



ANALYSE AF CO₂- UDLEDNING OG TOTALØKONOMI I RENOVERING OG NYBYG

RENOVERING PÅ DAGSORDENEN

RAPPORT

OKTOBER 2020

RAMBOLL

Bright ideas. Sustainable change.

ANALYSE AF CO2-UDLEDNING OG TOTALØKONOMI I RENOVERING OG NYBYG

Version **3.0**
Dato **16-10-2020**
Udarbejdet af **Lise Hvid Horup Sørensen & Mathilde Mattson**
Kontrolleret af **Christine Collin & Peter Andreas Norn**

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

INDHOLD

1.	Forord	2
2.	Læsevejledning	3
2.1	Udvælgelse af cases	3
2.2	Scenarier i hver case	3
2.3	Analyse af scenarier	4
2.4	Formidling af analyseresultater	4
3.	Sammenfatning	6
3.1	Det er miljømæssigt og totaløkonomisk fordelagtigt at renovere	6
3.2	CO ₂ -udledningen i nybyggeri er afhængigt af de valgte byggematerialer	7
3.3	Omfanget af renovering har betydning for klimavenligheden	8
3.4	CO ₂ -udledningerne forekommer på forskellige tidspunkter	9
3.5	Følsomhedsanalyse	10
4.	Tværgående analyse	11
4.1	Enfamiliehuse og Rækkehuse	11
4.2	Etageboliger	13
4.3	Offentligt byggeri	15
4.4	Erhvervsbyggeri	17
5.	Følsomhedsanalyse	19
5.1	Systemgrænser	19
5.2	Energiforbrug	20
5.3	Fremskrivning af energiforsyning	22
6.	Metodebeskrivelse	23
6.1	Om livscyklusanalyser	23
6.2	Om totaløkonomisk beregning	23
6.3	Driftsenergi	23
6.4	Metode – LCA	25
6.5	Metode – LCC	27

1. FORORD

Hvis det danske samfund skal opfylde den politiske målsætning om 70% reduktion af drivhusgasser i 2030, er det nødvendigt at byggeriet bidrager markant hertil. Regeringens klimapartnerskab for bygge- og anlæg anslår, at denne sektor alene står for ca. 30 procent af den samlede CO₂-udledning i Danmark, hvis driftsaktiviteterne tælles med. Uanset at energiproduktionen på sigt vil ændre sig fra fossile brændsler til mere vedvarende energikilder med lavere CO₂-aftryk, vil der i flere årtier frem være behov for en aktiv stillingtagen til klimaaftrykket, når vi bygger, renoverer, anlægger og drifter.

Klimapartnerskabet har desuden tilkendegivet en antagelse om, at renovering frem for nedrivning og opførelse af nybyggeri kan være en af vejene til en mindsket CO₂-udledning, men dokumentationen herfor har hidtil været svag. Og selv om der i dag findes en række gode praksiseksempler på, at renoveringsprojekter både har øget værdiskabelsen i de pågældende bygninger og har givet en mere klimavenlig løsning, så nedprioriteres renoveringsløsningen alligevel ofte til fordel for nedrivning og nybyggeri.

Med dette som udgangspunkt har branchepartnerskabet Renovering på Dagsordenen iværksat denne sammenlignende analyse af både de klimamæssige og de totaløkonomiske konsekvenser ved forskellige renoveringsløsninger og ved nedrivning/nybyggeri. Analysen og rapporten er udarbejdet af Rambøll og baserer sig på 16 konkrete bygninger, som gennem fire scenarier analyseres, først gennem tre trinvisse renoveringsscenarier holdt op mod et nybyggeriscenarie. Analysen viser, at det dels er muligt at beregne begge hovedscenarier, dels at den mest optimale løsning for det meste er en renovering – både når der ses på CO₂-udledningen og omkostningerne.

Bygherrer, der skal vurdere, hvorvidt en bygning eller en bygningsportefølje skal renoveres eller rives ned og udskiftes med nybyggeri, får med analysens konklusioner et bedre og mere oplyst grundlag at træffe beslutninger ud fra. Det er desuden partnerskabets forventning, at konklusionerne vil kunne inspirere de aktører, som sætter retningen og rammevilkårene for byggeriet i Danmark, og dermed fremme den grønne omstilling.

Pva. branchepartnerskabet
Renovering på Dagsordenen

Henrik L. Bang
Direktør, Bygherreforeningen

2. LÆSEVEJLEDNING

Denne rapport er baseret på analyser af 16 bygningscases. Denne læsevejledning viser, hvordan cases er udvalgt og analyseret, samt hvordan resultaterne vises i de enkelte cases. Rapporten indeholder fire eksempler på cases i afsnit 4. Alle 16 cases er afrapporteret i deres fulde længde i bilaget til rapporten.

2.1 Udvalgelse af cases






Alle cases er konkrete byggerier i Danmark. De 16 cases er opdelt i fire forskellige bygningstyper og udvalgt således, at de repræsenterer et bredt udsnit af bygningsfunktioner, materialevalg og lokationer. Placeringen af de 16 cases på bygningstyper fremgår af tabel 1 nedenfor.

Tabel 1 Oversigt over cases inden for de fire bygningstyper

Bygningstype	Case nr.	Antal cases
Enfamiliehus og rækkehus	Case 1 - 5	5
Erhvervsbyggeri	Case 6 - 8	3
Etageboliger	Case 9 - 12	4
Offentlige bygninger	Case 13 - 16	4

2.2 Scenarier i hver case

For hver bygning er der gennemført en analyse af fire scenarier. Det er hhv. tre typer af renoveringer og et nybyg-scenarie. De tre renoveringsscenarier er: 1. renovering af tag (T), 2. renovering af tag og ydervæg (TY) og 3. renovering af tag, ydervæg og installationer (TYI). I nybyg-scenariet (N) rives den eksisterende bygning ned og erstattes af et nybyggeri. De fire scenarier fremgår af figur 1 nedenfor.

Basis Case	Renovering			Nybyggeri
Niveau 0	Niveau 1: Tag (T)	Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)	Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)	Nybyg (N)
				
Basisbyggeri	Renovering foretages for taget.	Der udføres renovering af både tag og ydervægge inklusive udskiftning af vinduer.	Gennemgribende renovering af både tag, ydervæg, vinduer og installationer.	Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt.

Figur 1 Oversigt over den metodiske trinvis renovering samt nybyg-scenariet

De 16 faktiske byggerier, som danner grundlag for analysen, er enten faktisk gennemførte renoveringer, som i teorien omdannes til en case for nedrivning og nybyg eller faktiske

nybyggerier, som i teorien omdannes til en case for renovering. For at sikre realistiske renoveringsscenarier er disse skabt ud fra eksempelsamlingen og med sparring fra Rambølls renoveringsafdeling. Casestudierne er, som skitseret ovenfor, analyseret først med udgangspunkt i en mindre tagrenovering, dernæst som en renovering af hele klimaskærmen og i niveau tre som en gennemgribende renovering, hvor også tekniske installationer tilføjes eller udskiftes. Disse tre trin sammenlignes dernæst med et nybyg-scenarie, hvor det eksisterende byggeri rives ned.

Ifølge en analyse foretaget af Dansk Byggeri fra 2019¹ er godt 65 % af det byggede miljø opført før 1980, og dermed før der for alvor blev sat energikrav i bygningsreglementet, BR79. For at kunne repræsentere denne dominerende bygningsmasse er alle cases, som er baseret på nybyggeri, teoretisk omdannet til 1970'er byggerier i overensstemmelse med de gældende krav til ydervægge og tagkonstruktioner. For casebyggerier, som er tidssvarende til 2020 byggeri, vil der således f.eks. blive reduceret i mængden af isolering, tætheden af bygningen, fjernet mekaniske installationer, solceller og lignende.

De 16 vurderede cases repræsenterer mulige renoveringer, men tager ikke højde for særlige omstændigheder, der måtte være i konkrete byggerier, såsom kuldebroer, fugtophobning, geometriske udfordringer i konstruktionen, og det er derfor nødvendigt i specifikke renoveringsprojekter at rådføre sig og få udarbejdet specifikke vurderinger for et retvisende billede.

2.3 Analyse af scenarier

For hver af de 16 bygningscases er der foretaget to typer af analyser. Den ene analyse er en livscyklusvurdering (LCA), som viser CO₂-udledningen fra bygningen gennem en 50-årig periode. En livscyklusvurdering anvendes til at identificere miljøpåvirkning igennem hele levetiden for en byggevarer, en bygningsdel eller en bygning. Fra udvindingen af råmateriale, produktion og transport, til udførelsen på byggepladsen og vedligehold og udskiftning igennem bygningsdriften og afslutningsvis miljøpåvirkningerne ved endt levetid, når materialet, byggekomponenten eller bygningen skal bortskaffes eller genanvendes.

Den anden analyse er en totaløkonomisk beregning (LCC), som viser bygningens omkostninger pr. kvadratmeter gennem hele bygningens levetid. Den totaløkonomiske beregning udvider det økonomiske perspektiv fra alene at fokusere på anskaffelsesomkostningerne til også at inkludere de omkostninger, som opstår under driften og vedligeholdelsen af bygningen.

2.4 Formidling af analyseresultater

For hver case afrapporteres analysens hovedresultat angivet gennem en graf, som viser både CO₂-udledninger og kvadratmeterpris² for alle fire scenarier (dvs. tre typer af renovering samt nedrivning og nybyggeri). Figur 2 nedenfor viser et eksempel på case nr. 12, som er et etagebyggeri. De blå og grå søjler i figuren illustrerer CO₂-udledningen (blå er udledninger som følge af bygningens drift og grå er udledninger som følge af byggematerialerne). De røde trekanter viser omkostningerne ved bygningen.

Figuren viser, at omkostningerne ved at renovere bygningen er meget lavere for alle typer af renoveringer (ca. 4-5.000 kr. pr. kvadratmeter) end for et nybyggeri (ca. 13.000 kr. pr.

¹ Dansk Byggeri 2019, "Byggeriets Energianalyse 2019" from https://www.danskyggeri.dk/media/37418/klausuleret-byggeriets-energianalyse_2019_samlet.pdf

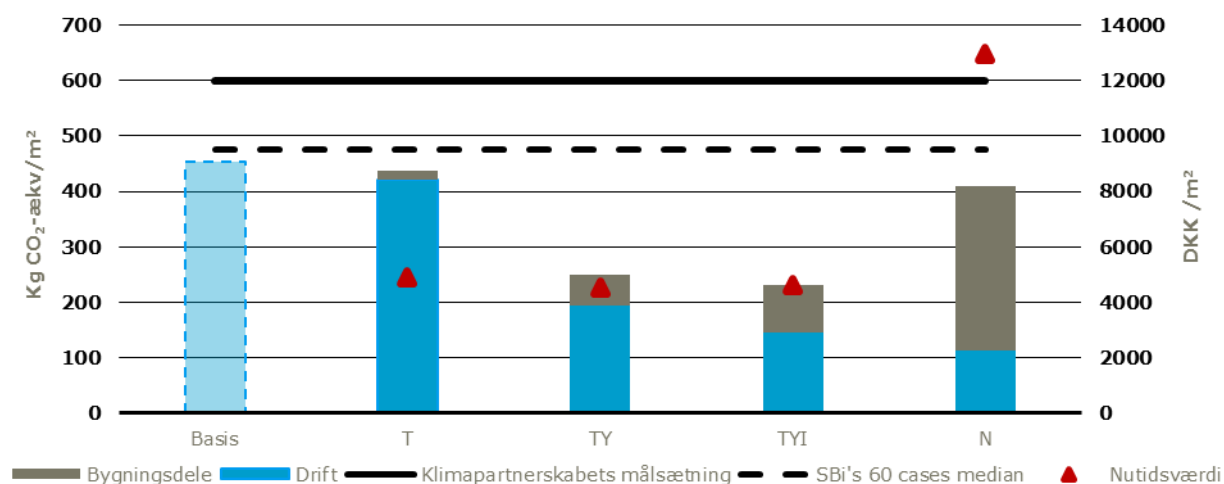
² Som mål for byggeriernes økonomi er den samlede totaløkonomi beregnet og angivet som en nutidsværdi pr. m².

kvadratmeter). Samtidig er CO₂-udledningerne markant lavere i to af renoveringsscenarierne (tag og ydervæg, TY, samt tag, ydervæg og installation, TYI).

Analysen viser altså, at det bedre kan betale sig for bygningsejeren at renovere bygningen, *både* når det gælder økonomi, og når det gælder CO₂-udledninger, så længe bygningsejeren renoverer både tag og ydervægge. Hvis bygningsejeren vælger kun at renovere taget, er omkostningen væsentlig lavere end ved nybyggeriet, men CO₂-udledningerne lidt større end nybyggeriet.

Figuren viser også, at alle fire scenarier overholder den absolutte grænse for CO₂-udledninger, som regeringens klimapartnerskab for byggeri og anlæg har foreslået³. Dette er illustreret ved den fuldt optrukne sorte linje. Endelig illustrerer den, at alle cases har en lavere CO₂-udledning end medianen i SBi's rapport *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*, som udgør referencegrundlaget for denne rapport⁴.

CASE 12: KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR



Figur 2 Eksempel på præsentationen af analysen af en bygningscase

³ Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, Regeringens klimapartnerskaber, 2020

⁴ SBi's rapport, *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*, er udarbejdet i 2019 for Trafik, Bygge- og Boligstyrelsen med formålet at etablere et datagrundlag for opstilling af mulige referenceværdier. Rapporten indeholder klimapåvirkninger på 60 cases udarbejdet med den LCA-metode, som anvendes i Danmark, og som også har ligget til grund for de resultater, som er produceret i denne rapport. Resultaterne i denne rapport sammenlignes derfor med resultaterne fra de 60 cases for at vise sammenhæng. Kilde: *Klimapåvirkning fra 60 bygninger – muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger*, Zimmermann, R. K., Andersen, C. E., Kanafani, K., & Birgisdottir, H. (2020). SBI 2020:04.

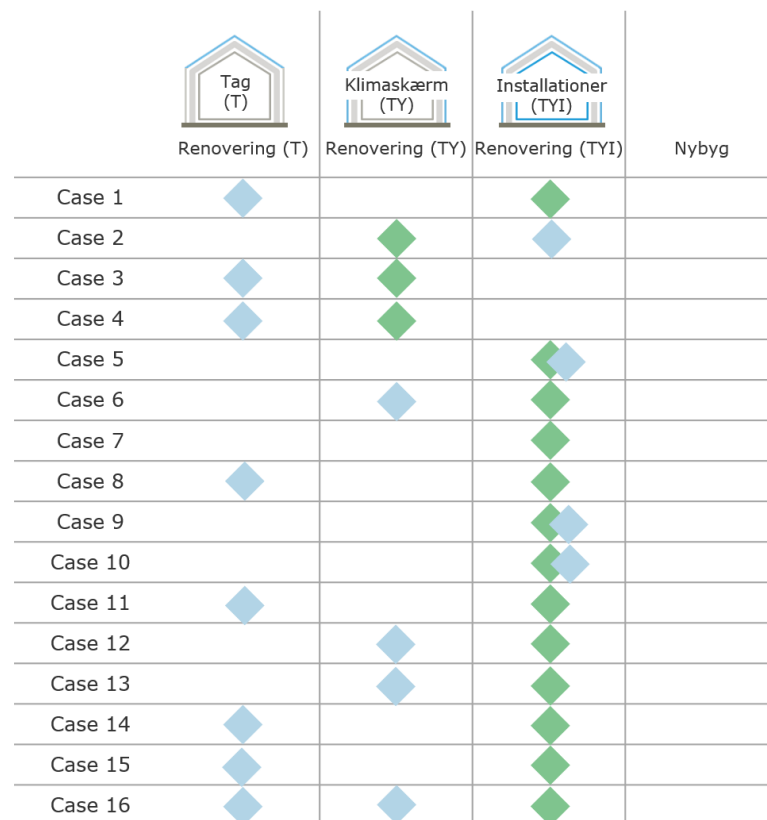
3. SAMMENFATNING

Denne analyse er baseret på 16 casestudier af enfamiliehuse, etageboliger, offentlige bygninger og erhvervsbygninger. De 16 cases sammenligner bygningernes klimaeffekt og totaløkonomi i henholdsvis tre renoveringsscenarier- og et nybygscenarie. Analysen er den første af sin slags i en dansk kontekst, men bygger videre på konklusioner foretaget af Statens Byggeforskningsinstitut.

3.1 Det er miljømæssigt og totaløkonomisk fordelagtigt at renovere

Analysen viser, at det er mest fordelagtigt – både miljømæssigt og totaløkonomisk - at renovere frem for at rive ned og bygge nyt. Samtlige 16 cases i denne analyse viser, at en renovering er mest fordelagtig både ift. klimapåvirkning og totaløkonomi. De 16 bygningscases repræsenterer forskellige bygningstypologier, som strækker sig fra enfamiliehuse, rækkehuse, etagebyggerier, erhvervsbyggeri og offentligt byggeri (se afsnit 4), og er udvalgt således, at de repræsenterer et bredt udsnit af bygningsfunktioner, materialevalg og lokationer.

Figur 3 nedenfor viser resultatet for de 16 bygningscases. Figuren viser, at de laveste økonomiske omkostninger og den laveste klimapåvirkning i alle 16 cases ligger i en af de tre typer af renovering, som er omfattet af analysen.

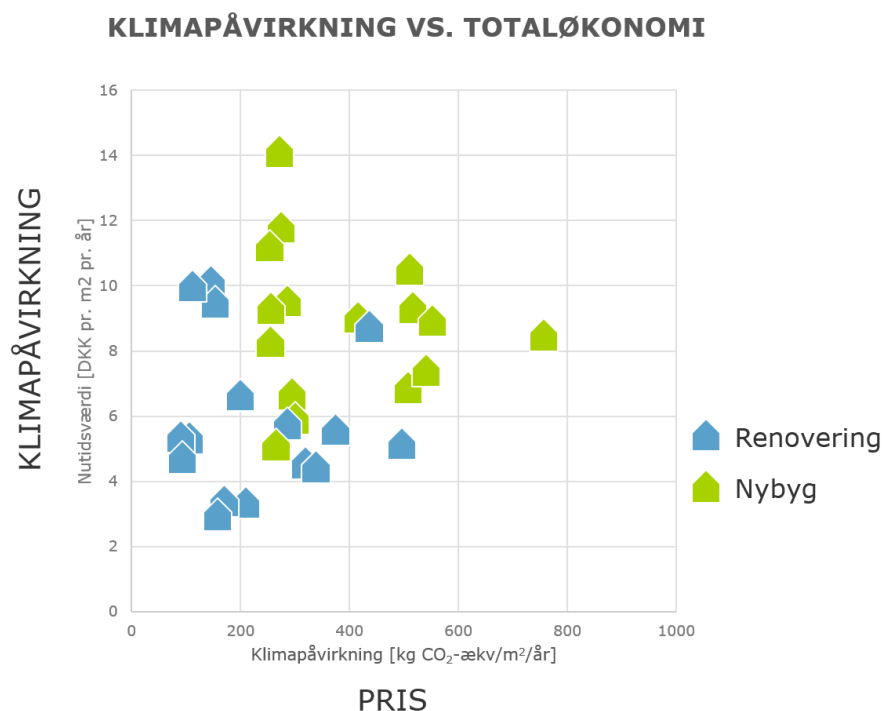


Figur 3 Resultatoversigt for de 16 cases som synliggør hhv. laveste miljøpåvirkning og laveste totaløkonomi over en 50-årig betragtningsperiode

Figur 3 viser også, at renovering har både lavere klimaeffekt og totaløkonomiske omkostninger sammenlignet med nybyg, men illustreret som forholdet mellem et casebyggeris klimapåvirkning og totaløkonomi fra hhv. nybyggeri og renovering.

I figur 4 ses klimapåvirkning målt i CO₂-udledning, samt de totaløkonomiske omkostninger angivet i nutidsværdi i DKK for alle 16 bygningscases. Resultaterne er vist for to af scenarierne;

det fulde renoveringsscenarie (TYI), hvor både tag, klimaskærm og installationer udskiftes, samt nybygscenariet. Det fulde renoveringsscenarie er udvalgt, da det er det scenarie, der overvejende har lavest klimapåvirkninger af de tre renoveringsscenarier. Resultaterne er illustreret per m² bruttoareal. De beregnede klimapåvirkninger baserer sig på livscyklusvurderinger, som omfatter produktion af byggematerialer ved opførelse og udskiftning undervejs, energiforbrug til bygningsdrift, samt affaldsbehandling og bortskaffelse ved nedrivning. Som mål for byggeriernes økonomi er den samlede totaløkonomi beregnet og angivet som en nutidsværdi. Nutidsværdien repræsenterer således bygningernes samlede omkostninger til opførelse, drift og vedligehold, evt. udskiftning af bygningsdele, renhold samt udgifter til forsyning af energi og varme. Livscyklusvurderingerne og de totaløkonomiske beregninger er baseret på en 50-årig betragtningsperiode.



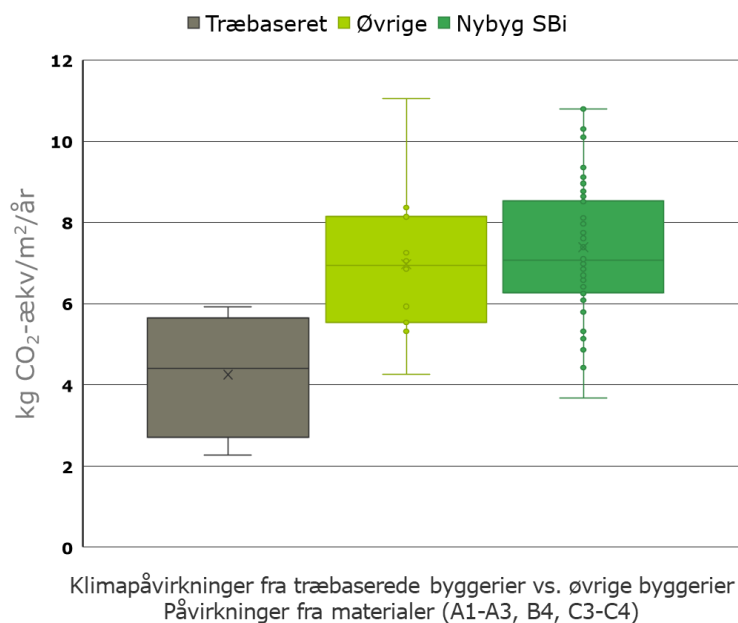
Figur 4 Sammenligning af klimapåvirkningerne vs. totaløkonomien ved hhv. renovering og nybyggeri for de 16 bygningsscases

Jo længere en bygningsscase ligger ud ad x-aksen, jo dyrere er bygningen at eje og drive. Jo længere den ligger op ad y-aksen, jo større er klimabelastningen fra bygningen. Figur 4 viser en klar tendens til, at nybyg, som er illustreret med grønne ikoner, har højere miljøpåvirkninger, samt er mere omkostningsfyldte end renoveringsscenarierne, som er illustreret med blå ikoner. Figuren viser også, at der er betydelig variation mellem bygningsscases indenfor nybyg såvel som renovering.

3.2 CO₂-udledningen i nybyggeri er afhængigt af de valgte byggematerialer

Når det skal vurderes, hvorvidt det giver mening at renovere eller at rive ned og bygge nyt, er det også vigtigt at være opmærksom på, hvilke materialer som bliver anvendt til det nybyggede byggeri. For at sikre sammenlignelighed imellem scenarierne hhv. T, TY, TYI og N er der i dette studie, antaget samme anvendelse, udformning og materialer for de fire sammenlignede scenarier. Men sammenlignes der på tværs af cases, ses der en stor spredning i klimapåvirkningen fra nybyggerierne, hvilket er illustreret på Figur 5. Forskellen i klimapåvirkning per nybygget kvadratmeter skyldes i høj grad bygningens materialevalg. Store dele af de

indlejrede klimapåvirkninger kommer ofte fra konstruktionerne, og analyseres der på tværs af bygningscases, ses der en tendens til, at klimapåvirkningen er lavere i træbaseret byggeri end den er i mere konventionelle bygninger af stål, beton og teglbyggeri.



Figur 5 Materialernes betydning ved nybyggeri

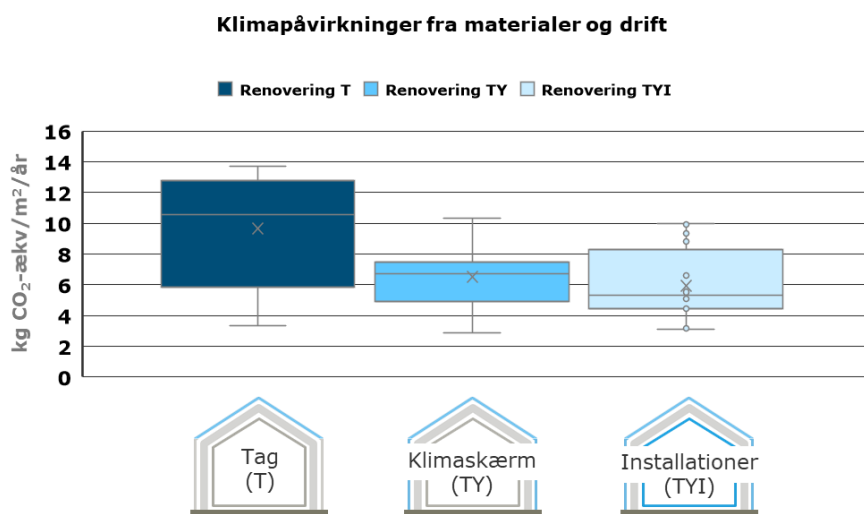
3.3 Omfanget af renovering har betydning for klimavenligheden

Det har også betydning for CO₂-udledningen, hvor omfattende renoveringen er. De primære klimapåvirkninger og omkostninger ved gamle bygninger findes i driften af bygningen, hvilket skyldes en utæt og ringe isoleret klimaskærm. Det modsatte gør sig gældende for nybyg, her vil byggeriets beregnede energiforbrug ofte være lavt, mens de primære miljøpåvirkninger vil stamme fra materialerne anvendt til opførelsen af bygningen. Ligeledes er anskaffelsesprisen betydeligt højere for nybyggeri, mens forsyningsomkostningerne er lave.

Resultaterne af den gradvise renovering for alle 16 bygningscases er illustreret i Figur 6. Her ses de tre renoveringssteps bestående af først en tagrenovering (T), dernæst en renovering af klimaskærmen dvs. tag og ydervægge inklusiv bl.a. vinduer (TY) og til sidst en renovering af hele klimaskærmen og tekniske installationer (TYI). Det ses, at på de tre renoveringsniveauer fås en markant forbedring af resultat for klimabelastning ved at renovere tag, ydervægge og vinduer (TY) sammenlignet med alene en tagrenovering (T). Ses der på gennemsnittet af TY og TYI, er der også en væsentlig forbedring, når installationerne renoveres, men kigges der på hele intervallet for de to scenarier, er der ikke den store forskel på klimapåvirkningen over 50 år.

Dette indikerer, at investeringen i nye installationer for nogle af bygningerne, under de givne antagelser, ikke vil tjene sig hjem i et mindsket driftsforbrug. Denne tendens ses især i de mindre installationstunge kategorier såsom boliger, hvorimod der for erhvervs- og offentligt byggeri ses en væsentlig forbedring fra renoveringsscenarierne TY til TYI. Der gøres desuden opmærksom på, at man i boliger ikke medregner elektricitet til lys i energirammeberegningen i modsætning til erhvervsbyggeri. Derfor kan udskiftning til LED lys i renoveringsscenariet TYI også være en medvirkende årsag til en højere gevinst i erhvervsbyggerierne. Selvom investeringen i nye installationer ikke nødvendigvis tjenes hjem i et klimaperspektiv, er der dog stadig andre grunde,

så som forbedret indeklima, akustik og komfort for brugerne, som bør medtages i en helhedsbetragtning ved en eventuel renovering.

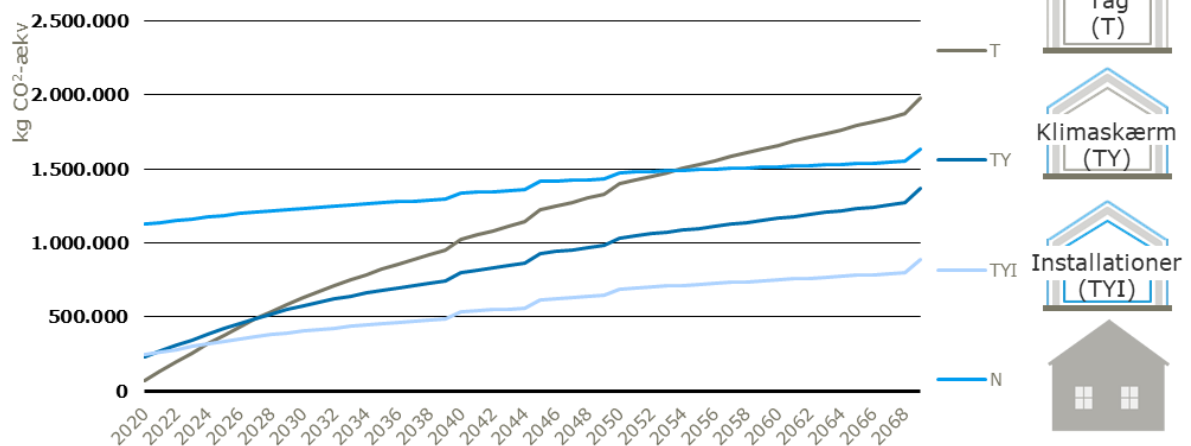


Figur 6 Klimapåvirkningerne fra en gradvis øget renovering

3.4 CO₂-udledningerne forekommer på forskellige tidspunkter

Der er stor forskel på, hvornår CO₂-udledningen forekommer i hhv. renoveringer og nybyg. Figur 7 nedenfor viser den akkumulerede CO₂-udledning i bygningens levetid. Grafen viser de reelle påvirkninger i løbet af 50 år, og der er derfor i disse grafer medtaget påvirkninger fra det eksisterende byggeri (svarende til den udvidede systemgrænse illustreret i afsnit 5.1). I år 0 for nybyg-scenariet medtages nedrivning af eksisterende byggeri samt opførelse af ny bygning, hvorefter byggeriet driftes og vedligeholdes, indtil det rives ned i år 50. For renoveringsscenarierne udskiftes og tilføres bygningsdele i år 0, hvorefter byggeriet driftes og vedligeholdes, indtil det bortskaffes i år 50 på samme måde som nybyg-scenariet. I løbet af de 50 års betragtningsperiode vil byggerierne udskifte materialer med kortere levetid end 50 år såsom tagpap, installationer og vinduer samt have et årligt driftsforbrug til energi og varme. I år 50 bortskaffes byggeriet, hvilket ses på grafen ved et knæk i år 2069. De akkumulerede grafer synliggør renoveringsscenariernes lave klimapåvirkning i år 0, samt nybyggeriets store klimapåvirkning fra nedrivning og nybyg. Desuden ses det, at renoveringsscenariernes kurver er stejlere grundet det højere driftsforbrug, samt at disse bliver fladere jo mere bygningen isoleres og renoveres. Figur 7 viser, at CO₂-udledningen fra nybyggeriet sammenlignet med CO₂-udledning fra renoveringsscenarierne over en 50-årig periode er markant højere særligt i de første 30 år af perioden.

AKKUMULERET GLOBALT OPVARMNINGSPOTENTIALE CASEBYGGERI 8 ERHVERV



Figur 7 Akkumuleret klimapåvirkning for en erhvervsbygning (Case 8) som illustrerer de forskellige renoveringsscenarier og det tilsvarende nedrivnings- og nybyggerisecenarie.

