

Energy Performance Indicator Tracking Schemes  
for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes  
in European Housing Stocks



## Fremtidig utvikling i energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp for Norges boligmasse

Utarbeidet innen rammen av prosjektet **EPISCOPE**  
(Leveranse D3.2a)



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

Trondheim, 28.09.2014

Forfattere:

- Helge Brattebø, Reyn O'Born, Nina Holck Sandberg, Ragni Kristin Storvolleng, Marta Baltruszewics, Marie Folstad og Anja Myreng Skaran, alle ved Institutt for energi og prosessteknikk, NTNU
- Igor Sartori, SINTEF Byggforsk



---

# Fremtidig utvikling i energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp for Norges boligmasse

Forfattere:

- Helge Brattebø, Reyn O’Born, Nina Holck Sandberg, Ragni Kristin Storvolleng, Marta Baltruszewics, Marie Folstad og Anja Myreng Skaran, alle ved Institutt for energi og prosessteknikk, NTNU
- Igor Sartori, SINTEF Byggforsk

Utarbeidet innen rammen av prosjektet EPISCOPE:

- Kontrakt: IEE/12/695/SI2.644739
- Koordinator: Britta Stein, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
- Prosjektleder i Norge: Professor Helge Brattebø, NTNU, Trondheim

Trondheim, 28.09.2014

Professor Helge Brattebø, Industriell økologi, Institutt for energi og prosessteknikk  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU  
Sem Sælandsveg 7, 7491 Trondheim

Telefon: +47-73598940

<http://www.ntnu.edu/indecol>

***Legal Disclaimer:***

*The sole responsibility for the content of this publication etc. lies with the authors. It does not necessarily reflect the opinion of the European Union. Neither the EASME nor the European Commission are responsible for any use that may be made of the information contained therein.*

## Forord

Denne rapporten presenterer metodikk og foreløpige resultater i forbindelse med estimering av den fremtidige utviklingen i energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp fra den norske boligmassen. Dette er et forskningsarbeid som er utført innen rammene av prosjektet EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks), finansiert med støtte fra EU-programmet Intelligent Energy Europe, under kontrakt IEE/12/695/SI2.644739 med Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, som prosjektkoordinator. Prosjektleder i Norge er Professor Helge Brattebø, NTNU, med SINTEF Byggforsk som underleverandør under lokal ledelse av seniorforsker Igor Sartori.

EPISCOPE-prosjektet ([www.episcope.eu](http://www.episcope.eu)) har til formål å bidra til en mer transparent og effektiv prosess for energieffektivisering og rehabilitering av den europeiske boligmassen. Prosjektet utvikler blant annet nasjonale typologier for boligbygg for 16 land, gjennom bruk av et felles klassifiseringsprinsipp, en felles metodikk og modell for beregning av bygningers energibalanse, samt 2-siders datasett med angivelse av forutsetninger og resultater for utvalgte eksempelbygninger i det enkelte land. Metodikken og modellen er en forbedring av det som ble benyttet for energibalanse for bygningstypologier i IEE-prosjektet TABULA. Gjennom EPISCOPE-prosjektet er denne modellen utvidet til også å omfatte eksempler på nye bygninger og Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) i de enkelte land, og 6 nye land er inkludert i prosjektet, inklusive Norge.

Denne rapporten gir en kort oversikt over sammensetningen av den norske boligmassen, med basis i siste tilgjengelige statistikk fra Statistisk sentralbyrå og klassifisert i henhold til bygningstypologiene som er utviklet for norske boligbygg i EPISCOPE-prosjektet. Dernest gis en oversikt over energibruken for eksempelbygg innen denne typologien, med effektene av tre varianter energirehabilitering av eksisterende bygninger og tre varianter energistandard for fremtidige bygninger. Rapporten avsluttes med skissering av metodikk for og foreløpige resultater fra scenarioanalyse av fremtidig energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp utført gjennom et antall masteroppgaver ved NTNU. Ytterligere resultater fra scenarioanalyser forventes rapportert videre i løpet av det resterende arbeidet i EPISCOPE-prosjektet.



---

## Innholdsliste

Forord.....	3
Innholdsliste .....	5
1. Sammensetningen av den norske boligmassen .....	7
1.1. Bakgrunn .....	7
1.2. Boligstatistikk for Norge i henhold til EPISCOPE-typologien.....	8
2. Status for rehabilitering utført i den norske boligmassen .....	9
3. Energibalanser for typologier i den norske boligmassen .....	12
3.1. Eksempelbygninger og varianter av utforming for disse .....	12
3.2. Sammenstilling av energibalanse resultater for eksempelbygninger .....	14
4. Modellering av energiutviklingen i boligmassen samlet.....	19
4.1. Dynamisk MFA-modellering av boligmassen og rehabiliteringsaktivitet .....	20
4.2. Scenarioanalyse over boligmassens energiforbruk og CO <sub>2</sub> -utslipp .....	30
4.2.1. Enovas potensial- og barrierestudie om energieffektivisering i norske bygg.	30
4.2.2. Pågående forskningsarbeid på EPISCOPE-prosjektet ved NTNU.....	33
5. Litteraturreferanser .....	53



## 1. Sammensetningen av den norske boligmassen

### 1.1. Bakgrunn

Den norske boligmassen består av ulike typer (eksempelvis eneboliger, rekkehus, blokkleiligheter) og ulike aldersklasser (eksempelvis bygninger bygget i perioden 1971-1980) av boligbygninger. For hver type og aldersklasse finnes det et gitt antall bygninger og et gitt antall boliger som er i bruk i dag, altså som del av dagens stående og bebodde boligmasse. Utover dette vil en mindre andel av dagens stående boligmasse til enhver tid være ubebodd. Videre, for et gitt segment av boligmassen, dvs. for en gitt type og aldersklasse av boliger, vil antallet boliger avta etter hvert som årene går fordi en andel av disse boligene hvert år rives, på grunn av boligens økende alder, omdisponering av grunnen og andre årsaker. Antallet boligbygninger, boliger og tilhørende gulvareal innen et gitt segment av type og aldersklasse er derfor ikke konstant fra år til år. Boligstatistikken for norske bebodde boliger er nylig oppdatert av Statistisk sentralbyrå, og gjort tilgjengelig for vårt arbeid i EPISCOPE-prosjektet, se nedenfor.

Konstant er heller ikke boligmassens energiforbruk. Denne varierer betydelig fra år til år, grunnet variasjoner i klima (spesielt vintertemperatur) og energipriser. Over lengre tidsserier spiller derimot andre faktorer en større rolle; slik som det totale antallet boliger og gulvareal, samt viktige forhold som endringer i byggeforskrifter og energistandarder, og endringer i brukeratferd, økonomi, kravet til komfort, tilgjengelighet av ny teknologi, og ikke minst typer og omfanget av energirehabilitering i eldre bygninger.

En relevant og relativt ny studie som har vurdert grundig energiforbruket i den norske boligmassen er Enovas rapport 'Potensial- og barrierestudie; Energieffektivisering av norske boliger' (Prognosesenteret, 2012). Denne studien deler inn den norske boligmassen i type/aldersklasse segmenter i.h.h.t. aktuelle skifter i teknologi og byggeforskrifter over tid, og deler landet inn i 7 klimasoner. For hvert segment av boligmassen er det antatt og spesifisert en typisk gjennomsnittsbolig, med antatte mulige endringer hva gjelder energirehabilitering og tilhørende energibalanse. Dette gir så grunnlaget for å estimere boligmassens fremtidige energiforbruk og effekter av energieffektivisering.

EPISCOPE-prosjektet følger et noenlunde tilsvarende prinsipp, ved bruk av en standardisert metodikk for å beregne energibalansen for et antall eksempelbygninger som kan sies å representere den samlede nasjonale boligmassen i de ulike land som prosjektet omfatter (Loga og Diefenbach, 2013). Hver eksempelbygning er valgt ut med den hensikt å kunne beskrive en typisk utførelse av en boligbygning og dens energisystem, for sin tilhørende type og aldersklasse, i henhold til en definert nasjonal typologiklassifisering av boligmassen. Klassifiseringsprinsippet for de enkelte lands boligmasse i EPISCOPE-prosjektet følger den

klassifiseringen som ble utviklet i TABULA-prosjektet (<http://episcope.eu/building-typology/tabula-structure/concept/>), som var forløperen til EPISCOPE-prosjektet, men er tilpasset utviklingen i det enkelte lands bygningsmasse og byggetradisjon.

## 1.2. Boligstatistikk for Norge i henhold til EPISCOPE-typologien

Med utgangspunkt i den valgte bygningstypologien i EPISCOPE-prosjektet, se Brattebø et al. (2014), er følgende statistiske sammensetning for den norske boligmassen per 31.12.2013 beregnet, se tabell 1.

Tabell 1: Statistikk for norsk boligmasse (per 31.12.2013) fordelt på type- og aldersklasse

Aldersklasse	Antall bygninger (#)				Antall bebodde boliger (#)				Bruksareal (1000 m <sup>2</sup> )			
	SFH	TH	AB	SUM	SFH	TH	AB	SUM	SFH	TH	AB	SUM
1955 og tidligere	371 183	69 020	26 955	467 158	401 482	143 241	179 666	724 389	62 677	14 765	11 816	89 258
1956 - 1970	209 324	56 769	7 419	273 512	227 929	81 577	121 358	430 864	37 288	9 656	7 614	54 557
1971 - 1980	194 861	49 848	4 546	249 255	219 673	72 521	91 387	383 581	37 204	8 523	6 565	52 292
1981 - 1990	178 291	44 391	5 296	227 978	202 228	70 619	57 471	330 318	38 202	8 014	4 300	50 516
1991 - 2000	91 914	30 924	6 319	129 157	109 696	55 632	65 056	230 384	17 912	5 586	4 437	27 935
2001 - 2010	83 819	40 468	10 450	134 737	98 808	67 624	126 975	293 407	16 525	6 977	9 006	32 508
2011 og senere	16 695	9 623	2 280	28 598	19 144	13 929	23 194	56 267	3 433	1 570	1 866	6 869
<b>SUM</b>	<b>1 146 087</b>	<b>301 043</b>	<b>63 265</b>	<b>1 510 395</b>	<b>1 278 960</b>	<b>505 143</b>	<b>665 107</b>	<b>2 449 210</b>	<b>213 241</b>	<b>55 091</b>	<b>45 604</b>	<b>313 936</b>

Tabellen rapporterer tall for antall bygninger, bebodde boliger og kvadratmeter bruksareal for hver aldersklasse, fordelt på den norske boligtypeinndelingen som er benyttet i EPISCOPE:

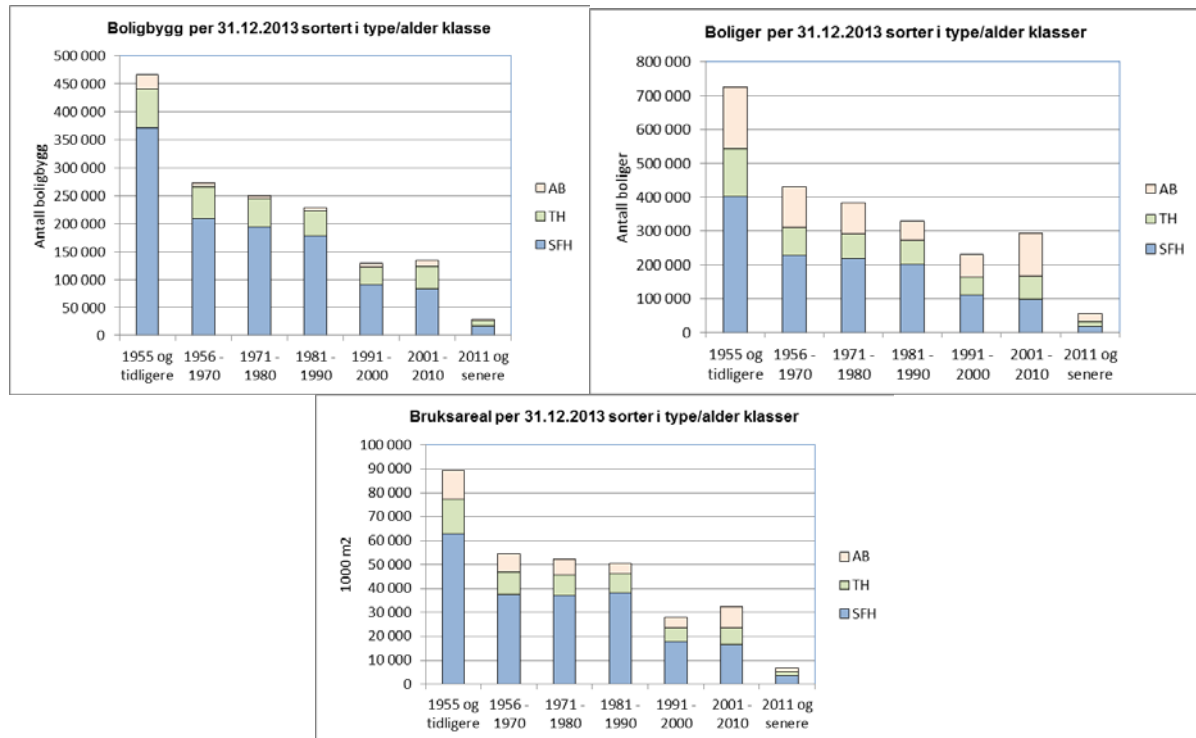
- SFH (Single Family Houses): tilsvarer eneboliger inkl. våningshus
- TH (Terraced Houses): tilsvarer tomannsboliger og rekkehus, kjedehus og andre småhus
- AB (Apartment Blocks): tilsvarer boligblokk og bygning for bofellesskap

Tallene i tabellen er beregnet med grunnlag i statistikk utarbeidet av SSB, oversendt til NTNU fra SSB i september 2014 (Block, 2014). I dette materialet er det en mindre andel bygninger (5,0 %) og boliger (4,3 %) med ukjent byggeår, som i vår inndeling er antatt oppført før 1955 og dermed medregnet i denne eldste aldersklassen.

Figur 1 illustrerer denne boligstatistikken som søylediagram. Figuren viser med stor tydelighet i hvilken grad den norske boligmassen er dominert av eneboliger inkl. våningshus. Videre er det relevant å merke seg alderssammensetningen av Norges boligmasse: litt under 1/3 er bygget før 1956 (dvs. 30,9 % av bygninger, 29,6 % av boliger og 28,4 % av bruksareal), og litt under 2/3 er bygget før 1981 (dvs. 65,5 % av bygninger, 62,8 % av boliger og 62,5 % av bruksareal). Dermed er også en stor andel av gulvarealet i dagens bebodde norske boliger (37,5 %) bygget etter 1981, i en situasjon med gradvis strengere energikrav. Av den grunn burde man forvente at potensialet for energieffektivisering i den norske boligmassen i hovedsak vil være knyttet til rehabiliteringstiltak i boliger oppført frem til og med 1980. Det betyr derimot ikke at energirehabilitering i nyere boliger er uaktuelt, men det er trolig mindre å



spare med hensyn til energigevinst per investert krone og per kvadratmeter. På den annen side, tiltak for energisparing som rettes mot energibruken og beboernes energikultur vil selvsagt kunne gi gevinster i alle type- og aldersklasser av boligmassen. Og når det gjelder konsekvensene av boligmassens energiforbruk med tanke på årlig CO<sub>2</sub>-utslipp, forbruk av primærenergi samt energikostnader, så vil disse parameterne kunne påvirkes betydelig av mulige skifter av energivarer og av endringer i sammensetningen av energikilder for produksjon av elektrisitet.



Figur 1: Sammensetningen av norsk boligmasse fordelt på type- og aldersklasse

## 2. Status for rehabilitering utført i den norske boligmassen

For å kunne beregne energibehovet i dagens norske boligmasse, og hvordan dette fordeler seg på ulike type- og aldersklasse segmenter, er det nødvendig å vite med rimelig god sikkerhet hva som har skjedd av rehabiliteringstiltak innen hvert segment i tiden etter at boligene ble bygget. Deretter må man anslå energibesparelsene av slike tiltak og omsette dette til anslag for dagens energiforbruk (kWh/m<sup>2</sup>/år) innen hvert segment. Dette vil så utgjøre et grunnlag for å beregne samlet energibehov (kWh/år) innen et hvert segment av boligmassen slik den står i dag. Dessverre er dette en type informasjon som i liten grad er kartlagt, og som vanskelig kan brytes ned til å si noe om omfanget og effektene av ulike typer utførte tiltak. Et unntak er en kartlegging utført av Prognosestert AS og Entelligens AS, se tabell 2.

