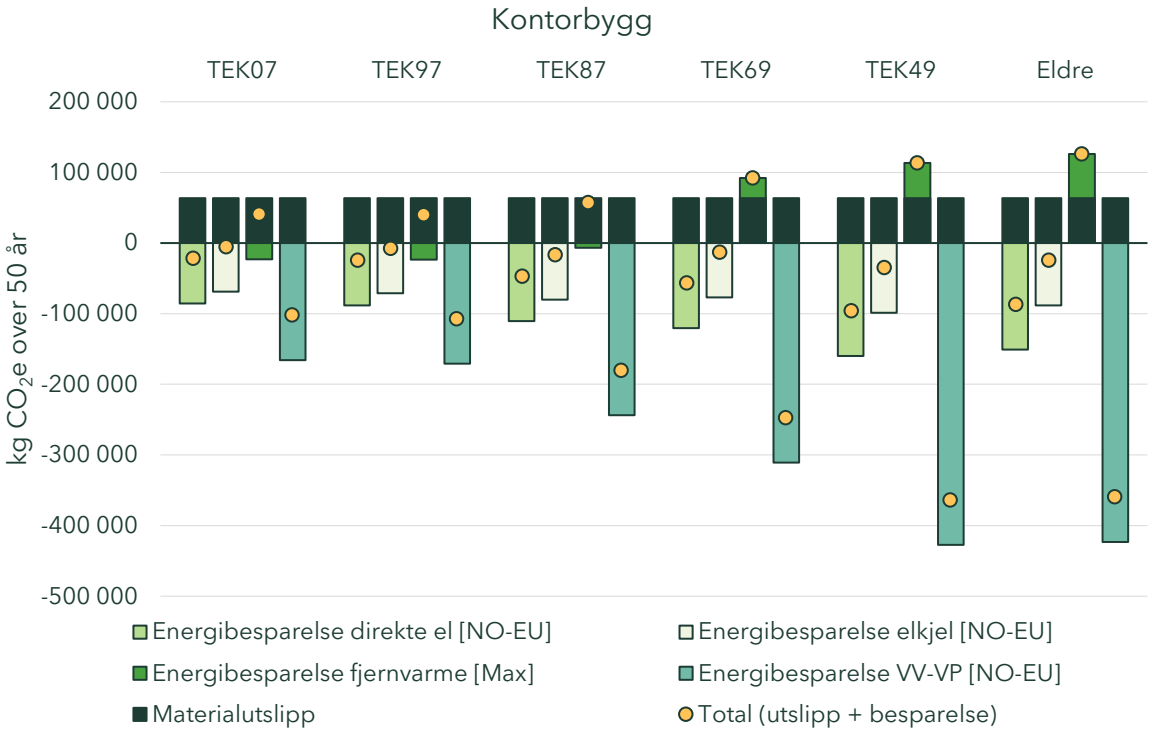
For å vise effekten av dette er det gjort en energiberegning av tiltaket energieffektiv belysning hvor romkjøling også er benyttet. Dette er gjort for kontorbygg.

Når romkjøling tas høyde for blir energibesparelsene større, men det er kun de eldste byggene og TEK 49 byggene som har varmepumpe som får en besparelse med scenario 1 beregningene.



Figur 5-1 Klimagassutslipp og energibesparelse for tiltaket belysning med romkjøling for kontorbygg beregnet med scenario 1: norsk strømmiks og min. utslipp fra fjernvarme

Når scenario 2 legges til grunn, gir flere av årsklassene og energiforsyningsløsningene en besparelse. Det er kun byggene med fjernvarme som ikke får en besparelse for noen av årsklassene.



Figur 5-2 Klimagassutslipp og energibesparelse for tiltaket belysning med romkjøling for kontorbygg beregnet med scenario 2: norsk-europeisk strømmiks og maks. utslipp fra fjernvarme

5.3. Konvertering til vannbåren varme

Ved beregning av distribusjonssystem for vannbåren varme vil de estimerte klimagassutslippene kunne variere i stor grad mellom ulike løsninger. Denne analysen har sett både på å legge om til radiatorer og til gulvvarme. For radiatorvarme vil byggets form ha en stor innflytelse på antall lengdemeter rør som må bygges. Klimaskallets faktiske U-verdi vil også bestemme om man må ha radiatorer langs vinduer for å unngå kaldras , som generelt vil øke antall lengdemeter rør.

For gulvvarme er resultatene av tiltaket veldig avhengig av hvilken løsning man velger for gulvsystemet. I denne studien er det valgt gulvsystem med sponplater og varmeavgivningsplater i aluminium da dette anses relativt enkelt gjennomførbart for rehabiliterte bygg, men dette kan variere fra bygg til bygg. I eldre leilighetsbygg kan det være nødvendig med isolasjon mellom etasjeskillene for å unngå at mye av varmen blir avgitt til etasjen under.

Det er andre muligheter for gulvsystemet når det legges gulvvarme, eksempelvis å legge avrettingsmasse. Dette vil trolig ha høyere klimagassutslipp enn gulvsystemet som er lagt inn nå, men vil avhenge av tykkelsen på avrettingsmassen. Med andre løsninger kan det også være vanskeligere å skille mellom hvilken del av gulvet som bør tilskrives bygningskonstruksjonen eller varmedistribusjonssystemet. For den valgte løsningen står gulvsystemet for 75 % av klimagassutslippene fra materialer og vil ha en stor innvirkning på om tiltaket er lønnsomt i et klimaperspektiv.