Illustrationen synliggør, hvornår klimapåvirkningerne finder sted i bygningens levetid og kan således bidrage til beslutningstagning, hvis målsætningen om 70% reduktion i år 2030 skal opnås. Derudover synliggør den akkumulerede graf, hvor hurtigt en materialemæssig investering i f.eks. efterisolering vil tjenes ind set fra et klimasynspunkt. Hastigheden, hvormed fx efterisolering tjenes hjem i et klimaperspektiv, afhænger blandt andet af den enkelte bygningens stand og energiforsyning. De akkumulerede grafer tillader beslutningstagere at prioritere besparelser i dag fremfor potentielle fremtidige besparelser. Denne prioritering kan desuden underbygges yderligere ved, at den data, som repræsenterer påvirkninger i 2020, er faktisk data, mens resten af kurven bygger på antagelser omkring fremtiden, såsom materialernes levetider, bygningernes driftsforbrug og sammensætningen af energiforsyning.

3.5 Følsomhedsanalyse

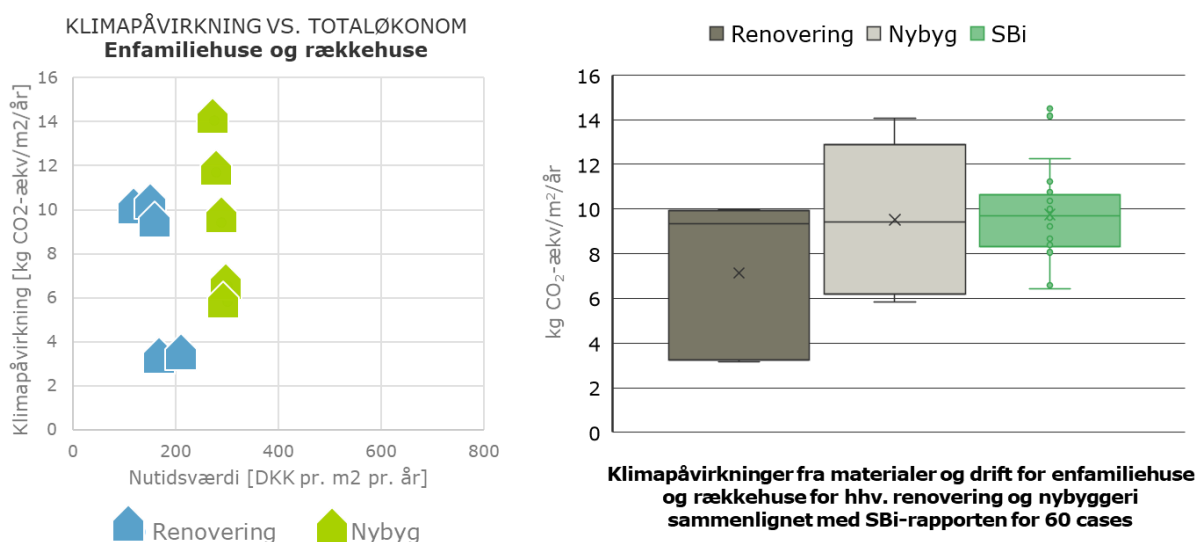
Ved et datagrundlag af høj kvalitet kan robuste og valide resultater opnås, men da livscyklusanalyser ofte forsøger at kvantificere fremtidige miljøpåvirkninger, er dele af analysen efter gængs praksis baseret på antagelser og deraf følger usikkerhed i resultaterne og konklusioner, der drages deraf. Analysens følsomhed kan deles op i to kategorier 1) Følsomme resultater 2) følsomme konklusioner. Forskellen ved de to følsomheder er, at hvis de fire scenariers resultater ændres lige meget, vil konklusionerne om, hvilket scenarie der har højest hhv. lavest påvirkninger forblive uændrede. Er konklusionerne derimod følsomme overfor en antagelse, betyder det, at scenarierne vil påvirkes forskelligt, hvis man havde lavet en anderledes antagelse. Et eksempel på dette er ønsket indeklimatemperatur – ønsker brugere at have højere indendørstemperaturer, end man forventer i energiberegningen, vil driftsforbruget stige forholdsvis mere i et uisoleret hus sammenlignet med et isoleret hus. Identificerede kritiske antagelser, der kunne have påvirkning på denne analyses resultater, er analysens valgte systemgrænser, brug af energirammeberegning til at bestemme bygningens energiforbrug og fremskrivning af energiforsyning. Ud af disse er især brugen af energirammeberegning til energiforbrug identificeret til at være følsom på rapportens konklusioner. Dette skyldes det reelle energiforbrug kan afvige meget fra energirammeberegningens resultater, da denne er baseret på standardparametre. Det bør dog bemærkes, at de kritiske antagelser listet ovenfor også ligger til grund for branchens øvrige analyser, og at det derfor ikke havde været muligt at sammenligne studiet med øvrige studier, såfremt man havde afvejet fra normal praksis.

4. TVÆRGÅENDE ANALYSE

4.1 Enfamiliehuse og Rækkehuse

I analysen er der anvendt data på enfamiliehuse bygget i både træ og beton, et typehus samt en rækkehusbebyggelse og en klyngehusbebyggelse, hvoraf en er karakteriseret ved at være en almen bebyggelse. Bygningerne er beliggende i Aarhus, Syd- og Nordsjælland og København. Af figur 8 fremgår en sammenligning af de pågældende cases klimapåvirkning og totaløkonomi for hhv. renoveringsscenarioet (TYI) og nybyggeriscenarioet. Det ses at nybyggeriscenariet har en højere klimapåvirkning pr. m² pr. år og en højere nutidsværdi pr. m² pr. år sammenlignet med en tilsvarende renoveret bygning.

På grafen til højere er spredningen for renoveringerne tilnærmelsesvis lig spredningen for nybyg. Middelværdien for klimapåvirkning for renovering er ca. 7,1 kg CO₂-ækv pr. m² pr. år sammenlignet med middelværdien for nybyg, der er på ca. 9,5 kg CO₂-ækv pr. m² pr. år. Altså er det mere miljømæssigt fordelagtigt at renovere. Sammenlignet med data fra SBI's cases for enfamiliehuse og rækkehuse er middelværdien for nybyggeri på samme niveau, mens renoveringsscenarioerne er lavere.

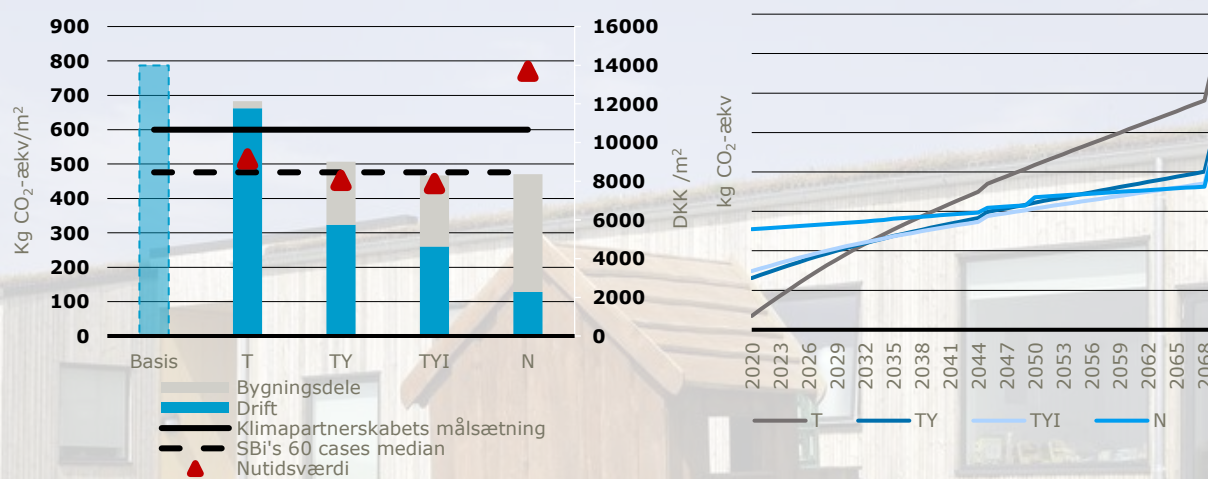


Figur 8 Renovering vs. nybyg af enfamiliehuse og rækkehuse

4.1.1 CASE – ENFAMILIE OG RÆKKEHUSE

Denne case tager afsæt i et typehus bragt tilbage til BR1966 standard. Basiccasen er baseret på en dårligt isoleret og utæt konstruktion, hvilket tydeligt ses på klimapåvirkningen fra energiforbruget. Niveau 1, hvor taget er isoleret, performer derfor lidt bedre end basiccasen, mens de laveste klimapåvirkninger opnås i renoveringsscenarierne hvor hhv. klimaskærm og installationer renoveres (TY & TYI). I denne case har nybyggeriscenariet (N) den næstlaveste påvirkning, men er også det dyreste scenarie i et totaløkonomisk perspektiv. Vægtet LCA og LCC analysernes resultater ligeligt er renoveringsscenarierne, hvor både tag og ydervæg renoveres (TY & TYI), de mest fordelagtige løsninger. Figur 8 viser at for case 5 opnås samtidig lav nutidsværdi og lave miljøpåvirkninger pr. m² ved at lave en gennemgribende renovering af både tag, ydervæg og installationer. Hvor installationer er at tilføre mekanisk ventilation til bygningen.

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI CASEBYGGERI 5 TYPEHUS



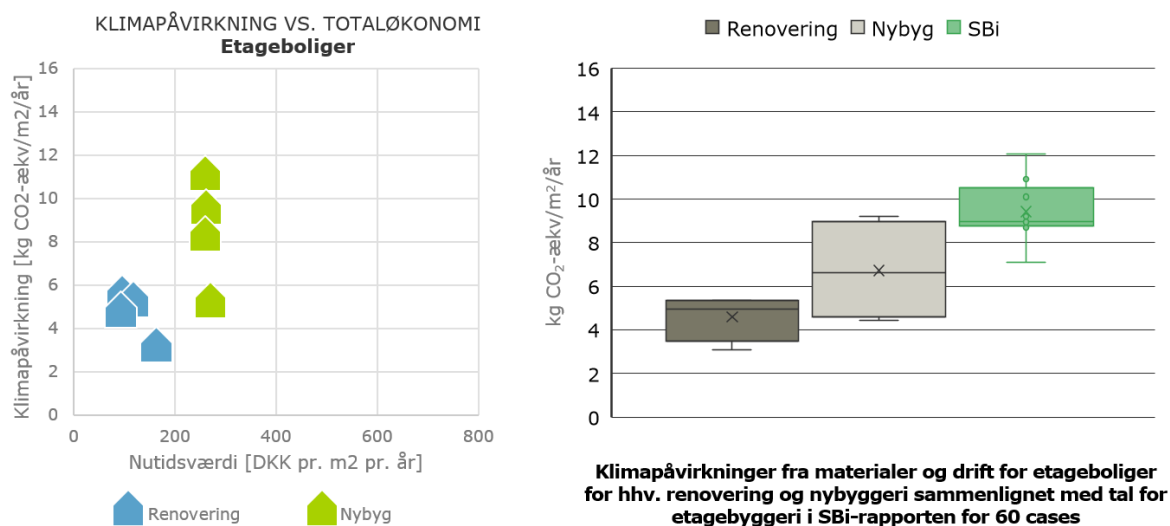
Figur 9 Klimapåvirkning og nutidsværdi for casebyggeri 5.

På Figur 9 ses, at den akkumulerede miljøpåvirkning over 50 år er næsten ens for hhv. TY, TYI og N. I dette tilfælde kunne det være relevant at kigge på, hvornår man ønsker at minimere miljøpåvirkninger – nu eller over en 50-årig periode. I Figur 9 til højre ses den akkumulerede klimapåvirkning over tid, hvor dette aspekt kan bringes ind i diskussionen. Der gøres desuden opmærksom på, at udregningen af driftsenergi samt energiforsyningens sammensætning er baseret på antagelser, hvorimod en besparelse ved opførelse i højere grad er baseret på valg, der træffes i dag.

4.2 Etageboliger

Etageboligerne er præsenteret ved bygninger i varierende størrelse, fra 2 etager til 7 etager og med varierende beliggenhed for eksempel i København og Sønderjylland. En af bebyggelserne er en almen boligbebyggelse, mens materialevalget er repræsenteret både ved træbyggerier samt betonbyggerier.

Af Figur 10 fremgår en sammenligning af de pågældende cases klimapåvirkning og totaløkonomi for hhv. renoveringsscenariet (TYI) og nybyggeriscenariet. For renovering ses en lille spredning modsat nybyggeriscenariet. Middelværdien for klimapåvirkning for renovering er ca. 4,6 kg CO₂-ækv pr. m² pr. år sammenlignet med middelværdien for nybyg, der er på ca. 6,7 kg CO₂-ækv pr. m² pr. år. Altså er det mere miljømæssigt fordelagtigt at renovere. Sammenlignet med data fra SBI cases for etagebyggeri er middelværdien både for renovering og nybyg lavere. Dette kan skyldes, at to af de fire cases er primært træbaserede byggerier i modsætning til SBI's projekter, som er overvejende tungt byggeri med muret bagmur eller betonelementer.

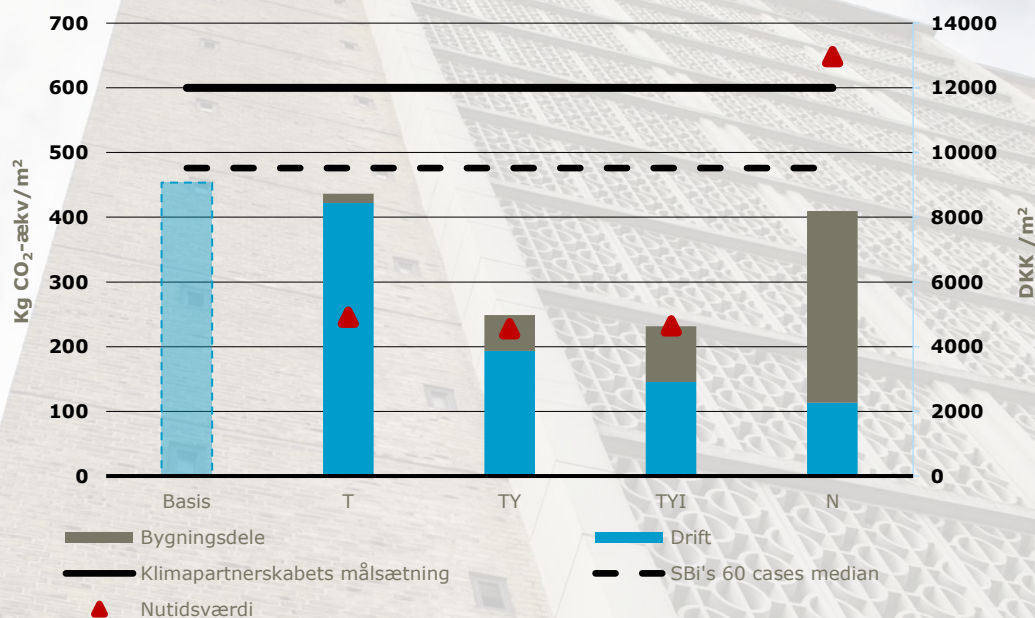


Figur 10 Renovering vs. nybyg af etageboliger

4.2.1 CASE – ETAGEBOLIGER

Denne case tager afsæt i et nyopført etageboligbyggeri på syv etager. Casen føres tilbage til 1966 standard ved at gøre installationerne tidssvarende, nedbringe klimaskærmens isoleringsevne og tæthed og dermed øge bygningens energiforbrug, svarende til en bygning opført i 1966. Dernæst renoveres bygningen gradvist i tre steps som ses i Figur 11. Resultaterne af analysen for denne specifikke case, viser at en renovering af klimaskærmen for et antaget basiscase etagebyggeri efter 1966 standard, kan betyde lavere driftsenergi, og dermed resulterer i en reduktion af klimapåvirkninger og økonomiske omkostninger til drift. Ved sammenligning af de tre renoveringsniveauer (T, TY og TYI) med nybyggeri viser analysen at nybyggeri er betydeligt dyrere set over en 50-årig periode.

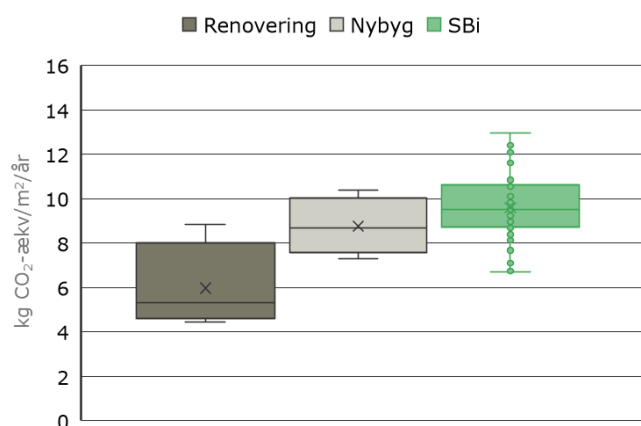
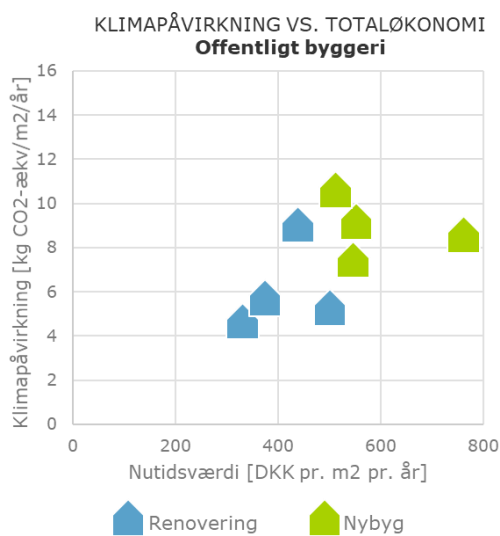
KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR CASEBYGGERI 12 ETAGEBOLIG



Figur 11 Klimapåvirkning og nutidsværdi for etagebolig over 50 år

4.3 Offentligt byggeri

Denne bygningstype er repræsenteret ved både en børneinstitution, en universitetsbygning, en folkeskole og en sundhedsbygning. Der er samtidig også repræsenteret både træ- og betonbyggerier. Byggerierne er beliggende i København, Nordjylland og Nordsjælland. Af Figur 12 fremgår en sammenligning af de pågældende cases klimapåvirkning og totaløkonomi for hhv. renoveringsscenarioet (TYI) og nybyggeriscenarioet. Spredningen for renoveringsscenarioet for byggerierne er større end spredningen for nybyggeri. Middelværdien for klimapåvirkning for renovering er ca. 6,0 kg CO₂-ækv. pr. m² pr. år sammenlignet med middelværdien for nybyg, der er på ca. 8,8 kg CO₂-ækv. pr. m² pr. år. Altså er det mere miljømæssigt fordelagtigt at renovere. Både nybyggeri- og renoveringsscenarioerne har en lavere middelværdi for klimapåvirkningerne end SBis tilsvarende cases for hhv. erhverv, etagebyggeri og andet byggeri.



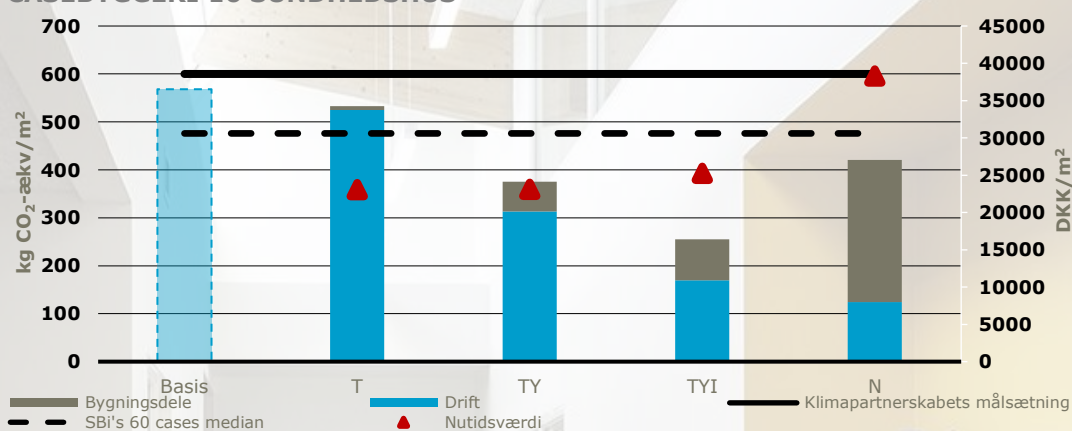
Klimapåvirkninger fra materialer og drift for offentligt byggeri for hhv. renovering og nybyggeri sammenlignet med tal for kontorbygninger i SBI-rapporten for 60 cases

Figur 12 Renovering vs. nybyg af offentligt byggeri

4.3.1 CASE – OFFENTLIGT BYGGERI

Dette casestudie er baseret på et nybygget sundhedshus. Basiscasen tager udgangspunkt i et byggeri efter 1966 standarden med ringe isolering og utæt konstruktion. Det ses her at en energirenovering af klimaskærmen kan give et betydeligt lavere driftsenergi, hvilket resulterer i både en CO₂ reduktion samt lavere økonomiske omkostninger til drift. Desuden viser analysen, at det er betydeligt dyrere at bygge nyt kontra at renovere set over en 50-årig periode for dette casestudie.

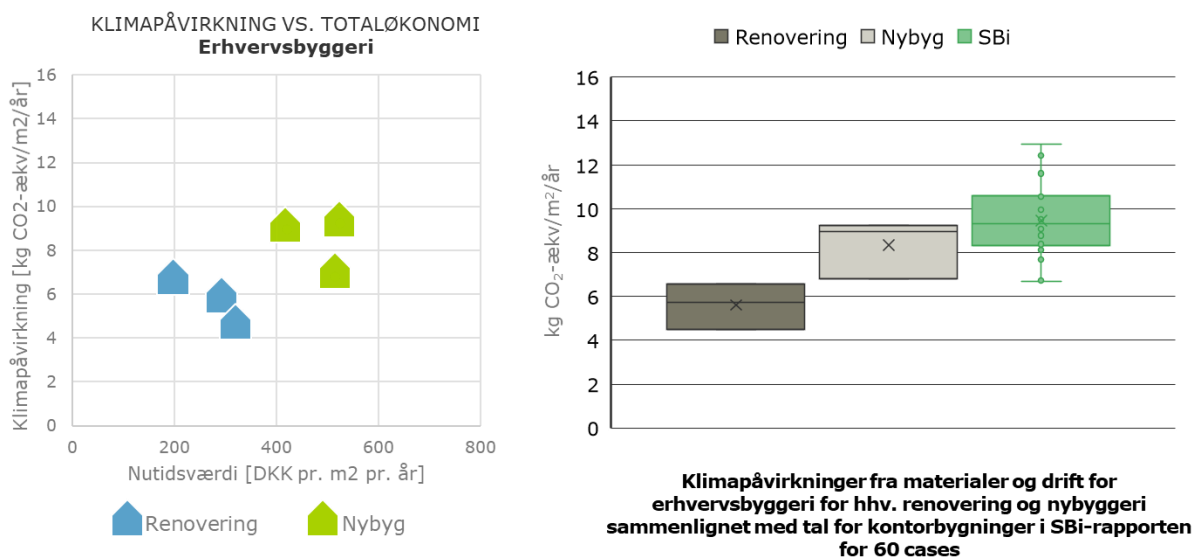
KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR CASEBYGGERI 16 SUNDHEDSHUS



Figur 13 Klimapåvirkning og nutidsværdi for case 16

4.4 Erhvervsbyggeri

For erhvervsbygninger er der tale om administrations- og kontorbygninger beliggende i hhv. Sønderjylland og København. Af Figur 14 fremgår en sammenligning af de pågældende cases klimapåvirkning og totaløkonomi for hhv. renoveringsscenariet (TYI) og nybyggeriscenariet. Spredningen for renoveringsscenariet for byggerierne er større end spredningen for nybyggeri. Middelværdien for klimapåvirkning for renovering er ca. 5,6 kg CO₂-ækv pr. m² pr. år sammenlignet med middelværdien for nybyg, der er på ca. 8,3 kg CO₂-ækv pr. m² pr. år. Altså er det mere miljømæssigt fordelagtigt at renovere. Nybyggeriscenariernes middelværdi for klimapåvirkningerne er i overensstemmelse med SBIs tilsvarende cases for hhv. erhvervsbyggeri, mens renoveringsscenarierne har en lavere middelværdi.

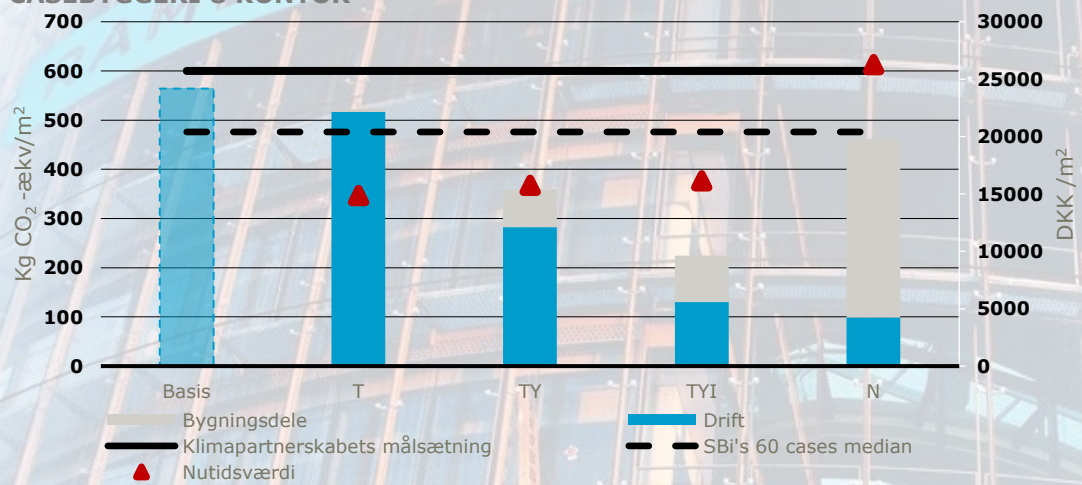


Figur 14 Renovering vs. nybyg af erhvervsbyggeri

4.4.1 CASE – ERHVERVSBYGGERI

Udgangspunktet for denne case er et nybygget kontorhus fra 2020, som føres tilbage til byggestandard efter BR1966, med reduceret isolering i tag og ydervæg. Resultaterne viser at en øget tæthed af bygningen betyder lavere driftsenergi og reducerede økonomiske og klimamæssige omkostninger til drift. Samtidig viser resultaterne at nybyg kontra renovering er dyrere set over en 50-årig periode.

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR CASEBYGGERI 8 KONTOR



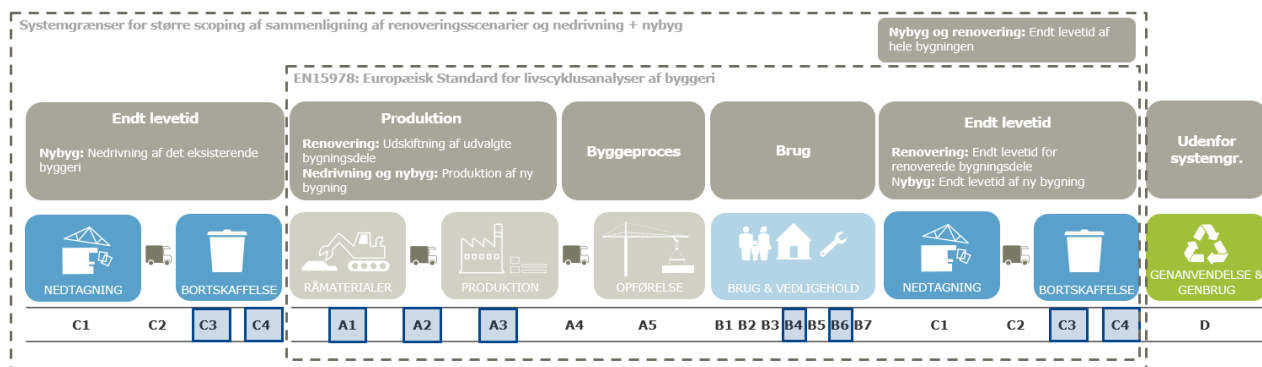
Figur 15 Klimapåvirkning og nutidsværdi for case 8

5. FØLSOMHEDSANALYSE

LCA er en robust og veletableret metode til kvantificering af miljøpåvirkninger fra et systems livscyklus f.eks. en bygning. Ved et datagrundlag af høj kvalitet kan robuste og valide resultater opnås, men da livscyklusanalyser ofte forsøger at kvantificere fremtidige miljøpåvirkninger, er dele af analysen baseret på antagelser og deraf følger usikkerhed i resultaterne og konklusioner der drages deraf. Derfor er det vigtigt at teste de mest kritiske antagelser vha. følsomhedsanalyser. Følsomme inputvariabler er kendetegnet ved en relativ stor indflydelse, som dermed kan føre til en større usikkerhed af resultatet. Følsomt inputdata kan både være relateret til bygningens design, materialevalg, dimensioner og arealer eller faktorer som fx valg af miljødata og levetider, som har betydning for antallet af udskiftninger i betragtningsperioden. Dette afsnit kortlægger og vurderer derfor udvalgte variable følsomheder i livscyklusvurderingen.

5.1 Systemgrænser

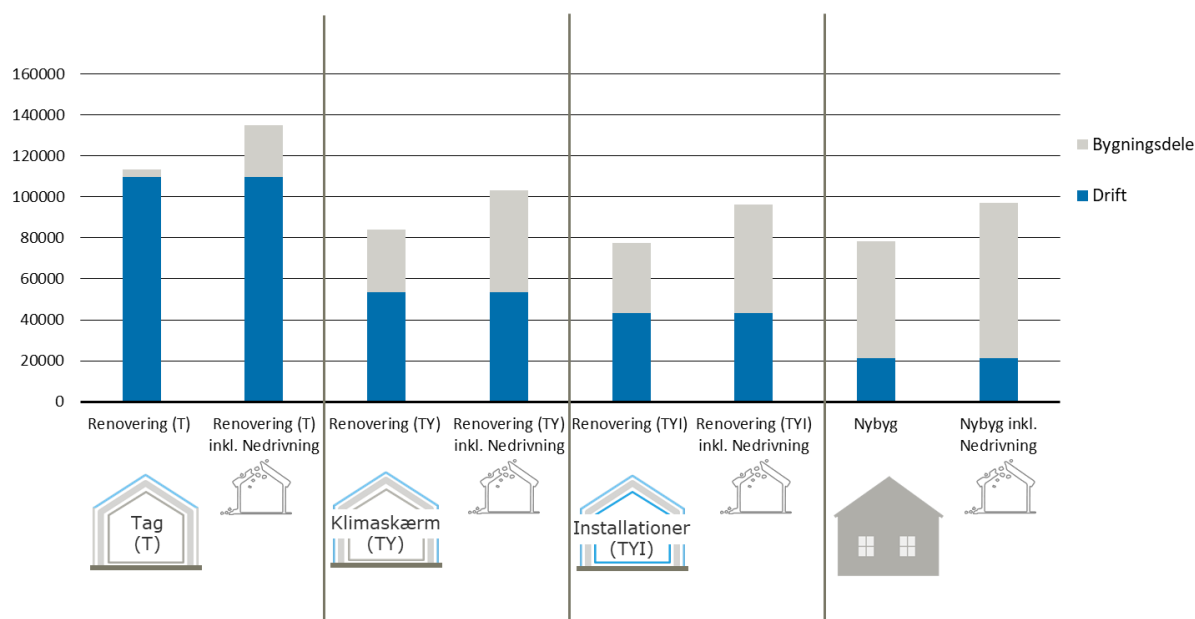
Systemgrænserne i denne analyse er lavet i overensstemmelse med EN15978. Der er derfor ikke medtaget miljøpåvirkninger fra nedrivning af eksisterende byggeri i nybyg scenariet, og ligeledes vedligeholdes og bortskaffes det eksisterende byggeri ikke i renoveringsscenarierne. Denne systemgrænse udvides i dette afsnit således at analyserne inkluderer nedrivningen og udskiftningen af de eksisterende bygningsdele. De nye systemgrænser er illustreret i Figur 16.