Tabell 2: Teknisk standard per 2010 i et representativt utvalg av norsk boligmasse  
(Prognosesenteret AS, 2012)

Vinduer		Byggeår bolig				
Enebolig	Før 1956	1956-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Originalvinduer	26 %	36 %	65 %	88 %	96 %	100 %
Før 1970 standard	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	13 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	15 %	16 %	6 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	20 %	17 %	9 %	3 %	1 %	0 %
2000 eller nyere standard	21 %	31 %	20 %	9 %	3 %	0 %
<b>Leilighet</b>						
Originalvinduer	27 %	34 %	33 %	93 %	97 %	100 %
Før 1970 standard	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	12 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	12 %	13 %	11 %	1 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	20 %	29 %	17 %	2 %	1 %	0 %
2000 eller nyere standard	26 %	24 %	39 %	3 %	1 %	0 %
<b>Småhus</b>						
Originalvinduer	18 %	32 %	44 %	95 %	97 %	100 %
Før 1970 standard	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	10 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	20 %	21 %	6 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	21 %	21 %	19 %	0 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	28 %	24 %	32 %	5 %	3 %	0 %
<b>Yttervegg/ fasade</b>						
Enebolig	Før 1956	1956-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Originalisolasjon	36 %	68 %	84 %	97 %	99 %	100 %
Før 1970 standard	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	8 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	12 %	4 %	2 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	21 %	8 %	2 %	1 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	22 %	19 %	3 %	3 %	1 %	0 %
<b>Leilighet</b>						
Originalisolasjon	57 %	83 %	76 %	95 %	100 %	100 %
Før 1970 standard	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	9 %	13 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	17 %	13 %	12 %	0 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	13 %	11 %	12 %	5 %	0 %	0 %
<b>Småhus</b>						
Originalisolasjon	40 %	70 %	88 %	100 %	100 %	100 %
Før 1970 standard	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	7 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	10 %	7 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	18 %	11 %	3 %	0 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	20 %	12 %	9 %	0 %	0 %	0 %
<b>Tak/ loft</b>						
Enebolig	Før 1956	1956-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Originalloft	45 %	56 %	80 %	86 %	91 %	100 %
Før 1970 standard	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	4 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	11 %	8 %	7 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	16 %	10 %	5 %	4 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	21 %	25 %	9 %	10 %	9 %	0 %
<b>Leilighet</b>						
Originalloft	65 %	71 %	94 %	94 %	100 %	100 %
Før 1970 standard	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	12 %	12 %	0 %	0 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	15 %	17 %	6 %	6 %	0 %	0 %
<b>Småhus</b>						
Originalloft	55 %	63 %	80 %	92 %	100 %	100 %
Før 1970 standard	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1970-1980 Standard	9 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1980-1990 standard	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1990-2000 standard	12 %	17 %	5 %	0 %	0 %	0 %
2000 eller nyere standard	20 %	21 %	15 %	8 %	0 %	0 %

I sin bakgrunnsrapport til Enovas 'Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering av norske boliger' har derimot Prognosesenteret AS i samarbeid med Entelligens AS

(Prognosesenteret 2012) rapportert informasjon om rehabilitering utført i den norske boligmassen, på bakgrunn av en utvalgsundersøkelse av et landsrepresentativt utvalg boliger (N=1000). Man har sett på utskiftninger av vinduer og oppgradering av yttervegger/fasade og tak/loft, når slike tiltak har vært utført og i hvilket omfang for hvert type- og aldersklasse segment av boligmassen. Det er benyttet tilnærmet samme klassifisering som i EPISCOPE-prosjektet. Tabell 2 viser den tekniske standarden per 2010 den norske boligmassen har i forhold til henholdsvis vinduer, yttervegger/fasade og tak/loft. For hver boligtype er de enkelte tiltakene presentert i forhold til når oppgraderingen skjedde.

I tabell 3 er den tekniske standarden oppsummert i en tabell for alle 3 boligtypene. Kolonnen Originalbolig viser andelen av boliger som innehar den samme tekniske standarden boligen hadde da den ble bygget, mens i kolonnen Renovert viser andelen av boliger innenfor hver byggeperiode som har utført en eller flere typer av energirelaterte oppgraderinger.

Tabell 3: Oppsummert teknisk standard per 2010 i et representativt utvalg av norsk boligmasse (Prognosesenteret AS, 2012)

	Original bolig	Renovert	Byttet vinduer	Etterisolert vegg	Etterisolert tak/gulv
<b>Enebolig</b>					
Før 1956	9%	91%	74%	64%	55%
1956-1970	24%	76%	64%	32%	44%
1971-1980	61%	39%	35%	6%	20%
1981-1990	83%	17%	12%	3%	14%
1991-2000	95%	5%	4%	3%	2%
2001-2010	100%	0%	0%	0%	0%
<b>Leilighet</b>					
Før 1956	16%	84%	73%	43%	35%
1956-1970	25%	75%	66%	37%	29%
1971-1980	29%	71%	67%	24%	6%
1981-1990	91%	9%	7%	5%	6%
1991-2000	97%	3%	3%	3%	0%
2001-2010	100%	0%	0%	0%	0%
<b>Småhus</b>					
Før 1956	14%	86%	71%	60%	45%
1956-1970	22%	78%	68%	30%	38%
1971-1980	39%	61%	56%	12%	20%
1981-1990	91%	9%	5%	0%	8%
1991-2000	97%	3%	3%	0%	0%
2001-2010	100%	0%	0%	0%	0%

Prognosesenteret (2012) har senere benyttet denne informasjonen for å kunne presentere de termiske egenskaper (vektet gjennomsnitt av U-verdier for komponenter i bygningskonstruksjonen) for alle boligtyper for hver byggeperiode, som grunnlag for deretter å kunne beregne energitilstanden innen segmenter av den norske boligmassen i 2010. Dette er så kombinert med definerte 'standardboliger' innen hvert segment, som basis for å beregne den samlede energibruken i den norske boligmassen.

Tabell 4 viser resultatene av disse beregningene for energibruken i den norske boligmassen per 2010 (Prognosesenteret 2012). I venstre del av tabellen er vist netto spesifikt energibehov (kWh/m<sup>2</sup>/år) for hvert type- og aldersklasse segment, fordelt på behovet til oppvarming, belysning, elektrisk utstyr, vifter og tappevann. De fire siste formålstypene er hold konstant for alle boliger, mens tabellen viser markante reduksjoner i netto energibehov til oppvarming fra eldre til nyere aldersklasser, for alle boligtypene. I høyre del av tabellen er vist total levert energi (TWh/år) for alle segmenter av boligmassen i 2010, og de beregnede verdiene er også sammenlignet med tallgrunnlag fra SSB.

Tabell 4: Netto energibehov (kWh/m<sup>2</sup>/år – venstre del) og total levert energi (TWh/år – høyre del) for type- og aldersklasse segmenter i den norske boligmassen per 2010. (Prognosesenteret AS, 2012)

Netto energibehov kWh per kvm						
Enebolig	Totalt energi	Oppvarming	Belysning	Elektrisk utstyr	Vifter	Tappevann
<b>Enebolig</b>						
Før 1956	256,6	197,8	11,4	17,5	-	30,0
1956-1970	180,4	121,5	11,4	17,5	-	30,0
1971-1980	146,6	87,8	11,4	17,5	-	30,0
1981-1990	140,3	80,7	11,4	17,5	0,7	30,0
1991-2000	130,5	70,9	11,4	17,5	0,7	30,0
2001-2010	125,8	62,0	11,4	17,5	4,9	30,0
<b>Leilighet</b>						
<b>Leilighet</b>						
Før 1956	217,9	159,0	11,4	17,5	-	30,0
1956-1970	197,9	139,0	11,4	17,5	-	30,0
1971-1980	114,3	54,9	11,4	17,5	0,5	30,0
1981-1990	108,0	48,4	11,4	17,5	0,7	30,0
1991-2000	110,0	50,4	11,4	17,5	0,7	30,0
2001-2010	120,0	53,8	11,4	17,5	7,3	30,0
<b>Småhus</b>						
<b>Småhus</b>						
Før 1956	247,5	188,6	11,4	17,5	-	30,0
1956-1970	175,7	116,8	11,4	17,5	-	30,0
1971-1980	153,0	94,1	11,4	17,5	-	30,0
1981-1990	143,2	83,6	11,4	17,5	0,7	30,0
1991-2000	131,2	71,6	11,4	17,5	0,7	30,0
2001-2010	130,3	66,6	11,4	17,5	4,9	30,0

Boligmassen per 2010 TWh	Beregnet Totalt levert energi boligmassen	"SSB" Totalt levert energi boligmassen	Avvik Beregnet/SSB
<b>Boligmassen per 2010 TWh</b>			
Alle	29,79	28,52	4%
Før 1956	10,54	7,10	48%
1956-1970	5,64	5,55	2%
1971-1980	4,79	5,70	-16%
1981-1990	4,90	5,66	-13%
1991-2000	2,22	2,64	-16%
2001-2010	1,70	1,87	-9%
<b>Leilighet</b>			
Alle	6,83	6,59	4%
Før 1956	2,61	2,03	29%
1956-1970	1,46	1,05	40%
1971-1980	0,79	1,06	-26%
1981-1990	0,48	0,55	-14%
1991-2000	0,49	0,56	-14%
2001-2010	1,01	1,34	-25%
<b>Småhus</b>			
Alle	8,61	8,59	0%
Før 1956	2,99	2,23	35%
1956-1970	1,62	1,79	-9%
1971-1980	1,28	1,36	-6%
1981-1990	1,14	1,35	-16%
1991-2000	0,74	0,89	-17%
2001-2010	0,84	0,97	-14%
<b>Totalt</b>	<b>45,23</b>	<b>43,69</b>	<b>4%</b>

### 3. Energibalanser for typologier i den norske boligmassen

#### 3.1. Eksempelbygninger og varianter av utforming for disse

Som kort omtalt i kapittel 1.1 benytter EPISCOPE-prosjektet en standardisert metodikk for å beregne energibalansen for et antall eksempelbygninger som kan sies å representere den samlede nasjonale boligmassen i de ulike land som prosjektet omfatter. Hver eksempelbygning i typologien er ment å angi en bygning som er relativt typisk for det gitte type- og aldersklasse segmentet. En eksempelbygning vil derimot ikke være fullt ut

representativ. Med hensyn til utforming og størrelse vil det være store variasjoner for ulike bygninger innen hvert segment av boligmassen. Når man beregner energibalansen for en bolig eller en boligbygning vil derfor elementene i energibalansen være forskjellige for variasjoner av boliger innen hvert segment. Derimot, når energibalansen er omregnet til spesifikke tall (kWh/m<sup>2</sup>/år) vil forskjellene innad i hvert segment være mindre. Teknologien som er benyttet i komponenter av bygningskroppen og til utstyr i oppvarmingssystemet (til romoppvarming, ventilasjon og varmtvann) varierer også noe innad i hvert segment, og det samme gjør derfor også utvalget av tiltak som er aktuelle å benytte i rehabilitering med sikte på energieffektivisering av boliger innen samme segment, men forskjellene vil være større mellom ulike segment.

Av den grunn forutsettes det i EPISCOPE-prosjektet at en bygningstypologi som angitt ovenfor vil gi et situasjonsbilde av den norske boligmassens tilstand og en energibalanse som er rimelig korrekt. Senere i EPISCOPE-prosjektet vil det kunne være aktuelt å definere tilleggs-eksempler av bygninger (såkalte syntetiske gjennomsnittsbygninger) som enda bedre vil representere boligmassen.

Energibruken i den norske boligmassen i EPISCOPE-prosjektet beregnes altså ut fra 21 eksempelbygninger, en for hvert type- og aldersklasse segment tilsvarende inndelingen som vist i tabell 1, med tre typeklasser og 7 aldersklasser av boligbygninger. For hver av disse 21 eksempelbygningene er det beregnet energibalanser med basis i teknisk utførelse under gitte forutsetninger (Brattebø et al., 2014). Hver eksempelbygning er her også spesifisert i tre varianter, der hver variant angir en aktuell tilstand (utførelse) for den aktuelle bygningen, se tabell 5.

Tabell 5: Varianter for tilstand i eksempelbygninger i EPISCOPE-prosjektet

	<b>Variant 1</b>	<b>Variant 2</b>	<b>Variant 3</b>
Bygninger bygget frem til og med 2010	Bygningen er forutsatt å være i sin faktiske nå-tilstand	Bygningen er forutsatt rehabilitert til forbedret energitilstand.	Bygningen er forutsatt rehabilitert til ambisiøs energitilstand
Bygninger bygget i 2011 og senere	Bygningen er forutsatt bygget etter TEK10-standard	Bygningen er forutsatt bygget i forbedret tilstand (passivhus standard)	Bygningen er forutsatt bygget i ambisiøs tilstand (NZEB standard)

For bygninger bygget frem til og med 2010 forutsetter EPISCOPE-metodikken at en eksempelbygning kan beskrives i tre mulige varianter avhengig av omfanget av utført energirehabilitering. Variant 1 forutsetter at eksempelbygningen er i sin faktiske nå-tilstand, både med hensyn til utførelsen av konstruksjon og energisystem. Det innebærer at mindre omfattende typer rehabilitering kan være utført, så bygningen er altså ikke nødvendigvis i sin originale tilstand, men det forutsettes at den ikke har vært gjenstand for omfattende

rehabilitering. Til forskjell fra dette, forutsetter variant 2 og 3 at den samme bygningen har gjennomgått en mer omfattende energirehabilitering, med tiltak for energieffektivisering både i konstruksjon (med hensyn til tak, yttervegger, vinduer og gulv) og i energisystem (med hensyn til romoppvarming, varmtvann, ventilasjon og eventuelle solceller), slik at denne bygningen dermed får en forbedret energibalanse i forhold til variant 1. I variant 2 er det forutsatt iverksatt tiltak for den aktuelle eksempelbygningen som kan bidra til å løfte den opp mot TEK10 standard, der det er mulig. I variant 3 er det forutsatt iverksatt tiltak, der det er vurdert mulig, som kan løfte den samme bygningen opp mot passivhus standard, eventuelt med takmontert solcelleanlegg.

For bygninger bygget fra og med 2011 er det uaktuelt å vurdere rehabilitering. Her forutsetter EPISCOPE-metodikken derfor at en eksempelbygning kan bygges i henhold til en av tre mulige varianter hva gjelder energistandard: Variant 1 skal representere dagens energistandard (i Norge TEK10), variant 2 skal representere passivhus standard (i Norge NS3700) og variant 3 skal representere NZEB standard (nær nullenergi hus) der vi for Norge har forutsatt at bygningen oppfyller passivhus standard og i tillegg har takmontert solcelleanlegg.

Totalt sett innebærer denne klassifiseringen at det utføres energibalanseregninger for 3 varianter av 21 eksempelbygninger, dvs. 63 ulike datasett med definerte forutsetninger for et boligbygg. Tallverdier og forutsetninger for et betydelig antall variable og parametere for hvert av disse datasettene er så matet inn i den reviderte utgaven av TABULA-modellen (i MS-Excel) som benyttes av alle partnerne i EPISCOPE-prosjektet, i henhold til metodikken for beregning av energibalanser (Loga og Diefenbach, 2013). Dette er så benyttet som grunnlag for beregning av energibalansen for hver eksempelbygning under hver variant av utførelse. De viktigste forutsetningene for hver beregning, og de tilhørende viktigste resultatene i energibalanseregningene, er tidligere rapportert i Brattebø et al. (2014), som gir detaljerte 2-siders fakta-ark for hver eksempelbygning i variant 1, 2 og 3. Der er det blant annet vist tekniske løsninger i bygningskonstruksjonen (for tak, yttervegger, vinduer og gulv) med tilhørende U-verdier, samt tekniske løsninger for installasjoner i energisystemet (for romoppvarming, varmtvann, ventilasjon og eventuelt tak-montert solcelleanlegg) med tilhørende verdier for primærenergifaktor i oppvarmingssystemet, for varmegjenvinning i ventilasjonsanlegg og for kapasitet i eventuelt solcelleanlegg. Det fører for langt å gjengi detaljene i dette her, med disse kan finnes i rapporten (Brattebø et al., 2014).