Det kan også diskuteres om en løsning med 100 % gulvvarme er realistisk for de fleste bygg. På grunn av systemets treghet i varmeregulering er det for eksempel ikke vanlig å ha gulvvarme på soverom, der mange ønsker det kaldt om natten. Det samme gjelder for de fleste klasserom, der rommene ofte varmes opp på forhånd og holdes varme gjennom dagen gjennom varmeavgivning fra brukere. Dette forutsetter selvfølgelig et godt isolert bygg.

I realiteten er det mulig å velge en kombinasjon av radiatorer og gulvvarme, i de rommene det er hensiktsmessig. Det er ikke gjort egne beregninger for dette, men siden resultatene viser at begge tiltak er gunstig i et klimaperspektiv, kan det forventes at en kombinasjon av disse også vil være det.

6. Konklusjon og oppsummering

Denne rapporten har presentert livsløpsberegninger av å implementere ulike energieffektiviseringstiltak. Utslippene tilknyttet implementering av tiltak er sammenliknet mot klimaeffekten av energibesparelsen tiltakene gir.

I tillegg er flere av tiltakene satt sammen i case for å gjøre beregninger av flere tiltak samtidig.

Når det gjøres beregninger for å vurdere klimagevinsten av energibesparelse, er utslippsfaktorene benyttet for energikildene ekstremt utslagsgivende i resultatene. Det er for alle tiltak og alle case gjort beregninger med to scenarioer for utslippsfaktor for energikilder. Scenario 1 er scenarioet med lavest utslipp fra energi mens scenario 2 speiler høyere klimagassutslipp fra energibruk.

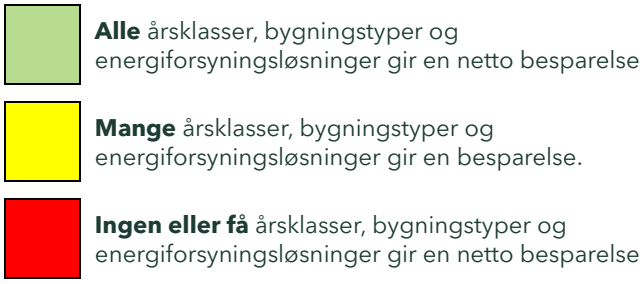
- **Scenario 1**: Norsk strømmiks og minimale utslipp fra fjernvarme (Biokjel med pellets)
- **Scenario 2**: Norsk-europeisk strømmiks og maks utslipp fra fjernvarme (Fjernvarme med avfallsforbrenning allokert til forbruker av varme).

I scenario 2 benyttes utslippsfaktor for fjernvarme med avfallsforbrenning. I scenarioet er utslippene allokert til forbrukeren av fjernvarme. Dette er ikke iht. NS3720. Iht. NS3720 skal utslipp fra forbrenning av avfall allokeres til den som genererer avfallet. For å speile strømscenarioene med høy og lav miks har vi valgt å inkludere et høyt scenario for fjernvarme, som inkluderer utslipp fra avfallsforbrenning. Dette er også for å speile de realistiske utslippene fra fjernvarmeanlegget.

Hvilke tiltak som gir en netto klimagevinst, avhenger også av energiforsyningsløsningene som blir benyttet i bygget før de implementerer tiltaket. Det er derfor gjort beregninger for fire ulike energiforsyningsløsninger for varmeforsyning;

- Direkte elektrisitet
- El-kjel
- Fjernvarme
- Væske til vann varmepumpe

Tabellen under gir en oppsummering over hvilke tiltak og case som gir en netto klimabesparelse med de ulike energiscenarioene. Beskrivelsene av fargene i tabellen er vist under.



Som tabellen viser, gir nesten alle tiltak en netto besparelse for alle bygningstyper, alle årsklasser og alle energiforsyningsløsninger når scenario 2 legges til grunn. Når vurderingen skal gjøres på om tiltakene er klimavennlige i sin helhet eller ikke, burde vurderingene gjøres mot scenario 2. Utslippene for elektrisitet 50 år frem i tid er usikker, men med en stadig tettere kobling til det europeiske strømnettet er det forventet at utslippsfaktor for elektrisitet vil være tilnærmet den europeiske i fremtiden. Tilgjengelig elektrisitet kan også benyttes til å erstatte andre utslippsintensive energikilder for mobilitet (biler, buser og lastebiler på strøm) og i industrien. Dette tilsier at utslippsfaktor på strøm kan være tilnærmet lik energikilden strømmen erstatter (lik eller høyere enn scenario 2). Når det gjelder utslippsfaktoren for fjernvarme er det store diskusjoner rundt hvilken utslippsfaktor som skal benyttes, spesielt når avfallsforbrenning er hovedkilden til fjernvarmeanlegget. Diskusjonen går på om utslippene fra avfallsforbrenning skal allokeres til forbruker av fjernvarme eller den som genererer avfallet. I scenario 2 er de høyeste utslippene lagt til grunn, det vil si at avfallsforbrenning er allokert til forbrukeren av fjernvarme.