Figur 16 Systemgrænser hvor nedrivning og vedligehold af eksisterende byggeri medtages i analysen.

Nedenfor præsenteres resultater for case-byggeri 5 iht. EN15978 svarende til de resultater, som er blevet præsenteret i case-resultaterne samt resultater med en udvidet systemgrænse i overensstemmelse med Figur 16. På resultaterne ses det at driften forbliver den samme, mens en større påvirkning i bygningsdelene fremkommer ved at udvide systemgrænserne. Sammenlignes scenarierne inden for samme systemgrænse, vil de samme konklusioner blive draget, hvilket indikerer, at en negligering af påvirkninger fra det eksisterende byggeri ikke skævvrider resultaterne i denne analyse.

Globalt opvarmingspotentiale over 50 år ihht den Europæiske standard sammenlignet med udvidet afgrænsning inkl. Nedrivning for Casebyggeri 5 Typehus



Figur 17 Globalt opvarmingspotentiale iht. standard EN15978 samt udvidet afgrænsning hvor udskiftning og nedrivning af eksisterende bygningsdele medtages.

5.2 Energiforbrug

Til at repræsentere casebyggeriernes operationelle energiforbrug i driften af byggeriet (B6) er der i dette projekt taget udgangspunkt i bygningernes energirammeberegninger. Denne metode er i overensstemmelse med retningslinjerne for livscyklusvurderinger lavet til DGNB certificeringer og i øvrigt en betingelse for at resultaterne kan sammenlignes med branchens øvrige studier. Ikke desto mindre gøres der opmærksom på, at det tekniske energiforbrug udregnet til energirammeberegninger vil afvige fra bygningernes faktiske energiforbrug. Energirammeberegninger har til formål at dokumentere, at bygningen opfylder bygningsreglementets energibestemmelser og for at behandle alle bygningsejere ens benyttes standardparametre til at udregne energiforbruget, hvilket medfører at resultatet af energiforbruget i energirammeberegningen vil afvige fra de reelle driftstal⁵. I tabel 2 vurderes kvalitativt i hvor høj grad udvalgte standardparametres usikkerheder forventes at have indflydelse på sammenligningen af resultaterne for de tre renoveringsscenarier og nybyg scenariet.

Tabel 2 Kvalitativ analyse af standardantagelser i energirammeberegningernes følsomhed på rapportens konklusioner

Standardantagelse	Beskrivelse	Følsomhed ift. rapportens konklusioner
<i>Usikkerhed*</i>		
Inde temperatur – høj usikkerhed	At brugerne ønsker en anden indendørs temperatur end 20 grader.	Mellem. En ønsket højere indeklimatemperatur vil gøre det mere fordelagtigt at have en velisoleret og tæt klimaskærm, og vil derfor sandsynligvis give nybyg en fordel fremfor renovering.
Anvendelsestid – høj usikkerhed	Eksempelvis at et kontor anvendes mere end 45 timer om ugen.	Mellem. En længere anvendelsestid vil øge driftsforbruget med en faktor, og derved vil en velisoleret tæt bygning i højere grad kunne betale sig.

⁵ <https://www.innobyg.dk/media/54096/usikkerheder%20ved%20energiberegninger.pdf>

Nedsat effektivitet på installationer - høj usikkerhed	I energirammeberegningen antages at installationerne udnyttes med 100% effektivitet	Lav. En nedsat effektivitet vil påvirke scenarierne ens, da bygningernes installationer, anvendelse, udformning og geometri, antages at være den samme.
Vejret - mellem usikkerhed	Vejrforhold der er anderledes end referencevejret anvendt i energirammeberegningen	Mellem. F.eks. vil et ekstra koldt år favorisere nybyg scenariet, da dette er isoleret bedre og ligeledes vil et ekstra varmt år favorisere blot at have renoveret, da den ekstra isolering muligvis ikke vil tjene sig hjem.

* Standardantagelsens usikkerhed på tekniske driftstal kontra reelle driftstal.

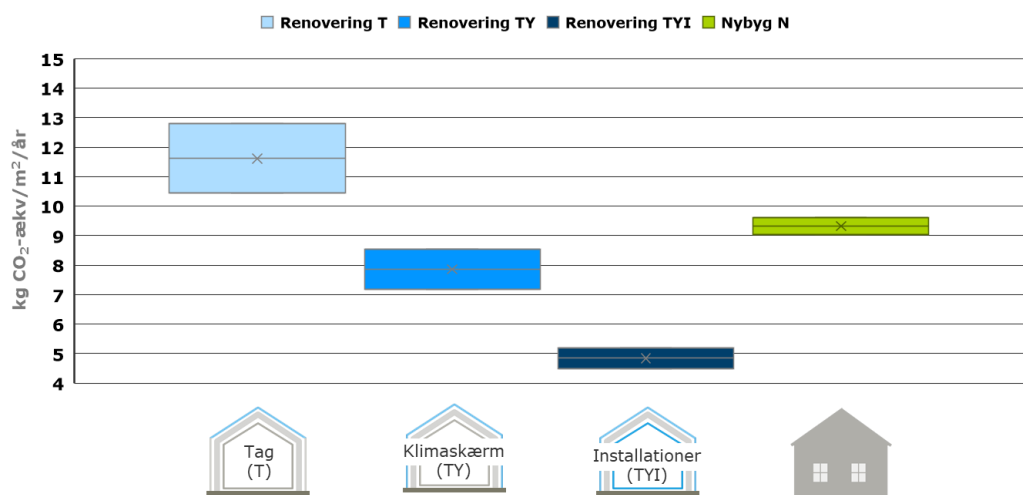
Det bemærkes, at en høj usikkerhed i energiforbrugets beregning ift. det reelle energiforbrug ikke nødvendigvis vil have stor indflydelse på denne rapports konklusioner.

I nedenstående følsomhedsanalyse er energirammeberegningen for case 8, ændret således at den i højere grad vil minde om de faktiske energital. Case 8 er et kontorbyggeri og følgende parametre er identificeret til at kunne medvirke til udregning af mere reelle driftstal:

- Inde temperatur ændres fra 20 til 23 grader
- Anvendelsestiden ændres fra 45 til 60 timer

Resultaterne for følsomhedsanalysen er præsenteret i Figur 18 og viser total klimapåvirkning over 50 år i det interval, som fremkommer imellem energirammeberegningens resultater og det resultat, som fremkommer ved at indføre ovennævnte ændringer.

KLIMAPÅVIRKNING OVER 50 ÅR CASE 8 ERHVERV



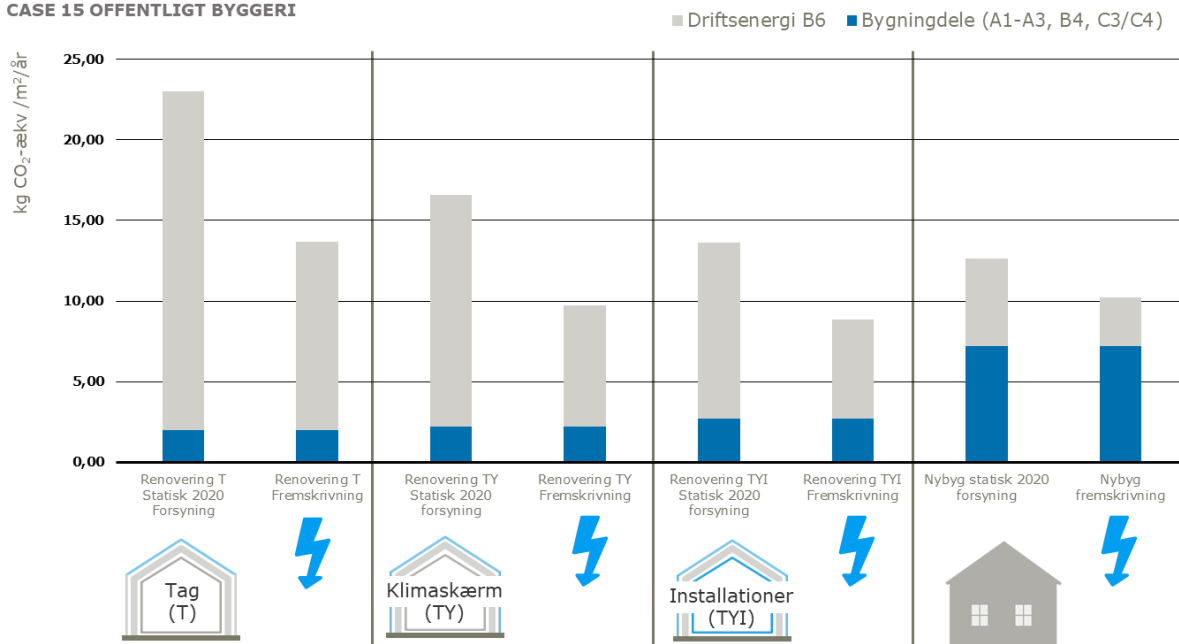
Figur 18 Følsomhedsanalyse af energiforbrug

Det ses i følsomhedsanalysen af energiforbruget, at usikkerheden bliver større på renoveringsscenarierne, hvilket skyldes at energiforbruget generelt er højt i forvejen, hvorimod størstedelen af klimapåvirkningen fra nybyggeriet stammer fra bygningsdelene. Slutteligt bør det dog bemærkes, at der på trods af usikkerheden forbliver uændrede konklusioner omkring hvilke scenarier, som har højest henholdsvis lavest klimapåvirkning, da scenariernes intervaller ikke overlapper.

5.3 Fremskrivning af energiforsyning

I denne analyse er der medtaget en fremskrivning for sammensætningen af energiforsyningen for både el og fjernvarme. Det antages derved, at energiforsyningen vil blive grønnere med tiden, og dermed vil 1kwh udledt i 2020 udlede mere CO₂ end 1 kwh udledt i 2050. Fremskrivningen bygger på fremskrivningen integreret i LCAbyg. Metoden er i øvrigt i overensstemmelse med retningslinjerne for livscyklusvurderinger lavet til DGNB certificeringer. Ikke desto mindre har denne antagelse en stor indflydelse på bygningernes totale klimaaftryk over 50 år illustreret i Figur 19. I Figur 19 ses det totale globale opvarmningspotentiale over 50 år med og uden energifremskrivning for alle renoveringsscenarierne hhv. T, TY, TYI og nybyg scenariet N. Resultaterne af følsomhedsanalysen viser, at ved at medtage energifremskrivninger i stedet for at fastholde 2020 udledninger, så reduceres klimapåvirkningen fra driftsfasen med imellem 44-48% for casebyggeri 16, hvilket medfører, at hele bygningens klimaaftryk reduceres med imellem 19-42% afhængig af fordelingen i klimaaftrykket for drift og bygningsdele.

GLOBALT OPVARMNINGSPOTENTIALE MED ELLER UDEN FREMSKRIVNING
CASE 15 OFFENTLIGT BYGGERI



Figur 19 Globalt opvarmningspotentiale over 50 år med og uden fremskrivning af energiforsyningen

Det bemærkes, at såfremt analysen antager fremskrivning af energien vil renoveringsscenariet TYI være det scenarie, som performer bedst set i et klimaperspektiv, hvorimod antages en statisk energiforsyning, vil nybyg scenariet have den laveste totale påvirkning. Overordnet kan man sige, at en antagelse om at driftsenergien skal fremskrives og dermed bliver grønnere, vil favorisere renoveringsscenarierne frem for nybyg, da driftsenergien er højere i ældre byggeri og resultatet derfor vil blive påvirket forholdsvis mere ved en statisk energisammensætningsantagelse. Ligeledes ville en antagelse om at energiforsyningen bliver hurtigere grøn end fremskrivningen antager, føre til en større favorisering af renoveringsscenarierne end denne analyse viser. Der gøres derfor opmærksom på, at resultaterne og konklusionerne i denne rapport i den grad er følsomme overfor antagelser for energifremskrivningen, dog viser følsomhedsanalysen for case 16, at konklusionerne forbliver uændrede for hhv. T, TY og TYI uafhængig af antagelsen omkring fremskrivning eller ej.

6. METODEBESKRIVELSE

6.1 Om livscyklusanalyser






En livscyklusanalyse (LCA) anvendes til at identificere en byggevarer, bygningsdel eller bygnings miljøpåvirkning igennem hele livscyklussen. Fra udvindingen af råmateriale, produktion og transport, til installationen på byggepladsen og vedligehold og udskiftning igennem bygningsdriften og afslutningsvis miljøpåvirkningerne ved endt levetid, når materialet, byggekomponenten eller bygningen skal bortskaffes eller genanvendes. Den miljømæssige konsekvens af hhv. renovering samt nedrivning og nybyg beregnes for hver af de 16 cases i form af hhv. CO₂-ækv./m²/år for en betragtningsperiode på 50 år.

6.2 Om totaløkonomisk beregning

En totaløkonomiskberegning går også under forkortelsen LCC, som står for 'Life Cycle Cost' og er en beregning af levetidsomkostningerne for en byggevarer, bygningsdel eller bygning. Det er altså ikke kun anlægsomkostningerne som tages i betragtning, men også omkostninger til vedligehold og udskiftning af materialerne samt omkostninger til rengøring. En totaløkonomisk tilgang kan bruges som et vigtigt værktøj til at optimere en bygningsdels design, således at de samlede omkostninger gennem levetiden reduceres mest muligt. Den totaløkonomiske beregning foretages for 50 år og resultatet opgives i DKK/m²/pr. nutidsværdi, som er et udtryk for summen af de tilbagediskonterede fremtidige pengestrømme.

6.3 Driftsenergi

Driftsenergi for de tre renoveringsscenarier samt nybyg-scenariet er for de fleste cases baseret på casestudiernes energirammeberegninger. For nybyggeri lever disse energirammer op til BR15 eller BR18 og er anvendt til nybyggeriet. For at udregne driftstal for T, TY og TYI er denne energiramme blevet ændret til dårligere isoleret og utæt klimaskærm, fjernet mekanisk ventilation, fjernet solceller o.l. – alt i overensstemmelse med det gældende bygningsreglement BR1966. Eksempel:

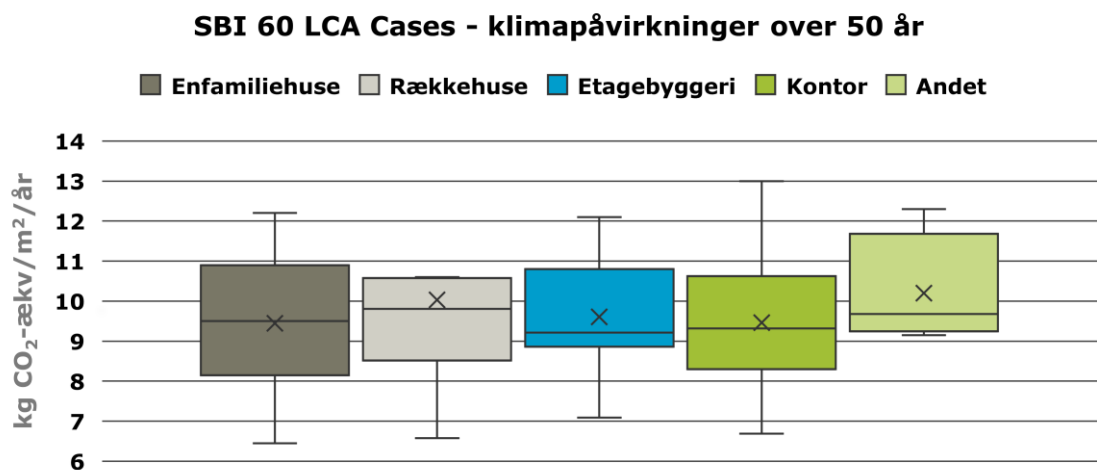
Basis Case	Renovering			Nybyggeri
Niveau 0	Niveau 1: Tag (T)	Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)	Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)	Nybyg (N)
				
Bygning fra 1970 der overholder BR1966.	Tag efterisoleres svarende til nybyg scenariets energirammeberegning (BR15 eller BR18 krav). Bygningens lufttæthed øges ved tilførsel af ny dampspærre.	Tilsvarende scenarie T samt efterisolering af ydervægge svarende til nybyg scenariets energirammeberegning (BR15 eller BR18 krav). 2-lags vinduer udskiftes med 3-lagsvinduer. Som resultat af ovenstående tiltag, øges bygningens tæthed.	Tilsvarende scenarie TY samt tilførsel af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding samt opgradering af belysningssystem for erhverv- og offentlige byggerier.	Gældende Energirammeberegning BR15 eller BR18 OBS. Dette scenarie svarer til TYI men tilførsel solceller, forbedret terrændæk, fundamentslinjetab, varme- og brugsvandssystem.

Figur 20 Metode til udregning af driftsenergi.

For bygninger hvor energirammer ikke har været tilgængelige, da det ikke altid er et krav ved renovering at lave energirammeberegninger, er der anvendt energirenoveringseksempler fra eksempelsamlingen udviklet af Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen⁶. eksempelsamlingen tager udgangspunkt i et eksisterende byggeri og beregner effekten af enkeltstående energiforbedrende tiltag samt kombinationen af disse.

For de teoretiske renoveringsscenarier er de anvendte konstruktioner i de gamle bygninger bestemt i overensstemmelse med det gældende bygningsreglement ved den fastlagte opførelse af bygningerne.

Case byggerierne som udgøres af faktiske renoveringsprojekter, er ikke i overensstemmelse med bygningsreglementet 2018 og derfor er nybyg-scenariet simuleret ved hjælp af SBi's rapport for 60 casestudier⁷. Nedenfor er SBi's rapportens datasæt præsenteret for klimapåvirkninger per m² pr. år for forskellige bygningstypologier angivet i boxplots. Ligeledes er bygningernes totaløkonomi baseret på molioprisdata for nybyggeri.

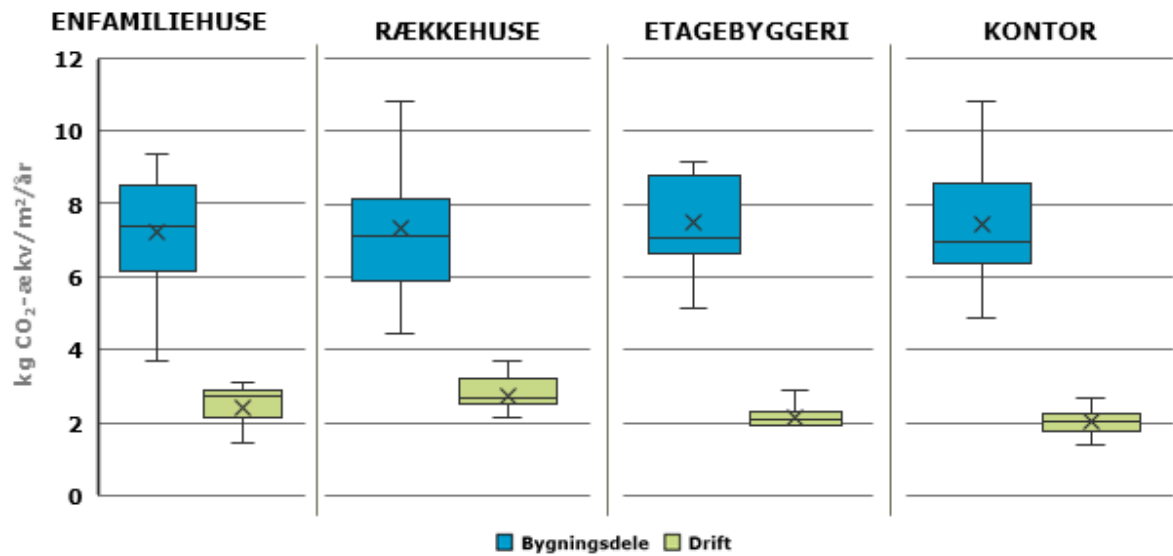


Figur 21 SBI 60 LCA Cases klimabelastning over 50 år.

Den typologi der bedst repræsenterer case byggerierne funktion er valgt til at repræsentere et nybyg scenarie. Nedenfor er datasættene opdelt i klimapåvirkninger forbundet med materialer og klimapåvirkninger forbundet med driftsenergi. I case præsentationerne vil klimapåvirkningen forbundet med nybyggeriet være givet ved datasættets median for hhv. bygningsdele og drift.

⁶ Eksempelsamlingen "Beregningseksempler om Energi" <https://eksempelsamling.bygningsreglementet.dk/beregningseksempler>

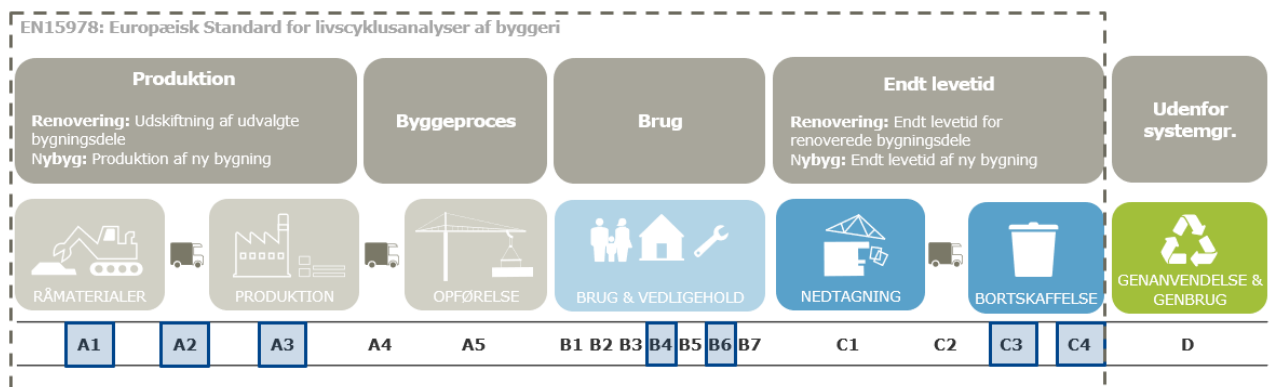
⁷ SBI 2020:04 Klimapåvirkning fra 60 bygninger – Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger



Figur 22 SBI 60 LCA Cases klimabelastning over 50 år.




6.4 Metode – LCA

I beregningerne er medtaget de livscyklusfaser, som fremgår i nedenstående figur i overensstemmelse med EN15978.



Figur 23 Byggeriets livscyklus og definerede systemgrænser iht. EN1515978

I nedenstående skema beskrives de medtagne processer. Det bemærkes her, at der i nybyggeri jf. standarden ikke medtages nedrivning af det eksisterende byggeri og ligeledes at der for renovering ikke medregnes påvirkninger fra det eksisterende byggeri.

	Produktion (A1-A3) inkluderer udvinding af råmaterialer, transport til fabrik samt produktion af byggematerialer.
	I brugsfasen medregnes udskiftning af materialer (B4) som baseres på materialernes forventede levetider samt energiforbruget i driften (B6).
	Ved endt levetid beregnes materialernes affaldsbehandling (C3 og C4) eksempelvis forarbejdning før genanvendelse, forbrænding og deponering af materialer.

Sammenlignelighed (Funktional enhed)

For at sikre sammenligneligheden mellem case-variationerne er bygningens funktion, geometri og størrelse ens for de tre renoveringsscenarier samt nybyg scenariet.

Betragtningsperiode

Bygningens betragtningsperiode er sat til 50 år. Byggematerialernes levetider er baseret på SBI anvisning 2013:30, som indeholder en levetidstabel for byggematerialer⁸, hvilket også er de levetider, som er integreret i beregningsværktøjet LCAbyg.


LCA-værktøj og data

Analyserne er lavet i LCAbyg, som er et værktøj til at beregne livscyklusvurderinger af bygninger, udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, SBI. Til analysen er anvendt generisk data fra Ökobaudat⁹, samt branchespecifikke EPD'er¹⁰.

Vurdering af påvirkningspotentialer

I dette studie fokuseres udelukkende på scenariernes globale opvarmningspotentiale (GWP¹¹) målt i kg CO₂-ækvivalenter. Resultater angivet som CO₂-ækv. er et udtryk for, at drivhusgasser, som metan og lattergas, også er medtaget og omregnet til en fælles enhed: CO₂-ækvivalenter. Øvrige miljøpåvirkningspotentialer var ikke fokus for denne opgave, hvorfor de ikke formidles i denne rapport. Ved beslutningstagning bør de øvrige miljøpåvirkningspotentialer også analyseres og inddrages.

Tabel 3 Påvirkningspotentialer

Miljøpåvirkningskategorier	
Global opvarmning, GWP* [CO ₂ - ækvivalenter]	 <p>Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimaændringer til følge.</p>

⁸ <https://sbi.dk/Pages/Levetider-af-bygningsdele-ved-vurdering-af-baeredygtighed-og-totaloekonomi.aspx>

⁹ <https://www.oekobaudat.de/en/database/database-oekobaudat/daten/db1.html#bereich1>

¹⁰ En tredjepartsverificeret LCA for et produkt efter gældende EN standard kaldes en miljøvaredeklaration eller en EPD, som står for 'Environmental Product Declaration'.

¹¹ Global Warming Potential (GWP)

6.5 Metode – LCC

I den totaløkonomiske beregning kortlægges bygningens omkostninger over hele byggeriets levetid. I denne analyse betyder det, at der medtages anskaffelsesværdier, vedligeholdelsesomkostninger udskiftning af bygningsdele, renholdsudgifter samt forsyning af el og varme.

LCC-værktøj og data

Analysen er foretaget i LCC-værktøjet LCCbyg udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, SBI nu BUIILD. I værktøjet er integreret standard-prisudviklinger for de typiske omkostninger til bl.a. energi, renovation og vandforsyning samt reparation og vedligeholdelse. Til prissætning af anskaffelsesværdier, renoveringspriser samt driftspriser til renhold og vedligehold er MOLIO prisdata anvendt. De anvendte priser findes i bilag 2. Priser til forsyning af el og varme er der anvendt LCCByg's standardpriser på hhv. 1,77 kr./kWh el og 0,52 kr./kWh fjernvarme. Der er antaget fjernvarmeforsyning for alle byggerier for at sikre sammenlignelighed.

Vurdering af økonomisk kvalitet

Resultatet af levetidsomkostningerne opgøres i nutidsværdi. Nutidsværdien er et udtryk for hvor mange penge, der skal sættes til side i dag for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden med den valgte kalkulationsrente. Kalkulationsrenten er betegnelsen for den renteprocent eller omregningsfaktor, som anvendes ved beregningen af nutidsværdien. Jo højere rente, jo lavere er nutidsværdien i dag af de omkostninger og indtægter, som ligger ude i fremtiden.

BILAG TIL RAPPORT

Version **1**
Udarbejdet af **Lise Hvid Horup Sørensen & Mathilde Mattson**
Kontrolleret af **Christine Collin**

Dato 28-10-2020

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

Case byggerier

Case byggerierne i dette studie repræsenterer både nybyggeri fra projekter af nyere dato samt renoveringsprojekter og derved byggerier fra ældre tid. I nedenstående skema ses en oversigt over casestudierne samt oprindelses år.

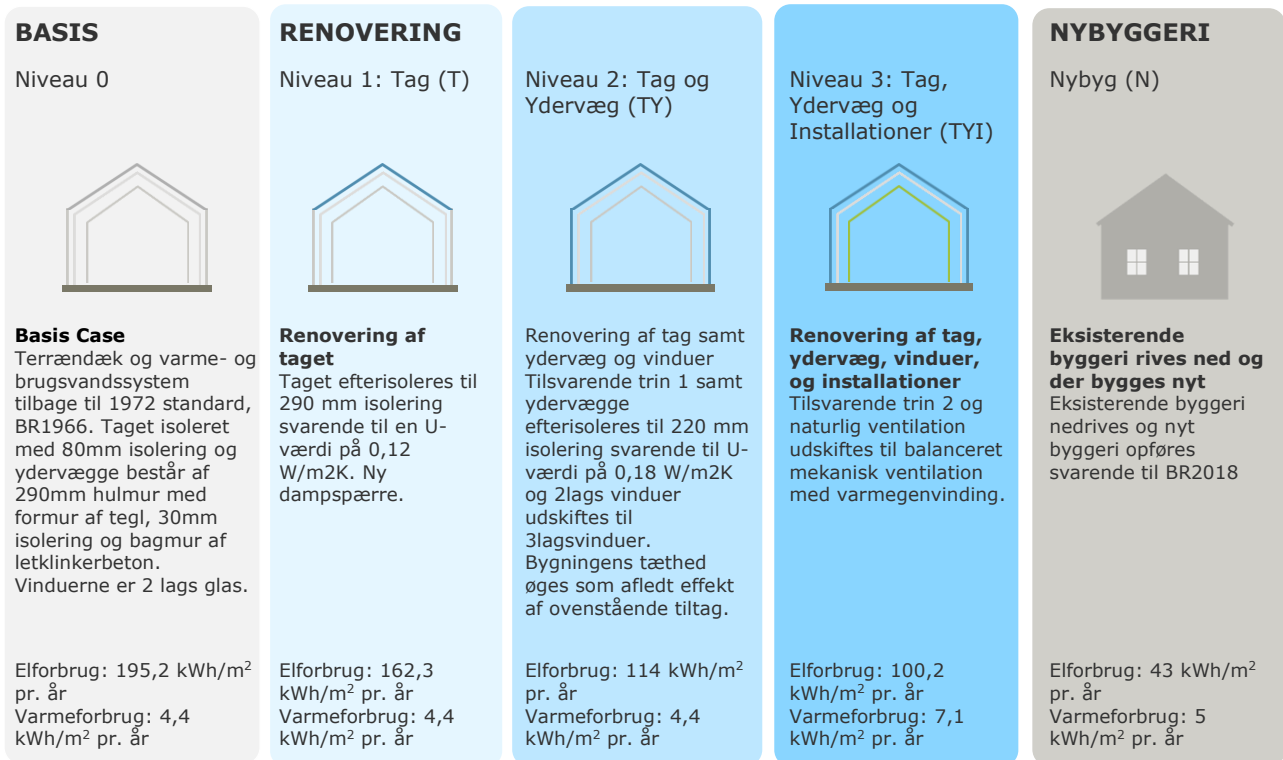
Tabel 1: Oversigt over casestudier

CASE	Renovering	Nybyggeri
CASE 1 Enfamiliehus & Rækkehus	1970/2016	
CASE 2 Enfamiliehus & Rækkehus		2018
CASE 3 Enfamiliehus & Rækkehus		2018
CASE 4 Enfamiliehus & Rækkehus		2019
CASE 5 Enfamiliehus & Rækkehus		2019
CASE 6 Erhvervsbyggeri	1750/2020	
CASE 7 Erhvervsbyggeri	1992/2022	
CASE 8 Erhvervsbyggeri		2022
CASE 9 Etageboliger	1906/2018	
CASE 10 Etageboliger	1866/1940/2015	
CASE 11 Etageboliger		2020
CASE 12 Etageboliger		2022
CASE 13 Offentlige byggerier	1966/2022	
CASE 14 Offentlige byggerier		2017
CASE 15 Offentlige byggerier		2018
CASE 16 Offentlige byggerier		2022

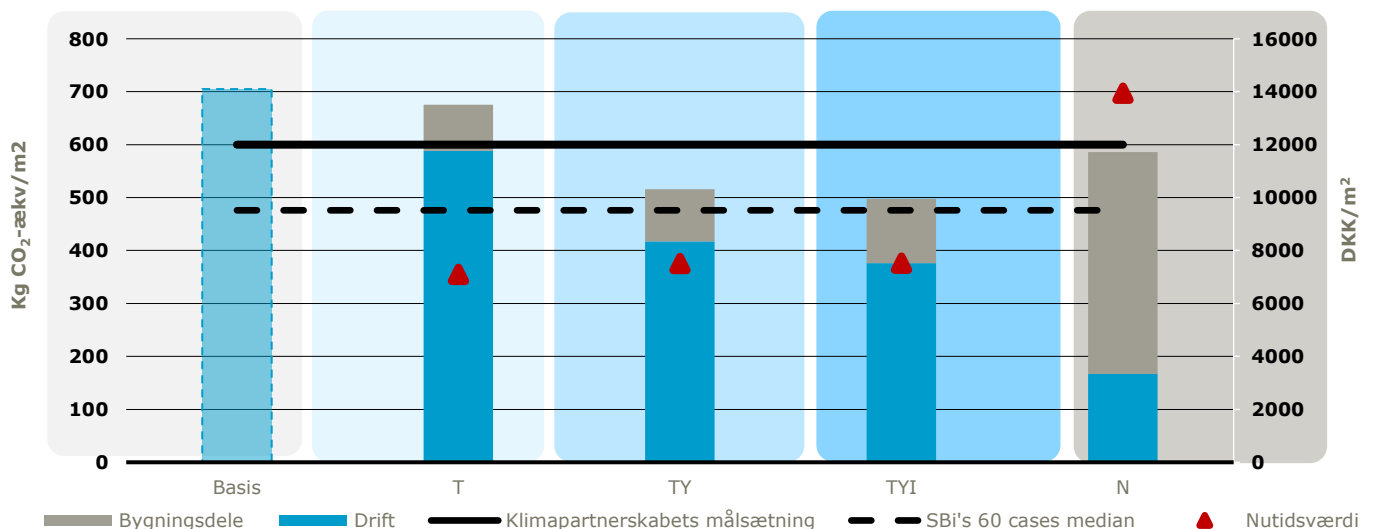
CASE 1: RÆKKE- OG KLYNGGEHUS RESULTATER SAMLET

Casestudiet viser, at et basiccase byggeri efter 1966 standard kan opnå betydeligt lavere driftsenergi ved en opgradering og energirenovering af klimaskærmen. En lavere driftsenergi resulterer i en reduktion af CO₂ samt økonomiske omkostninger til drift. Når nybyggeriet sammenlignes med de 3 renoveringsniveauer, viser analysen, at nybyggeri er betydeligt dyrere set over en 50årig periode.