### **3.2. Sammenstilling av energibalanse resultater for eksempelbygninger**

I dette kapittelet sammenstilles resultatene fra energibalanseregningene for eksempelbygningene i typologien for den norske boligmassen, dvs. hovedresultatene i rapporten til Brattebø et al. (2014). For å gjengi dette på en mest mulig oversiktlig form er det i tabellene nedenfor sammenstilt verdier for følgende resultatindikatorer:

- Energiforbruk til romoppvarming og varmtvann (kWh/m<sup>2</sup>/år)
- Forbruk av energibærere (kWh/m<sup>2</sup>/år)
- Forbruk av primærenergi (kWh/m<sup>2</sup>/år)
- Direkte og indirekte utslipp av drivhusgasser, målt som CO<sub>2</sub>-ekv (kg/m<sup>2</sup>/år)
- Energikostnader, dvs. kjøp av energivarer (NOK/m<sup>2</sup>/år)

Energiforbruk til romoppvarming og varmtvann er beregnet med basis i hvilke løsninger som er benyttet i bygningskonstruksjon og installasjoner i energisystemet til bygningen. Resultatverdien omfatter energiforbruket til å kompensere for varmetap gjennom tak, yttervegger, vinduer og gulv, varmetapet i ventilasjonssystemet, minus varmetilskuddet fra passiv solinnstråling og interne varmekilder. I tillegg er medregnet energiforbruket til oppvarming av varmtvann.

Forbruk av energibærere, ofte kalt levert energi, er den beregnede mengde energivarer som må tilføres bygningen fra energisystemet eksternt, altså energibehovet minus den energimengde som genereres lokalt gjennom varmepumper og/eller solcelleanlegg.

Forbruk av primærenergi er beregnet for å ta hensyn til summen av tap i alle prosesser for omvandling og distribusjon av energibærere fra energikilde og frem til boligen. Til dette benyttes primærenergifaktorer for energivarerne til henholdsvis romoppvarming og varmtvann, for beregning av en vektet samlet primærenergifaktor for det aktuelle energisystemet til hver variant av en eksempelbygning.

Utslipet av drivhusgasser, angitt som CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, representerer summen av direkte og indirekte utslipp fra forbruket av energibærere (levert energi). For den norske boligmassen vil dette i hovedsak være relatert til forbruket av elektrisitet og vedfyring, mindre mengder olje og naturgass, samt fjernvarme som igjen er produsert av en blanding av avfallsbrensel, fossile brensler og elektrisitet. Direkte utslipp skyldes forbrenning av fossile energibærere og biomasse (vedfyring) minus den klimanøytrale andel av utslipp fra biomasse via fotosyntese. Indirekte utslipp skyldes ulike typer utslipp i oppstrøms prosessering i verdikjedene for energibærerne.

Energikostnader er beregnet med basis i erfaringstall for pris per enhet energivare og levert mengde energi for hver energibærer. Kapitalkostnader knyttet til anskaffelser av installasjoner i energisystemet er ikke medregnet.

Tabell 6 viser resultatene for segmentene SFH.01 – SFH.07, dvs. for eneboliger og våningshus fra de ulike aldersklassene som er vist i Tabell 1. SFH.01 representerer den eldste aldersklassen frem til og med 1955, mens SFH.07 representerer den yngste aldersklassen fra og med 2011. Tallverdiene er vist som absolutte størrelser (kWh/m<sup>2</sup>/år, kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år og



NOK/m<sup>2</sup>/år) og som relative størrelser (% relativt til verdien for variant 1) for hver aldersklasse. Nederst i tabellen er det angitt gjennomsnittverdi for hver resultatindikator, over alle alderssegmentene, for variant 2 og 3 i forhold til variant 1.

Figur 2 viser grafisk verdiene for resultatindikatorerne fra tabell 1, og illustrerer bedre enn tabellformen de absolutte og relative forskjeller mellom aldersklasser og varianter av typen SFH. Til venstre i figuren vises resultatene som absolutte verdier for hver indikator og til høyre i figuren i prosent relativt til variant 1 for den aktuelle aldersklassen.

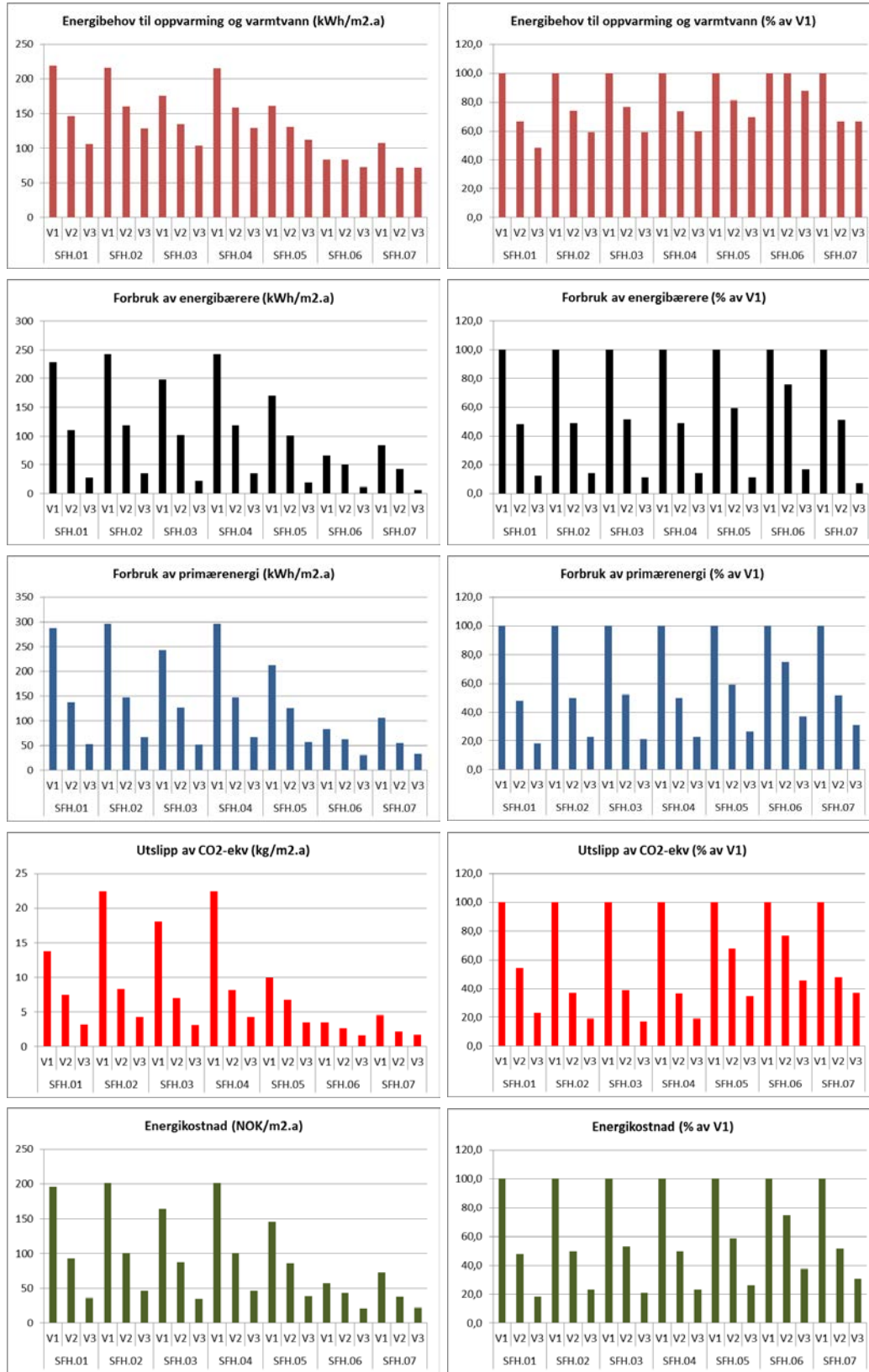
Tabell 6: Beregnede verdier for resultatindikatorer for aldersklasser og varianter av SFH

Eksempelbygning	Variant	Energibehov		Energibærere		Primærenergi		Utslipp CO <sub>2</sub> -ekv		Energikostnad	
		(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kg/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(NOK/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)
SFH.01	V1	219	100,0	228	100,0	287	100,0	13,8	100,0	196	100,0
	V2	146	66,7	110	48,2	137	47,7	7,5	54,3	93,6	47,8
	V3	106	48,4	28	12,3	53	18,5	3,2	23,2	36	18,4
SFH.02	V1	216	100,0	242	100,0	297	100,0	22,4	100,0	201,6	100,0
	V2	160	74,1	119	49,2	148	49,8	8,3	37,1	100,8	50,0
	V3	128	59,3	35	14,5	68	22,9	4,3	19,2	46,4	23,0
SFH.03	V1	176	100,0	198	100,0	243	100,0	18,1	100,0	164,8	100,0
	V2	135	76,7	102	51,5	127	52,3	7	38,7	87,2	52,9
	V3	104	59,1	22	11,1	51	21,0	3,1	17,1	35,2	21,4
SFH.04	V1	215	100,0	242	100,0	297	100,0	22,4	100,0	201,6	100,0
	V2	159	74,0	119	49,2	148	49,8	8,2	36,6	100,8	50,0
	V3	129	60,0	35	14,5	68	22,9	4,3	19,2	46,4	23,0
SFH.05	V1	161	100,0	170	100,0	213	100,0	10	100,0	145,6	100,0
	V2	131	81,4	101	59,4	126	59,2	6,8	68,0	85,6	58,8
	V3	112	69,6	19	11,2	57	26,8	3,5	35,0	38,4	26,4
SFH.06	V1	83	100,0	66	100,0	84	100,0	3,5	100,0	57,6	100,0
	V2	83	100,0	50	75,8	63	75,0	2,7	77,1	43,2	75,0
	V3	73	88,0	11	16,7	31	36,9	1,6	45,7	21,6	37,5
SFH.07	V1	108	100,0	84	100,0	106	100,0	4,6	100,0	72,8	100,0
	V2	72	66,7	43	51,2	55	51,9	2,2	47,8	37,6	51,6
	V3	72	66,7	6	7,1	33	31,1	1,7	37,0	22,4	30,8
SFH-gjennomsnitt	V1		100,0		100,0		100,0		100,0		100,0
	V2		77,1		54,9		55,1		51,4		55,2
	V3		64,4		12,5		25,7		28,1		25,8

Til tross for at det må forventes en del individuelle forskjeller ved bruk av eksempelbygninger, som aldri kan sies å representere helt det reelle gjennomsnittet for en aldersklasse, viser resultatene i figur 2 et tydelig mønster, som kan oppsummeres punktvis:

- For samtlige resultatindikatorer ser det ut til at verdiene for variant 1 (bygningen i sin nå-tilstand) er vesentlig høyere i de fire eldste aldersklassene SFH.01 – SFH.04 enn for de nyere aldersklassene. Dette er en klar effekt av endrede byggeforskrifter, energikrav og teknologi.
- Rehabilitering til variant 2 (forbedret energistandard) og 3 (ambisiøs energistandard) vil medføre store forbedringer for samtlige resultatindikatorer, men den prosentvise forbedring er noe lavere for energibehov til oppvarming og varmtvann enn for de øvrige indikatorene.





Figur 2: Grafisk visning av resultatindikatorene for aldersklasser og varianter av SFH

- Resultatene for forbruk av primærenergi, utslipp av CO<sub>2</sub>-ekv og energikostnader følger langt på vei resultatene i forbruk av energibærere (levert energi). Dette er som forventet, på grunn av den dominerende andelen av én energibærer (elektrisitet) i de aktuelle eksempelbyggene, noe som også gjelder for norske eneboliger generelt.
- Den prosentvise forbedring ved rehabilitering er dårligere for nyere aldersklasser enn for de første aldersklassene, noe som kan forklares ved at energiytelsen for bygningen i variant 1 da allerede er høy, og det dermed er vanskeligere å oppnå like høy prosentvis reduksjon ved overgang til variant 2 og 3.

På samme måte viser tabell 7 resultatene for segmentene TH.01 – TH.04, dvs. for tomannsboliger og rekkehus, kjedehus og andre småhus i SSBs boligstatistikk, mens tabell 8 viser resultatene for segmentene AB.01 – AB.07, dvs. for boligblokk og bygning for bofellesskap i SSBs boligstatistikk.

Tabell 7: Beregnede verdier for resultatindikatorer for aldersklasser og varianter av TH

Eksempelbygning	Variant	Energiebehov		Energibærere		Primærenergi		Utslipp CO <sub>2</sub> -ekv		Energi kostnad	
		(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kg/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(NOK/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)
TH.01	V1	273	100,0	306	100,0	375	100,0	28,6	100,0	254,4	100,0
	V2	156	57,1	116	37,9	145	38,7	8,1	28,3	98,4	38,7
	V3	105	38,5	22	7,2	52	13,9	3,1	10,8	35,2	13,8
TH.02	V1	180	100,0	202	100,0	248	100,0	18,5	100,0	168	100,0
	V2	137	76,1	103	51,0	129	52,0	7,1	38,4	88	52,4
	V3	110	61,1	23	11,4	56	22,6	3,4	18,4	37,6	22,4
TH.03	V1	180	100,0	202	100,0	248	100,0	18,5	100,0	168	100,0
	V2	136	75,6	103	51,0	128	51,6	7	37,8	87,2	51,9
	V3	108	60,0	23	11,4	54	21,8	3,3	17,8	36,8	21,9
TH.04	V1	153	100,0	173	100,0	213	100,0	15,6	100,0	144,8	100,0
	V2	128	83,7	98	56,6	123	57,7	6,6	42,3	84	58,0
	V3	107	69,9	23	13,3	54	25,4	3,2	20,5	36,8	25,4
TH.05	V1	156	100,0	165	100,0	207	100,0	9,7	100,0	141,6	100,0
	V2	127	81,4	98	59,4	122	58,9	6,6	68,0	83,2	58,8
	V3	108	69,2	24	14,5	54	26,1	3,3	34,0	36,8	26,0
TH.06	V1	123	100,0	110	100,0	138	100,0	6,2	100,0	95,2	100,0
	V2	131	106,5	84	76,4	105	76,1	5,3	85,5	71,2	74,8
	V3	112	91,1	19	17,3	57	41,3	3,5	56,5	38,4	40,3
TH.07	V1	110	100,0	87	100,0	109	100,0	4,7	100,0	74,4	100,0
	V2	73	66,4	44	50,6	55	50,5	2,3	48,9	37,6	50,5
	V3	73	66,4	7	8,0	33	30,3	1,8	38,3	22,4	30,1
TH-gjennomsnitt	V1		100,0		100,0		100,0		100,0		100,0
	V2		78,1		54,7		55,1		49,9		55,0
	V3		65,2		11,9		25,9		28,0		25,7

Resultatene for TH (Terraced Houses; tilsvarende tomannsboliger og rekkehus, kjedehus og andre småhus i SSBs boligstatistikk) som vist i tabell 7 og for AB (Apartment Blocks; tilsvarende boligblokk og bygning for bofellesskap i SSBs boligstatistikk) som vist i tabell 8, følger i stor grad mønsteret til SFH (Single Family Houses; tilsvarende eneboliger og våningshus i SSBs boligstatistikk). Observasjonene i den punktvis oppsummeringen som er foretatt for SFH ovenfor vil derfor også gjelde for TH og AB, og resultatmønsteret for SFH i

figur 2 vil også finnes i tilsvarende figurer for TH og AB. Disse er derfor ikke tatt med i denne rapporten, og tallene er jo allerede gitt i tabell 7 og 8.