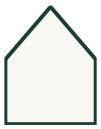
Scenario 2 gir ikke en netto besparelse for tiltakene; utskiftning av vinduer, energieffektiv belysning og biokjel. For utskiftning av vinduer lønner tiltaket seg ikke for de nyeste årsklassene. For energieffektiv belysning gir tiltaket en netto klimagevinst kun for byggene som har varmepumpe. For biokjel gir tiltaket en klimabesparelse for alle bygningstyper og årsklasser for alle energiforsyningsløsninger utenom de med varmepumpe.

Tabellen viser også at for scenario 1 er det ingen av tiltakene som gir en besparelse for alle årsklasser, bygningstyper og energiforsyningsløsninger. Det er derimot mange som er gule og har gode besparelser, med noen unntak. Unntakene kan enten være i form av at noen årsklasser ikke gir besparelser eller at det er noen bygningstyper eller energiforsyningsløsninger som ikke gir en netto besparelse.

Tabell 6-1 Trafikklystabell for alle tiltak beregnet med ulike scenarioer.

Tiltak	Scenario 1	Scenario 2
Etterisolering av vegg		
Etterisolering av tak		
Utskiftning av vinduer		
Ettermontering av balansert ventilasjon		
Behovsstyrt ventilasjon		
Energieffektiv belysning		
Etterisolering av kjeller		
Solcelleanlegg		
Varmepumpe og grunnvarme		
Solfanger		
Biokjel		

Tabell 6-2 oppsummerer hva som skaper de ulike unntakene. Tabellen har tre ikoner;



Bygningskategori



Energiforsyningsløsning



Årsklasse

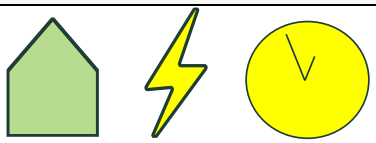
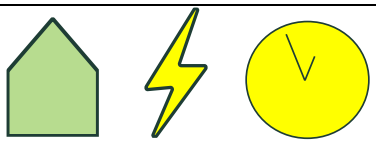
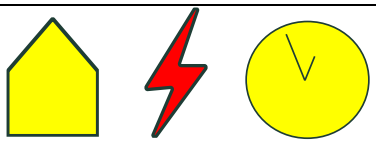
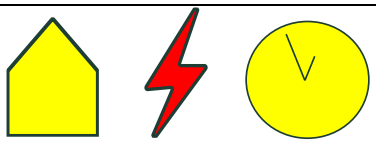
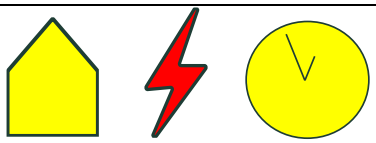
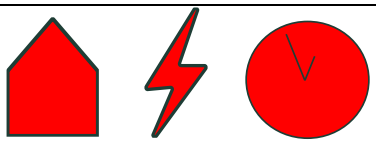
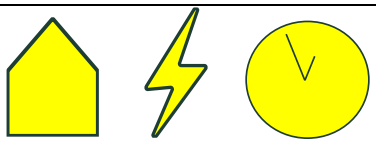
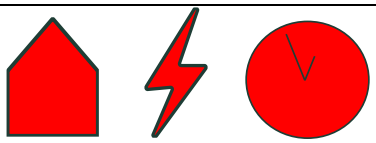
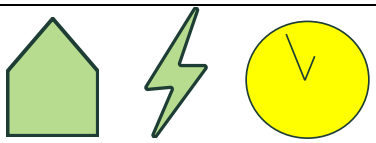
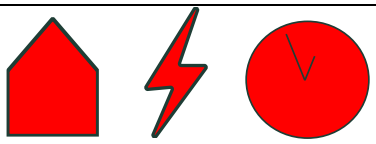
Fargen illustrerer om tiltakene gir en netto klimabesparelse eller ikke.

Dersom alle ikonene er røde, gir tiltaket netto klimagassutslipp for alle bygningstyper, alle årsklasser og alle energiforsyningsløsninger.

Der hvor energiforsyningsløsningen er rød, betyr det at én eller flere energiforsynings-løsninger gir netto økte utslipp for alle årsklasser og alle bygningskategorier. Når bygningstypen er rød, er det én bygningskategori som har et netto klimagassutslipp. Når kategoriene er gule, er det noen årsklasser, bygningstyper eller energiforsyningsløsninger som gir en netto økning.

Etterisolering av vegg har eksempelvis en besparelse for alle bygningstyper, men det er noen årsklasser og energiforsyningsløsninger som gir et netto utslipp. Det samme gjelder for etterisolering av tak. Utskiftning av vinduer gir en besparelse for flere årsklasser og bygningstyper men gir ingen besparelse for bygg med varmepumpe. Det samme gjelder for ventilasjonstiltakene. Energieffektiv belysning, solceller og biokjel gir ingen besparelse for noen bygningstyper. Etterisolering av kjeller gir besparelse for flere årsklasser og energiforsyningsløsninger men har flere unntak. Varmepumpe med grunnvarme gir en besparelse for nesten alle årsklasser. Solfanger gir ikke besparelse for småhus.