BYGNINGSTYPE	Rækkehuse
OPVARMET AREAL	799,2
BRUTTOAREAL	799,2
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	2
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	1970/2016
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME



KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

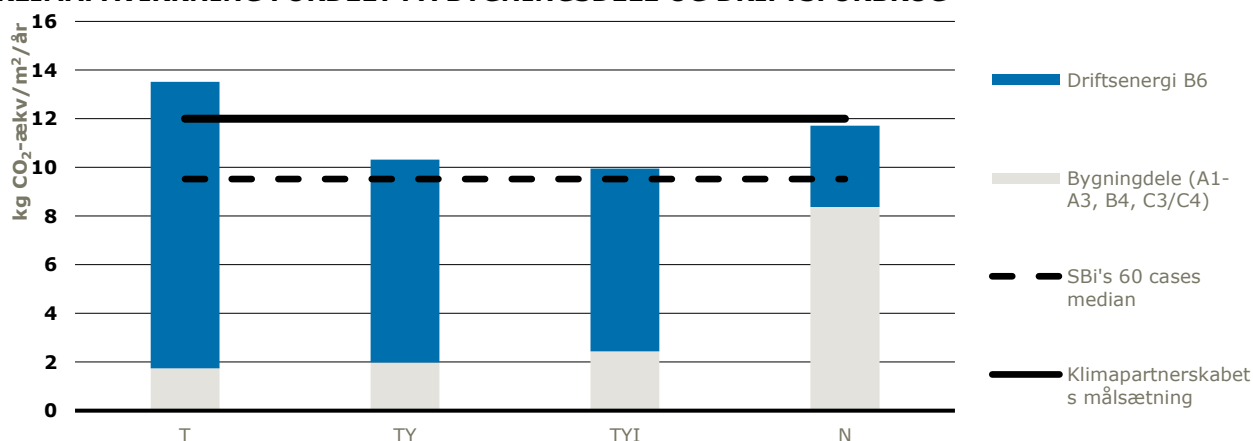


Figur 1: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen af casestudiet viser, at de primære klimapåvirkninger over en 50årig periode i renoveringsscenarierne stammer fra driften af bygningen. Den høje drift i de 3 renoveringsscenarier, sammenlignet med nybyg, forårsages af en ringe isoleret og utæt bygning. For nybyg scenariet er der højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet end der er fra byggeriets energiforbrug. Med blik på de 3 renoveringsniveauer ses en markant forbedring af resultat for klimabelastning ved at renovere tag, ydervægge og vinduer (TY) sammenlignet med alene en tagrenovering (T). I renoveringsscenarie TYI øges elforbruget til bygningen, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet, hvilket samtidig er med til at øge forbrugerens komfort. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG



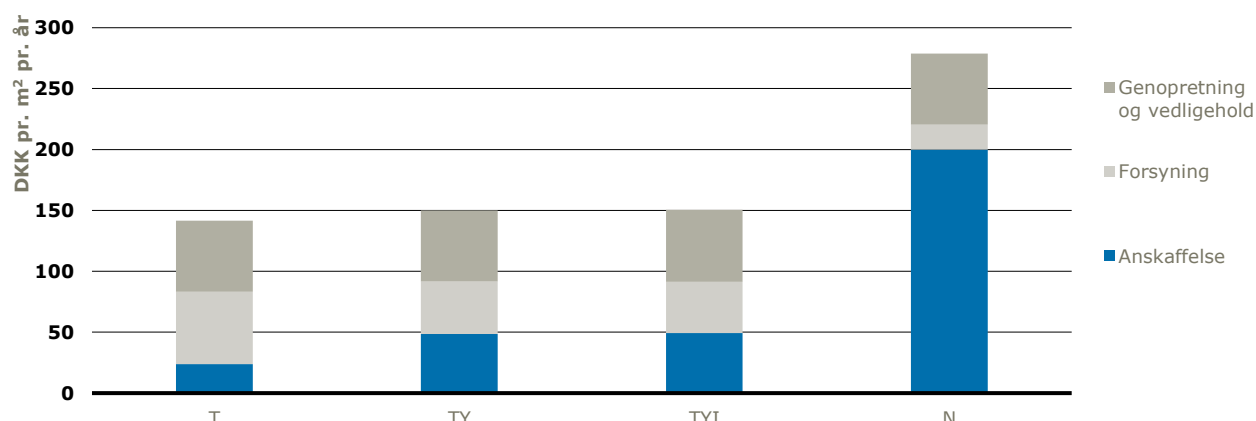
Figur 2: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode

RESULTATER LCC

I den totaløkonomiske beregning for rækkehuset er der medregnet anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning. Casen er et boligbyggeri hvorfor renhold ikke medregnes. Renholdudgiften afhænger af den enkelte beboer, og der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Resultaterne af LCC-analysen viser samme tendens som LCA-analysen for renoveringsscenarierne og nybyg scenariet. For nybyggeri er forsyningsomkostningerne lave, men anskaffelsespriserne væsentligt højere. Ved renoveringsscenarierne er det omvendte tilfældet. Der er omfanget af nye materiale lille, hvilket vil sige lave anskaffelsesomkostninger.

Forsyningen er høj pga. højt driftsforbrug i utætte bygninger. Vedligeholdelsesprisen i analysen er den samme for alle scenarierne, da den er baseret på kvadratmeterpriser bestemt for bygningens typografi. Det bemærkes dog, at i praksis vil det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 3: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 2: ENFAMILIEHUS RESULTATER SAMLET

Følgende præsenterede analyse er for et enfamiliehus i beton. Figur 4 illustrerer at ved en antaget basiccase, ringe isoleret og utæt bygning, efter 1966 standarden, er det muligt at opnå en stor besparelse af bygningens driftsforbrug ved forskellige renoveringsniveauer. For niveau TY, TYI og N (nybyg) kommer en større andel af klimapåvirkningerne fra bygningsdele, hvilket gør det væsentligt i en vurdering af tiltag, at se på totaløkonomien ift. anskaffelse, drift og vedligehold. Scenarie TYI har lavest totaløkonomi.

BYGNINGSTYPE	ENFAMILIEHUS
OPVARMET AREAL	99,8
BRUTTOAREAL	116
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	1
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2019
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



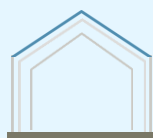
Basis Case

Bygning efter 1966 standard. U-værdi for taget er 0,45 W/m²K svarende til 8 cm isolering. U-værdi for Ydervæggen er 1,0 W/m²K svarende til 290 mm hulmur med formur af tegl, 30mm isolering og bagmur af letklinkerbeton. Vinduerne er 2 lags glas.

Elforbrug: 81,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 0 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

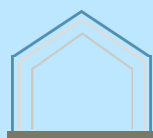


Renovering af taget

Taget udskiftes, og der lægges 360 mm isolering i. Limtræsbjælker og -søjler udskiftes ikke.

Elforbrug: 65,7 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 0 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

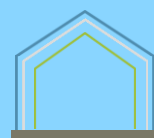


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 265 mm isolering svarende til U-værdi på 0,15 W/m²K og 2 lags vinduer udskiftes til 3lags. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 30,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 0 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 28 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 0 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

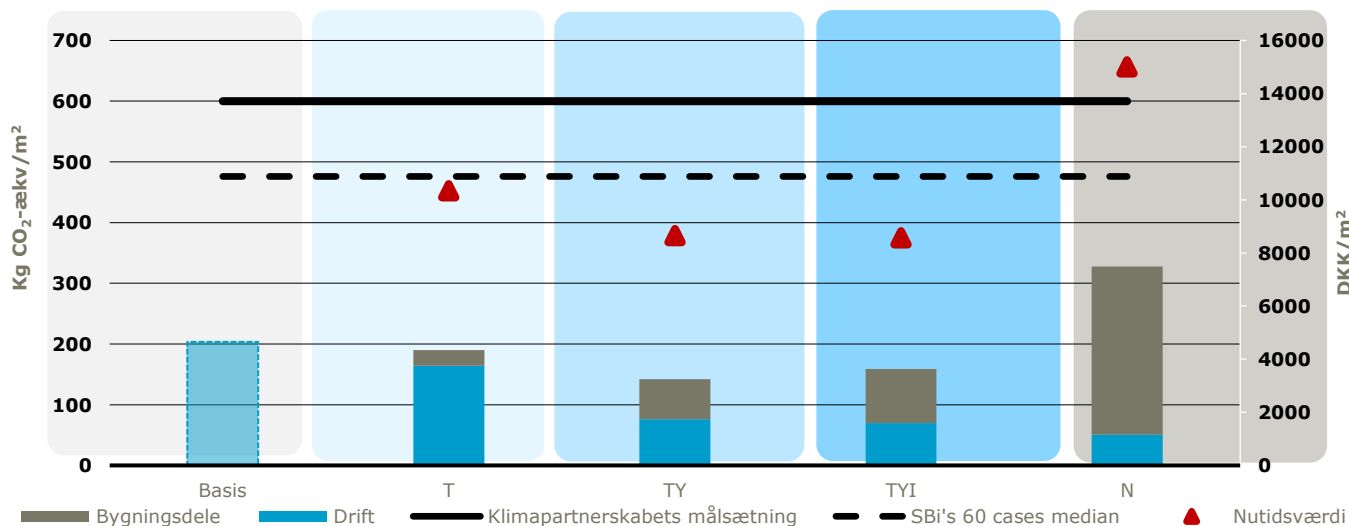
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 20,3 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 0 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

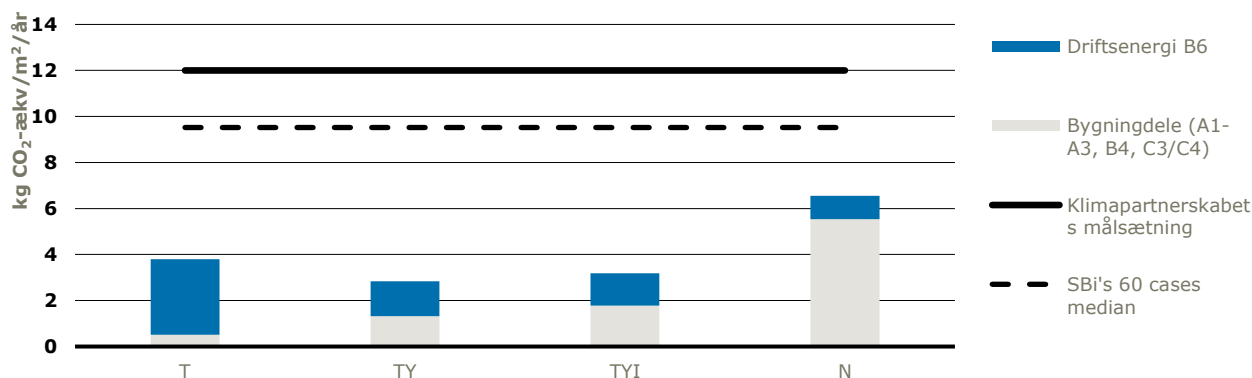


Figur 4: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen af casestudiet viser, at over en 50 årig periode vil de primære klimapåvirkninger for nybygscenariet stamme fra bygningsdele og omvendt for renoveringsscenarierne vil de stamme fra driften af bygningen grundet en dårlig isoleret og utæt bygning. Nybygscenariet (N) har sammenlignet med renoveringsscenariet en lav påvirkning fra byggeriets energiforbrug. Ses der på de 3 renoveringsniveauer fås en markant forbedring af resultat for klimabelastning ved at renovere tag, ydervægge og vinduer (TY) sammenlignet med alene en tagrenovering (T). I renoveringsscenarie TYI øges elforbruget til bygningen, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet, hvilket samtidig er med til at øge forbrugerens komfort. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

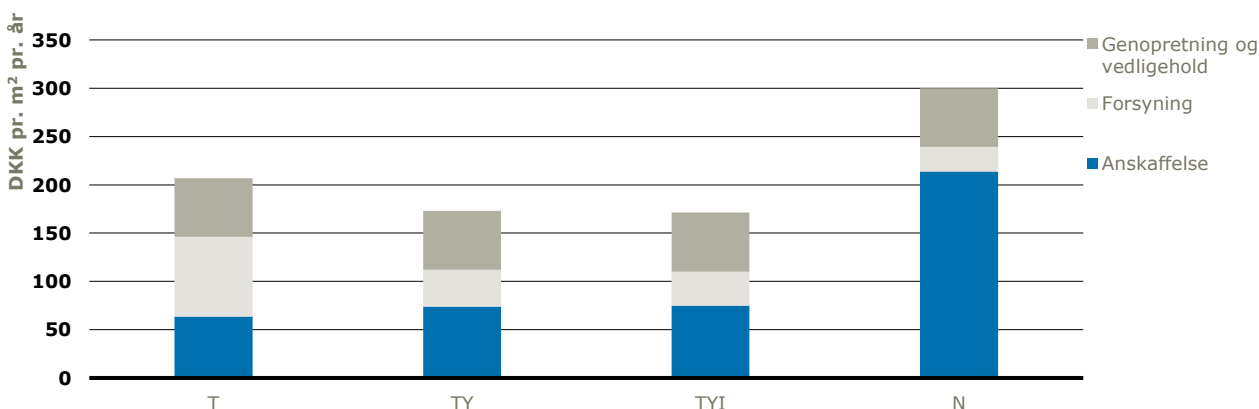


Figur 5: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

Den specifikke case er et enfamiliehus. For den totaløkonomiske beregning af enfamiliehuset er medtaget; anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning. Renholdsudgiften er ikke medtaget, da udgiften er afhængig af den enkelte beboer, og da der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Samme tendens som viste sig i LCA-analysen, går igen i LCC-analysen. For renoveringsscenarierne opnås en gradvis større besparelse på forsyning, med anlægsudgifterne stiger i takt hermed. For nybygscenariet er forsyningsomkostningerne væsentligt reduceret sammenlignet med renoveringsscenarierne, til gengæld ligger en stor udgift i anskaffelse af materialer. Omkostning til vedligehold er i analysen ens for alle scenarierne, da den er baseret på kvadratmeterpriser bestemt for bygningens typografi. Det bemærkes dog, at i praksis vil det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR

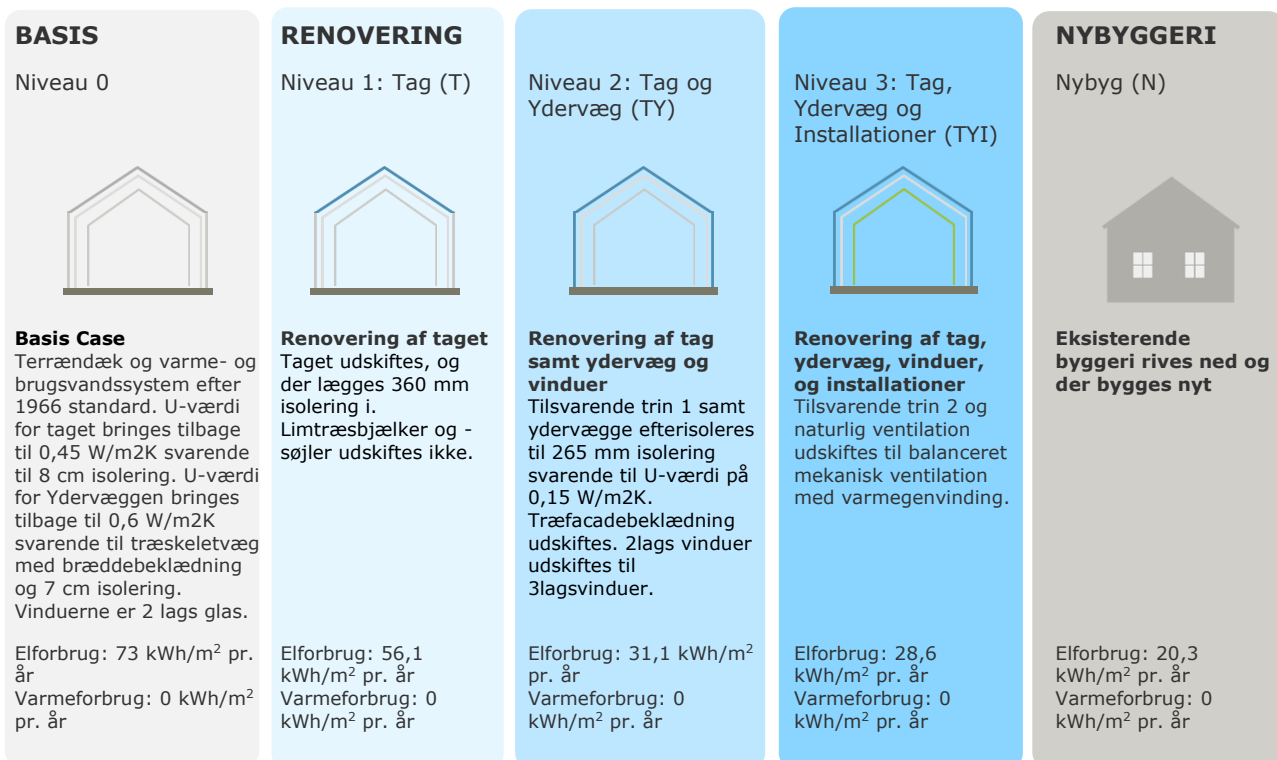


Figur 6: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

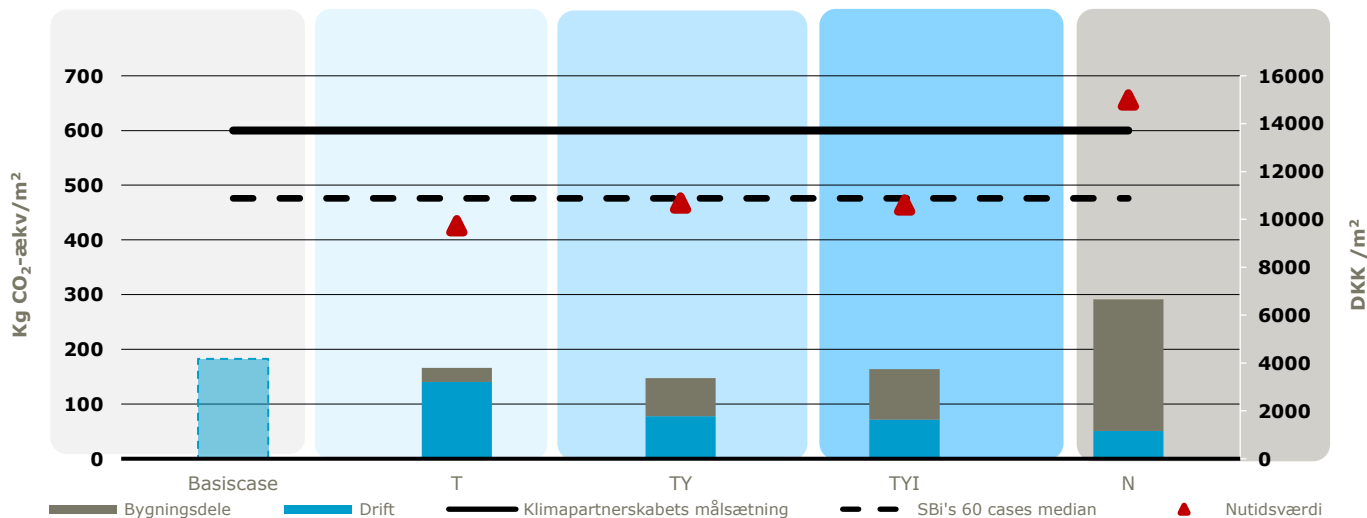
CASE 3: ENFAMILIEHUS RESULTATER SAMLET

Følgende case er et enfamiliehus i træ. Basiscasen er bragt tilbage til 1966 standard med ringe isolering og utæt klimaskærm, hvilket tydeligt ses på klimapåvirkningen fra energiforbruget. Niveau 1, hvor taget er isoleret, performer derfor lidt bedre end basiscasen. De laveste klimapåvirkninger opnås i renoveringsscenario TY og TYI. Nybygscenariet (N) har den laveste driftspåvirkning, men samtidig casen med højest påvirkning af materialeforbrug og dermed scenariet med sammenlagt størst klimapåvirkning.

BYGNINGSTYPE	ENFAMILIEHUS
OPVARMET AREAL	99,8
BRUTTOAREAL	116
KONSTRUKTIONSTYPE	LET
ANTAL ETAGER	1
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2019
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME



KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

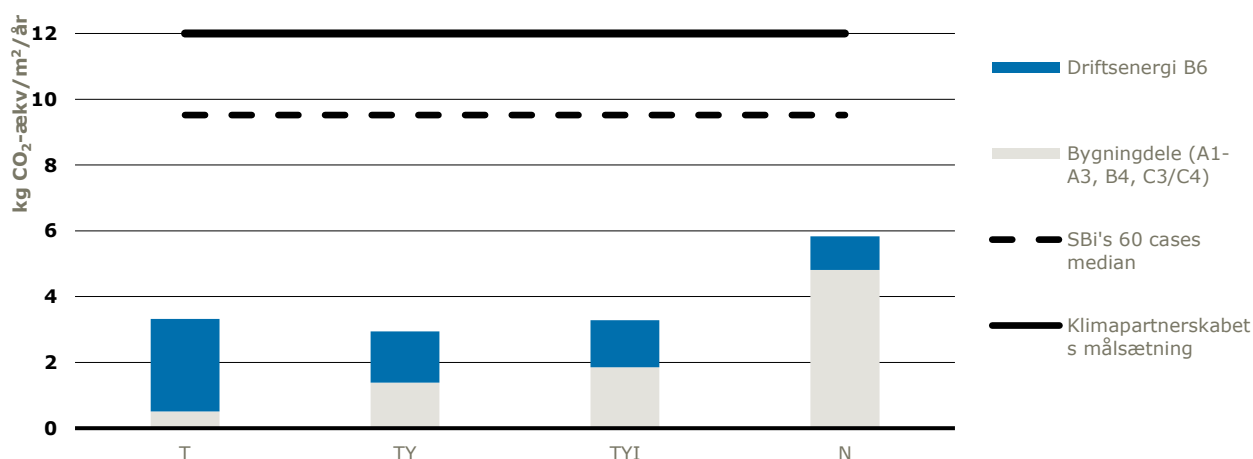


Figur 7: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen viser, at for det specifikke casestudie vil den betydelige klimabelastning for et nybyggeri ligge i bygningsdele og kun en lille mængde af de totale klimapåvirkninger stammer fra driftsenergien til nybyggeriet. Resultaterne viser den omvendte fordeling af klimapåvirkninger på bygningsdele kontra driftsenergi for de 3 renoveringsscenarier. For alle 3 scenarier T, TY og TYI gælder det, at driftsenergien udgør en betydelig del af klimapåvirkningerne. Ved renovering af tag, ydervæg og installationer opnås lavest driftsenergi med dermed større andel klimapåvirkninger på bygningsdelene, selvom elforbruget til bygningen øges, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet. Det giver for scenarie TYI samtidig en øget komfort hos forbrugeren. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

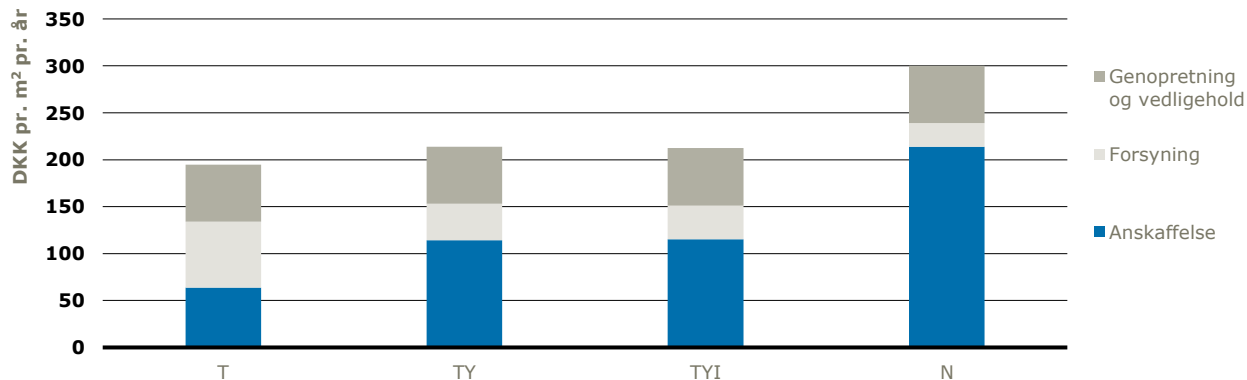


Figur 8: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode

RESULTATER LCC

For enfamiliehuset medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. Byggeriet er boligbyggeri og medregner ikke renhold, da udgiften afhænger af den enkelte beboer, og da der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Resultaterne af LCC-analysen viser samme tendens som LCA-analysen for renoveringsscenarierne og nybyg scenariet. Anskaffelsesprisen er betydeligt højere for nybyggeri mens forsyningsomkostningerne er lave. Modsat gælder det for renoveringsscenarierne hvis udgifter er høje for forsyning grundet højt driftsforbrug i utætte bygninger, men væsentligt lavere anskaffelsesomkostninger. I analysen er vedligeholdelsesprisen den samme for alle scenarierne, da den er baseret på kvadratmeterpriser bestemt for bygningens typografi. Det bemærkes dog at i praksis vil det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 9: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 4: RÆKKEHUS RESULTATER SAMLET

Med afsæt i et antaget basiscase byggeri efter 1966 standard er der i dette casestudie vist, at en opgradering og energirenovering af klimaskærmen kan give en betydeligt lavere driftsenergi, som både resulterer i en reduktion af CO₂ og økonomiske omkostninger til drift. Ved sammenligning af 3 renoveringsniveauer med nybyggeri viser analysen, at nybyggeri er betydeligt dyrere set over en 50årig periode.

BYGNINGSTYPE	Rækkehuse
OPVARMET AREAL	9092
BRUTTOAREAL	9092
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	2
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2019
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



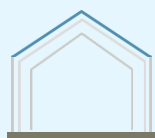
Basis Case

Terrændæk og varme- og brugsvandssystem tilbage til 1966 standard. Taget har 80 mm isolering og ydervæggen består af 290 mm hulmur med formur af tegl, 30mm isolering og bagmur af letklinkerbeton. Vinduerne er 2 lags glas.

Elforbrug: 1,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 178,1 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

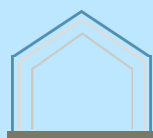


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 360 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,11 W/m²K. Ny dampspærre tilføres.

Elforbrug: 1,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 157,7 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

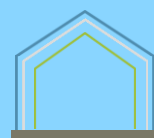


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 225 mm isolering svarende til U-værdi på 0,16 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 1,3 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 73,5 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer. Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 3,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 59,2 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

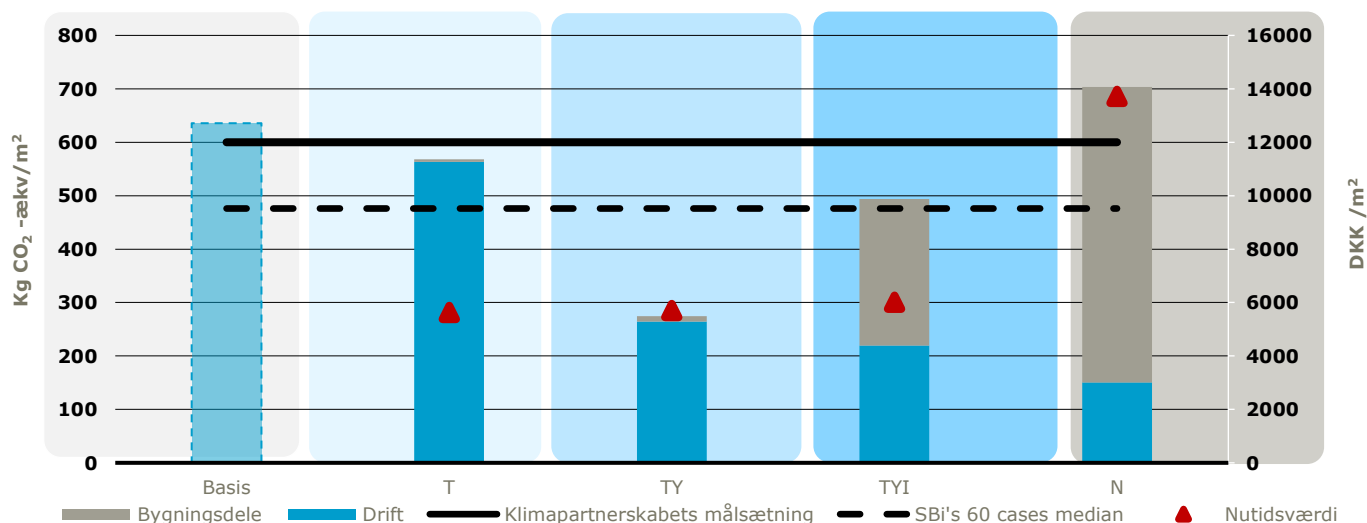
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der opføres et nyt svarende til BR2018.