Tabell 8: Beregnede verdier for resultatindikatorer for aldersklasser og varianter av AB

Eksempelbygning	Variant	Energibehov		Energibærere		Primærenergi		Utslipp CO <sub>2</sub> -ekv		Energikostnad	
		(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kWh/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(kg/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)	(NOK/m <sup>2</sup> .a)	(% av V1)
AB.01	V1	173	100,0	196	100,0	246	100,0	12,2	100,0	168	100,0
	V2	125	72,3	124	63,3	157	63,8	5,7	46,7	108	64,3
	V3	96	55,5	29	14,8	50	20,3	1,3	10,7	34,4	20,5
AB.02	V1	186	100,0	203	100,0	259	100,0	6,9	100,0	178,4	100,0
	V2	138	74,2	76	37,4	98	37,8	2,6	37,7	67,2	37,7
	V3	109	58,6	40	19,7	51	19,7	1,4	20,3	35,2	19,7
AB.03	V1	144	100,0	158	100,0	202	100,0	5,4	100,0	139,2	100,0
	V2	112	77,8	110	69,6	140	69,3	3,7	68,5	96,8	69,5
	V3	89	61,8	26	16,5	46	22,8	1,2	22,2	32	23,0
AB.04	V1	124	100,0	138	100,0	177	100,0	4,7	100,0	121,6	100,0
	V2	112	90,3	110	79,7	140	79,1	3,7	78,7	96,8	79,6
	V3	90	72,6	27	19,6	47	26,6	1,2	25,5	32	26,3
AB.05	V1	130	100,0	144	100,0	184	100,0	4,9	100,0	127,2	100,0
	V2	111	85,4	109	75,7	139	75,5	3,7	75,5	96	75,5
	V3	90	69,2	26	18,1	46	25,0	1,2	24,5	32	25,2
AB.06	V1	90	100,0	85	100,0	108	100,0	2,9	100,0	74,4	100,0
	V2	90	100,0	47	55,3	60	55,6	1,6	55,2	41,6	55,9
	V3	81	90,0	18	21,2	42	38,9	1,1	37,9	28,8	38,7
AB.07	V1	105,6	100,0	88,9	100,0	130,6	100,0	19,2	100,0	65,1	100,0
	V2	65,8	62,3	49,8	56,0	72,7	55,7	10,2	53,1	36,9	56,7
	V3	65,8	62,3	40	45,0	72,7	55,7	10,2	53,1	36,9	56,7
AB-gjennomsnitt	V1		100,0		100,0		100,0		100,0		100,0
	V2		80,3		62,4		62,4		59,4		62,7
	V3		67,1		22,1		29,8		27,7		30,0

Det må avslutningsvis presiseres at resultatverdiene som er gitt i Tabell 6, 7 og 8 representerer teoretiske verdier ut fra «standard beregning» i henhold til metodikken for energibalanser hos Loga og Diefenbach (2013), uten at det er justert for det faktum at målt energiforbruk erfaringsmessig avviker en del fra det teoretiske beregnede forbruket. Dersom resultatene var justert for dette avviket ville tallverdiene vært noe annerledes. Dette vil det bli korrigert for i scenariomodelleringen senere i prosjektet.

#### 4. Modellering av energiutviklingen i boligmassen samlet

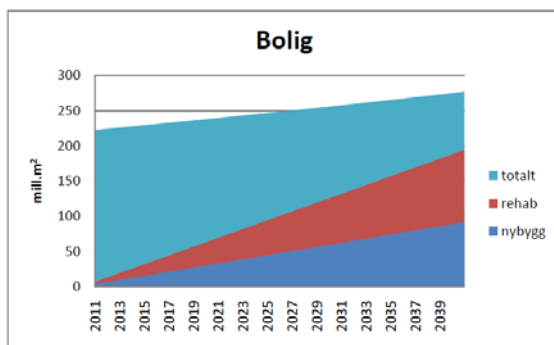
Med et tallgrunnlag som vist i kapittel 3.2. ovenfor, på basis av energibalanser for eksempelbygg og varianter av disse, der verdier er beregnet pr m<sup>2</sup> og år, vil det være mulig å estimere det totale energiforbruket m.m. for hvert type- og aldersklasse segment av den norske boligmassen. Disse resultatene kan så adderes til estimat for den samlede boligmassen. Dette forutsetter at man lar eksempelbygningene representere sine respektive type- og aldersklasse segmenter, at man vet hva som er det samlede gulvarealet (m<sup>2</sup> bruksareal) for hvert segment, og at man kan anslå den prosentvise fordeling av gulvareal som befinner seg i variant 1, 2 og 3. Dette kan gjøres som et øyeblikksbilde for situasjonen i dag (år 2014), men ved bruk av modellering kan tilsvarende estimater også finnes for situasjonen fremover, forutsatt at man i modelleringen kan anslå følgende inngangsvariable:

- i) Forventet årlig størrelse (m<sup>2</sup>) av det samlede gulvarealet innen hvert segment av boligmassen
- ii) Forventet årlig omfang (m<sup>2</sup>) av gulvareal som grunnet alder potensielt vil eksponeres for energirehabilitering innen hvert segment
- iii) Forventet årlig fordeling (%) av variant 1, 2 og 3 innen hvert segment, som følge av prioritering og omfang av ulike nivå for rehabilitering

I kapitlene nedenfor redegjøres det kort for metodikk som kan benyttes i en slik modellering. EPISCOPE-prosjektet vil gjøre bruk av denne type metodikk, og vil videreutvikle de modeller som frem til nå har vært i bruk. Denne modelleringen er «work in progress», som først forventes å genere resultater i løpet av 2015. Inntil videre kan vi derfor i kapitlene nedenfor kun ha mulighet til å skissere modelleringsprinsipper og vise til resultater fra allerede utførte studier som baseres på metodikk av tilsvarende type.

#### 4.1. Dynamisk MFA-modellering av boligmassen og rehabiliteringsaktivitet

Framskrivninger av boligmassen har, når man ser bort fra kortsiktige fluktusjoner og konjunkturpåvirkning, tradisjonelt vært utført på grunnlag av lineære vekstrater for nybygging, rehabilitering og rivning av bygg. Et eksempel på dette er vist i Figur 3 (Analyse & Strategi AS, 2011), der det er forutsatt årlige konstante rater for nybygg, rehabilitering og rivning av boliger i Norge, på henholdsvis 1,33%, 1,5% og 0,6%.



Figur 3: Eksempel på lineær framskrivning av norsk boligmasse (Analyse & Strategi AS, 2011)

Når man ser på endringer i boligmassen over lengre tidshorisonter vil det derimot være opplagte feilkilder forbundet med lineære framskrivninger. Dette fordi det systemet som boligmassen representerer best kan beskrives som å være av typen 'dynamisk strøm-lagerbeholdning system' (på engelsk 'dynamic flow-stock type system'), der lagerbeholdningen (dvs. boligmassen, målt i antall boliger eller kvadratmeter gulvareal) er bestemt ut fra befolkningens til enhver tid reelle behov for boliger, og innstrømmene til systemet (dvs. årlig aktivitet mht nybygging, målt i årlig antall boliger eller kvadratmeter gulvareal) og utstrømmene fra systemet (dvs. årlig riveaktivitet, målt i antall boliger eller

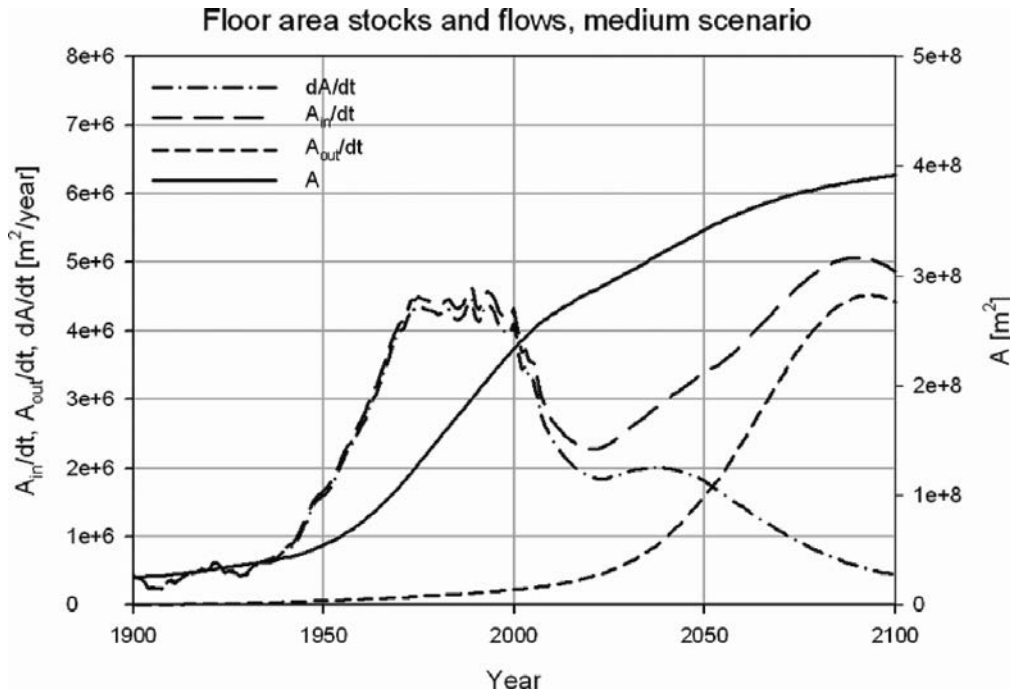
kvadratmeter gulvareal) er systemvariable som er gjensidig avhengige av hverandre. Denne avhengigheten kan matematisk defineres ved bruk av massebalanseprinsippet og massebalanse modellering, dvs. dynamisk materialstrømsanalyse ('dynamisk MFA', på engelsk 'dynamic MFA'), der summen av innstrømmer er lik summen av utstrømmer pluss netto akkumulering i systemet. Viktige faktorer i en slik massebalanse modell er årlig tilvekst i boligmassen, aldersfordelingen i boligmassen, levetidsfordelingen for boliger og frekvensfordelingen for rehabiliteringstiltak. Et vanlig problem med systemer med så lange levetider som for boliger er at det ikke lett å bestemme og å forstå de dynamiske parameterne i systemet når man kun ser på en kortere tidsperiode, mens disse parameterne kan ha stor betydning og tre tydelig frem når man studerer lange tidsperioder.

Dynamisk MFA modellering av den norske boligmassen er tidligere utført som del av en serie forskningsarbeider i regi av NTNU/SINTEF (Bergsdal et al., 2007; Sartori et al., 2008; Sandberg et al., 2011; Pauliuk et al., 2013; Bergsdal et al., 2014; Sandberg et al., 2014). Disse arbeidene har alle vært kjennetegnet ved metodeutvikling innen dynamisk MFA for boligmasse, og de har studert ulike fenomener mht utviklingen av den norske boligmassen.

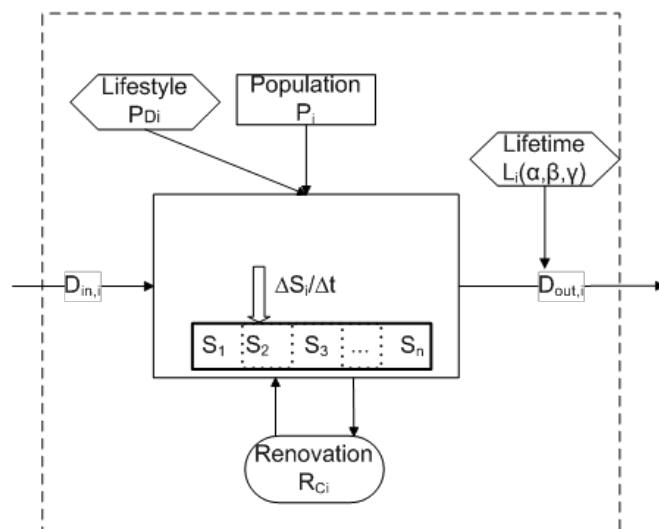
Av spesiell relevans for arbeidet i EPISCOPE er studiene til Bergsdal et al. (2007) som dokumenterer mekanismene i boligmassens dynamikk og Sandberg et al. (2014) som bruker en segmentert modell for dynamisk analyse av rehabiliteringsbehovet i den norske boligmassen. Figur 4 viser beregnede resultater fra Bergsdal et al. for å vise viktige utviklingstrekk fra 1900 til 2100 i den norske boligmassens bruksareal  $A$  angitt i m<sup>2</sup> på høyre akse i figuren, samt årlig tilvekst i bruksareal  $dA/dt$ , årlige innstrømmer  $A_{in}/dt$  (dvs. nybygging) og årlige utstrømmer  $A_{out}/dt$  (dvs. rivning), alle angitt i m<sup>2</sup>/år på venstre akse i figuren. Dette er resultater fra et scenario med middelverdier i alle driverne (befolkning, antall personer per husstand, gulvareal per husstand, og midlere levetid for boligbygninger).

Selv om resultatene i Figur 4 kun reflekterer antakelser i et scenario, og selvsagt har stor usikkerhet langt frem i tid, er den sterke dynamikken i systemet tydelig. Denne er preget av at en økende befolkning og sterk økonomisk vekst etter 1950 har ført til en raskt økende boligmasse ( $A$ ) med stor årlig tilvekst ( $dA/dt$ ) og nybygging ( $A_{in}/dt$ ) i perioden frem mot år 2000. Den årlige tilveksten i gulvareal ser ut til å avta utover i dette århundre, som følge av utviklingstrekkene i driverne. Nybyggingsaktiviteten vil også avta, frem mot ca. år 2020, men etter dette vil nybyggingen påny skyte fart fordi den også må kompensere for en merkbart økende utstrøm (riveaktivitet) som følge av at store deler av boligmassen blir så gammel at den etter hvert blir moden for utskifting. Man kan se at kurven for riveaktivitet i store trekk følger mønsteret for nybygging, men med en tidsforsinkelse som illustrerer den midlere levetid for boligbygninger. En svakhet ved modellen ovenfor er at den ikke modellerer omfanget av rehabilitering. Dette er derimot studert i Sartori et al. (2008), Pauliuk et al. (2013) og senest i Sandberg et al. (2014). I sistnevnte studie er det benyttet en segmentert modell for

dynamisk MFA av fremtidig rehabiliteringsaktivitet i den norske boligmassen, som best kan forklares med figur 5 som startpunkt.



Figur 4: Eksempel på langtidsdynamikken i norsk boligmasse (Bergsdal et al., 2007)



Figur 5: Prinsipp for segmentert modell for dynamisk MFA av boligmasse (Sandberg et al., 2014)

Kjernen i modellen er behovet for boliger – den totale boligmassen  $S$  – som er bestemt av de bakenforliggende driverne befolkning  $P$  og sosiodemografiske forhold som bestemmer antall personer per bolig (dvs. husstand)  $P_D$ . For hvert år beregner modellen behovet for boliger i segment  $i$ ,  $S_i(t)$ , samt endringen i behovet  $dS_i(t)/dt$ , som vist i ligning 1 og 2. Segmentene av boligmassen defineres ved type- og aldersklasser analogt til det som er omtalt tidligere i denne rapporten.

$$S_i(t) = P_i(t) \cdot P_{Di}(t) \quad (1)$$

$$\frac{dS_i(t)}{dt} = S_i(t) - S_i(t - 1) \quad (2)$$

Modellen beskriver den forventede “naturlige” turnover av boliger, der nye boliger erstatter de gamle som tas ut av bruk på grunn av sin oppnådde alder. Dette gjøres gjennom en sannsynlighetsfordelingsfunksjon  $DEM$  for når boliger forventes å bli revet, som anvendes på den modellerte innstrømmen av nye boliger til segment  $i$ ,  $D_{in,i}$ , for alle forutgående år  $m$ .  $DEM_i(k)$  er definert som fraksjonen av boligmassen som rives  $k$  år etter bygging, og er beskrevet av parameterne i den valgte sannsynlighetsfordelingsfunksjon. For hvert år  $i$  i modelleringen blir sannsynlighetsfordelingsfunksjonen for rivning anvendt på den modellerte innstrømmen av boliger  $D_{in,i}$  for alle forutgående år  $m$ , og den totale utstrømmen av boliger i et gitt år er lik summen av riveandelen for boliger som er bygget i alle forutgående år, matematisk beskrevet ved diskret konvolusjon som derved uttrykker den totale riveaktivitet i et gitt år  $t$ , som vist i ligning 3.

$$D_{out,i}(t) = D_{0,i}(t) + (D_{in,i} * DEM_i)[t] = D_{0,i}(t) + \sum_{m=t_0}^{t-1} D_{in,i}[m] \cdot DEM[t - m] \quad (3)$$

Ved bruk av massebalanse prinsipper for alle år  $t$ , finnes byggeaktiviteten for nybygg i segment  $i$ ,  $D_{in,i}(t)$ , lik summen for det som trengs av nybygg for å erstatte boliger som rives og den årlige endringen i behov, som vist i ligning 4.

$$D_{in,i}(t) = D_{out,i}(t) + \frac{dS_i(t)}{dt} \quad (4)$$

I stedet for å påtvinge systemet en fast rehabiliteringsrate sikter modellen mot å beskrive rehabiliteringsaktivitet som forventes å finne sted grunnet boligenes aldringsprosess og behovet for vedlikehold og oppgradering. En sannsynlighetsfunksjon for rehabilitering,  $REN$ , brukes for å beskrive denne aktiviteten. I kontrast til rivning av en bolig som bare skjer en gang, kan en bolig rehabiliteres flere ganger i løpet av sin levetid. Rehabiliteringssyklusen  $R_C$  er den gjennomsnittlige tiden mellom to rehabiliteringer av samme type, og er en funksjon av parameterne i sannsynlighetsfunksjonene for rehabilitering og for rivning. Dette er beskrevet mer i detalj i Sartori et al. (2008).  $R_{C,i}(k)$  beskriver andelen av boliger i segment  $i$  som

forventes å bli rehabilitert  $k$  år etter bygging, og denne andelen blir lavere for hver rehabiliteringssyklus fordi antallet boliger i segment  $i$  som fortsatt er i bruk avtar med tiden.