Tabell 6-2 Oppsummering av tiltak som gir netto besparelse eller netto utslippsøkning

Tiltak	Scenario 1
Etterisolering av vegg	
Etterisolering av tak	
Utskiftning av vinduer	
Ettermontering av balansert ventilasjon	
Behovsstyrt ventilasjon	
Energieffektiv belysning	
Etterisolering av kjeller	
Solcelleanlegg	
Varmepumpe og grunnvarme	
Solfanger	
Biokjel	

Klimagassberegninger er også gjort for case hvor ulike tiltak er satt sammen. Tabellen under viser en oppsummering for de to ulike energiscenarioene som er beregnet. For scenario 2 gir nesten alle casene en netto klimagevinst for alle årsklasser, bygg og energiforsyningsløsninger. Det er kun to caser som har gul farge. For disse casene er det kun noen årsklasser som ikke gir besparelse. For scenario 1 er alle case gule som vil si at mange bygningstyper og årsklasser gir en besparelse, men det er ingen case hvor alle årsklasser, energiforsyningsløsninger og bygningstyper gir besparelse.

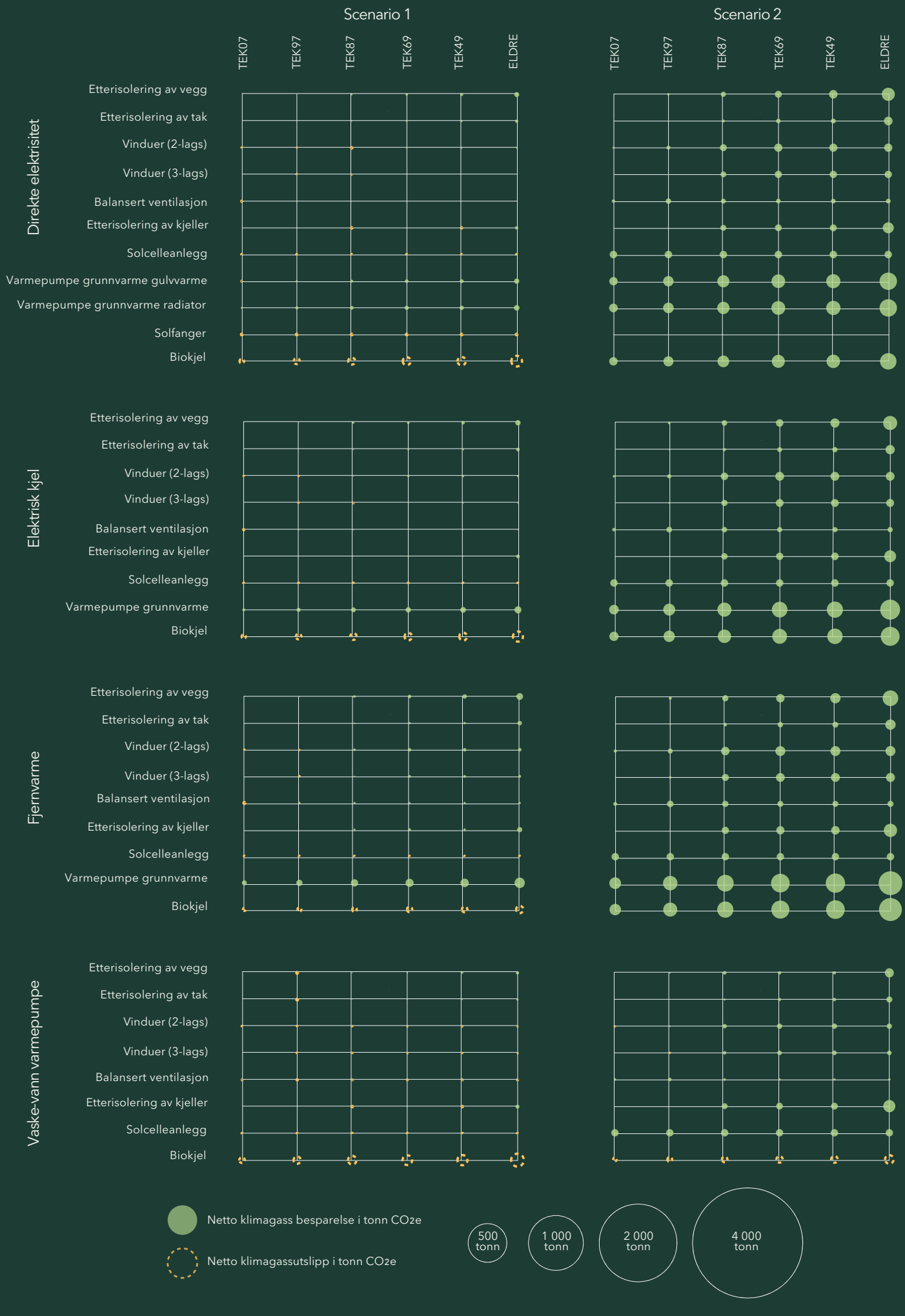
Tabell 6-3 Oppsummering av utslippsbesparelser for case.