Elforbrug: 2,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 40,2 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

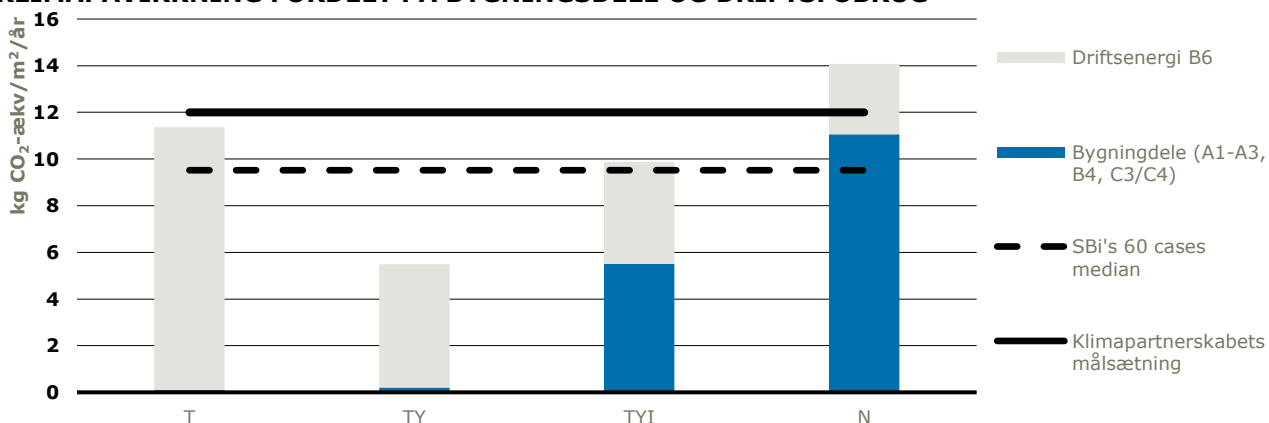


Figur 10: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

For det specifikke casestudie viser analysen, at over en 50årig periode vil de primære klimapåvirkninger ved renoveringsscenarierne stamme fra driften af bygningen. En høj drift for de 3 renoveringsscenarier skyldes en utæt og ringe isoleret bygning. Modsat gælder det for det nybyggede scenarie. Nybyg vil have en lav påvirkning fra byggeriets energiforbrug med derimod en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. Ses der på de 3 renoveringsniveauer fås en markant forbedring af resultat for klimabelastning ved at renovere tag, ydervægge og vinduer (TY) sammenlignet med alene en tagrenovering (T). I renoveringsscenarie TYI øges elforbruget til bygningen, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet, hvilket samtidig er med til at øge forbrugers komfort. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

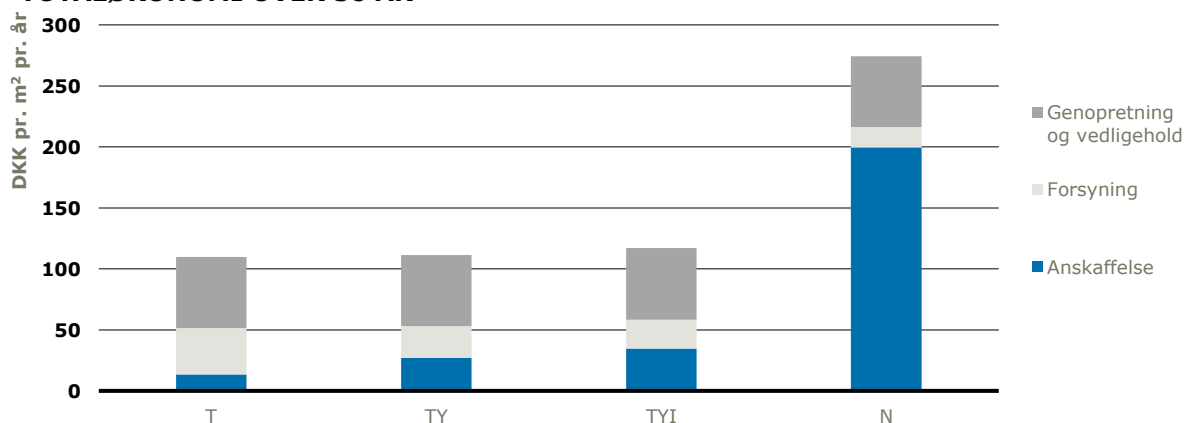


Figur 11: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For enfamiliehuset medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. Byggeriet er boligbyggeri og medregner ikke renhold, da udgiften afhænger af den enkelte beboer, og der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Resultaterne af LCC-analysen viser samme tendens som LCA-analysen for renoveringsscenarierne og nybyg scenariet. Anskaffelsesprisen er betydeligt højere for nybyggeri, mens forsyningsomkostningerne er lave. Modsat gælder det for renoveringsscenarierne, hvis udgifter er høje for forsyning grundet højt driftsforbrug i utætte bygninger, men væsentligt lavere anskaffelsesomkostninger. I analysen er vedligeholdelsesprisen den samme for alle scenarierne, da den er baseret på kvadratmeterpriser bestemt for bygningens typografi. Det bemærkes dog, at i praksis vil det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 12: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 5: TYPEHUS RESULTATER SAMLET

Denne case tager afsæt i et typehus bragt tilbage til BR1966 standard. Basicasen er dårligt isoleret samt en utæt konstruktion, hvilket tydeligt ses på klimapåvirkningen fra energiforbruget. Niveau 1 hvor taget er isoleret performer derfor lidt bedre end basicasen, men de laveste klimapåvirkninger opnås i TY, TYI og N. Nybygscenariet (N) har laveste påvirkning, men er også det dyreste scenarie kigges der på totaløkonomien. Vægtet LCA og LCC analysernes resultater ligeligt er TY eller TYI de mest fordelagtige løsninger.

BYGNINGSTYPE	TYPEHUS
OPVARMET AREAL	148,2
BRUTTOAREAL	166
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	1
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2019
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



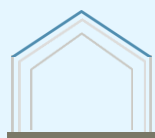
Basis Case

Terrændæk, varme- og brugsvandssystem bygget efter 1966 standard. Det eksisterende byggeri antages at have 80 mm isolering i taget samt 290 mm hulmur med formur af tegl, 30 mm isolering og bagmur af letklinkerbeton. Vinduer består af 2 lag glas

Elforbrug: 1,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 247,3 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

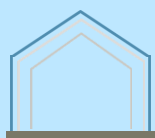


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 555 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,07 W/m²K. Taggap udskiftes og dampspærre tilføres.

Elforbrug: 1,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 207,9 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

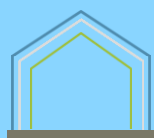


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 190 mm isolering svarende til U-værdi på 0,14 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 1,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 100,9 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 2,9 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 79,7 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

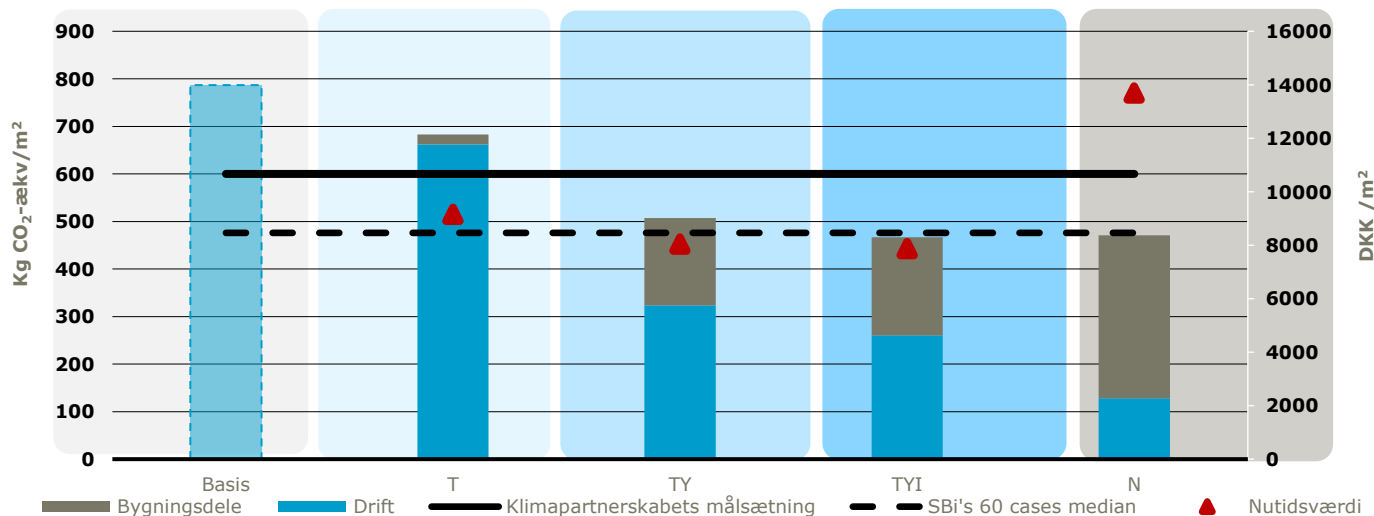
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 1,3 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 39,4 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

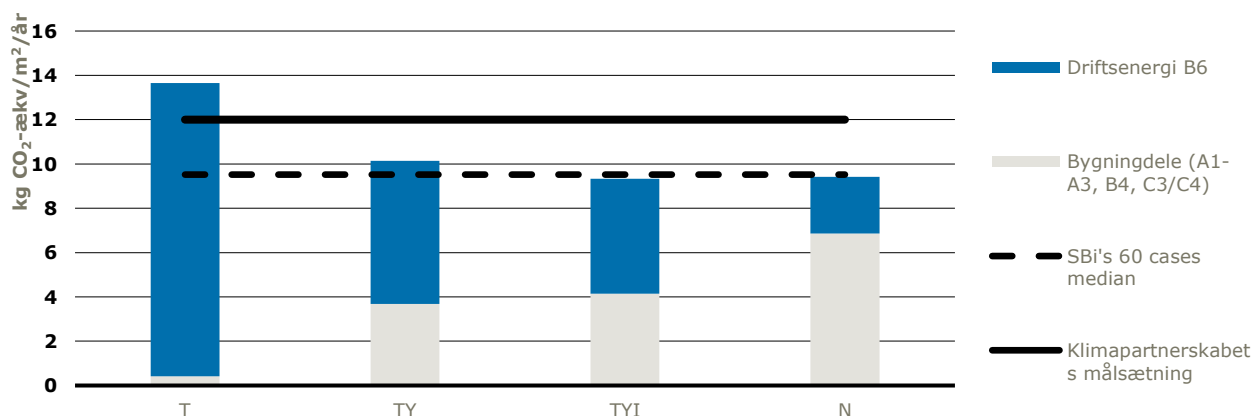


Figur 13: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

For det specifikke casestudie viser analysen, at over en 50årig periode vil de primære klimapåvirkninger ved renoveringsscenerierne stamme fra driften af bygningen. En høj drift for de 3 renoveringsscenerier skyldes en utæt og ringe isoleret bygning. Modsat gælder det for det nybyggede scenarie. Nybyg vil have en lav påvirkning fra byggeriets energiforbrug med derimod en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. Ses der på de 3 renoveringsniveauer fås en markant forbedring af resultat for klimabelastning ved at renovere tag, ydervægge og vinduer (TY) sammenlignet med alene en tagrenovering (T). I renoveringsscenario TYI øges elforbruget til bygningen, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet, hvilket samtidig er med til at øge forbrugerens komfort. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSENERGI

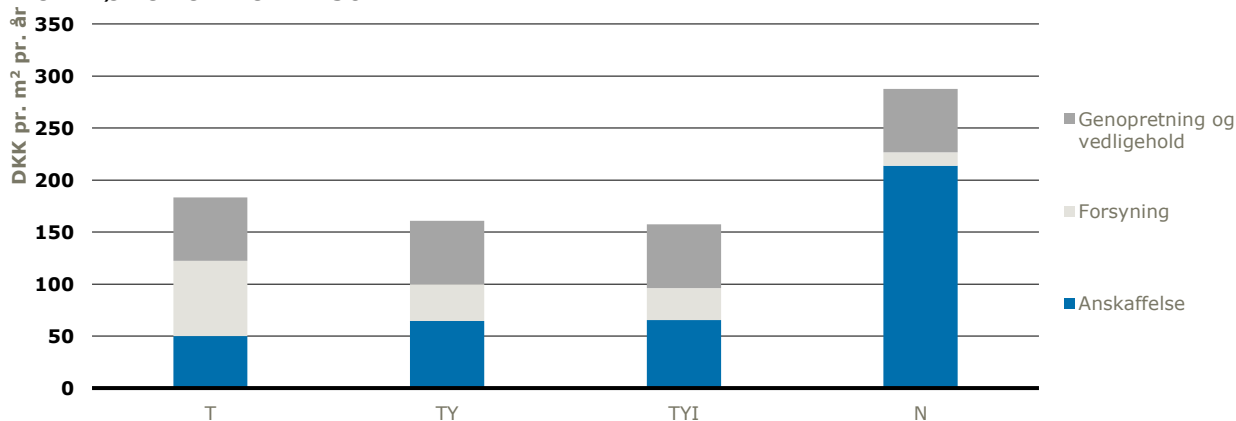


Figur 14: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For enfamiliehuset medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. Byggeriet er boligbyggeri og medregner ikke renhold, da udgiften afhænger af den enkelte beboer, og der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Resultaterne af LCC-analysen viser samme tendens som LCA-analysen for renoveringsscenerierne og nybyg scenariet. Anskaffelsesprisen er betydeligt højere for nybyggeri, mens forsyningsomkostningerne er lave. Modsat gælder det for renoveringsscenerierne, hvis udgifter er høje for forsyning grundet højt driftsforbrug i utætte bygninger, men væsentligt lavere anskaffelsesomkostninger. I analysen er vedligeholdelsesprisen den samme for alle scenarierne, da den er baseret på kvadratmeterpriser bestemt for bygningens typografi. Det bemærkes dog, at i praksis vil det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 15: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 6: ERHVERV RESULTATER SAMLET

Udgangspunktet for dette case studie var et byggeri i indre København fra 1750 dog antaget, at byggeriet har haft mellemrenoveringer. Det ses her, at en energirenovering af klimaskærmen kan give et betydeligt lavere driftsenergi, hvilket resulterer i både en CO₂ reduktion samt lavere økonomiske omkostninger til drift. Desuden viser analysen, at det er betydeligt dyrere at bygge nyt kontra at renovere set over en 50 årig periode for dette casestudie.

BYGNINGSTYPE	ERHVERV
OPVARMET AREAL	23.994
BRUTTOAREAL	23.994
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	5
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	1750
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



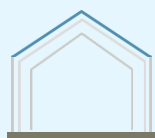
Basis Case

Fra 1750 med mellemrenoveringer senest i 1970. Ydervæg af 47cm massiv tegl, U-værdi 1,30 W/m²K. Tag af tagpap med 8 cm mineraluld, U-værdi 0,45 W/m²K. 2-lags termorude. Ventilation installeret i 1970 med tidssvarende temperaturvirkningsgrad og SEL-værdi. Standard belysning.

Elforbrug: 30,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 129,9 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

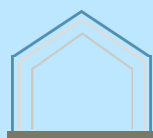


Renovering af taget

Tag renoveres jf. BR15 kapitel 7.4.2 til en U-værdi på 0,12 W/m²K. Svarer til 300 mm isolering i alt. Tagpap og dampspærre udskiftes

Elforbrug: 30,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 112,9 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

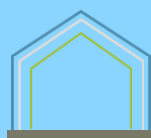


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende niveau 1 samt ydervæg renoveres jf. BR15 kapitel 7.4.2 til en U-værdi på 0,18 W/m²K. Svarer til 175 mm isolering i alt. Vinduer udskiftes til 3-lags

Elforbrug: 32,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 64,6 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til mekanisk ventilation. Belysning opgraderes til LED.

Elforbrug: 17,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 59,8 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

Nybyg (N)

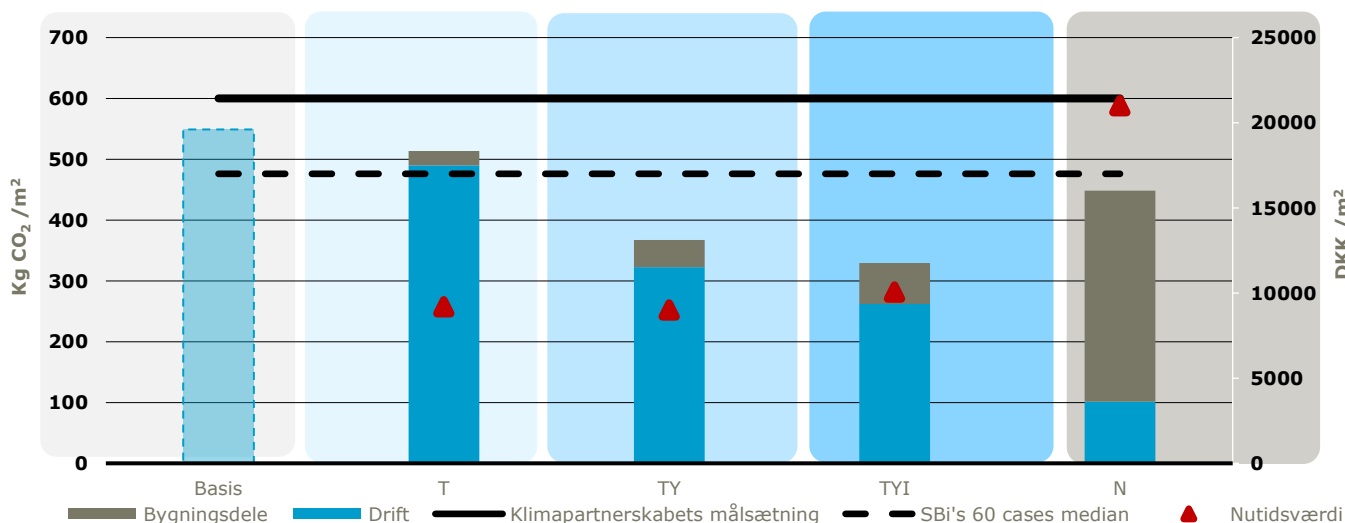


Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Til at repræsentere det nybyggede byggeri er der anvendt statistik fra SBI's LCA rapport for kontorbyggerier. LCA resultatet præsenterer medianen for kontorbyggeri.

Elforbrug: 8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 30 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

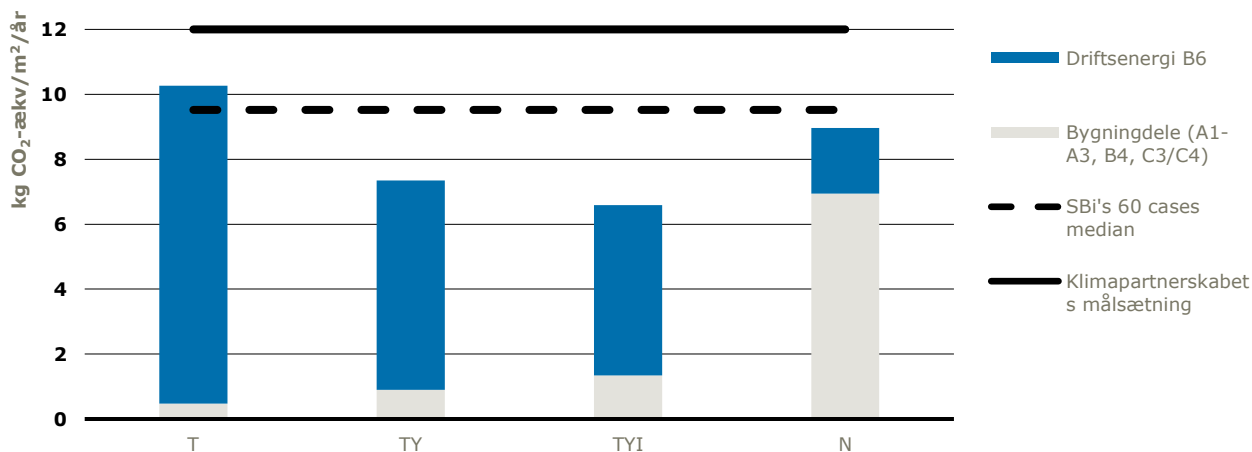


Figur 16: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen af klimapåvirkningen over 50 år viser, at ved renoveringsscenarierne vil den primære påvirkning stamme fra driften af bygningen, da denne er høj grundet en utæt og uisolereet bygning. Derimod vil et nybyg scenarie have en lav påvirkning fra energiforbruget, og en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. På resultatet for klimabelastningen ses en markant forbedring ved renovering af tag, ydervægge og vinduer, svarende til scenarie (TY).

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ LIVCYKLUSSTADIER

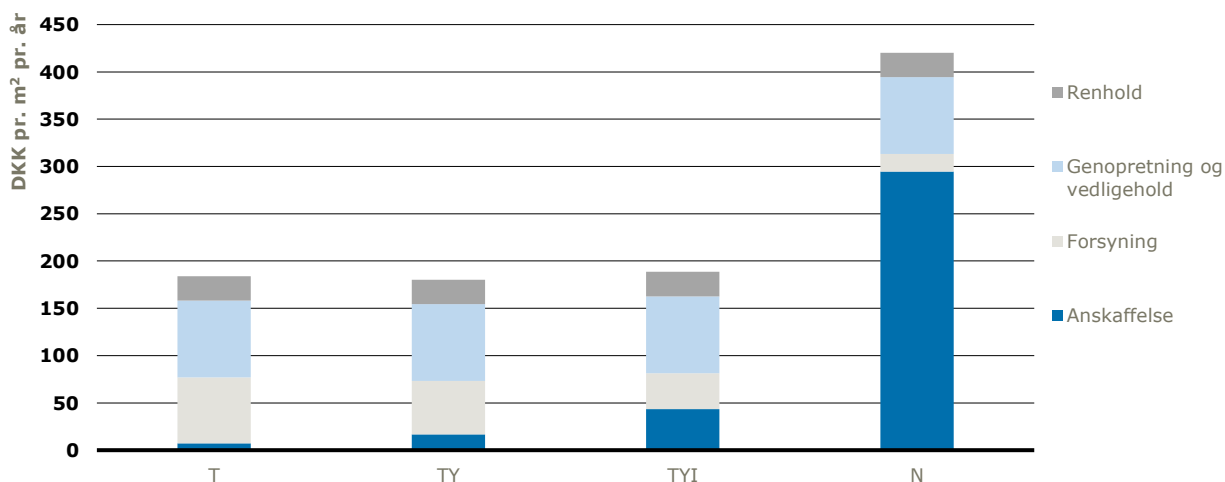


Figur 17: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode

RESULTATER LCC

For hotellet medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. I den totaløkonomiske analyse ser vi de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog at i praksis ville det være rimeligt at antage at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 18: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 7: ERHVERV RESULTATER SAMLET

Denne case tager afsæt i en kontorbygning bygget i 1990. Basiscasen er dårligt isoleret samt en utæt konstruktion, hvilket tydeligt ses på klimapåvirkningen fra energiforbruget. Det ses her, at energiforbruget ikke bliver bragt betydeligt ned af udelukkende at lave tagrenovering, hvilket skyldes den store facade grundet de 5 etager. Renoveringsscenarie (TYI) har laveste påvirkninger, men og det ses at nybygscenariet er betydeligt dyrere end renoveringsscenarierne.

BYGNINGSTYPE	ERHVERV
OPVARMET AREAL	27295
BRUTTOAREAL	27895
KONSTRUKTIONSTYPE	Kontor
ANTAL ETAGER	5
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	1922/2022
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



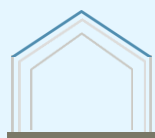
Basis Case

Opført i 1990 efter BR1982. Ydervæg med 80 mm isolering, tag med 175 mm isolering. Vinduer: 2-lags termorude. Ventilation: Installeret i 1990 med tidssvarende temperaturvirkningsgrad og SEL-værdi. Belysning: Standard ikke LED uden dagslysstyring.

Elforbrug: 26,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 95,1 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

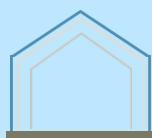


Renovering af taget

Tag renoveres jf. BR18 paragraf 279 til en U-værdi på 0,12 W/m²K. Svarer til 300 mm isolering i alt. Tagpap og dampspærre udskiftes.

Elforbrug: 26,6 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 92,2 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

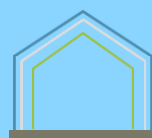


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende niveau 1 samt ydervæg renoveres jf. BR18 paragraf 279 til en U-værdi på 0,18 W/m²K. Svarer til 175 mm isolering i alt.

Elforbrug: 27,3 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 59,1 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Ventilationsaggregat udskiftes til nyt der møder BR18 krav. Belysningssystem udskiftes til LED med dagslysstyring.

Elforbrug: 15,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 46,5 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

Nybyg (N)

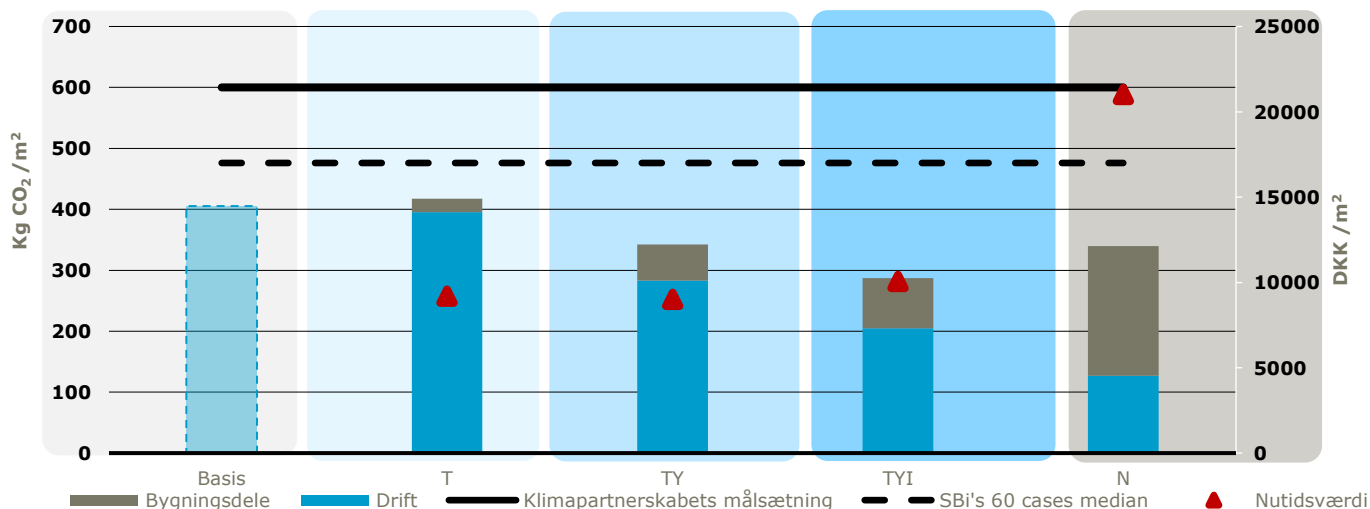


Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Eksisterende byggeri nedrives og nyt byggeri opføres svarende til BR2018. Til dette scenarie anvendes Statistik på kontorbyggeri fra SBI rapport.

Elforbrug: 8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 30 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

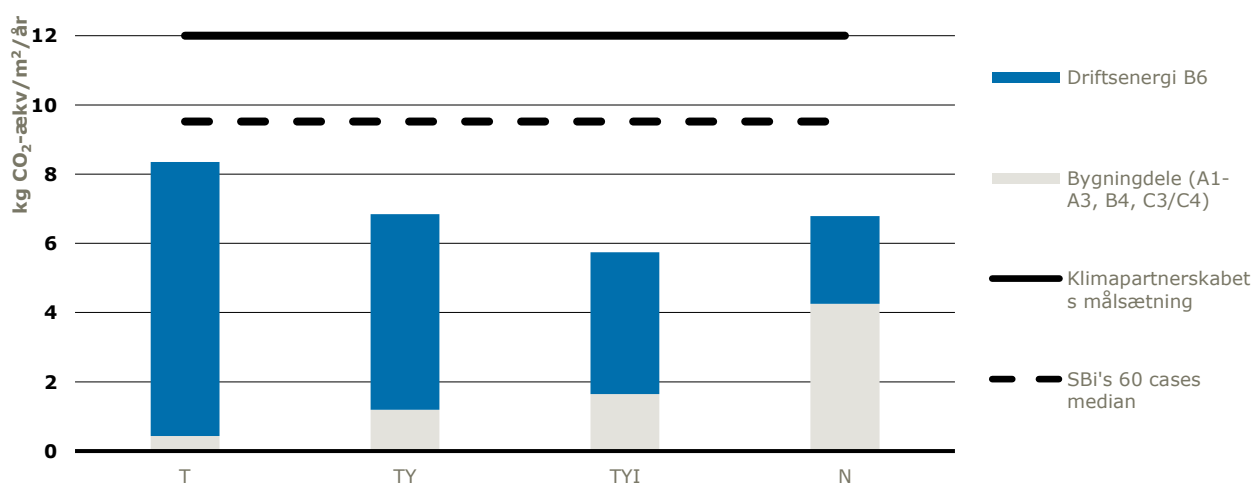


Figur 19: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Resultaterne for LCA-analysen viser, at for renoveringsscenarierne stammer den primære klimapåvirkning fra driften af bygningen, set over en 50-årig periode. Bygningens driftsforbrug vil falde i takt med omfanget af renoveringen, ses fra niveau T til TYI, da bygningens klimaskærm isoleres bedre og får en øget tæthed. For nybyg scenariet (N) vil den primære klimapåvirkning stamme fra materialerne tilført byggeriet og modsat være lav for energiforbruget i bygningen. På resultatet for klimabelastningen ses en markant forbedring ved renovering af tag, ydervægge og vinduer, svarende til scenarie (TY), hvilet skyldes at den 5 etager høje bygning har fået efterisoleret hele klimaskærmen.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

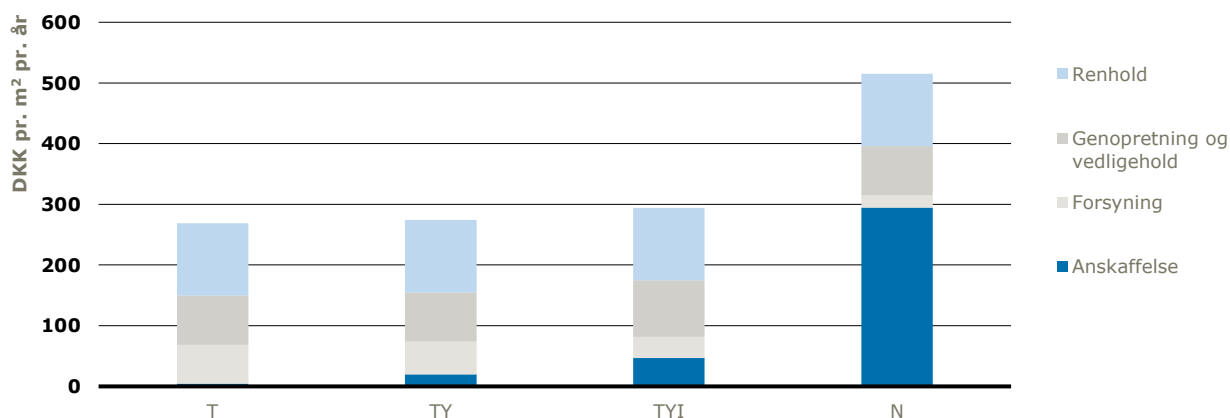


Figur 20: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode

RESULTATER LCC

Den specifikke case er et kontorhus, hvor der i den totaløkonomiske beregning er medtaget; anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter, renhold samt udgifter til forsyning. For renoveringsscenarierne opnås en gradvis større besparelse på forsyning, jo større grad af renovering, mens anlægsudgifterne stiger i takt hermed. For nybygscenariet er forsyningsomkostningerne væsentligt reduceret sammenlignet med renoveringsscenarierne, til gengæld ligger en stor udgift i anskaffelse af materialer. Omkostning til vedligehold er i analysen ens for alle scenarierne, da den er baseret på kvadratmeterpriser bestemt for bygningens typografi. Det bemærkes dog at i praksis vil det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 21: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 8: ERHVERV RESULTATER SAMLET

Casebyggeriet er et kontorbyggeri der er bragt tilbage til et byggeri efter 1966 standard. Byggeriet er utæt og ringe isoleret og får derfor sit energiforbrug bragt betydeligt ned ved at gennemrenovere. Det laveste energiforbrug er i nybyg scenariet, men de store emissioner fra den nye bygning samt høje omkostninger til nybyg viser, at den mest fordelagtige scenarie over en 50-årig periode er TYI både økonomisk og klimamæssigt.