Som for rivning vil den totale rehabiliteringsaktiviteten i segment  $i$ ,  $D_{ren,i}$ , i år  $t$  være summen av rehabilitering av boliger bygget i alle forutgående år i modellen, matematisk beskrevet ved diskret konvolusjon, som vist i ligning 5. Rehabiliterede boliger forblir selvsagt del av det samme segmentet av boligmassen også etter rehabiliteringen.

$$D_{ren,i}(R_{c,i}) = (D_{in,i} * R_{c,i})[t] = \sum_{m=t_0}^{t-1} D_{in,i}[m] \cdot R_{c,i}[t - m] \quad (5)$$

Rehabiliteringsaktiviteten kan defineres på ulike måter, og parameterverdiene i sannsynlighetsfordelingsfunksjonen vil kunne være case-spesifikk. Modellen kan benyttes for rehabiliteringssykluser med ulike intervaller mellom rehabiliteringene, for å representere ulike typer eller ambisjonsnivå for rehabilitering, og syklusprofilen kan være ulik for forskjellige segmenter av boligmassen.

Modellens inputparametere kalibreres for å gjøre modellen gyldig og konsistent med det systemet man studerer. Ligning 1 til 5 ovenfor kan brukes for å modellere den totale boligmassen direkte, men det totale behovet for boliger  $S(t)$ , den totale årlige endringen i behovet  $dS/dt$  og den totale riveaktivitet  $D_{out}(t)$ , byggeaktivitet  $D_{in}(t)$  og rehabiliteringsaktivitet  $D_{ren}(t)$  i systemet er også lik summen av behov, endring i behov og aktivitetene i alle segmentene av boligmassen, som vist i ligning 6-10.

$$S(t) = \sum_{i=1}^n S_i(t) \quad (6)$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{dS_i(t)}{dt} \quad (7)$$

$$D_{out}(t) = \sum_{i=1}^n D_{out,i}(t) \quad (8)$$

$$D_{in}(t) = \sum_{i=1}^n D_{in,i}(t) \quad (9)$$

$$D_{ren}(t) = \sum_{i=1}^n D_{ren,i}(t) \quad (10)$$

I sin studie undersøkte Sandberg et al. (2014) den fremtidige rehabiliteringsaktiviteten i type- og aldersklasse segmenter av den norske boligmassen, ved bruk av modellen ovenfor. Denne studien ble derimot utført med en annen typologiinndeling enn det som benyttes i EPISCOPE-prosjektet. Sandberg et al. modellerte boligmassen med inndeling i kun 2 typeklasser og 5 aldersklasser. Typeklassene var ‘detached houses’ og ‘compact houses’:



- Type 1 (Detached houses): Eneboliger og våningshus, tomannsboliger og rekkehus, samt andre typer boligbygninger med mindre enn 3 etasjer.
- Type 2 (Compact houses): Boligblokker og andre boligbygninger med 3 eller flere etasjer, samt boliger i næringsbygg og bofellesskap/institusjonsbygg.

Med hensyn til aldersklasser benyttet Sandberg et al. inndelingen som vist i tabell 9. Denne er vesentlig mer grovmasket enn aldersklasseinndelingen i EPISCOPE-prosjektet. Sandberg et al. (2014) beregnet ikke utviklingen i gulvareal som blir eksponert for rehabilitering, eller energikonsekvensene av dette, men utelukkende antall boliger innen hvert type- og aldersklasse segment av boligmassen som på grunn av den naturlige turn-over og rehabiliteringssyklus forventes å bli utsatt for rehabilitering.

Tabell 9: Aldersklasser benyttet av Sandberg et al. (2014)

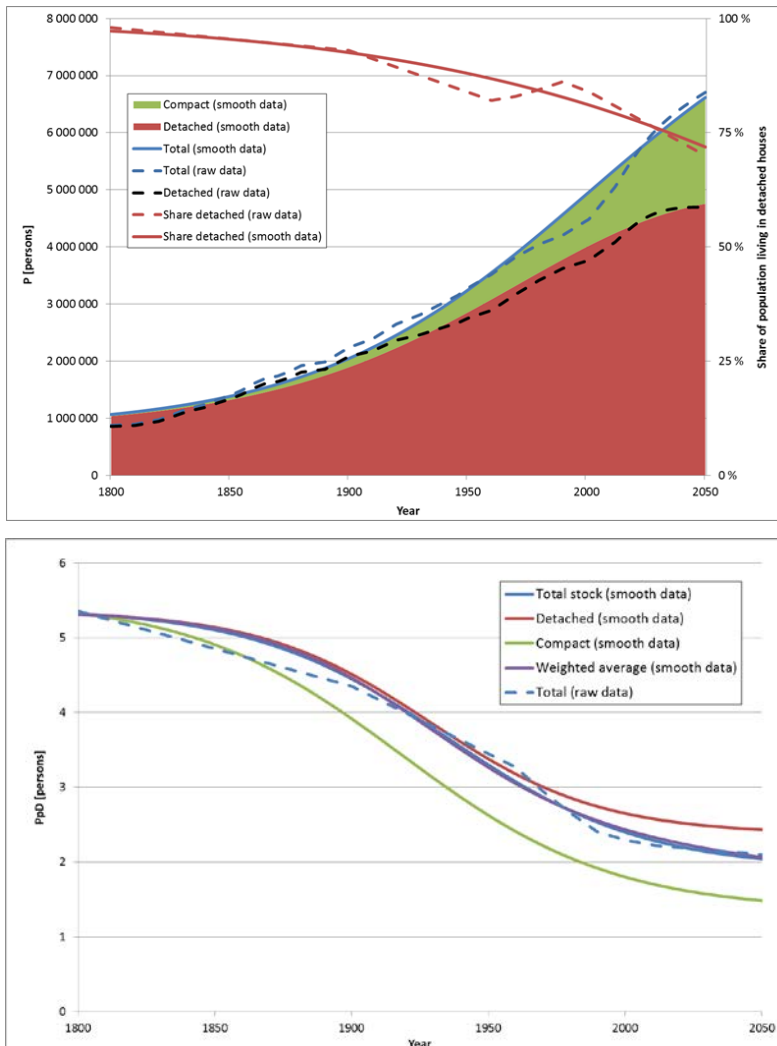
Aldersklasse (cohort) nr.	Startår	Sluttår
1		1920
2	1921	1945
3	1946	1980
4	1981	2011
5	2012	2050

Figur 6 viser (øverst) forutsetningene knyttet til antall personer i befolkningen som trenger bolig og andelen av befolkningen som bor i 'detached houses', basert på rådata og utglattede data. Som vist har andelen som bor i detached houses vært helt dominerende frem til våre dager (nå ca. 81 %), men andelen compact houses er antatt å stadig øke, ikke minst på grunn av at det meste av befolkningsveksten vil være i byene og med økt bruk av denne type boligbygg. Nedre del av figur 6 viser forutsatt utvikling i antall personer per bolig.

Ut fra forutsetningene ovenfor viser figur 7 utviklingen i antall boliger av hver type, med angivelse av simulerte versus observerte tall (frem til våre dager). Når denne type informasjon ved senere anledninger skal brukes til å estimere energibruken som følge av rehabilitering av eldre bygg og bygging av nye bygg, er det viktig å merke seg at antallet boliger totalt ser ut til å øke relativt lineært frem mot 2050, mens compact houses gradvis øker sin betydning på bekostning av detached houses.

Figur 8 viser den beregnede aktivitet i nybygging, rivning og rehabilitering av boliger, angitt som antall boliger frem mot 2050. Byggeaktiviteten øker men i avtakende rate. Riveaktiviteten øker mer og mer, men vil i hele perioden være vesentlig lavere enn byggeaktiviteten. Rehabiliteringsaktiviteten øker også mer og mer, og ved korte rehabiliteringssykluser er denne aktiviteten markert høyere enn byggeaktiviteten. Korte rehabiliteringssykluser vil neppe være representative for dyptgående energirehabiliteringer i boliger, men kan være aktuelt for

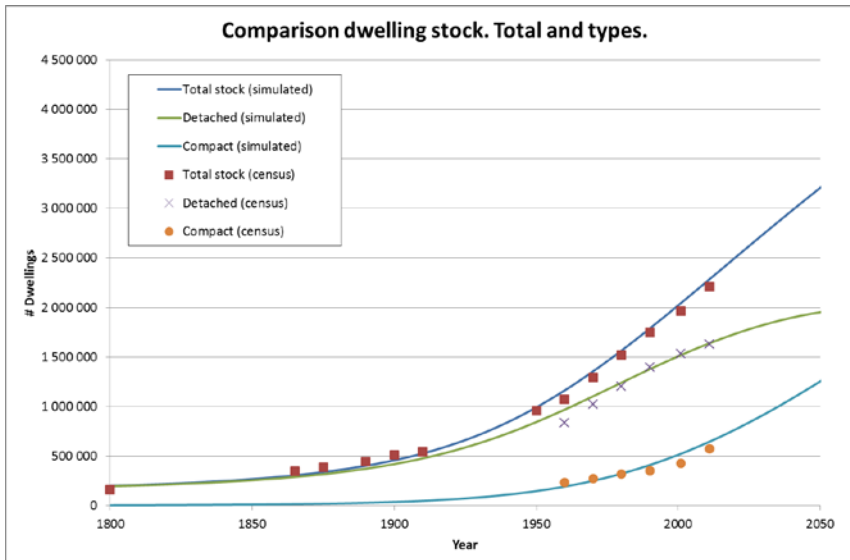
utskifting av installasjoner og vinduer. For dypere energirehabilitering, som etterisolering av tak, yttervegger og gulv, vil en rehabiliteringssyklusen på 40 år eller lengre trolig gjelde.



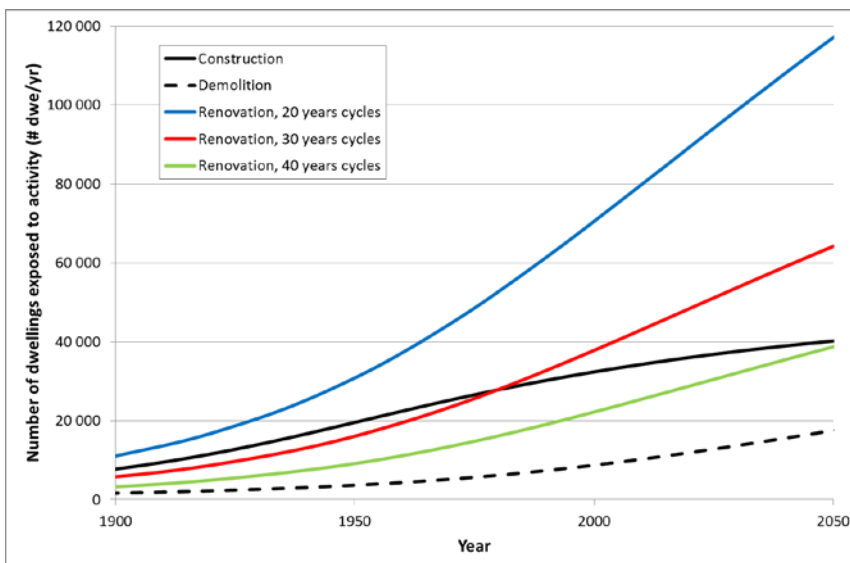
Figur 6: Utviklingen i befolkning, andelen av 'detached houses' og personer per bolig (Sandberg et al., 2014)

Resultatene i figur 8 viser at antallet boliger som eksponeres for rehabilitering med en 30 års syklus (eksemplifiser med utskifting av vinduer) for tiden er omtrent på nivå med nybyggingen, og at antallet boliger som utsettes for en 40 års rehabiliteringssyklus (eksemplifisert med dyp rehabilitering av bygningskonstruksjonen, eksempelvis etterisolering av yttervegger og tak) vil være på nivå med nybyggingen i 2050. Figuren demonstrerer også styrken i dynamisk modellering av boligmasse. Aktivitetene i systemet er modellert for hvert år basert på behovet for boliger og sammensetningen av boligmassen. Begge disse forandrer seg med tiden. I henhold til resultatene var ca. 24 000 boliger i gjennomsnitt eksponert for rehabilitering med 40 års intervall i løpet av det siste tiåret. Hvis vi antar at fremtidig

rehabilitering vil være på samme nivå, noe som en tradisjonell lineær modell trolig ville forutsette, ville det gi en rehabilitering av nær på 1 million boliger i perioden fra 2010 til 2050. Det kumulative antallet boliger eksponert for dyp rehabilitering gjennom den samme perioden, i henhold til den dynamiske modellen, er 36 % høyere. Om dette ble brukt som basis for estimering av energisparing som følge av rehabilitering, ville man få tilsvarende stor forskjell mellom en lineær modell og en dynamisk modell. Valg av modell, og modellens forutsetninger, er derfor svært viktig i denne type langsiktige beregninger.

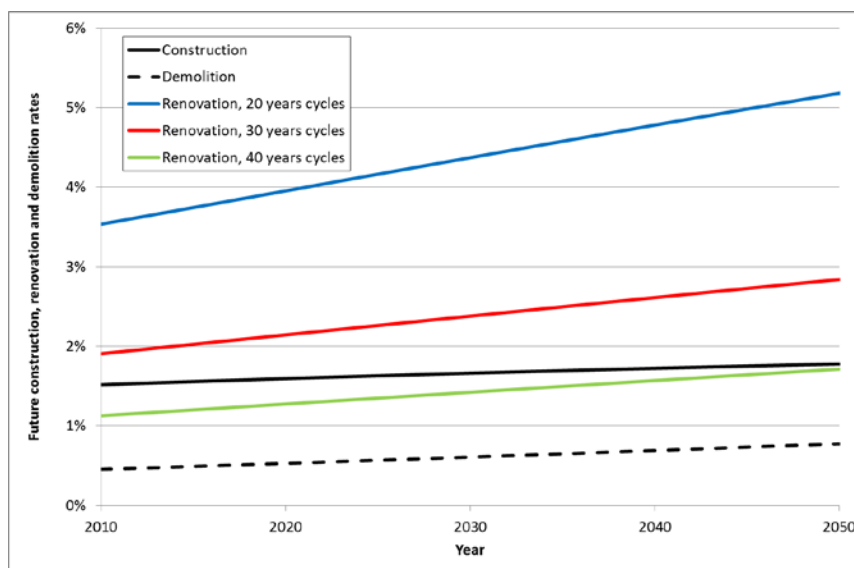


Figur 7: Utviklingen i antall boliger totalt, og fordelt på type (Sandberg et al., 2014)



Figur 8: Utviklingen i antall boliger som blir eksponert for bygge-, rive- og rehabiliteringsaktivitet (Sandberg et al., 2014)

Figur 9 viser utviklingen i bygge-, rive- og rehabiliteringsaktivitet i prosent av den estimerte størrelsen av boligmassen i 2010. Tradisjonelle lineære modeller for boligmasse antar som nevnt ofte faste rater for nybygging, rivning og rehabilitering, og disse er vanligvis basert på trender eller resultatet av politiske målsetninger. Dette betyr at man bruker faste rater i forhold til et referanseår. Figur 9 viser verdiene for slike årlige rater (%) som den dynamiske modellens beregnede resultater vil tilsvare, relativt til boligmassen i 2010. Byggeraten forventes å bli relativt stabil, vel og merke når man ser bort fra vanlige kortsiktige konjunktursvingninger som denne type modeller ikke er ment å fange opp, mens det er estimert økninger både i ratene for rivning og rehabiliterings på grunn av en voksende og aldrende boligmasse.