Case		
Navn	**Scenario 1**	**Scenario 2**
Fasaderehabilitering		
Fasaderehabilitering + etterisolering av tak		
Fasaderehabilitering med varmepumpe		
Fasaderehabilitering + VV-VP		
Ventilasjon og etterisolering		
Ventilasjon og etterisolering og VV-VP		

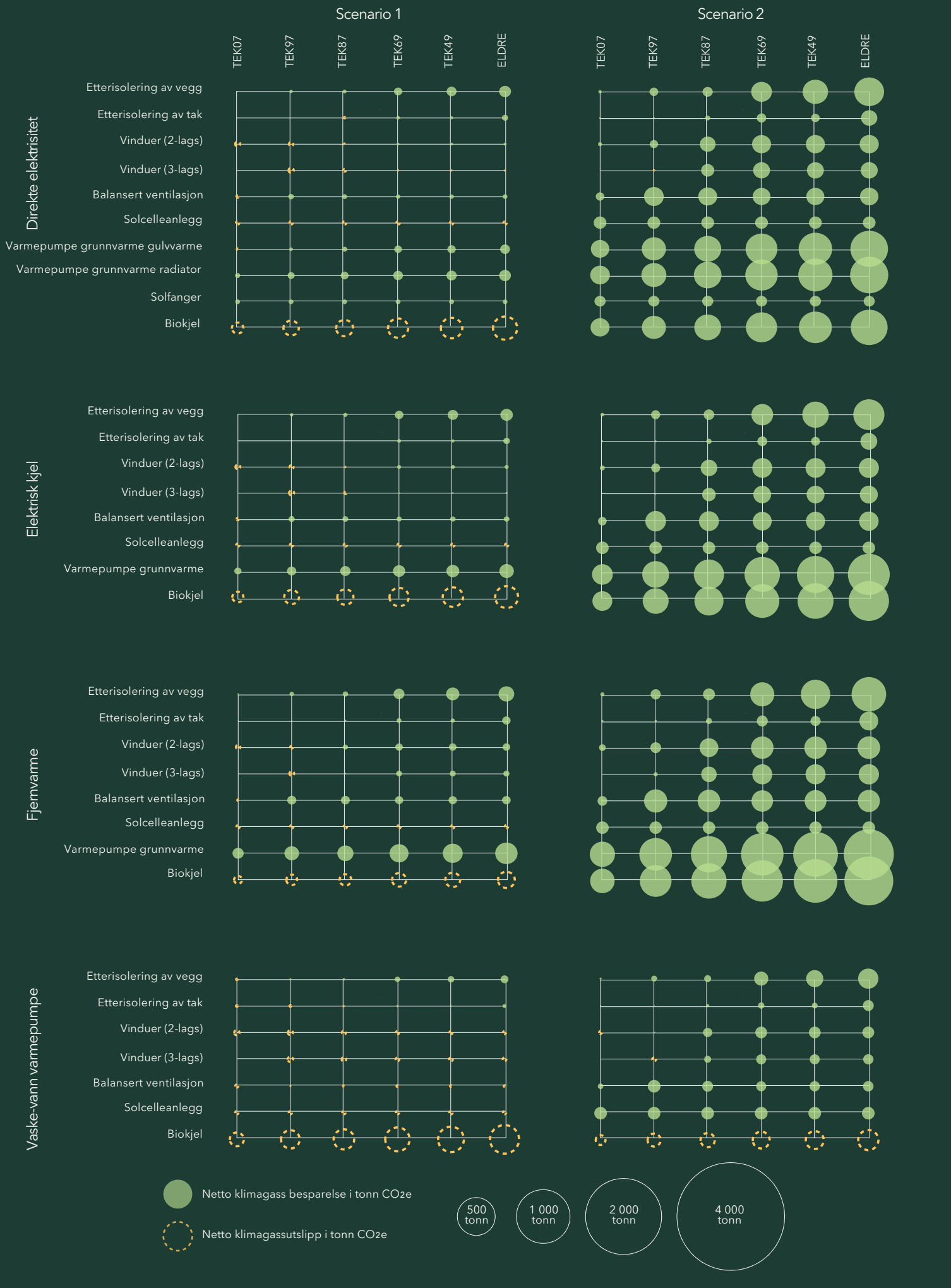
Tiltakene gir ulik netto besparelse og netto økning i CO_2-utslipp. Figurene på de neste sidene gir en oppsummering for hver bygningstype, årsklasse og energiforsyningsløsning beregnet med begge scenarioer. Størrelsen på ringene indikerer størrelsen på den netto besparelsen eller utslippet. Grønn farge indikerer netto besparelse og oransje prikkede rundinger indikerer netto utslipp.

For scenario 1 er omlegging til væske-vann varmepumpe som gir den største besparelsen i klimagassutslipp. For scenario 2 gir biokjel og varmepumpe høye besparelser. Biokjel gir kun gode besparelser for bygg som ikke har varmepumpe. Generelt sett for alle tiltak øker besparelsen jo eldre byggene blir. Det er også en trend for alle byggene at det monner mindre å gjøre energitiltak på byggene som allerede har varmepumpe. Skaleringen for rundingene er like for alle bygg. Byggene med høyest besparelse har derfor også størst sirkler.