BYGNINGSTYPE	ERHVERV
OPVARMET AREAL	3280
BRUTTOAREAL	3400
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	5
BYGNINGSEJER	PRIVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2022
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



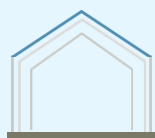
Basis Case

Terrændæk og varme- og brugsvandssystem efter 1966 standard. Taget består af 80 mm isolering. Ydervæggen er opbygget af 290 mm hulmur med formur af tegl, 30mm isolering og bagmur af letklinkerbeton. Vinduerne er 2 lags glas

Elforbrug: 28,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 141,3 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

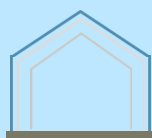


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 400 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,08 W/m²K. Tagpap udskiftes og ny dampspærre.

Elforbrug: 29,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 127,1 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

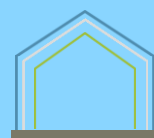


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 325 mm isolering svarende til U-værdi på 0,15 W/m²K og 2-lags vinduer udskiftes til 3 lags vinduer

Elforbrug: 33 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 55,6 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Belysning opgraderes til LED system.

Elforbrug: 15,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 25,1 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

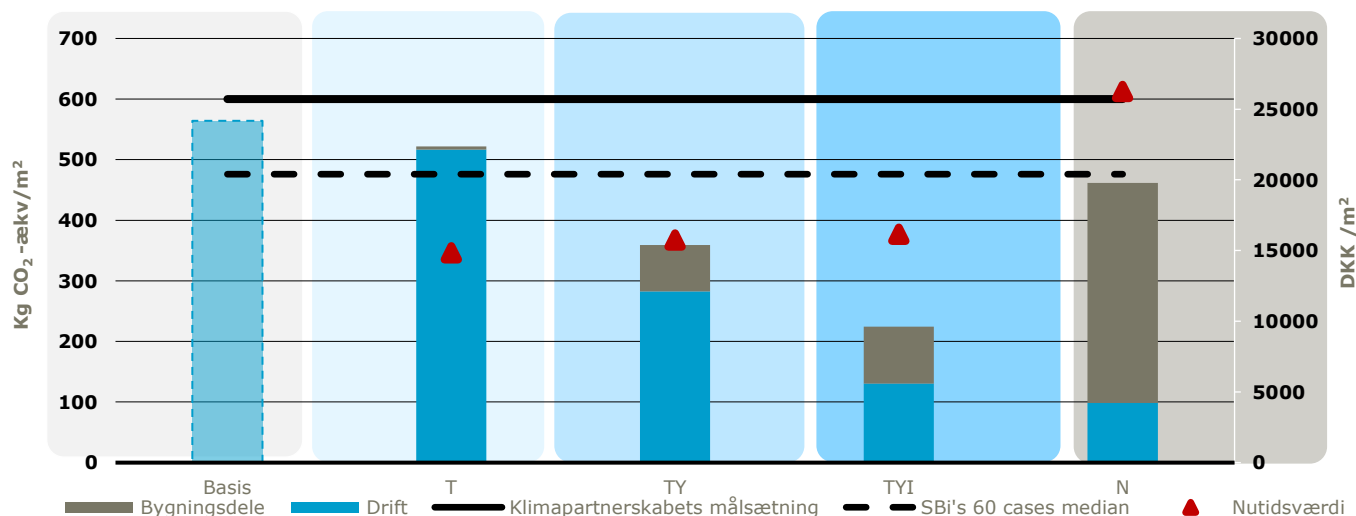
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 13,9 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 17,5 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.



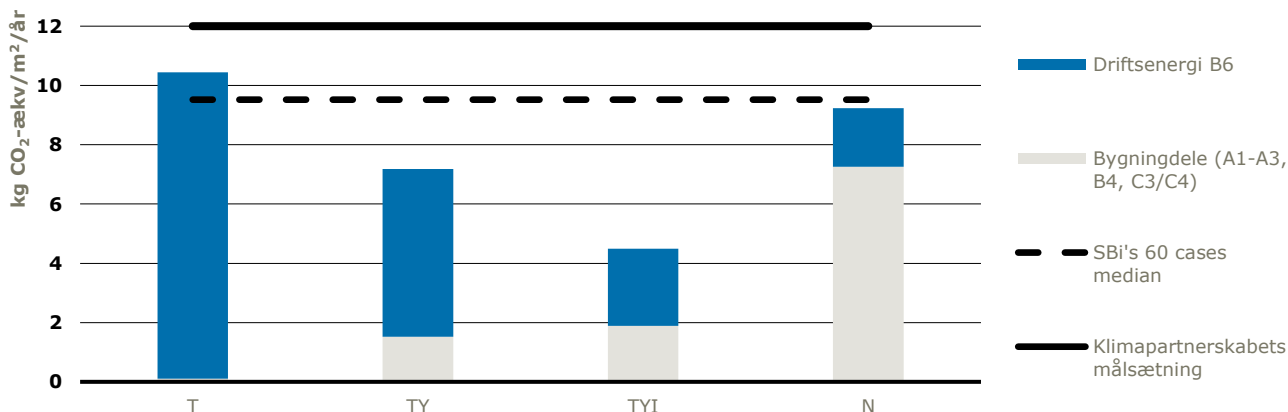
Figur 22: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Livscyklusanalyser viser klimapåvirkningerne i CO2 udledninger set over en 50 årig periode. Det ses her, at for en utæt og ringe isoleret bygning, vil klimapåvirkningerne primært stamme fra driftenergien, og jo mere der renoveres, vil påvirkningen fra drift og bygningsdele være mere ligeligt fordelt. For nybyg scenariet, er driftsenergien lav og påvirkningerne stammer primært fra bygningen som er opført på ny.

Sammenlignes resultaterne med SBI's 60 case studier ligger nybyg scenariet lige under medianen, mens der ved at renoveres kan opnå en betydeligt lavere klimapåvirkning.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBURG



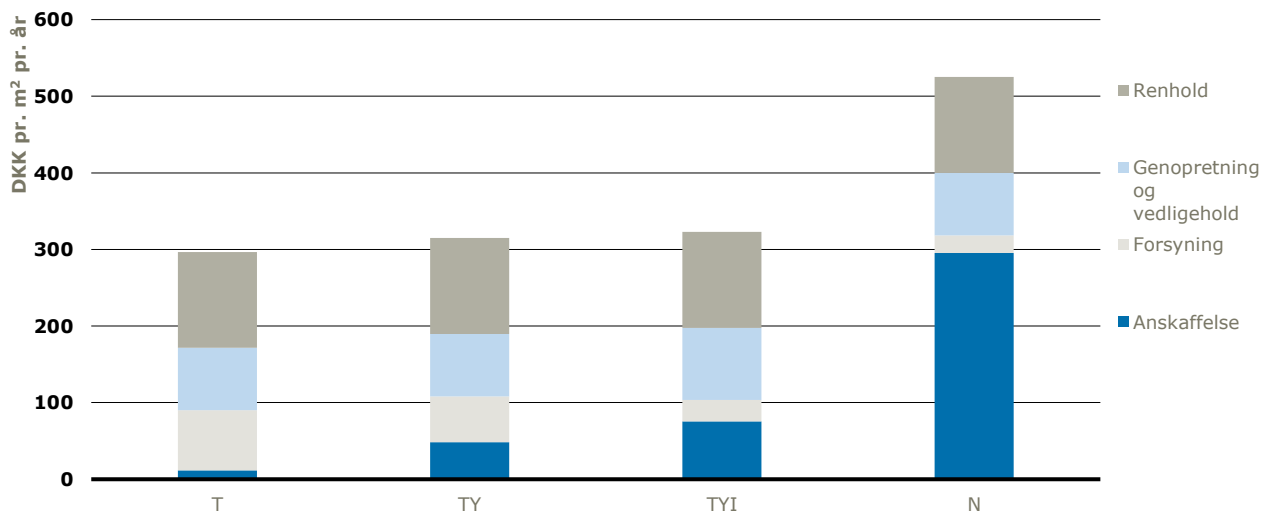
Figur 23: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

Den totaløkonomiske beregning viser de økonomiske konsekvenser over 50 år ved de fire scenarier.

Anskaffelsesomkostningen er lav ved scenarie T og bliver gradvist højere jo mere der renoveres og de højeste anskaffelsesomkostninger ses i nybyg scenariet, når der skal bygges nyt. Grundet antagelsen om samme geometri, funktion og udnyttelse af byggeriet er renhold og vedligehold ens for alle fire scenarier, på trods af at det ville være en fair antagelse at vedligeholdelsesomkostningerne er højere for ældre byggeri. Dette har dog ikke været muligt at tage højde for, da Molio prisdata er anvendt til at prissætte bygningens omkostninger. For forsyningen vil denne være høj og gradvis lavere jo mere der renoveres mens dens for nybyg er meget lav. Det mest omkostningstunge scenarie findes ved nybyg, mens de tre renoveringsscenarier har næsten ens totaløkonomi set over 50 år.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 24: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 9: ETAGEBOLIG RESULTATER SAMLET

Basiscasen for analysen tager afsæt i en etagebolig fra 1930'erne. Resultaterne af analysen viser, at en energirenovering af klimaskærmen reducerer driftsenergien betydeligt. En reduktion af driftsenergien resulterer både i lavere klimapåvirkninger samt lavere økonomiske omkostninger til drift.

Analysen for dette casestudie viser yderligere, at det er betydeligt dyrere at bygge nyt kontra at renovere set over en 50 årig periode.

BYGNINGSTYPE	ETAGEBOLIG
OPVARMET AREAL	4313
BRUTTOAREAL	4313
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	5
BYGNINGSEJER	PIRVAT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	1906/2018
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



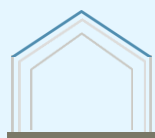
Basis Case

Antaget bygning er fra 1930'erne. Taget er uisolereet, ydervæggen består af massiv teglvæg, vinduerne er tidligere skiftet til 2lags termorude.

Elforbrug: 0,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 204,2 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

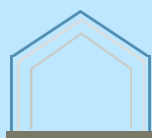


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 300 mm isolering svarende til en Uværdi på 0,12 W/m²K. Tagpap og dampspærre udskiftes.

Elforbrug: 0,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 177,7 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

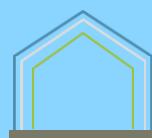


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres med 175 mm isolering svarende til U-værdi på 0,18 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 0,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 86,4 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 3,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 59,9 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

Nybyg (N)

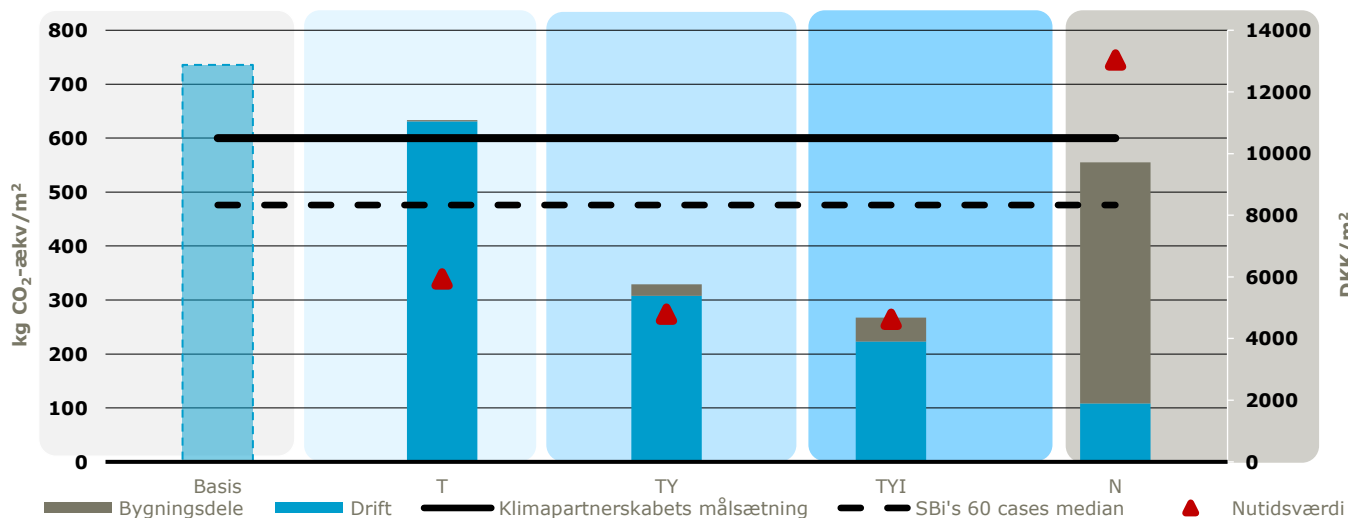


Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Til at repræsentere det nybyggede byggeri er der anvendt statistik fra SBI's LCA rapport for etagebyggeri. LCA resultatet præsenterer medianen for etagebyggeri.

Elforbrug: 3,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 27,7 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

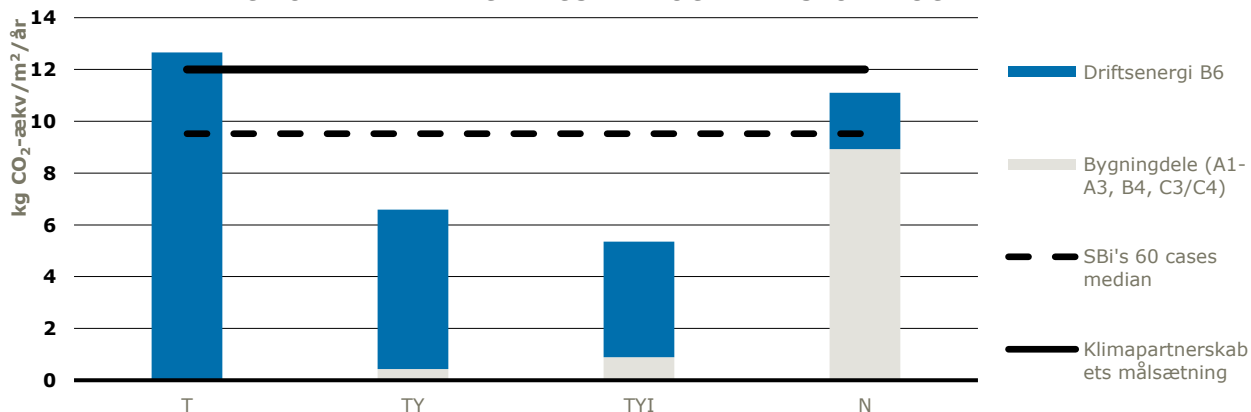


Figur 25: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Resultaterne af analysen viser entydigt, at klimapåvirkningerne over en 50årig periode primært vil stamme fra driften af bygningen for de 3 renoveringsscenarier. For renoveringsscenarie T, renovering af taget, er klimapåvirkningerne fra driftsenergien så høje, at klimapåvirkningerne fra bygningsdelene syner ubetydelige. Ved gradvis renovering af etageboligen, TY og TYI, kommer flere klimapåvirkninger fra bygningsdelene, men stadig primært fra driftsenergien. Det ses på figur 35, at renoveringsscenarie TY, efterisolering af tag og vægge samt opgradering af vinduerne, øger isoleringsevnen så meget, at driftsenergien reduceres betydeligt. Ved nybyg af tilsvarende etagebolig kommer de primære klimapåvirkninger fra materialerne tilført byggeriet.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSEDELE OG DRIFTSFORBRUG

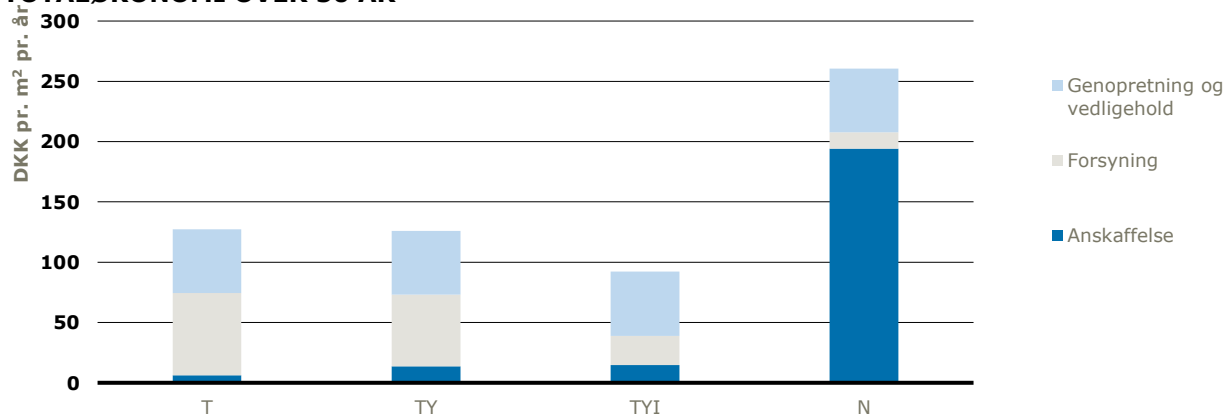


Figur 26: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

I den totaløkonomiske beregning for etagebyggeriet er anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning medregnet. Udgifter til renhold er ikke medregnet, da udgiften afhænger af den enkelte beboer, samt at der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Det bemærkes desuden, at denne udgift vil være ens for de forskellige scenarier. Resultaterne af LCC-analysen viser samme tendens som LCA-analysen. For nybyggeriet (N) er anskaffelsesomkostningerne høje, mens forsyningsomkostningerne kun udgør en lille andel af totaløkonomien. For renoveringsscenarierne gælder det omvendte. Her er forsyningsomkostningerne de betydelige udgifter og anskaffelsesomkostningerne de laveste. Renoveringsscenarie T har lavest anskaffelsesomkostninger, men højest forsyningsomkostninger. Renoveringsscenarie TYI har totalt lavest årlige omkostninger pr. m² over en 50 årig betragtningsperiode. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser. I praksis vil det dog være rimeligt at antage at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 27: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 10: ETAGEBOLIG RESULTATER SAMLET

Udgangspunktet for dette case studie var et byggeri af ældre dato med et uisolere tag samt ydervægge af massiv tegl. Det ses her, at en energirenovering af klimaskærmen kan give et betydeligt lavere driftsenergi, hvilket resulterer i både en CO2 reduktion samt lavere økonomiske omkostninger til drift. Desuden viser analysen, at det er betydeligt dyrere at bygge nyt kontra at renovere set over en 50 årig periode for dette casestudie.

BYGNINGSTYPE	ETAGEBYGGERI
OPVARMET AREAL	3514
BRUTTOAREAL	3514
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	3
BYGNINGSEJER	OFFENTLIG
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	1866/1940
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



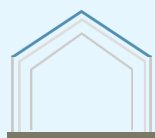
Basis Case

Uisolere tag, massiv teglydervæg samt vinduer der tidligere er skiftet til 2-lags termorude. Til udregning af driftsenergi er eksempelsamling 1930er byggeri anvendt og trinvis renoveret.

Elforbrug: 0,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 204,2 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

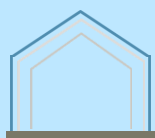


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 300 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,12 W/m²K.

Elforbrug: 0,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 177,7 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

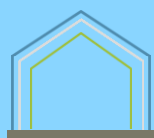


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres med 175 mm isolering, en U-værdi på 0,18 W/m²K. 2-lags vinduer udskiftes til 3-lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 0,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 86,4 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 3,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 59,9 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

Nybyg (N)

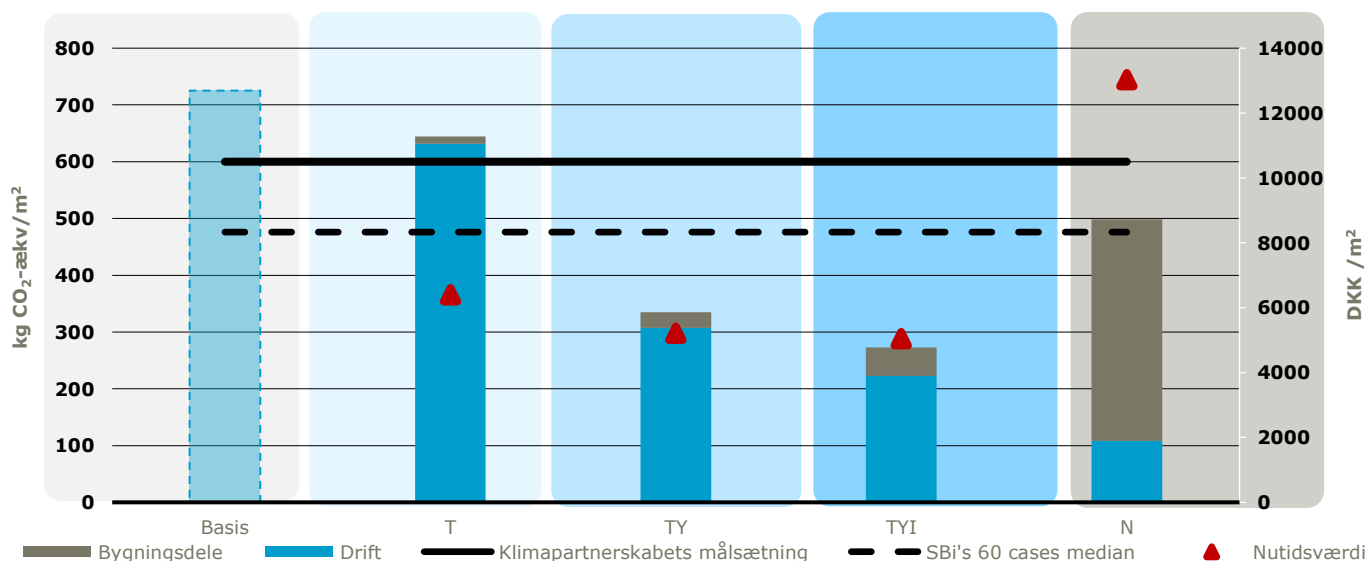


Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Til at repræsentere det nybyggede byggeri er der anvendt statistik fra SBI's LCA rapport for etagebyggeri. LCA resultatet præsenterer medianen for etagebyggeri.

Elforbrug: 3,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 27,7 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

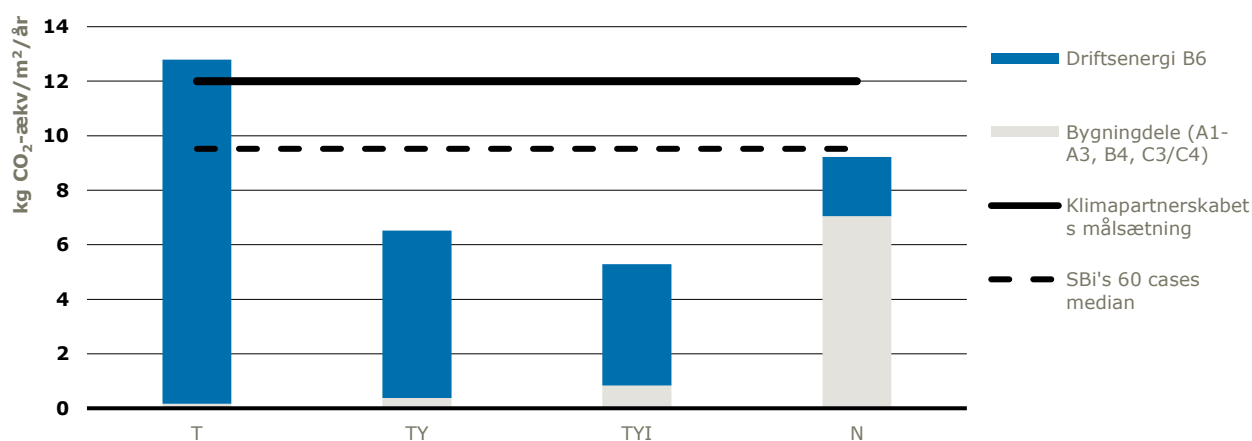


Figur 28: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen af klimapåvirkningen over 50 år viser, at ved renoverings scenarierne vil den primære påvirkning stamme fra driften af bygningen, da denne er høj grundet en utæt og uisoleret bygning. Derimod vil et nybyg scenarie have en lav påvirkning fra energiforbruget, og en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. På resultatet for klimabelastningen ses en markant forbedring ved renovering af tag, ydervægge og vinduer, svarende til scenarie (TY). Dette skyldes, at basicscasen har et uisoleret tag samt en ydervæg af massiv tegl. Da de første centimeters isolering er dem som giver den største forbedring i isoleringsevne, er der virkelig noget at hente i en sådan bygning. I scenarie TYI øges el forbruget, hvilket skyldes at bygningen får mekanisk ventilation, dette øger desuden komforten for forbrugeren.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

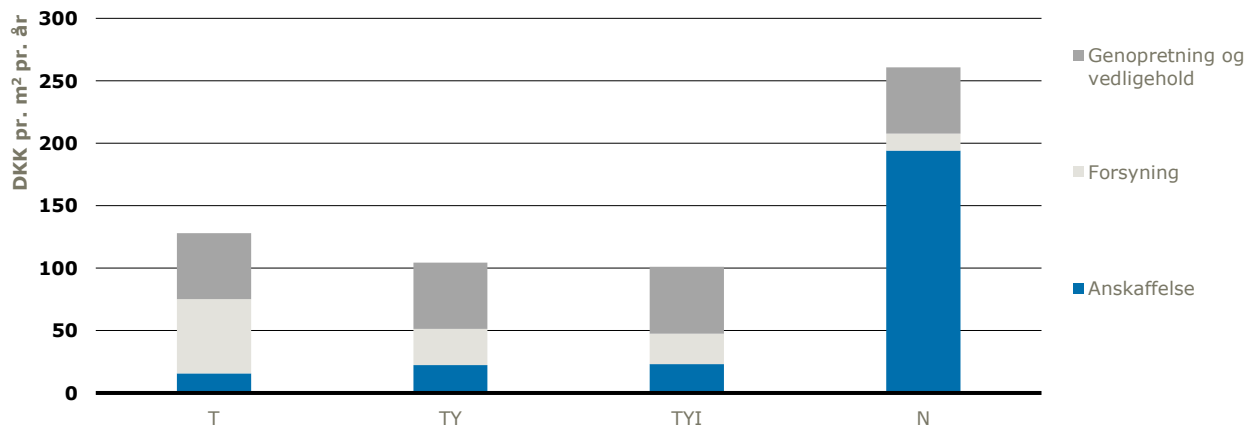


Figur 29: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For etagebyggeriet medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. Da byggeriet er boligbyggeri medregnes ikke renhold, da denne udgift er meget afhængig af den enkelte beboer, og der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Det bemærkes desuden, at denne udgift vil være ens for de forskellige scenarier. I LCC analysen ser vi desuden de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som for LCA analysen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog at i praksis ville det være rimeligt at antage at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 30: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 11: ETAGEBOLIG RESULTATER SAMLET

Med afsæt i et antaget basiscase byggeri efter 1966 standard, er der i dette casestudie vist, at en opgradering og energirenovering af klimaskærmen kan give en betydeligt lavere driftsenergi, som både resulterer i en reduktion af CO₂ og økonomiske omkostninger til drift. Nybyg casen er baseret på et moderne træbyggeri med meget lave CO₂-udledninger ved opførelsen. Ved sammenligning af 3 renoveringsniveauer med nybyggeri viser analysen, at nybyggeri er betydeligt dyrere set over en 50-årig periode.

BYGNINGSTYPE	ETAGEBYGGERI
OPVARMET AREAL	2851
BRUTTOAREAL	2851
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	3
BYGNINGSEJER	ALMENT
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2020
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	Elvarme

BASIS

Niveau 0



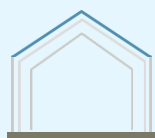
Basis Case

Terrændæk og varme- og brugsvandssystem tilbage til 1966 standard og solceller fjernes. U-værdi for taget bringes tilbage til 0,45 W/m²K svarende til 8 cm isolering. U-værdi for Ydervæggen bringes tilbage til 0,6 W/m²K svarende til 7 cm isolering. Vinduerne er 2 lags glas.

Elforbrug: 0 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 75,8 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

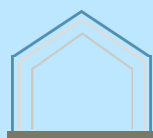


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 545 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,07 W/m²K. Tagpap udskiftes og ny dampspærre.

Elforbrug: 65,7 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: Opvarmet af el

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

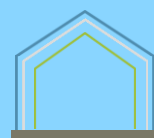


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 390 mm isolering svarende til U-værdi på 0,10 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag

Elforbrug: 35,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: Opvarmet af el

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 32,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: Opvarmet af el

NYBYGGERI

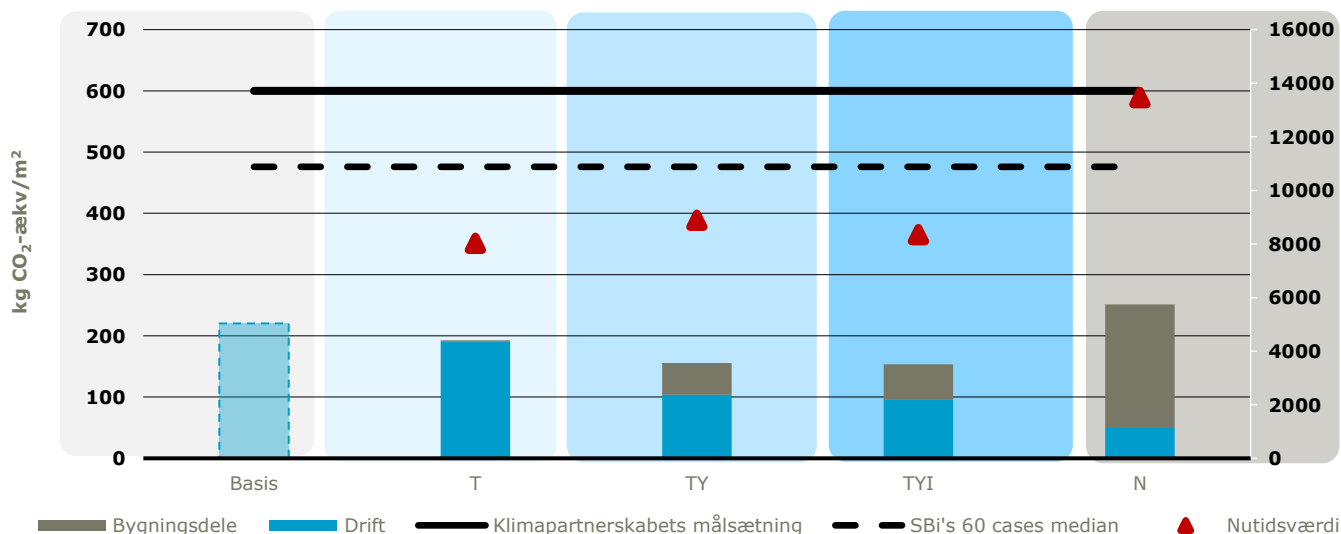
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt
Eksisterende byggeri nedrives og nyt byggeri opføres svarende til BR2018

Elforbrug: 17,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: Opvarmet af el

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

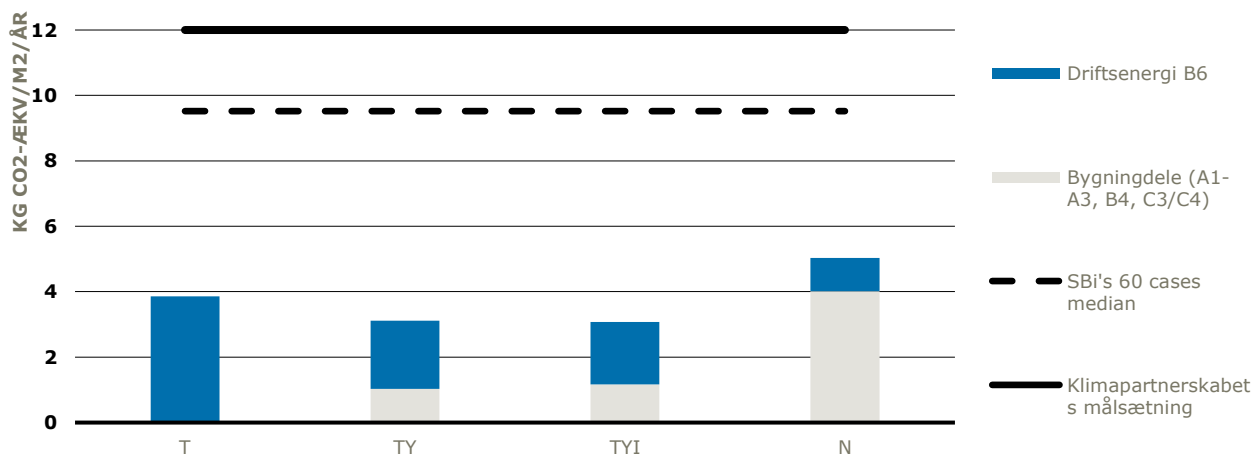


Figur 31: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen af klimapåvirkningen over 50 år viser, at ved renoveringsscenarierne vil den primære påvirkning stamme fra driften af bygningen, da denne er høj grundet en utæt og uisoleret bygning. Derimod vil et nybyg scenarie have en lav påvirkning fra energiforbruget, og en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. På resultatet for klimabelastningen ses en markant forbedring ved renovering af tag, ydervægge og vinduer, svarende til scenarie (TY).