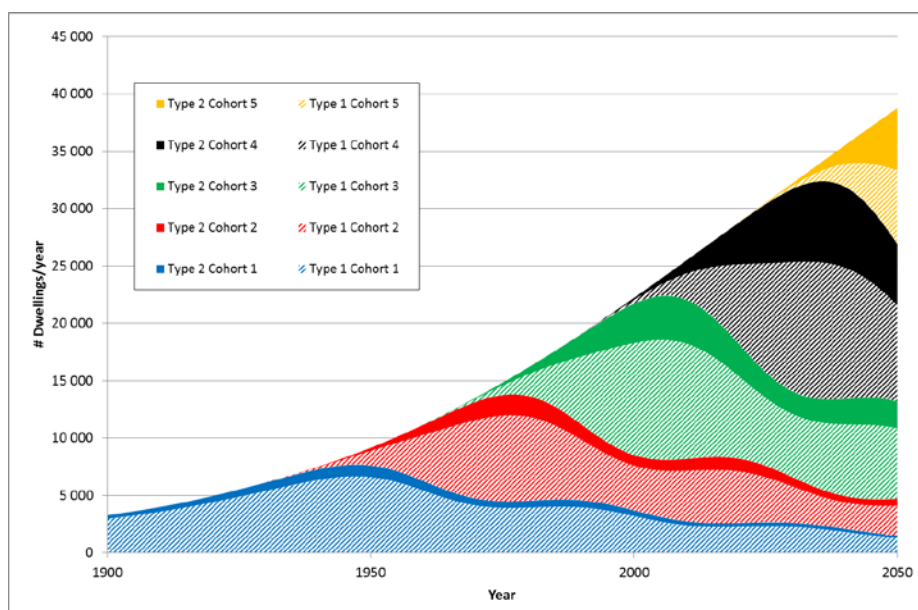
Figur 9: Utviklingen i bygge-, rive- og rehabiliteringsaktivitet relativt til boligmassen i 2010 (Sandberg et al., 2014)

Resultatene i figur 9 indikerer også at den oppnådde rehabiliteringsraten, forutsatt 40 års syklus som kan antas å være relevant for dyp energirehabilitering av boligbygninger, ikke vil være tilstrekkelig for å kunne møte målene i bygningsenergidirektivet (EPBD). Sammenlignet med 3 % målet for rehabilitering av offentlige bygg i henhold til EU Parlamentet (2012), vil rehabiliteringsratene estimert fra vår modell være vesentlig lavere. For å kunne nå en rehabiliteringsrate på 3 % i 2030 må gjennomsnittstiden mellom dyp energirehabilitering av boliger reduseres til ca. 25 år. Til dette trengs forskjellige politiske virkemidler som stimulerer til en raskere rehabiliteringsaktivitet enn det man har i dag. Spesielt vil dette gjelde for tiltak innen de type- og aldersklasse segmenter av boligmassen som representerer det største potensialet for rehabilitering. Dette er modelleringsmessig definert ved det aktuelle segmentets antall kvadratmeter gulvareal og midlere energibesparelser som følge av omfanget av potensielt iverksatte rehabiliteringstiltak, og her har i tillegg alderssammensetningen av det aktuelle segmentet stor betydning.

I sine scenarier for energieffektive rehabiliteringer antar Buildings Performance Institute Europe (2011) rehabiliteringsrater på ca. 2,5 % i alle sine scenarier unntatt i baseline scenariet. For den norske boligmassen viser vår modell at dette ville tilsvare et gjennomsnittintervall på ca. 30 år for dyp energirehabilitering av boligbygg. Dette må sies å være svært ambisiøst.

Figur 10 viser den estimerte utviklingen i antall boliger i hvert type- og aldersklasse segment som til enhver tid er eksponert for rehabilitering, her forutsatt 40 års rehabiliteringssyklus. Sementene er de som ble definert i Sandberg et al. (2014) sin studie, og resultatene er hentet fra denne publikasjonen. Høyden på lagene i grafen viser antallet boliger som for et gitt årstall er beregnet å være eksponert for dyp energirehabilitering, tilbake i tid og frem i tid.

For 1975 ser man at slik rehabilitering i hovedsak gjelder to segmenter; først Type 1 Cohort 2 og dernest Type 1 Cohort 1. Det er altså i 1975 i helt overveiende grad snakk om rehabilitering av 'detached houses' (dvs. eneboliger, våningshus, rekkehus, tomannsboliger og småhus) bygget før 1945, og det totale antallet boliger eksponert for slik rehabilitering det året var ca. 14 000. I år 2015 er det totale antallet boliger eksponert for slik rehabilitering økt til ca 25 000, med Type 1 Cohort 3 som den viktigste, samt med vesentlige innslag av Type 1 Cohort 2, Type 1 Cohort 1 og Type 2 Cohort 3, foruten tiltakende innslag av nyere segmenter som Type 1 Cohort 4 og Type 2 Cohort 4. Bildet er dermed vesentlig mer sammensatt i 2015 enn det var i 1975, noe som dermed krever innsats på bredere front i dag enn før. I perioden 2020-2040 dominerer de tre segmentene Type 1 Cohort 3, Type 1 Cohort 4 og Type 2 Cohort 4 bildet, men rehabiliteringen i 2050 øker videre mot 40 000 boliger per år og på ny involverer mange segmenter i et betydelig omfang.



Figur 10: Utviklingen i antall boliger i hvert type/alders segment som blir eksponert for rehabilitering (Sandberg et al., 2014)

Når den dynamiske modellen skal anvendes videre i EPISCOPE-prosjektet vil det legges opp til å bruke en sykluslengde på 40 år for rehabilitering av variant 2 og 3. Det er ikke nødvendig at en bolig først rehabiliteres til variant 2 før den senere løftes til variant 3. En mer sannsynlig situasjon er at de boliger som beregnes eksponert for rehabilitering, hvert år fremover, innen en gitt type- og aldersklasse, enten løftes til variant 2 eller direkte til variant 3. Dermed vil til det samlede antallet boliger i en gitt klasse til enhver tid enten finnes i variant 1, 2 eller 3, og prosentfordelingen mellom disse tre variantene vil endres over tid som følge av ytre krav, preferanser i befolkningen og kostnytte-effekten av ulike typer rehabilitering.

Uansett hvordan dette gjøres, viser resultatene fra den segmenterte dynamiske MFA modellen at det til enhver tid frem mot 2050 bør være mulig å estimere antallet boliger innen hvert type- og aldersklasse segment av boligmassen som tenkes å bli eksponert for dyp energirehabilitering, tilsvarende et løft fra variant 1 til variant 2 eller 3. Modellen tilbyr et matematisk/mekanistisk og massebalanse-begrunnet prinsipp for å komme frem til slike estimater. Selv om også denne type modeller har inngangsparametere og forutsetninger som er usikre mener vi de vil være kvalifisert bedre enn tradisjonelle metoder, basert på lineære framskrivninger eller en annen type 'best-estimate' metodikk. Dessuten, mekanistiske modeller av denne typen hjelper til å forstå bedre hvordan systemet oppfører seg og endres over tid, og hvilke variable og faktorer som er de kritiske.

## **4.2. Scenarioanalyse over boligmassens energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp**

I dette kapitlet beskrives metodikk og foreløpige resultater fra scenarioanalyse over boligmassens energiforbruk og tilhørende CO<sub>2</sub>-utslipp.

Først er det naturlig å gi en kort omtale av metodikk og noen hovedresultater fra Enovas arbeid med «Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering i norske bygg», Dette er den rapport som studerer energibruken i norsk boligmasse som best samsvarer med arbeidet som utføres i EPISCOPE-prosjektet. Deler av resultatene fra denne rapporten er tidligere omtalt og delvis gjengitt i kapittel 2, da med vekt på å fremheve hvordan ulike typer rehabilitering i norske boliger har ledet til den tekniske standard som ble observert i norsk boligmasse anno 2010, og energibehovet for boligmassen i 2010.

Dernest gis en omtale av metodikk og utvalgte resultater fra pågående forskningsarbeid på EPISCOPE-prosjektet ved NTNU. Som omtalt tidligere er dette 'work in progress', og metodikken vil kunne justeres og forbedres videre fremover og det vil selvsagt genereres resultater i annet omfang og muligens også av annen type enn det som presenteres nedenfor.

### **4.2.1. Enovas potensial- og barrierestudie om energieffektivisering i norske bygg**

Enovas arbeid med «Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering i norske bygg» (Enova 2012), er utarbeidet med basis blant annet i en bakgrunnsrapport fra Prognosesenteret (2012).

Prognosesenterets rapport har benyttet samme aldersklasse inndeling (frem til og med 2010) og nær på den samme typeklasse inndeling som EPISCOPE-prosjektet anvender. Rapporten beregner samlet energiforbruk før rehabiliteringstiltak (kWh/m<sup>2</sup>/år) for hvert type- og aldersklasse segment av den norske boligmassen, slik den står i dag. Deretter beregnes det tekniske potensialet for energisparing per bolig (kWh/år), og det totale tekniske potensialet (TWh/år) for hvert segment. Summen av dette tilsvarer i gjennomsnitt 6304 kWh/år per bolig og 13,34 TWh/år totalt for dagens boligmasse, som vist i tabell 10. Dette forutsetter at hele boligmassen oppgraderes til TEK10-nivå. Resultatene viser at så mye som 67,4 % av det tekniske energisparepotensialet kommer fra eneboliger, mens 13,1 % og 19,5 % kommer fra leiligheter og småhus. Det er også verd å merke seg at det er svært store variasjoner i årlig energisparing per bolig, for de ulike type- og aldersklasser av boliger, og at så mye som 55,3 % av det totale potensialet kommer fra eneboliger bygget frem til og med 1970.

Tabell 10: Teknisk potensial for energisparing i boliger ved rehabilitering til TEK10  
(Modifisert etter Enova 2012)

	Energiforbruk før tiltak kWh/m <sup>2</sup> /år	Sparing per bolig kWh/år	Totalt potensial TWh/år	Totalt potensial % av totalen
<b>Eneboliger</b>				
Før 1956	257	20 548	5,60	42,0
1956 - 1970	180	8 381	1,78	13,3
1971 - 1980	147	3 584	0,76	5,7
1981 - 1990	140	3 150	0,62	4,6
1991 - 2000	131	994	0,11	0,8
2001 - 2010	126	1 535	0,12	0,9
<i>Sum eneboliger</i>			<i>8,99</i>	<i>67,4</i>
<b>Leiligheter</b>				
Før 1956	218	7 491	1,21	9,1
1956 - 1970	198	5 602	0,60	4,5
1971 - 1980	114	112	0,01	0,1
1981 - 1990	108	-468	-0,03	-0,2
1991 - 2000	110	-768	-0,05	-0,4
2001 - 2010	120	110	0,01	0,1
<i>Sum leiligheter</i>			<i>1,75</i>	<i>13,1</i>
<b>Småhus</b>				
Før 1956	248	14 100	1,50	11,2
1956 - 1970	176	6 558	0,50	3,7
1971 - 1980	153	3 797	0,30	2,2
1981 - 1990	143	2 489	0,20	1,5
1991 - 2000	131	588	0,00	0,0
2001 - 2010	130	1 103	0,10	0,7
<i>Sum småhus</i>			<i>2,60</i>	<i>19,5</i>
<b>Alle boliger</b>		<b>6 304</b>	<b>13,34</b>	<b>100,0</b>

Det tekniske potensialet for energisparing vil derimot aldri kunne realiseres i praksis, grunnet en rekke barrierer som hindrer omfanget av rehabilitering og reduserer spareeffekten av de tiltak som utføres. Enovarapporten redegjør grundig for disse forholdene. Spesielt opplyses det

om betydningen av at 90 % av norske husstander eier sin egen bolig, og dermed blir de enkelte private boligeierne de viktigste beslutningstakerne i prosessen med å utføre rehabilitering.

Sammenligner man kostnadene ved en slik oppgradering med gevinstene i form av redusert energiutgift, er imidlertid potensialet lik null. Det vil si at de sparte energiutgiftene ikke er tilstrekkelig store til å finansiere investeringen (Enova 2012). På den annen side påpeker rapporten at kostnytte-effekten vil kunne være positiv i situasjoner der energirehabilitering utføres samtidig med at annen rehabilitering av boligen likevel utføres, og at det er store individuelle forskjeller mellom boliger. Andre forhold vil også kunne spille inn, eksempelvis mangelen på offentlige anbefalinger og støtte, og generelt sett er barriere-problematikken rundt energirehabilitering og energisparing mangelfullt forstått. Scenarioanalyse med framskrivninger av estimert energiforbruk og energisparing for boligmassen må derfor vurdere inn en rekke slike faktorer som utgangspunkt for spesifisering av inngangsverdier i analysemodellen.

Enovarapporten (Enova 2012) definerte to kategorier energirehabilitering:

- i) Lett energirehabilitering, som omfatter mindre tiltak som gir mindre endringer i energiytelsen sammenlignet med original tilstand, og
- ii) Dyp energirehabilitering, som karakteriseres som omfattende og ambisiøse, ved at store deler av boligen berøres og ved at forbedret energiytelse er et av formålene med rehabiliteringen.

Det er ingen entydige skiller mellom lett og dyp energirehabilitering, og det er lite kunnskap om omfanget av dette. Enovarapporten antar at 12 % og 1,5 % av boligmassen årlig gjennomgår henholdsvis lett og dyp energirehabilitering. For begge disse antakelsene har Enovarapporten definert et baseline-nivå på rehabilitering, dvs. den energiytelsen et slikt tiltak vanligvis ville ha fått. Videre defineres i begge tilfeller et ambisiøst nivå på energiytelsen. Enovas mål, gitt rehabiliteringsratene på 12 % og 1,5 %, er å bidra til å bringe energiytelsen fra baseline og opp til dette ambisiøse nivået for flest mulig av de husholdningene som rehabiliterer. Man har også definert baseline og andelen som gjennomfører en slik ambisiøs rehabilitering. Resultatene fra disse vurderingene er oppsummert i tabell 11.

Den årlige forbedrede energiytelsen er her ikke beregnet ut fra boligenes eksisterende nivå, men fra et forbedret energiytelsesnivå som følge av rehabilitering som uansett vil finne sted som følge av nødvendig vedlikehold og lignende, såkalt baseline. For 2020 viser denne beregningen et akkumulert potensial på 1,4 TWh, tilsvarende en brutto energisparing inkludert baseline på om lag 2,9 TWh.