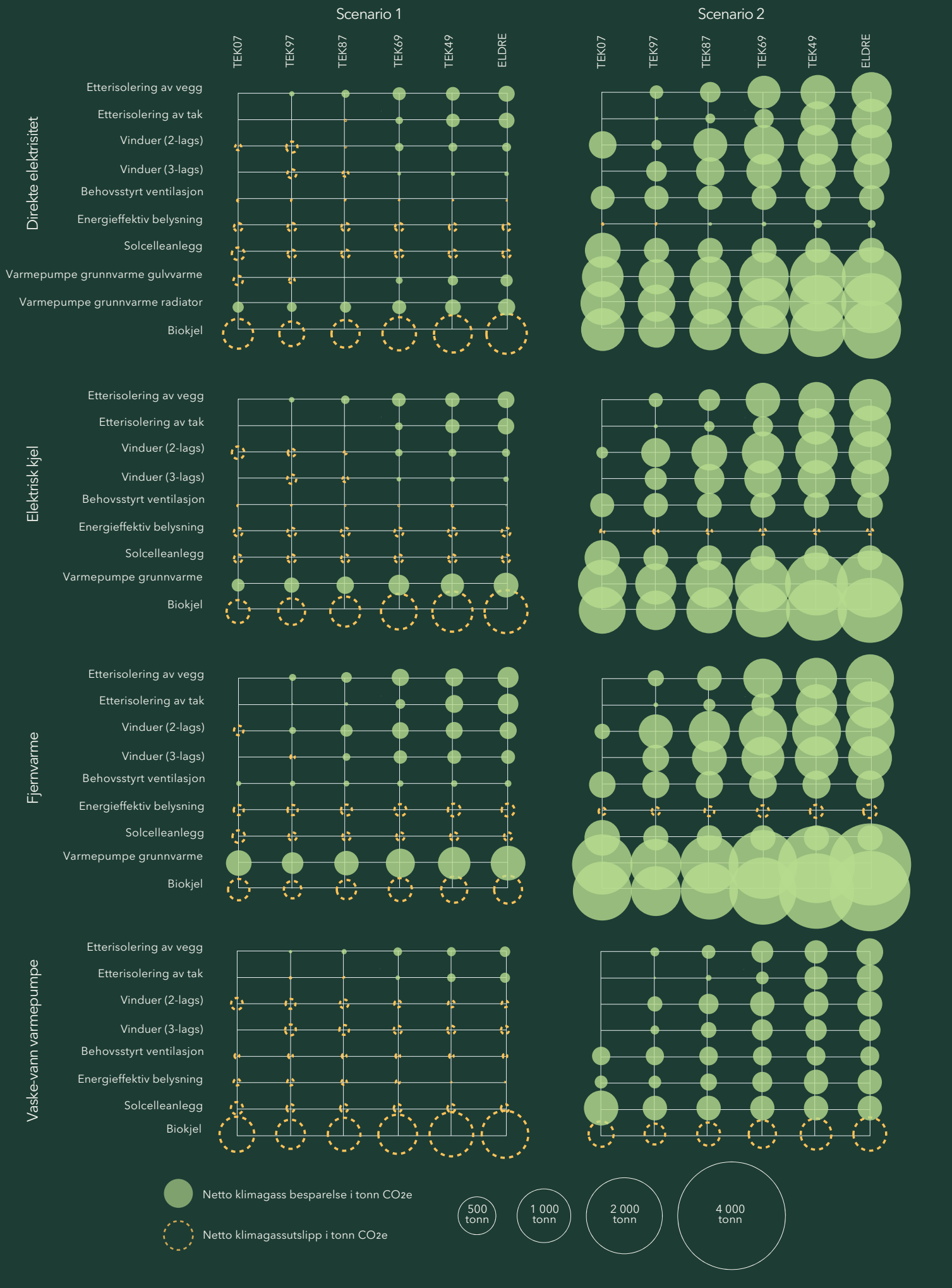
Småhus


Scenario 1
Scenario 2
TEK07
TEK97
TEK87
TEK69
TEK49
ELDRE
Direkte elektrisitet
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Etterisolering av kjeller
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme gulvvarme
Varmepumpe grunnvarme radiator
Solfanger
Biokjel
Elektrisk kjel
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Etterisolering av kjeller
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme
Biokjel
Fjernvarme
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Etterisolering av kjeller
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme
Biokjel
Vaske-vann varmepumpe
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Etterisolering av kjeller
Solcelleanlegg
Biokjel
Netto klimagass besparelse i tonn CO2e
Netto klimagassutslipp i tonn CO2e
500 tonn
1 000 tonn
2 000 tonn
4 000 tonn