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

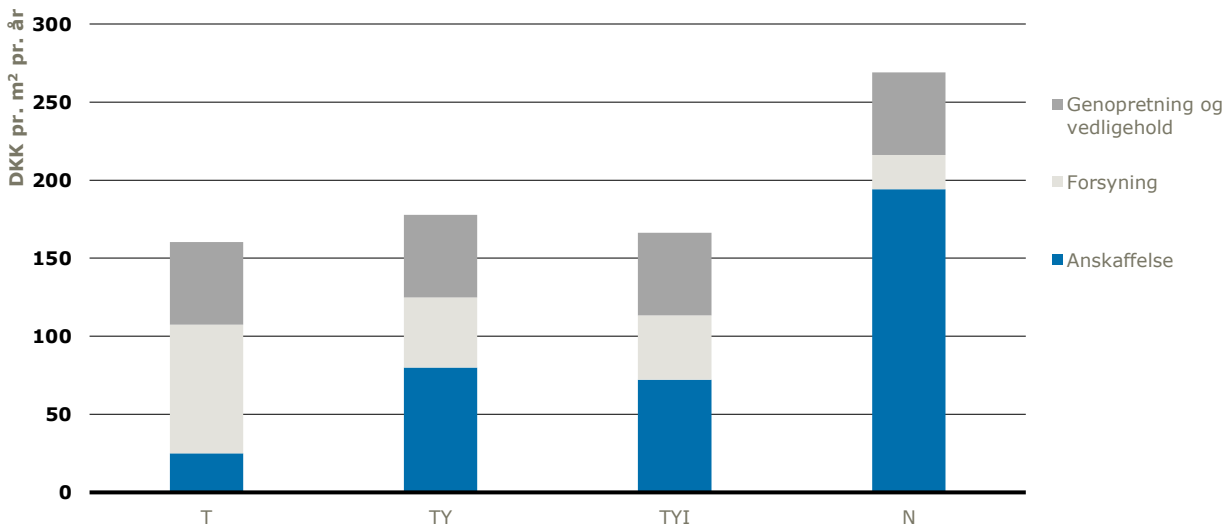


Figur 32: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For bebyggelsen medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. Da byggeriet er boligbyggeri medregnes ikke renhold, da denne udgift er meget afhængig af den enkelte beboer, og der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Det bemærkes desuden, at denne udgift vil være ens for de forskellige scenarier. I den totaløkonomiske analyse ser vi de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri, mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog at i praksis ville det være rimeligt at antage at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 33: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 12: ETAGEBOLIG RESULTATER SAMLET

Resultaterne af analysen for denne specifikke case, viser at en renovering af klimaskærmen for et antaget basiscase etagebyggeri efter 1966 standard, kan betyde lavere driftsenergi, og dermed resulterer i en reduktion af CO₂ og økonomiske omkostninger til drift. Ved sammenligning af de 3 renoveringsniveauer (T, TY og TYI) med nybyggeri viser analysen, at nybyggeri er betydeligt dyrere set over en 50-årig periode.

BYGNINGSTYPE	ETAGEBOLIG
OPVARMET AREAL	4246
BRUTTOAREAL	4246
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	7
BYGNINGSEJER	OFFENTLIG
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2022
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



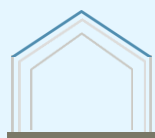
Basis Case

Terrændæk og varme- og brugsvandssystem tilbage til 1966 standard og solceller fjernes. U-værdi for taget bringes tilbage til 0,45 W/m²K svarende til 8 cm isolering. U-værdi for ydervæggen bringes tilbage til 1,0 W/m²K svarende til 3 cm isolering. Vinduerne er 2 lags glas.

Elforbrug: 0,6 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 127,4 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

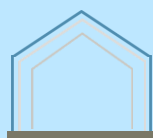


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 400 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,10 W/m²K. Tagpap udskiftes og ny dampspærre.

Elforbrug: 0,6 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 118,5 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

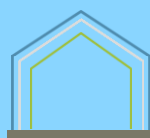


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 200 mm isolering svarende til U-værdi på 0,18 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lags. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 0,5 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 54,1 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Elforbrug: 5,3 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 36,7 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

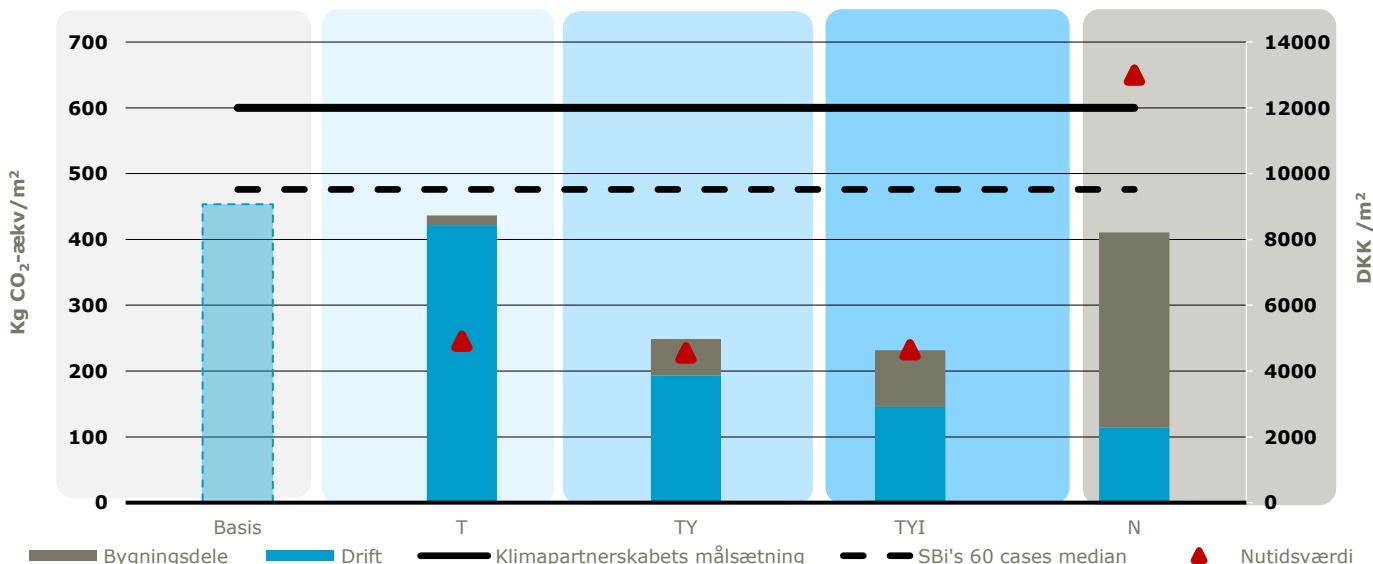
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 2,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 30,4 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNINGER OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR

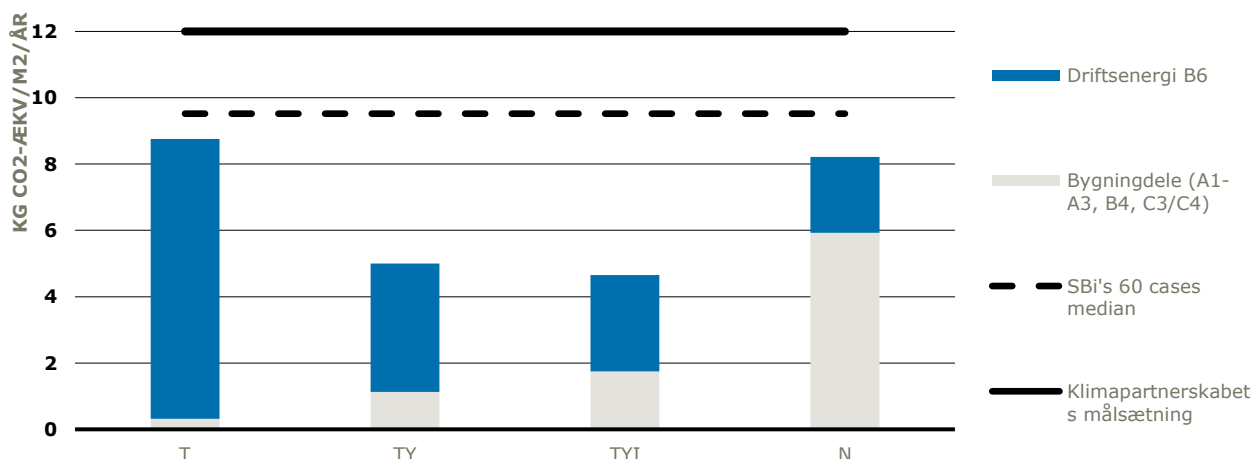


Figur 34: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Resultaterne for LCA-analysen fortæller, at for renoveringsscenarierne stammer den primære klimapåvirkning fra driften af bygningen, set over en 50-årig periode. Bygningens driftsforbrug vil dale i takt med omfanget af renoveringen, ses fra niveau T til TYI, da bygningens klimaskærm isoleres bedre og får en øget tæthed. For nybyg scenariet (N) vil den primære klimapåvirkning stamme fra materialerne tilført byggeriet og modsat være lav for energiforbruget i bygningen. På resultatet for klimabelastningen ses en markant forbedring ved renovering af tag, ydervægge og vinduer, svarende til scenarie (TY). I scenarie TYI øges elforbruget, hvilket skyldes, at bygningen får mekanisk ventilation. Dette øger desuden komforten for forbrugeren.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

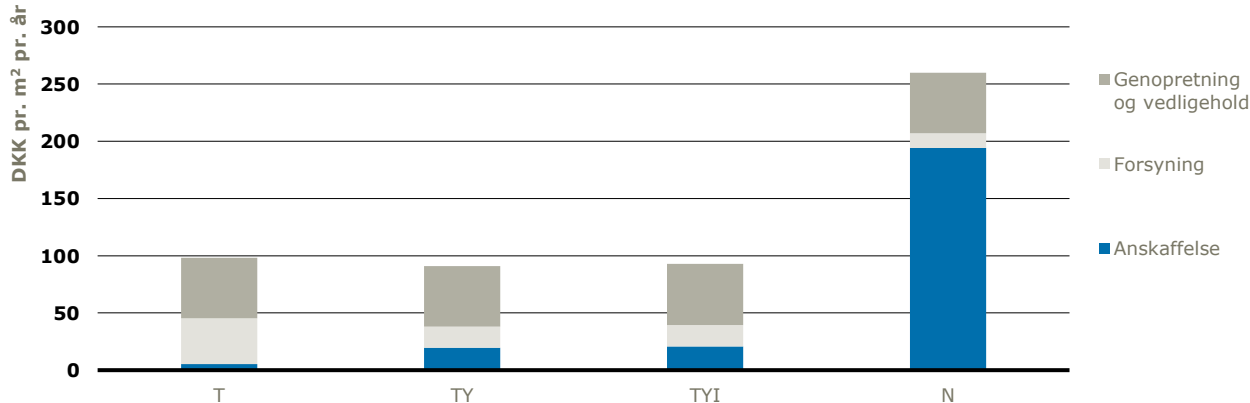


Figur 35: Klimapåvirkning set over en 50-årig periode.

RESULTATER LCC

For denne specifikke case er der i den totaløkonomiske beregning medtaget anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter, samt udgifter til forsyning. Da byggeriet er boligbyggeri medregnes ikke renhold, fordi denne udgift er afhængig af den enkelte beboer, og der ikke findes Molio prisdata for denne typologi. Det bemærkes desuden, at denne udgift vil være ens for de forskellige scenarier. LCA-analysen og LCC-analysen viser de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen. For nybyggeri (N) er anskaffelsesprisen høj mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog, at i praksis ville det være rimeligt at antage at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI



Figur 36: Totaløkonomisk beregning set over en 50-årig periode.

CASE 13: OFFENTLIG BYGGERI RESULTATER SAMLET

Med afsæt i et antaget basiscase byggeri efter 1966 standard er der i dette casestudie vist, at en opgradering og energirenovering af klimaskærmen kan give en betydeligt lavere driftsenergi, som både resulterer i en reduktion af CO₂ og økonomiske omkostninger til drift. Ved sammenligning af 3 renoveringsniveauer med nybyggeri viser analysen, at nybyggeri er betydeligt dyrere set over en 50årig periode.

BYGNINGSTYPE	UNIVERSITETS- BYGNING
OPVARMET AREAL	8043
BRUTTOAREAL	8861
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	3
BYGNINGSEJER	OFFENTLIG
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	1966
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



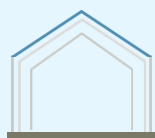
Basis Case

Terrændæk og varme- og brugsvandssystem efter 1966 standard. Taget er isoleret med 80 mm isolering. Ydervæggen er opbygget af 290 mm hulmur med formur af tegl, 30mm isolering og bagmur af letklinkerbeton. Vinduerne er 2 lags glas

Elforbrug: 33,9 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 146,4 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

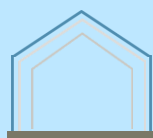


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 390 mm isolering svarende til en Uværdi på 0,1 W/m²K. Tagpap udskiftes og ny dampspærre.

Elforbrug: 34,3 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 132,5 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

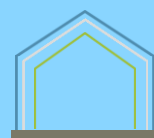


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 200 mm isolering svarende til U-værdi på 0,19 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 40,1 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 53,6 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Belysning opgraderes til LED system.

Elforbrug: 20,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 26,3 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

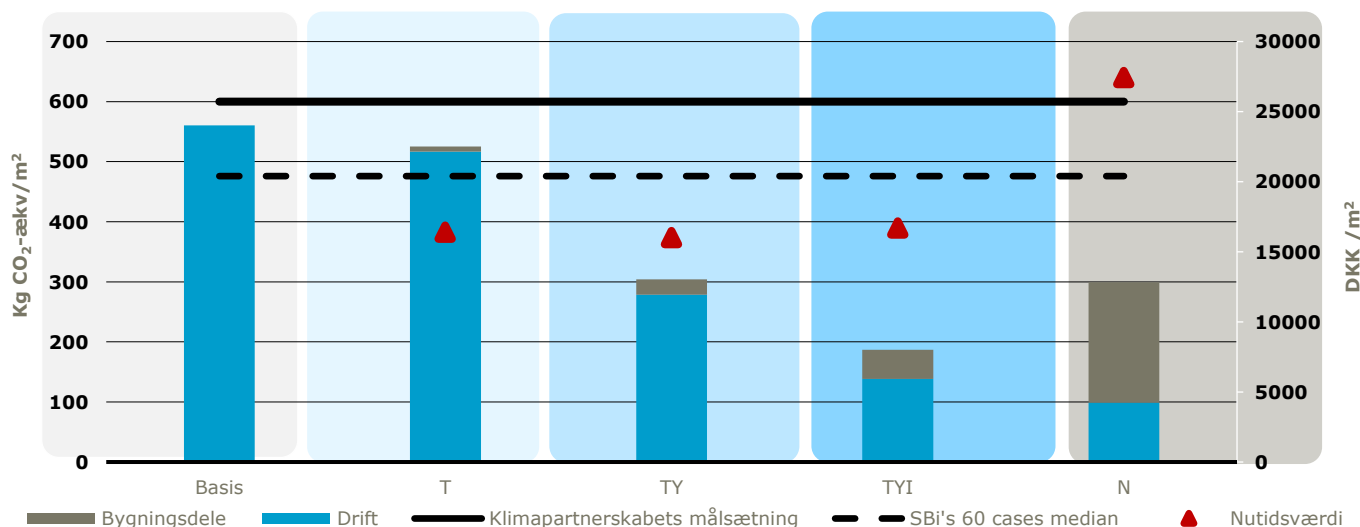
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 12,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 20,2 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

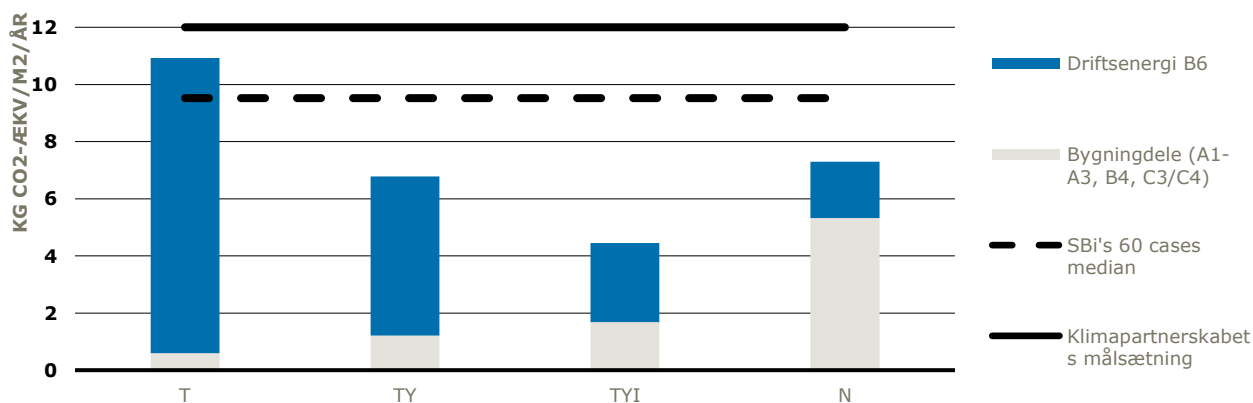


Figur 37: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtningsperiode.

RESULTATER LCA

Analysen for klimapåvirkninger over en 50 årig periode viser, at for det specifikke casestudie vil den betydelige klimabelastning for et nybyggeri ligge i bygningsdele og kun en lille mængde af de totale klimapåvirkninger stammer fra driftsenergien til nybyggeriet. Resultaterne viser den omvendte fordeling af klimapåvirkninger på bygningsdele kontra driftsenergi for de 3 renoveringsscenarier. For alle 3 scenarier T, TY og TYI gælder det, at driftsenergien udgør en betydelig del af klimapåvirkningerne. Ved renovering af tag, ydervæg og installationer (TYI) opnås lavest driftsenergi med dermed større andel klimapåvirkninger på bygningsdelene, selvom elforbruget til bygningen øges, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet. Det giver for scenarie TYI samtidig en øget komfort hos forbrugeren. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

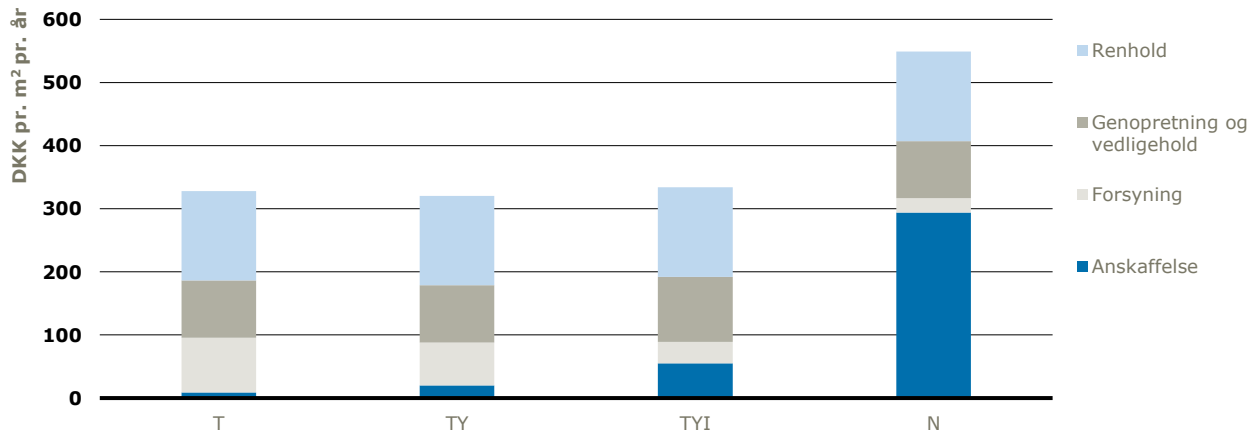


Figur 38: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For universitetsbygningen medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. I den totaløkonomiske analyse ser vi de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog at i praksis ville det være rimeligt at antage at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR

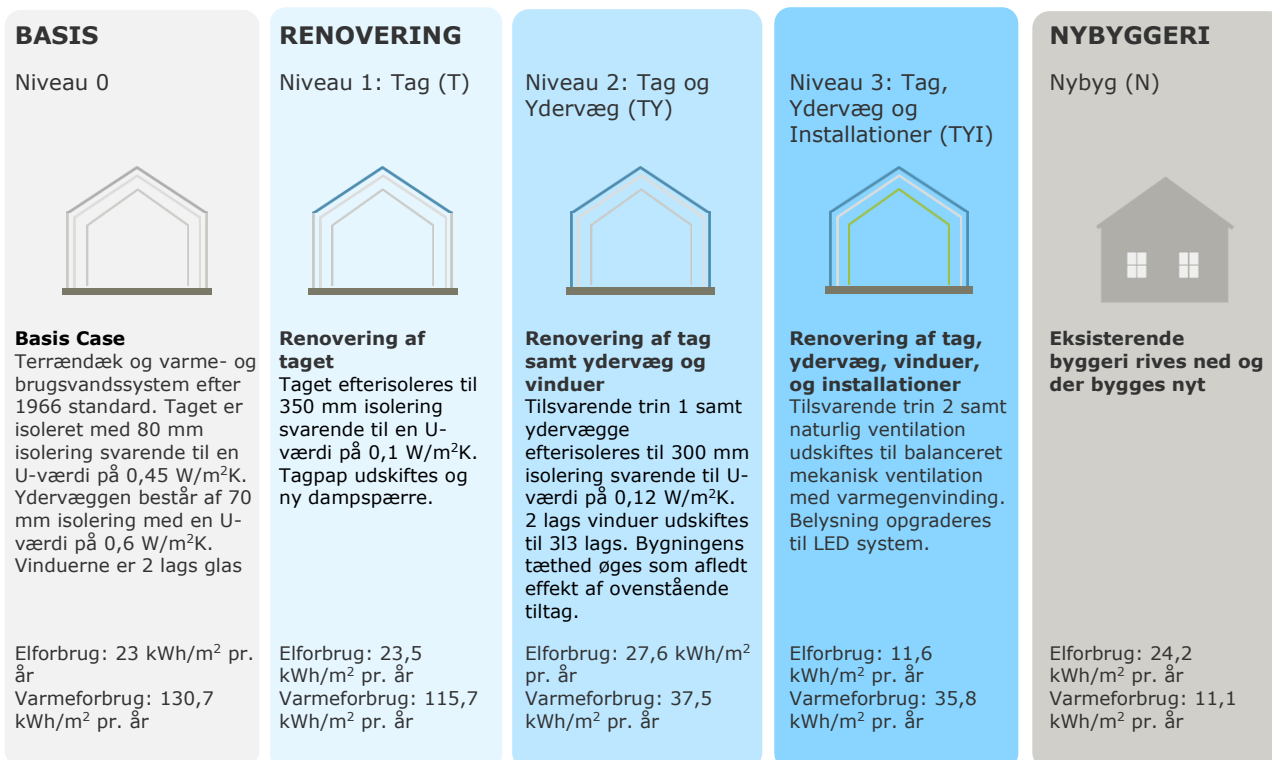


Figur 39: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

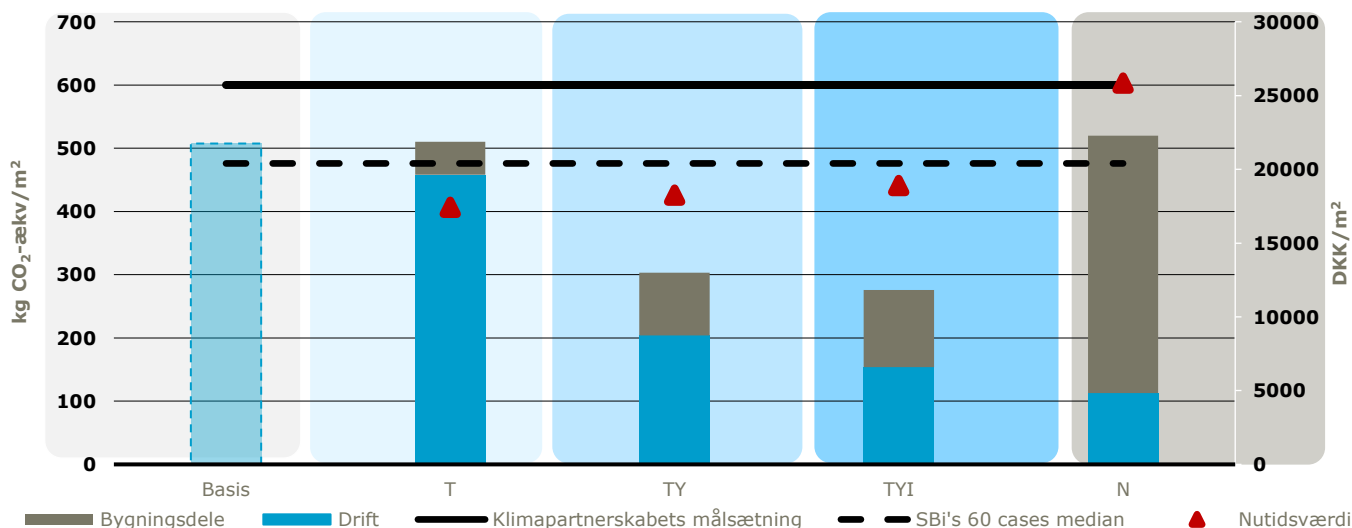
CASE 14: OFFENTLIG BYGGERI RESULTATER SAMLET

Casestudiet er lavet på en skole med et bruttoareal på 1207 m². Livscyklusanalysen (LCA) viser, at de to renoveringsscenarier TY og TYI har betydeligt lavere klimapåvirkning over 50 år sammenlignet med renoveringsscenarie T og nybyg scenariet N. Det ses desuden, at nybyg scenariet er betydeligt dyrere analyseres scenariernes totaløkonomi over 50 år grundet de høje anskaffelsesudgifter.

BYGNINGSTYPE	FOLKESKOLE
OPVARMET AREAL	1155
BRUTTOAREAL	1207
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	3
BYGNINGSEJER	OFFENTLIG
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2017
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME



KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.



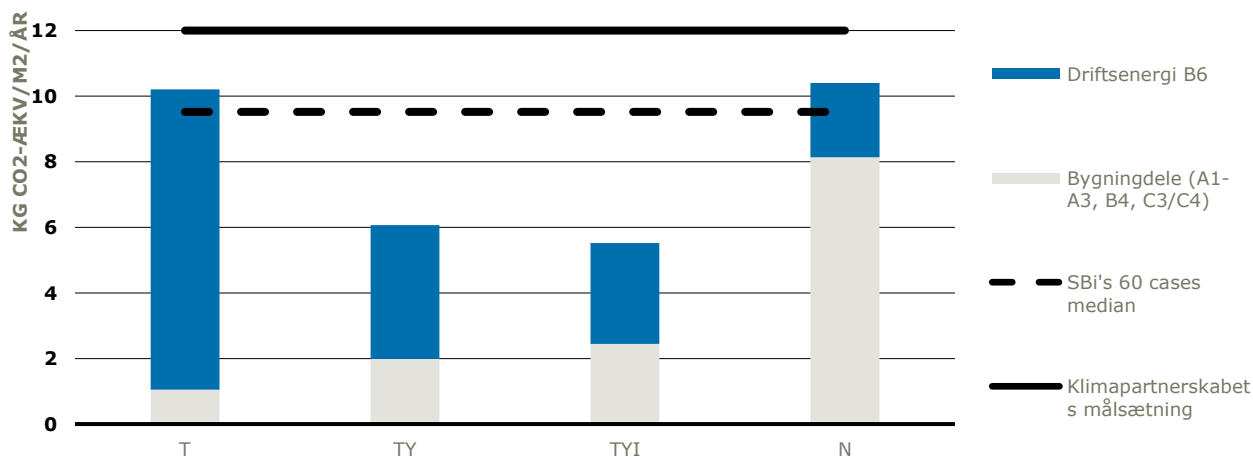
Figur 40: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analyseres skolens klimapåvirkninger ved livscyklusanalyser ses her, at for en utæt og ringe isoleret skole vil klimapåvirkningerne primært stamme fra driftsenergien, og jo mere der renoveres, vil påvirkningen fra drift og bygningsdele være mere ligeligt fordelt. For nybyg scenariet, er driftsenergien lav og påvirkningerne stammer primært fra bygningen, som er opført på ny.

Sammenlignes resultaterne med SBI's 60 case studier ligger både nybyg scenariet og renoveringsscenarie T lige over medianen, mens der ved at renovere i TY og TYI kan opnå en betydeligt lavere klimapåvirkning.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

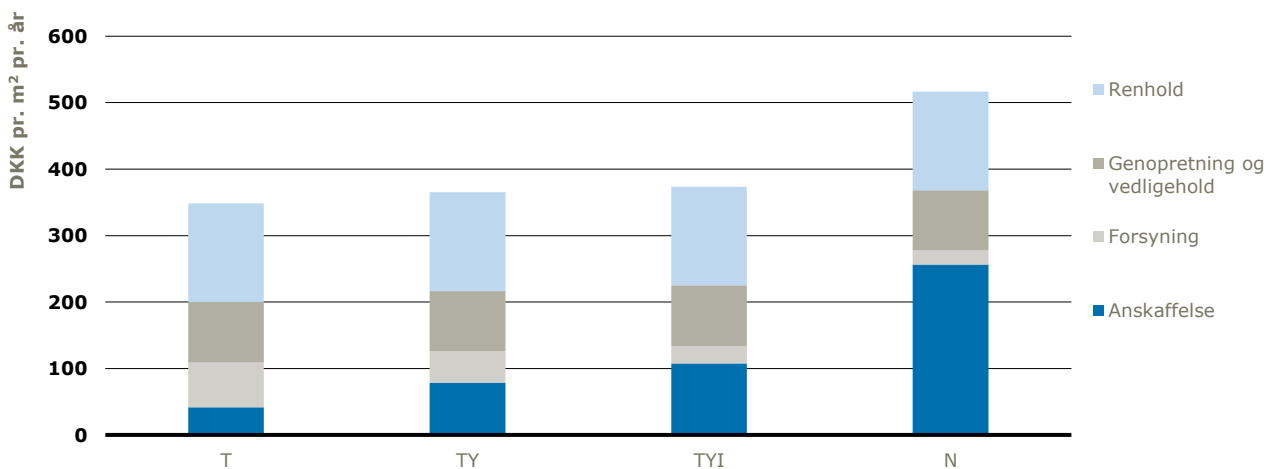


Figur 41: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

I den totaløkonomiske beregning af casestudiet af skolen medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter, renholdsudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. I den totaløkonomiske analyse ser vi de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog, at i praksis ville det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 42: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 15: OFFENTLIG BYGGERI RESULTATER SAMLET

Udgangspunktet for denne case var en nybygget daginstitution fra 2018, som føres tilbage til byggestandard efter BR1966, med reduceret isolering i tag og ydervæg. Resultaterne viser, at en øget tæthed af bygningen betyder lavere driftsenergi og reducerede økonomiske og CO₂ omkostninger til drift. Samtidig viser resultaterne, at nybyg kontra renovering er dyrere set over en 50-årig periode.