Tabell 11: *Energipotensial ved energirehabilitering av eksisterende boliger utover baseline (Modifisert etter Enova 2012)*

			Bedret energiytelse		Netto andel ambisiøs		Resultat			
			kWh/m <sup>2</sup>		rehabilitering		GWh			
År	Dyp rehab. 1000 m <sup>2</sup>	Lett rehab. 1000 m <sup>2</sup>	Dyp rehab.	Lett rehab.	Dyp rehab.	Lett rehab.	Dyp rehab.	Lett rehab.	Sum	Akkum. Sum
2012	3 960	31 684	72	10	10 %	10 %	29	32	60	60
2013	3 993	31 942	72	10	13 %	13 %	37	42	79	139
2014	4 025	32 200	82	10	13 %	18 %	43	58	101	240
2015	4 057	32 458	82	10	16 %	21 %	53	68	121	361
2016	4 089	32 715	74	10	22 %	22 %	67	72	139	500
2017	4 122	32 973	74	10	23 %	28 %	70	92	162	662
2018	4 154	33 231	84	10	20 %	40 %	70	133	203	865
2019	4 186	33 489	76	10	28 %	48 %	89	161	250	1 115
2020	4 218	33 747	76	10	35 %	55 %	112	186	298	1 413
Sum							570	843	1 413	

Det er interessant å merke seg at det akkumulerte energisparepotensialet domineres av bidragene fra lett rehabilitering (843 GWh) til fordel for bidragene fra dyp rehabilitering (570 GWh), til tross for at forbedret energiytelse (kWh/m<sup>2</sup>) er vesentlig lavere for lett enn for dyp rehabilitering. Årsaken er i hovedsak at det er et langt større areal av boliger hvert år som utsettes for ambisiøs lett enn for ambisiøs dyp energirehabilitering.

En opplagt styrke med metodikken som er brukt her (Enova 2012) er at den fanger opp også den akkumulerte effekten av lett energirehabilitering i boligmassen, og at beregningene analyserer energibesparelsene utover det som trolig uansett ville skje i et baseline scenario, som følge av vanlig vedlikehold og rehabilitering i boliger. For øvrig ser man at logikken i den metodikk som er benyttet innebærer følgende skritt:

- 1) Definer den årlige mengde gulvareal (m<sup>2</sup>) i boliger som forventes å være utsatt for henholdsvis lett energirehabilitering og dyp rehabilitering.
- 2) Angi den beregnede forventede årlige forbedrede energiytelsen (kWh/m<sup>2</sup>) for hver type energirehabilitering, slik at tallverdien representerer den ytelsen som forventes utover det som ellers vil finne sted i baseline scenario.
- 3) Definer den årlige forventede netto andel (%) av boligene som utsettes for hver type energirehabilitering.
- 4) Beregn på grunnlag av punktene 1, 2 og 3 ovenfor det årlige energisparepotensialet (GWh) som hver type energirehabilitering forventes å bidra med. Beregn ut fra dette det samlede forventede energisparepotensialet (GWh) som årlig sum og som akkumulert sum over perioden.

#### 4.2.2. Pågående forskningsarbeid på EPISCOPE-prosjektet ved NTNU

Noenlunde tilsvarende typer studier til det som er utført i Enovastudien utføres nå ved NTNU, men her vil scenarioanalysen utvides, med større vekt på å forstå dynamikken i boligmassens

energibruk, modellere en lengre tidshorisont, inkludere varianter av boligtyper i henhold til EPISCOPE-metodikken, både for dagens boligmasse og for nybygging i fremtiden, samt dekke et bredere spekter resultatindikatorer når det gjelder ressursbruk og miljøpåvirkning.

Det siste året er det innen rammen av dette blant annet utført et antall masteroppgaver (Folstad, 2014; Storvolleng, 2014; Skaran, 2014; Baltruszewicz, 2014). Metodikken i disse oppgavene er tilpasset prinsippene i EPISCOPE, blant annet ved definering av type- og aldersklasse segmenter og alternative nivåer for teknisk tilstand som boligene kan befinne seg i avhengig av rehabiliteringsambisjoner. Derimot, mens EPISCOPE metodikken benytter variant 1, 2 og 3 som beskrevet i kapittel 3.1 og 3.2, har de fire masteroppgavene studert effektene av fire standarder: i) original tilstand, ii) historisk rehabilitering, iii) rehabilitering i henhold til TEK10 standard, og iv) rehabilitering i henhold til passivhus standard. Hver av de fire oppgavene har tatt for seg ulike deler av bygningsmassen:

- Eldre eneboliger bygget frem til og med 1980 (Storvolleng, 2014)
- Eneboliger bygget mellom 1981 og 1990 (Baltruszewicz, 2014)
- Eldre leilighetsblokker bygget frem til og med 1980 (Folstad, 2014)
- Leilighetsblokker bygget mellom 1981 og 2010 (Skaran, 2014)

Alle oppgavene har hatt som hovedformål og vurdere hvilke mulige konsekvenser en oppgradering av respektive typer boliger til TEK10-standard og passivhus-standard (NS3700) vil få for energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp, og å utarbeide scenarier for utviklingen for de respektive deler av bygningsmassen frem mot 2050. I alle oppgavene er det definert gjennomsnittsboliger innen hvert type- og aldersklasse segment av boligmassen, i tråd med prinsippene for gjennomsnittsboliger i Prognosesenterets rapport (Prognosesenteret, 2012).

Alle oppgavene har benyttet dynamisk MFA-modellering som grunnlag for scenarioanalysen, og på grunnlag av kostnytteanalyse ved nåverdiberegninger valgt ut de aktuelle rehabiliteringsløsninger for sine respektive type- og aldersklasse av boliger, og deretter innfaset disse løsningene som forutsetninger i scenariene. I oppgaven til Baltruszewicz er det også foretatt beregninger for energiforbruket og CO<sub>2</sub>-utslippet forbundet med produksjonen av materialer som medgår under oppgradering av bygningene, mens de andre oppgavene bare studerer energiforbruket og CO<sub>2</sub>-utslippene forbundet med direkte energi til drift. Nedenfor gis et utdrag av resultater fra hver oppgave.

### **Eldre eneboliger bygget frem til og med 1980**

Denne studien er utført av Storvolleng (2014), som en tredelt analyse som tar for seg energibehov, økonomien og framtidige scenarier i denne delen av boligmassen. Energibalansen til dagens bygninger i tillegg til endringene som følge av rehabiliteringer ble beregnet ved bruk av TABULA-prinsippene i EPISCOPE-prosjektet. Videre ble det

økonomiske aspektet ved disse rehabiliteringene analysert. Basert på resultatet av denne analysen ble noen av rehabiliteringene benyttet i en scenarioanalyse. Denne analysen viste mulige forløp for energi og utslipp i boligsektoren, som et resultat av de forskjellige rehabiliteringene.

Resultatene viste at rehabilitering av eldre eneboliger kan nå energikravet i TEK 10 og videre nærme seg kravet for passivhus gitt at balansert ventilasjon installeres. Passivhuskravet ble imidlertid ikke helt oppnådd, fordi verdien for termiske kuldebroer ble holdt konstant gjennom analysen. Derfor ble det utført en sensitivitetsanalyse for denne parameteren som viste at den har stor innvirkning på resultatene. Ifølge den økonomiske analysen vil balansert ventilasjon være lønnsomt kombinert med full passivhusoppgradering, men ikke for TEK 10 rehabilitering. Dette kommer av at energibesparelsen ikke er stor nok til å motvirke den økte investeringen for balansert ventilasjon. Videre er luft-til-luft varmpumper funnet lønnsomme, mens luft-til-vann varmpumper ikke er det på grunn av den høye kostnaden ved å installere vannbårent system. I tillegg påvirker elektrisitetsprisen resultatene i stor grad. For eksempel vil netto nåverdi (NNV) for basisscenarioet øke med 37 % hvis elektrisitetsprisen doubles og alle rehabiliteringspakkene, bortsett fra en, vil bli lønnsomme.

Hvis alle rehabiliterte bygg oppgraderes til nær nullenergibygninger vil periodens samlede energibesparelse utgjøre 28 % sammenlignet med basisscenarioet. Imidlertid er ikke dette et veldig reelt scenario, og mer reelle potensialer basert på de andre scenariene tilsvarer 12-19 % energibesparelse, med samlet utslippsbesparelse opp mot 7 Mton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Utslippene knyttet til bygningsmassen slik de er kalkulert for denne oppgaven er svært høye sammenlignet med litteraturen. Dette kommer av at denne studien forutsetter utslippsintensiteter for både norsk elektrisitetsmiks og forbrenning av biomasse, hvor andre stort sett ikke tar hensyn til disse. I tillegg viser resultatene at utslippsreduksjonen er svært avhengig av elektrisitetsforbruket og elektrisitetsmiksen. Dermed vil tiltak som i stor grad reduserer elektrisitetsforbruket gi store utslippsbesparelser. Videre viste en foreløpig analyse av primærenergi at hvis denne tas hensyn til, vil energiforbruket økes kraftig. I tillegg påvirkes resultatet sterkt av elektrisitetsmiksen som legges til grunn. Nedenfor presenteres noen av forutsetningene og resultatene fra dette arbeidet.

*Tabell 12: Oversikt over tiltak i ulike rehabiliteringspakker som er analysert*

<b>Package No.</b>	<b>Measures included in rehabilitation package</b>
No. 0	No measures except commonly assumed change of windows
No. 1	1.0 Only facade rehabilitation <ul style="list-style-type: none"> <li>1.0.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question</li> <li>1.0.2 Passive House rehabilitation on all components in question</li> </ul> 1.1 Rehabilitation of facade along with installation of an air-to-air heat pump <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question</li> <li>1.1.2 Passive House rehabilitation on all components in question</li> </ul>

No. 2	<p>2.0 Only facade rehabilitation</p> <p>2.0.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question</p> <p>2.0.2 Passive House rehabilitation on all components in question</p> <p>2.1 Rehabilitation of facade along with installation of an air-to-air heat pump</p> <p>2.1.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question</p> <p>2.1.2 Passive House rehabilitation on all components in question</p>
No. 3	<p>All rehabilitation on building envelope elements is to the TEK 10 standard.</p> <p>3.0 Only rehabilitation of building envelope elements.</p> <p>3.1 Rehabilitation on building envelope elements along with installation of balanced ventilation</p> <p>3.2 Rehabilitation of building envelope elements, installation of mechanical ventilation and installation of an air-to-air heat pump for base load, direct electricity and wood fired stoves for peak load.</p> <p>3.3 Rehabilitation of building envelope elements, installation of balanced ventilation and installation of an Air-to-Water Heat Pump for base load combined with an electric boiler for peak load. The package includes installation of waterborne space heating system.</p> <p>3.4 Rehabilitation of building envelope elements, installation of balanced ventilation and installation of biomass boiler for base load combined with an electric boiler for peak load. The package includes installation of waterborne space heating system.</p>
No. 4	<p>All rehabilitation on building envelope elements is to the Passive House standard.</p> <p>4.0 Only rehabilitation of building envelope elements.</p> <p>4.1 Rehabilitation on building envelope elements along with installation of balanced ventilation</p> <p>4.2 Rehabilitation of building envelope elements, installation of balanced ventilation and installation of an Air-to-Air Heat Pump for base load and wood fired stoves for peak load.</p> <p>4.3 Rehabilitation of building envelope elements, installation of balanced ventilation and installation of an Air-to-Water Heat Pump for base load combined with an electric boiler for peak load. The package includes installation of waterborne space heating system.</p> <p>4.4 Rehabilitation of building envelope elements, installation of balanced ventilation and installation of biomass boiler for base load combined with an electric boiler for peak load. The package includes installation of waterborne space heating system.</p>
No. 5	<p>5.0 Rehabilitation to Passive House level on all building components, installation of balanced ventilation, installation of an air-to-air heat pump for base load, and wood fired stove for peak load, as well as installation of PV-panels for on-site production of electricity. A new electric DHW-tank is also installed.</p> <p>5.1 Rehabilitation to Passive House level on all building components, installation of balanced ventilation, installation of an air-to-water heat pump and a waterborne space heating system, as well as installation of PV-panels for on-site production of electricity. A new DHW-tank is installed. This has an electric element covering the peak load heat demand.</p>

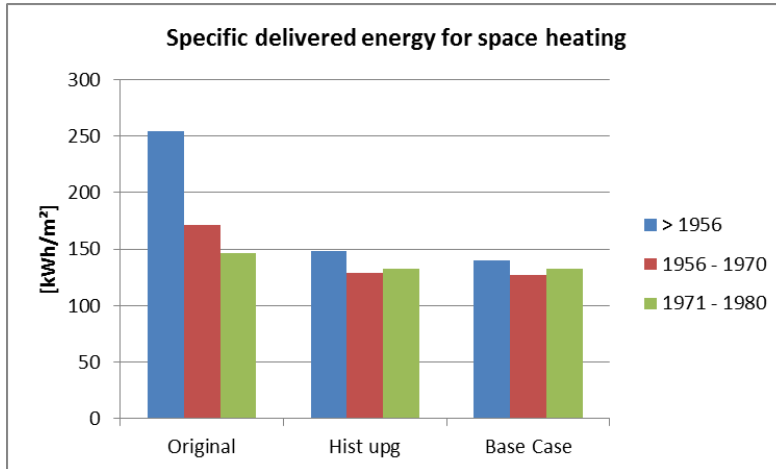
Tabell 13: Oversikt over U-verdier for elementer i bygningskroppen innen hver rehabiliteringspakke

Renovation package 1						
U –values for each building element, based on age cohort and technical level [W/m <sup>2</sup> K]						
Building envelope element	TEK 10 standard			Passive House standard		
	>1956	56 – 70	70 – 80	>1956	56 – 70	70 – 80
Walls	0.17	0.18	0.17	0.094	0.097	0.095
Windows	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7	0.7
Doors	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8
Renovation package 2						

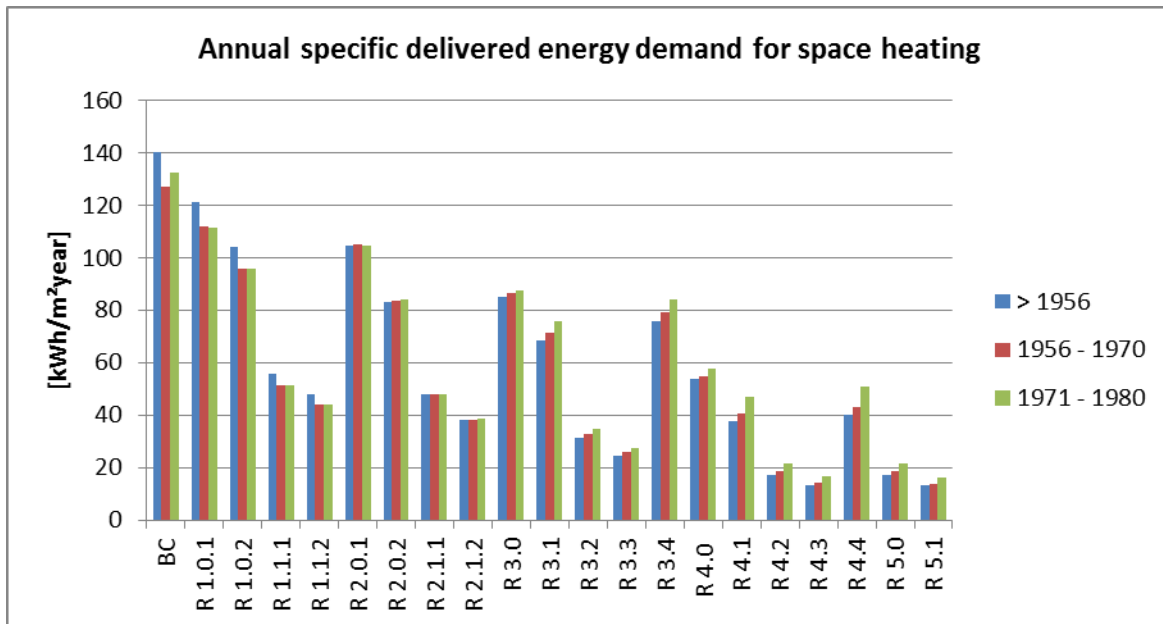
U –values for each building element, based on age cohort and technical level [W/m <sup>2</sup> K]						
Building envelope element	TEK 10 standard			Passive House standard		
	>1956	56 – 70	70 – 80	>1956	56 – 70	70 – 80
Walls	0.17	0.18	0.17	0.09	0.10	0.09
Windows	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7	0.7
Doors	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8
Roof	0.13	0.13	0.13	0.08	0.08	0.08
<b>Renovation package 3</b>						
U-values based on age cohort [W/m <sup>2</sup> K]						
Building envelope element	TEK 10 standard					
	>1956	56 – 70	70 – 80			
Walls	0.17	0.18	0.17			
Windows	1.2	1.2	1.2			
Doors	1.2	1.2	1.2			
Roof	0.13	0.13	0.13			
Floor	0.14	0.14	0.36			
<b>Renovation package 4</b>						
U-values based on age cohort [W/m <sup>2</sup> K]						
Building envelope element	Passive House standard					
	>1956	56 – 70	70 – 80			
Walls	0.09	0.10	0.09			
Windows	0.7	0.7	0.7			
Doors	0.8	0.8	0.8			
Roof	0.08	0.08	0.08			
Floor	0.08	0.08	0.08			
<b>Renovation package 5</b>						
U-values based on age cohort [W/m <sup>2</sup> K]						
Building envelope element	Passive House standard					
	>1956	56 – 70	70 – 80			
Walls	0.09	0.10	0.09			
Windows	0.7	0.7	0.7			
Doors	0.8	0.8	0.8			
Roof	0.08	0.08	0.08			
Floor	0.08	0.08	0.08			

Nedenfor presenteres resultater fra beregningene for eldre eneboliger. Figur 11 viser utviklingen i spesifikt energibehov for romoppvarming i original tilstand og i tilstanden forutsatt etter historisk oppgradering, samt i det som er forutsatt i et Base Case scenario.