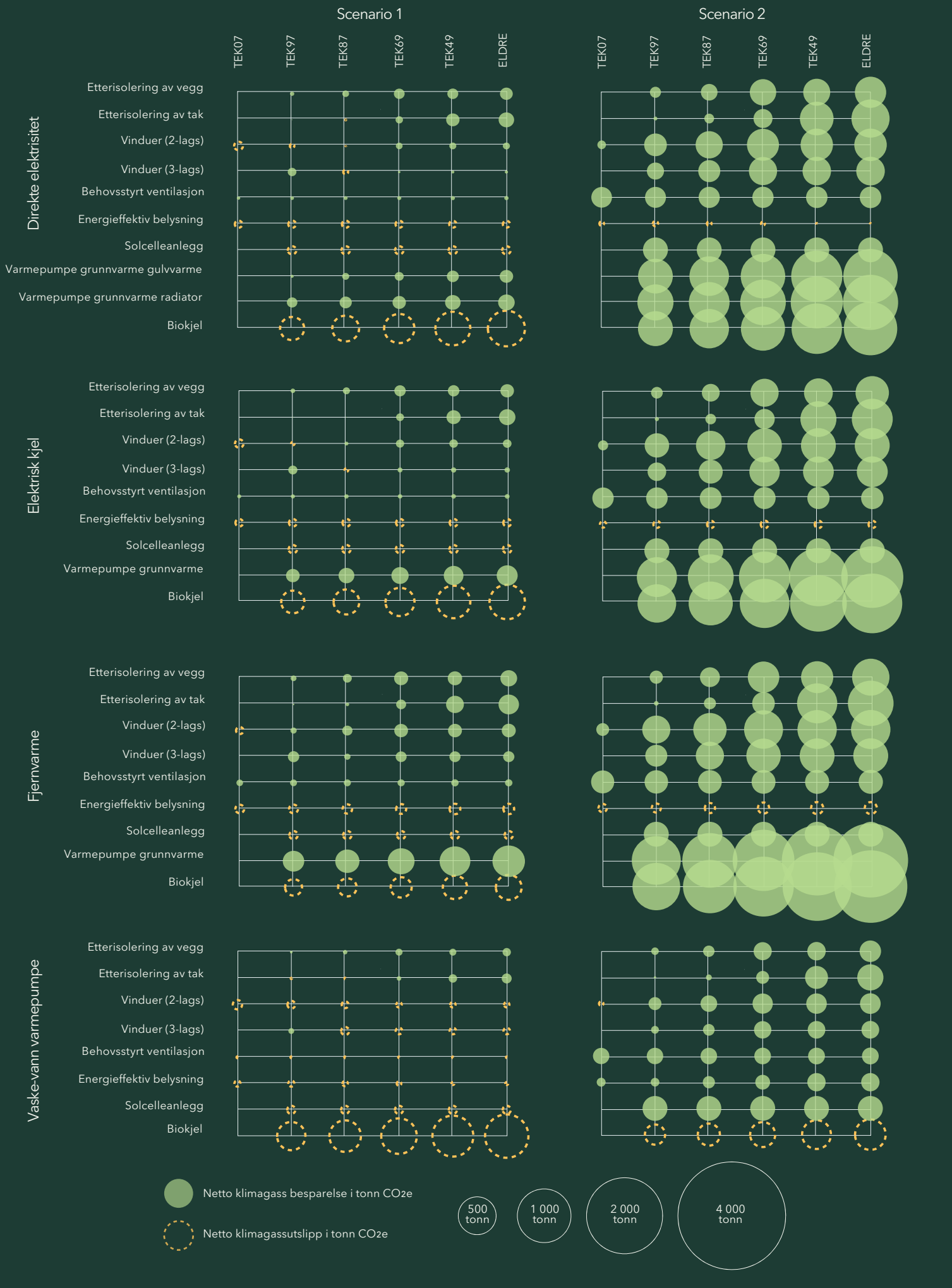
Boligblokk


Scenario 1
Scenario 2
TEK07
TEK97
TEK87
TEK69
TEK49
ELDRE
Direkte elektrisitet
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme gulvvarme
Varmepumpe grunnvarme radiator
Solfanger
Biokjel
Elektrisk kjel
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme
Biokjel
Fjernvarme
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme
Biokjel
Vaske-vann varmepumpe
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Balansert ventilasjon
Solcelleanlegg
Biokjel
Netto klimagass besparelse i tonn CO2e
Netto klimagassutslipp i tonn CO2e
500 tonn
1 000 tonn
2 000 tonn
4 000 tonn

Kontorbygg


Scenario 1
Scenario 2
TEK07
TEK97
TEK87
TEK69
TEK49
ELDRE
Direkte elektrisitet
Elektrisk kjel
Fjernvarme
Vaske-vann varmepumpe
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Behovsstyrt ventilasjon
Energieffektiv belysning
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme gulvvarme
Varmepumpe grunnvarme radiator
Varmepumpe grunnvarme
Biokjel
Netto klimagass besparelse i tonn CO2e
Netto klimagassutslipp i tonn CO2e
500 tonn
1 000 tonn
2 000 tonn
4 000 tonn

Skolebygg


Scenario 1
Scenario 2
TEK07
TEK97
TEK87
TEK69
TEK49
ELDRE
Direkte elektrisitet
Elektrisk kjel
Fjernvarme
Vaske-vann varmepumpe
Etterisolering av vegg
Etterisolering av tak
Vinduer (2-lags)
Vinduer (3-lags)
Behovsstyrt ventilasjon
Energieffektiv belysning
Solcelleanlegg
Varmepumpe grunnvarme gulvvarme
Varmepumpe grunnvarme radiator
Varmepumpe grunnvarme
Biokjel
Netto klimagass besparelse i tonn CO2e
Netto klimagassutslipp i tonn CO2e
500 tonn
1 000 tonn
2 000 tonn
4 000 tonn