BYGNINGSTYPE	DAGINSTITUTION
OPVARMET AREAL	850
BRUTTOAREAL	853
KONSTRUKTIONSTYPE	LET
ANTAL ETAGER	1
BYGNINGSEJER	OFFENTLIG
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2018
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



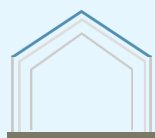
Basis Case

Terrændæk, varme- og brugsvandssystem bygget efter 1966 standard. Taget består af 80 mm isolering. Ydervæg af træskeletvæg, udvendig bræddebeklædning indvendig forskalling og puds, hulrum isoleret med 70 mm mineraluld. Vinduer består af 2 lag glas.

Elforbrug: 23,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 189,8 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

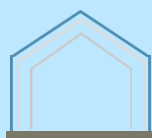


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 400 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,09 W/m²K. Tagpap udskiftes og dampspærre tilføjes.

Elforbrug: 23,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 146,5 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

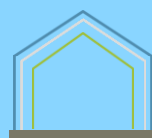


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1. Ydervægge efterisoleres til 290 mm isolering svarende til U-værdi på 0,14 W/m²K. 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer.

Elforbrug: 23,7 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 86,5 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til mekanisk ventilation. Belysning opgraderes til LED.

Elforbrug: 11,7 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 77,4 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

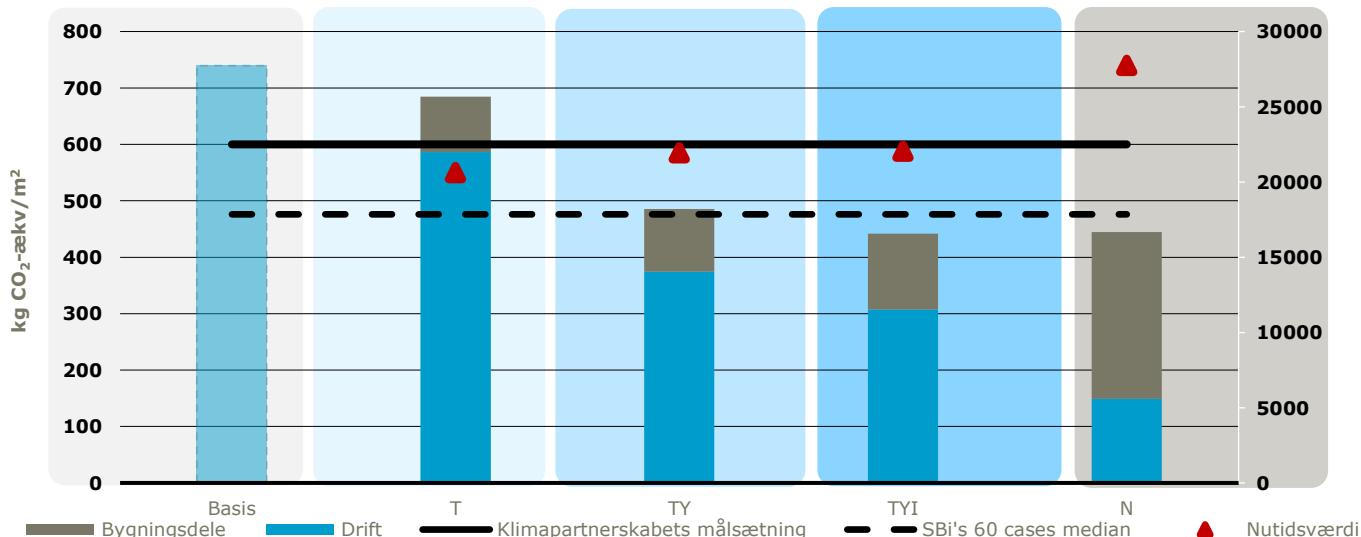
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 5,2 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 37,9 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

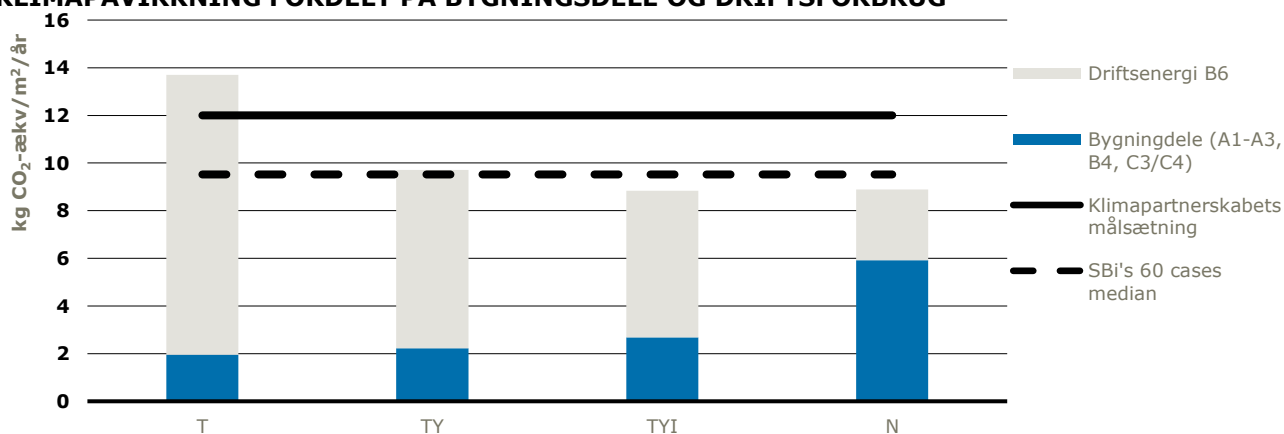


Figur 43: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

Analysen af klimapåvirkningen over 50 år viser, at ved renoveringsscenarierne vil den primære påvirkning stamme fra driften af bygningen, da denne er høj grundet en utæt og uisoleret bygning. Derimod vil et nybyg scenarie have en lav påvirkning fra energiforbruget, og en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. På resultatet for klimabelastningen ses en markant forbedring ved renovering af tag, ydervægge og vinduer, svarende til scenarie (TY).

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

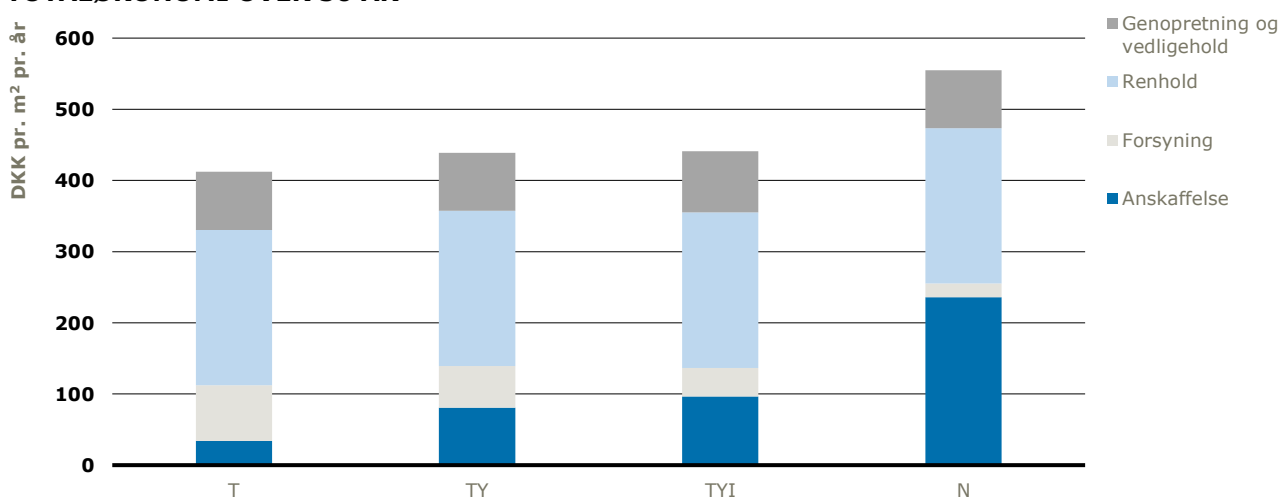


Figur 44: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For daginstitutionen medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. I den totaløkonomiske analyse ser vi de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog, at i praksis ville det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



Figur 45: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

CASE 16: OFFENTLIG BYGGERI RESULTATER SAMLET

Udgangspunktet for dette casestudie var et byggeri efter 1966 standarden med ringe isolering og utæt konstruktion. Det ses her, at en energirenovering af klimaskærmen kan give et betydeligt lavere driftsenergi, hvilket resulterer i både en CO₂ reduktion samt lavere økonomiske omkostninger til drift. Desuden viser analysen, at det er betydeligt dyrere at bygge nyt kontra at renovere set over en 50-årig periode for dette casestudie.

BYGNINGSTYPE	Sundhedscenter
OPVARMET AREAL	5870
BRUTTOAREAL	5870
KONSTRUKTIONSTYPE	TUNG
ANTAL ETAGER	2
BYGNINGSEJER	OFFENTLIG
CASE BYGNINGENS OPRINDELIGE OPFØRELSE	2022
BETRAGTNINGSPERIODE	2020-2069
FORSYNING	FJERNVARME

BASIS

Niveau 0



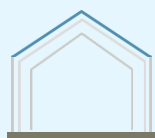
Basis Case

Terrændæk og varme- og brugsvandssystem efter 1966 standard. Taget er isoleret med 80 mm isolering. Ydervæggen består af 290 mm hulmur med formur af tegl, 30mm isolering og bagmur af letklinkerbeton. Vinduerne er 2 lags glas

Elforbrug: 29,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 135,8 kWh/m² pr. år

RENOVERING

Niveau 1: Tag (T)

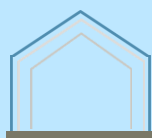


Renovering af taget

Taget efterisoleres til 400 mm isolering svarende til en Uværdi på 0,09 W/m²K. Tagpap udskiftes og ny dampspærre.

Elforbrug: 29,8 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 123,5 kWh/m² pr. år

Niveau 2: Tag og Ydervæg (TY)

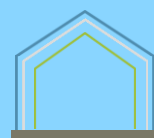


Renovering af tag samt ydervæg og vinduer

Tilsvarende trin 1 samt ydervægge efterisoleres til 300 mm isolering svarende til U-værdi på 0,17 W/m²K og 2lags vinduer udskiftes til 3lagsvinduer. Bygningens tæthed øges som afledt effekt af ovenstående tiltag.

Elforbrug: 30 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 63,7 kWh/m² pr. år

Niveau 3: Tag, Ydervæg og Installationer (TYI)



Renovering af tag, ydervæg, vinduer, og installationer

Tilsvarende trin 2 og naturlig ventilation udskiftes til balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Belysning opgraderes til LED system.

Elforbrug: 10,9 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 39 kWh/m² pr. år

NYBYGGERI

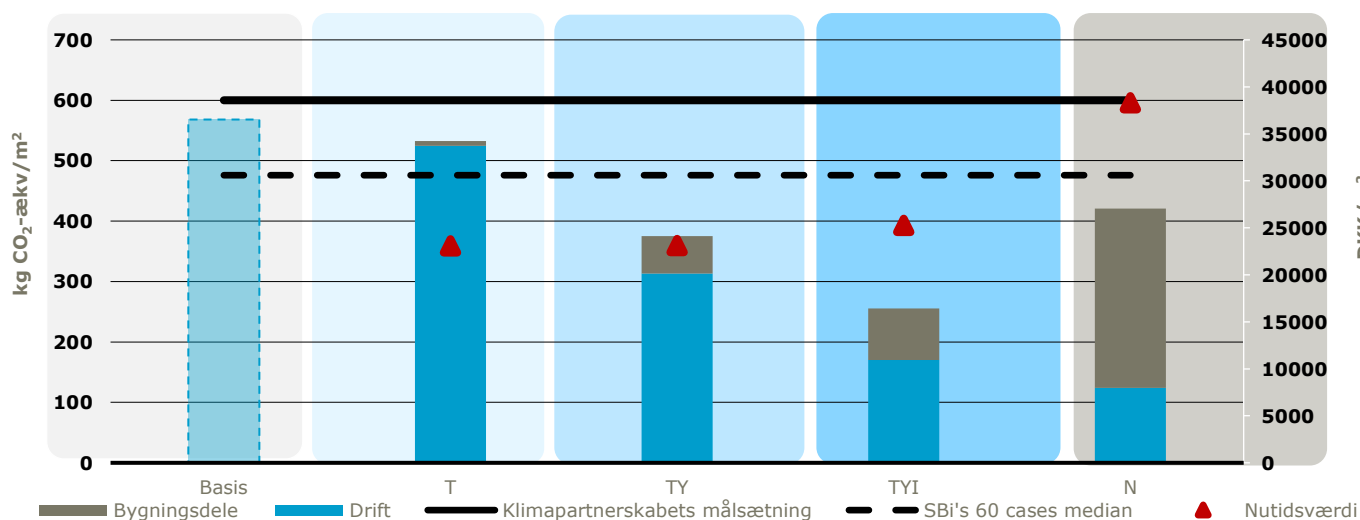
Nybyg (N)



Eksisterende byggeri rives ned og der bygges nyt

Elforbrug: 9,4 kWh/m² pr. år
Varmeforbrug: 27,3 kWh/m² pr. år

KLIMAPÅVIRKNING OG NUTIDSVÆRDI OVER 50 ÅR.

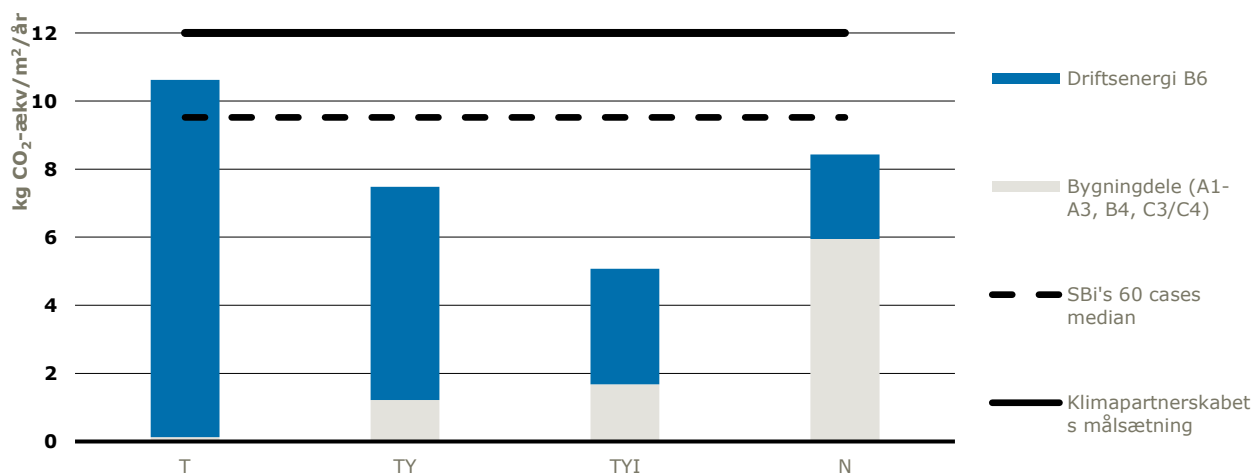


Figur 46: LCA og LCC-resultater over en 50-årig betragtning.

RESULTATER LCA

For det specifikke casestudie viser analysen, at over en 50årig periode vil de primære klimapåvirkninger ved renoveringsscenarierne stamme fra driften af bygningen. En høj drift for de 3 renoveringsscenarier skyldes en utæt og ringe isoleret bygning. Modsat gælder det for det nybyggede scenarie. Nybyg vil have en lav påvirkning fra byggeriets energiforbrug, men derimod en højere påvirkning fra materialerne tilført byggeriet. Ses der på de 3 renoveringsniveauer fås en markant forbedring af resultat for klimabelastning ved at renovere tag, ydervægge og vinduer (TY) sammenlignet med alene en tagrenovering (T). I renoveringsscenarie TYI øges elforbruget til bygningen, da renoveringen indebærer tilførsel af mekanisk ventilation og opgraderingen af bygningens elnet, hvilket samtidig er med til at øge forbrugernes komfort. Denne forøgelse i elforbrug opvejes dog af et mindre energiforbrug til varme.

KLIMAPÅVIRKNING FORDELT PÅ BYGNINGSDELE OG DRIFTSFORBRUG

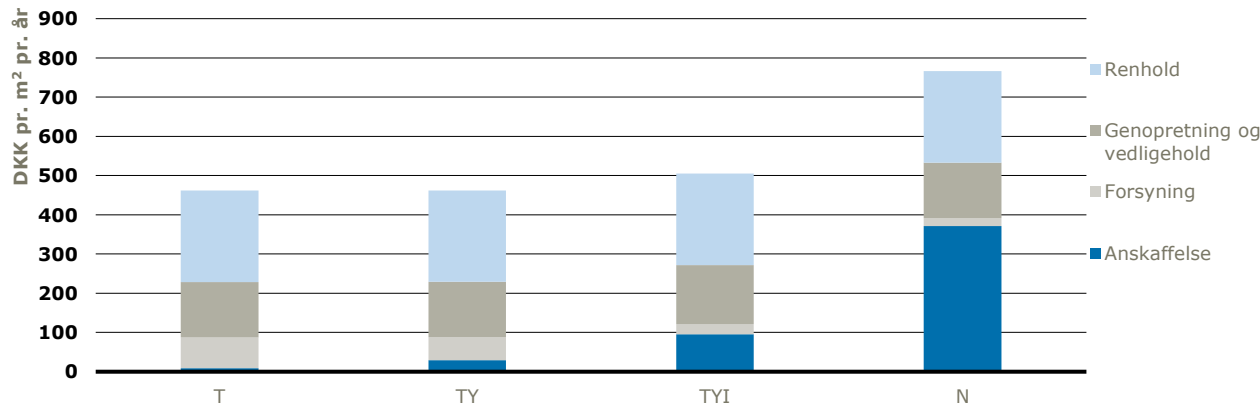


Figur 47: Klimapåvirkning set over en 50 årig periode.

RESULTATER LCC

For sundhedscenter medtages anskaffelsesudgifter, vedligeholdelsesudgifter samt udgifter til forsyning i den totaløkonomiske beregning. I den totaløkonomiske analyse ser vi de samme tendenser for renoveringsscenarierne og nybyggeriet som i livscyklusvurderingen - at anskaffelsesprisen er høj for nybyggeri mens forsyningsomkostninger er relativt lave sammenlignet med renoveringsscenarierne, som har høje udgifter til forsyning grundet høje driftsforbrug i utætte mindre isolerede bygninger. Vedligeholdelsesprisen er i analysen den samme for alle scenarierne, da de er baseret på kvadratmeterpriser, det bemærkes dog, at i praksis ville det være rimeligt at antage, at prisen på vedligehold er mindre for nybyggeri.

TOTALØKONOMI OVER 50 ÅR



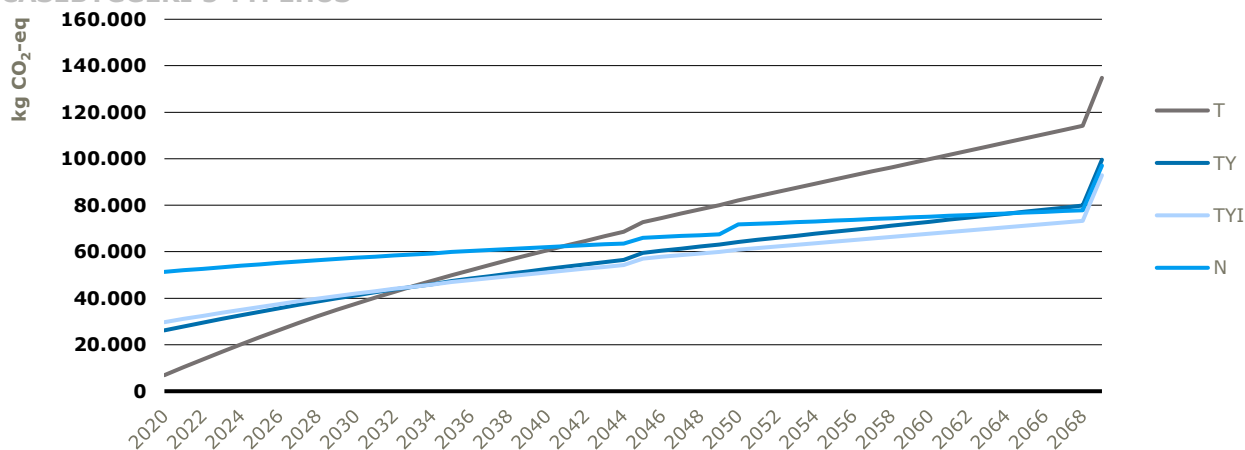
Figur 48: Totaløkonomisk beregning set over en 50 årig periode.

1 Bilag – Akkumuleret globalt opvarmningspotentiale

Figur 49 viser de akkumulerede klimapåvirkninger fra case 5. I grafen ses det at den laveste påvirkning i år 0 er i scenarie T, men på grund af det høje energiforbrug, vil denne graf være stejlere end de andre scenarier, som vil tjene deres investering i renovering ind i løbet af årene, og i år 50 vil T derfor have den største akkumulerede klimapåvirkning. Scenarier TY, TYI og N har næsten ens klimapåvirkning i år 50.

AKKUMULERET GLOBALT OPVARMNINGSPOTENTIALE

CASEBYGGERI 5 TYPEHUS

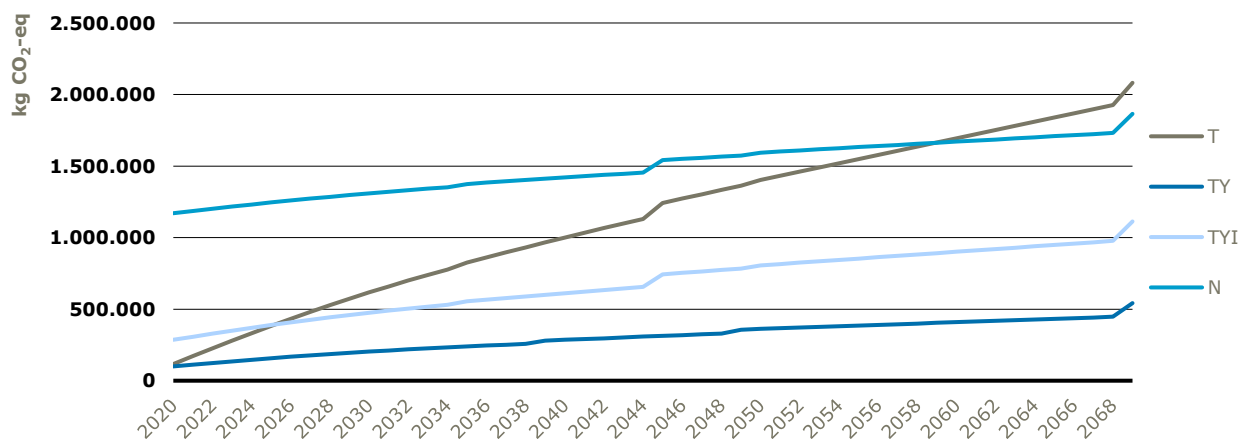


Figur 49: Akkumuleret globalt opvarmningspotentiale over 50 år for casebyggeri 5.

Error! Reference source not found. viser den akkumulerede klimapåvirkning fra casebyggeri 12, som er et etagebyggeri. I dette scenarie ses det at de høje klimapåvirkninger ved nybyg ikke tjenes hjem af et lavt energiforbrug hvis der sammenlignes med renoveringsscenarier TY og TYI, som i denne case har de laveste akkumulerede klimapåvirkninger.

AKKUMULERET GLOBALT OPVARMNINGSPOTENTIALE

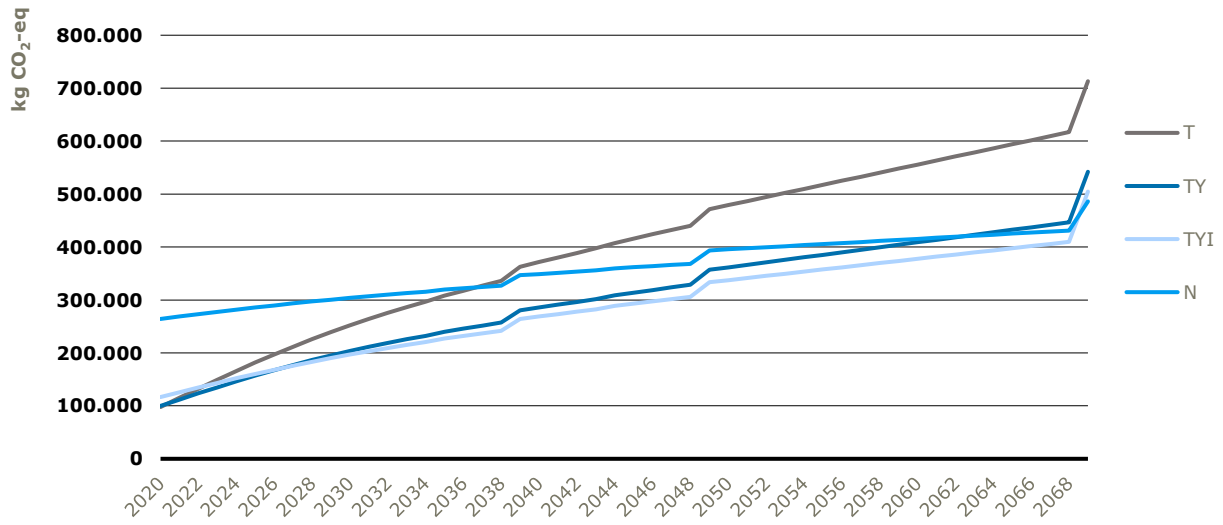
CASEBYGGERI 12 ETAGEBYGGERI



Figur 50: Akkumuleret globalt opvarmningspotentiale over 50 år for casebyggeri 12.

For casebyggeri 15, som er en daginstitution, viser de akkumulerede klimapåvirkninger i **Error! Reference source not found.** at nybyggeriets lave energiforbrug, illustreret ved en meget flad graf, netop vil tjene sig hjem i løbet af 50 år, på trods af at denne har de højeste påvirkninger i år 0, hvor det eksisterende byggeri skal nedrives og der bygges nyt.

AKKUMULERET GLOBALT OPVARMNINGSPOTENTIALE CASEBYGGERI 15 OFFENTLIG BYGGERI



Figur 51: Akkumuleret globalt opvarmningspotentiale over 50 år for casebyggeri 15

2 Bilag - Molio data

Tabel 2: Moliodata anvendt til LCC-beregning

	Nr	Tekst	*	Enhed	Mængde	Enhedspris
Nybyg	04.22.05,12	95 mm mineraluld kl. 34, trækonstruktion	TE	m2	1	186,85
	(59)57.05,07	Ventilation, højere læreanstalter	TBE	m2	1	1.043,17
	(59)57.05,04	Ventilation, børneinstitutioner	TBE	m2	1	376,96
	(59)57.05,09	Ventilation, sygehuse, behandlingsafd.	TBE	m2	1	2.607,22
	(59)57.05,03	Ventilation, etagehuse	TBE	m2	1	47,98
	(59)57.05,14	Ventilation, administrationsbygninger	TBE	m2	1	1.043,17
	(59)57.05,02	Ventilation, række- og klyngehuse	TBE	m2	1	47,98
	(59)57.05,01	Ventilation, enfamiliehuse	TBE	m2	1	47,98
	(99)05.31,01	Højere læreanstalter. Orienterende m ² priser	TBE	m2	1	14.828,48
	(99)05.20,01	Børneinstitutioner. Orienterende m ² priser	TBE	m2	1	11.887,63
	(99)05.40,01	Sygehuse, behandlingsafdelinger. Orienterende m ² priser	TBE	m2	1	18.707,90
	(99)05.15,01	Etagehuse. Orienterende m ² priser	TBE	m2	1	9.789,43
	(99)05.50,01	Administrationsbygninger. Orienterende m ² priser	TBE	m2	1	14.877,95
	(99)05.10,01	Række- og klyngehuse. Orienterende m ² priser	TBE	m2	1	10.061,31
	(99)05.05,01	Enfamiliehuse. Orienterende m ² -priser	TBE	m2	1	10.740,47
Renovering	1.1-6.5,01	Efterisolere tag med tagpap, 100 mm mineraluld	TE	m2	1	1.377,93
	1.1-6.5,02	Efterisolere tag med tagpap, 150 mm mineraluld	TE	m2	1	1.551,07
	1.1-6.5,03	Efterisolere tag med tagpap, 180 mm mineraluld	TE	m2	1	1.658,34
	(47)16.63,01	Udv. isol. 100 mm Hardrock Energy	TE	m2	1	526,58
	(47)16.63,03	Udv. isol. 150 mm Hardrock Energy	TE	m2	1	697,97
	(47)16.63,04	Udv. isol. 180 mm Hardrock Energy	TE	m2	1	777,46
	1.1-3.7,01	Udskifte røde vingetegl + efterisolering	TE	m2	1	2.721,43
	2.5-2.1,02	Hulmursisolering, 130 mm, i ydervæg af tegl	TE	m2	1	385,70
	2.5-2.1,01	Hulmursisolering, 80 mm, i ydervæg af tegl	TE	m2	1	304,63
	(21)36.60,14	80 mm granuleret mineraluld, indblæse	TE	m2	1	247,06
	2.5-3.1,02	Efterisolering, 120 mm mineraluld og fyr, en på to	TE	m2	1	3.288,41

	(21)35.20,01	Træskelet 50 x 100 mm, 95 mm mineraluld	E	m2	1	1.498,22
	2.5-3.1,03	Efterisolering, 145 mm mineraluld og fyr, en på to	TE	m2	1	3.650,86
	2.5-3.3,03	Efterisolering, 145 mm mineraluld og fyr på klink	TE	m2	1	3.437,31
	(21)35.20,03	Træskelet 75 x 150 mm, 145 mm mineraluld	E	m2	1	1.961,84
	2.5-3.2,03	Efterisolering, 145 mm mineraluld og fyr med lister	TE	m2	1	3.470,99
	2.5-5.3,02	Efterisolering, 240 mm mineraluld og fyr på klink	TE	m2	1	4.697,79
	2.5-5.1,02	Efterisolering, 240 mm mineraluld og fyr, en på to	TE	m2	1	4.911,33
	2.5-1.1,02	Isolering, REDArt, 200 mm mineraluld og puds	TE	m2	1	1.871,09
	3.2-6.2,03	Fast vindue af træ, 948 x 1.188 mm, 3 lags	TE	stk	1	5.075,04
	3.2-7.8,02	Fast vindue af alu, 1.188 x 1.188 mm, 3 lags	TE	stk	1	6.168,81
	3.2-6.2,04	Fast vindue af træ, 1.188 x 2.118 mm, 3 lags	TE	stk	1	7.932,76
	(63)88.10,03	Lysinstallationer - række-/klyngehuse	TE	m2	1	933,34
	12.1-5.1,01	Udskiftning af elinstallation	TE	m2	1	1.925,99
Drift	(228)10.30,015	Rengøre skoler, middel kval., 252 dg/år	TE	m2	1	346,53
	(228)10.20,015	Rengøre børneinst. middel kval. 252dg/år	TE	m2	1	504,29
	(228)10.45,015	Rengøre sygehuse, middel kval. 252 dg/år	TE	m2	1	564,72
	(228)10.55,015	Rengøre adm.bygn. middel kval. 252 dg/år	TE	m2	1	299,47
	(238)10.30,019	Skoler, sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	175,63
	(238)10.20,019	Børneinst. sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	157,77
	(238)10.45,019	Sygehuse, sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	273,87
	(238)10.15,019	Etagehuse sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	102,48
	(238)10.55,019	Kontorer, sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	157,77
	(238)10.10,019	Rækkehuse sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	112,88
	(238)10.05,019	Enfamiliehuse sum af samlet vedligehold	TE	m2	1	117,33
Forsyning		Fjernvarme		kWh	1	0,52
		Elektricitet		kWh	1	1,77