Vedlegg

Vedlegg A

Grunnlag brønnparker

Tabell 0-1 Dimensjonering brønnparker boligblokker

	Boligblokk					
	TEK07	**TEK97**	**TEK87**	**TEK69**	**TEK49**	**Eldre**
Antall brønner [stk]	2	3	4	5	6	7
Dybde brønn [m]	245	290	260	290	270	290
Kollektor brønn [meter t/r]	980	1 740	2 080	2 900	3 240	4 060
Kollektor brønn - samlekum (preisolert) [meter t/r]	80	120	160	200	240	280
Kollektor samlekum - teknisk rom (stor) [meter t/r]	0	0	0	0	70	70
Kollektor samlekum - teknisk rom (liten) [meter t/r]	0	0	70	70	0	0
Samlekum (prefabrikkert) (stor) [stk]	0	0	0	0	1	1
Samlekum (prefabrikkert) (liten) [stk]	0	0	1	1	0	0
Foringsrør [meter]	12	18	24	30	36	42
Kollektorvæske [liter]	1 306	2 291	2 845	3 904	4 372	5 431
Størrelse varmepumpe [kW]	13	22,3	26,5	35	38	46
Total boret dyp [meter]	490	870	1 040	1 450	1 620	2 030
Dieselforbruk [liter]	1 470	2 610	3 120	4 350	4 860	60 90

Tabell 0-2 Dimensjonering brønnparker kontorbygg

	Kontorbygg					
	TEK07	**TEK97**	**TEK87**	**TEK69**	**TEK49**	**Eldre**
Antall brønner [stk]	7	9	12	18	22	24
Dybde brønn [m]	280	280	300	270	280	290
Kollektor brønn [meter t/r]	3 920	5 040	7 200	9 720	12 320	13 920
Kollektor brønn - samlekum (preisolert) [meter t/r]	280	360	480	720	880	960
Kollektor samlekum - teknisk rom (stor) [meter t/r]	70	70	70	140	140	140

	Kontorbygg					
	TEK07	**TEK97**	**TEK87**	**TEK69**	**TEK49**	**Eldre**
Kollektor samlekum - teknisk rom (liten) [meter t/r]	0	0	70	0	70	70
Samlekum (prefabrikkert) (stor) [stk]	1	1	1	2	2	2
Samlekum (prefabrikkert) (liten) [stk]	0	0	1	0	1	1
Foringsrør [meter]	42	54	72	108	132	144
Kollektorvæske [liter]	5 259	6 737	9 631	13 031	16 516	18 585
Størrelse varmepumpe [kW]	50	63	77	100	122	134
Total boret dyp [meter]	1 960	2 520	3 600	4 860	6 160	6 960
Dieselforbruk [liter]	5 880	7 560	10 800	14 580	18 480	20 880

Tabell 0-3 Dimensjonering brønnparker skolebygg

	Skolebygg					
	TEK07	**TEK97**	**TEK87**	**TEK69**	**TEK49**	**Eldre**
Antall brønner [stk]	5	8	9	14	18	20
Dybde brønn [m]	300	270	300	270	280	280
Kollektor brønn [meter t/r]	3 000	4 320	5 400	7 560	10 080	11 200
Kollektor brønn - samlekum (preisolert) [meter t/r]	200	320	360	560	720	800
Kollektor samlekum - teknisk rom (stor) [meter t/r]	0	70	70	70	140	140
Kollektor samlekum - teknisk rom (liten) [meter t/r]	70	0	0	70	0	0
Samlekum (prefabrikkert) (stor) [stk]	0	1	1	1	2	2
Samlekum (prefabrikkert) (liten) [stk]	1	0	0	1	0	0
Foringsrør [meter]	30	48	54	84	108	120
Kollektorvæske [liter]	4 027	5 801	7 180	10 173	13 474	14 952
Størrelse varmepumpe [kW]	37,5	51	63	76	96	107
Total boret dyp [meter]	1 500	2 160	2 700	3 780	5 040	5 600
Dieselforbruk [liter]	4 500	6 480	8 100	11 340	15 120	16 800

Tabell 0-4 Dimensjonering brønnparker småhus

	Småhus					
	TEK07	**TEK97**	**TEK87**	**TEK69**	**TEK49**	**Eldre**
Antall brønner [stk]	1	1	1	1	1	2
Dybde brønn [m]	150	160	210	245	250	210
Kollektor brønn [meter t/r]	300	320	420	490	500	840
Kollektor brønn - samlekum (preisolert) [meter t/r]	40	40	40	40	40	80
Kollektor samlekum - teknisk rom (stor) [meter t/r]	0	0	0	0	0	0
Kollektor samlekum - teknisk rom (liten) [meter t/r]	0	0	0	0	0	0
Samlekum (prefabrikkert) (stor) [stk]	0	0	0	0	0	0
Samlekum (prefabrikkert) (liten) [stk]	0	0	0	0	0	0
Foringsrør [meter]	6	6	6	6	6	12
Kollektorvæske [liter]	419	443	567	653	665	1 133
Størrelse varmepumpe [kW]	3	4,3	5,5	6,6	6,9	10
Total boret dyp [meter]	150	160	210	245	250	420
Dieselforbruk [liter]	450	480	630	735	750	1 260

Tabell 0-5 Effekt til varmepumpe

Bygningstype	**Årsklasse**	**Effekt [KW]**
Boligblokk	TEK07	30
	TEK97	49
	TEK87	59
	TEK69	75
	TEK49	82
	Eldre	98
Kontorbygg	TEK07	118
	TEK97	148
	TEK87	180
	TEK69	231
	TEK49	274
	Eldre	299
Skolebygg	TEK07	98
	TEK97	123
	TEK87	146

Bygningstype	Årsklasse	Effekt [KW]
	TEK69	173
	TEK49	213
	Eldre	233
Småhus	TEK07	7
	TEK97	10
	TEK87	12
	TEK69	15
	TEK49	16
	Eldre	20

asplan viak