Figur 12 viser resultatene for årlig spesifikt levert energi for hver aldersklasse av eldre eneboliger, med angivelse av verdiene for base case forutsetningene (BC) samt verdiene for alle rehabiliteringspakkene som er beskrevet i egen tabell tidligere.

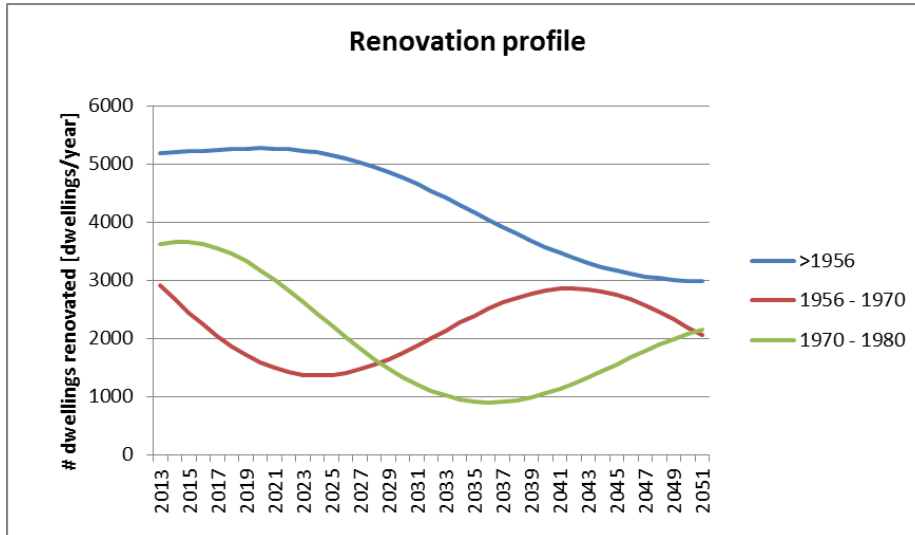


Figur 11: Spesifikt energibehov for romoppvarming for eneboliger i original tilstand, historisk oppgradert tilstand og i forutsatt Base Case tilstand



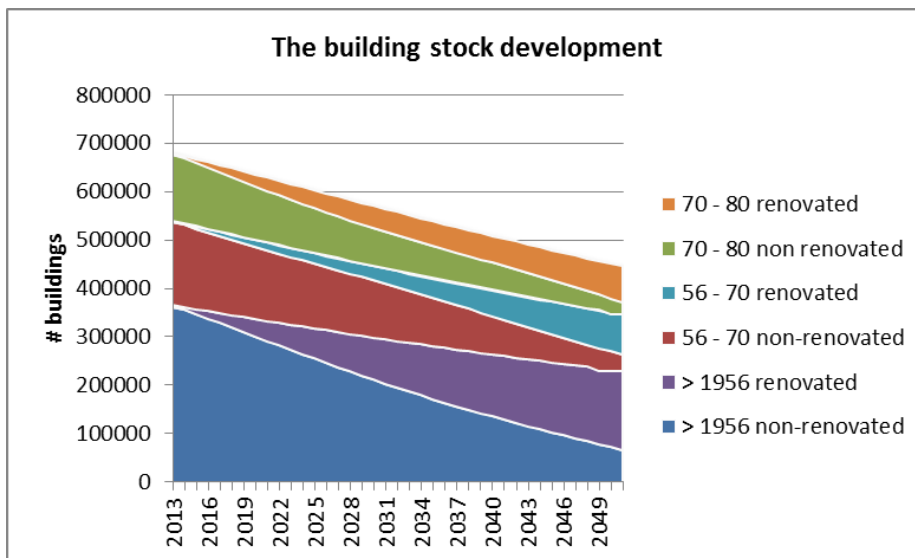
Figur 12: Spesifikt energibehov for romoppvarming for eneboliger i original tilstand, historisk oppgradert tilstand og i forutsatt Base Case tilstand

I figur 13 er det vist hvordan rehabiliteringsaktiviteten er beregnet å utvikle seg i hver aldersklasse av eldre eneboliger frem mot 2050, forutsatt en midlere rehabiliteringssyklus på 40 år med et standardavvik på 10 år. Årsaken til svingende antall boliger som utsettes for rehabilitering er at flere sykluser vil følge etter hverandre. Som det går frem av figuren vil ulike aldersklasser boliger dominere rehabiliteringen til ulik tid fremover. Noe også Sandberg et al. (2014) sin modell bekreftet, se figur 10.



Figur 13: Beregnede rehabiliteringsprofiler for eldre eneboliger forutsatt en rehabiliteringssyklus på 40 år.

Figur 14 viser konsekvensen av estimert rehabiliteringsomfang, her målt som antall eneboliger som til enhver tid finnes i enten ikke-rehabiliteret eller rehabilitert tilstand. Grunnen til reduksjonen i samlet antall er at en betydelig andel av denne boligmassen på grunn av sin høye alder må forutsettes å bli revet i løpet av tiden mot 2050.



Figur 14: Spesifikt energibehov for romoppvarming for eneboliger i original tilstand, historisk oppgradert tilstand og i forutsatt Base Case tilstand

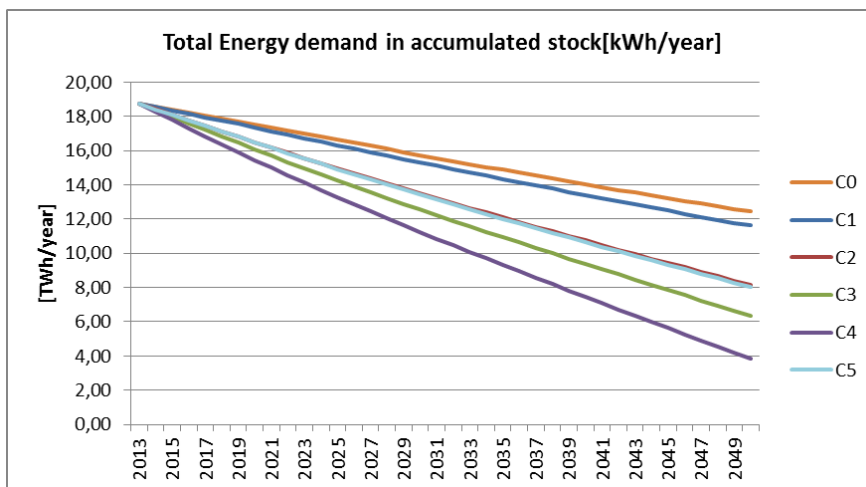
Tabell 14 viser hva som er forutsatt å være del av scenariene som er definert for å beregne hvordan utviklingen av boligmassen og dens rehabiliteringsaktivitet vil påvirke fremtidig

energibruk og drivhusgassutslipp. I spesifikasjonen her vises det tilbake til forklaringen av hva som inngår i de enkelte rehabiliteringspakkene, se tabell 12.

Tabell 14: Oversikt over scenarier som er benyttet til estimering av fremtidig energibehov og drivhusgassutslipp for eldre eneboliger

Scenarios	Specification
C0	All buildings at current state, no rehabilitations carried out, not even those required to maintain the current state
C1 (Base Case)	All renovated buildings are only renovated according to Base Case, unchanged buildings have an energy balance according to current state
C2	All renovated buildings are renovated according to R 1.1.1, unchanged buildings have an energy balance according to current state
C3	All renovated buildings are renovated according to R 4.2, unchanged buildings have an energy balance according to current state
C4	All renovated buildings are renovated according to R 5.0, unchanged buildings have an energy balance according to current state
C5	All renovated buildings are renovated according to R 4.4, unchanged buildings have an energy balance according to current state

Figur 15 viser estimert utviklingsforløp i total årlig akkumulert besparelse i levert energi (TWh/år) mot 2050, for alle eneboliger i den norske boligmassen som er bygd før 1980. Verdiene er gitt for hvert scenario. Grunnen til den store reduksjonen også for C0 scenariet og C1 scenariet (base case) er antallet eldre enebolig som rives i løpet av perioden. Dette er altså ikke egentlig en besparelse, siden befolkningen som bor i disse boligene som rives vil flytte til andre boliger, og nye boliger må bygges for å erstatte de gamle som rives.



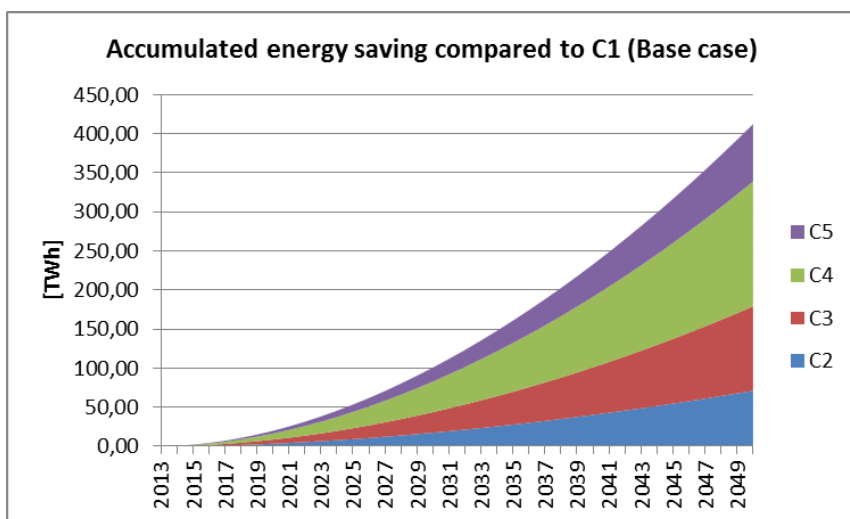
Figur 15: Estimert total årlig akkumulert besparelse i levert energi for de ulike scenarier for eldre eneboliger.

I figur 16 vises den akkumulerte samlede besparelsen (TWh), angitt som forskjellen mellom et rehabiliteringsscenario (C2 – C5) og base case scenario (C1). Dette er forutsatt å være reelle

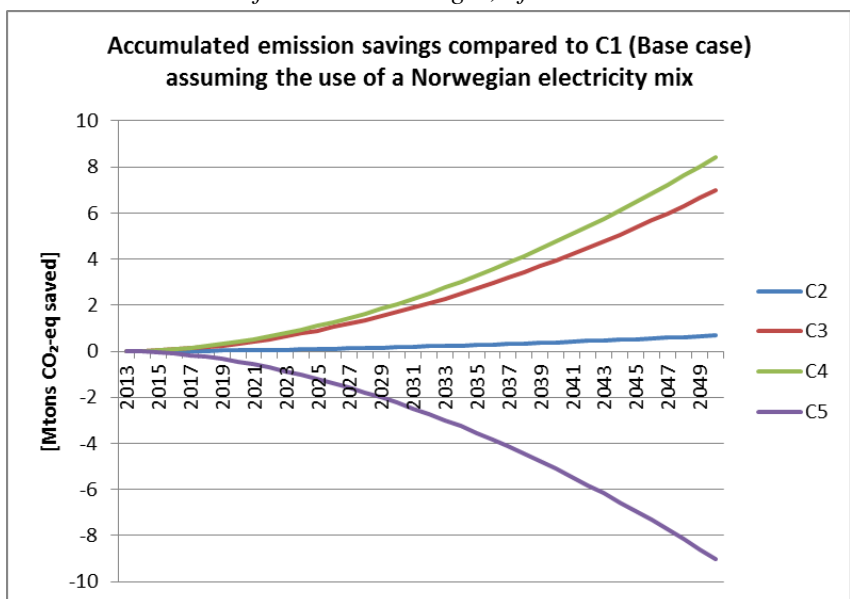


besparelser, til tross for riveaktivitet i boligmassen, fordi det her er sammenlignet med base case scenariet som tar hensyn til riveomfanget.

Til sist i presentasjonen av resultater for eldre eneboliger vises i figur 17 de beregnede akkumulerte utslippsbesparelser (Mton CO<sub>2</sub>-ekv) sammenlignet med base case scenario. Det er som forventet betydelige besparelser for scenario C3 og C4, mens for C5 er det estimert kraftig økte utslipp i forhold til base case på grunn av det her er antatt at biomasse-brensel, som ikke er helt karbonnøytral, erstatter en betydelig andel relativt ren norsk elektrisitet. De estimerte potensielle besparelsene i forhold til C1 er reelle.



Figur 16: Estimert total årlig akkumulert besparelse i levert energi for de ulike scenarier for eldre eneboliger, i forhold til Base Case scenario C1.



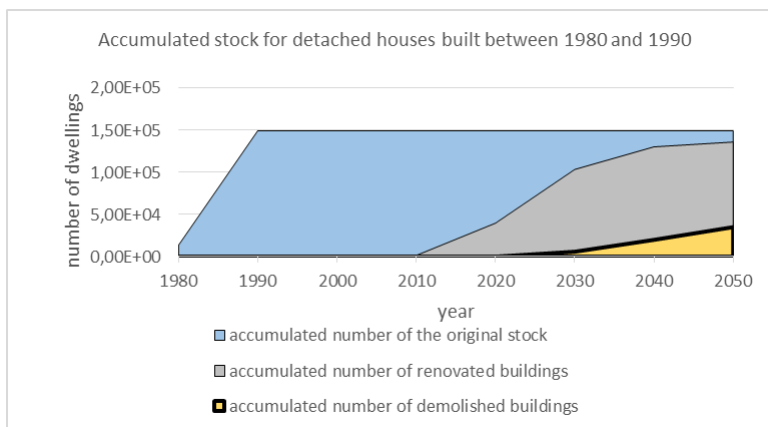
Figur 17: Estimert total årlig akkumulert besparelse i utslipp av drivhusgasser for de ulike scenarier for eldre eneboliger, i forhold til Base Case scenario C1.

### Eneboliger bygget mellom 1981 og 1990

Denne studien er utført av Baltruszewicz (2014), som en analyse i to trinn. Ett konkret eksempelhus er valgt ut og analysert med tanke på tekniske løsninger og energibalanse, og konsekvensene ved rehabilitering av huset analysert med tanke på kumulativt energiforbruk (CED), som tilsvarende primærenergi, og drivhusgassutslipp (GHG-emissions) målt som CO<sub>2</sub>-ekv. Denne studien inkluderer indirekte energiforbruk og utslipp fra produksjonen av byggevarer som medgår under rehabilitering, beregnet ved bruk av LCA-modeller. Det er forutsatt en rehabiliteringsplan for eksempelhuset som innebærer tre sett av tiltak, av varierende type og omfang, det første tenkt utført i 2010, det andre i 2020 og det tredje i 2040. Ett rehabiliteringsscenario forutsetter å løfte hele eneboligsegmentet bygget mellom 1980 og 1990 opp til TEK10-standard, et annet scenario forutsetter et løft opp til NS3700-standard. Derneft er hele boligmassesegmentet analysert, med utgangspunkt i dynamisk MFA for å vurdere effektene av endringer over tid.

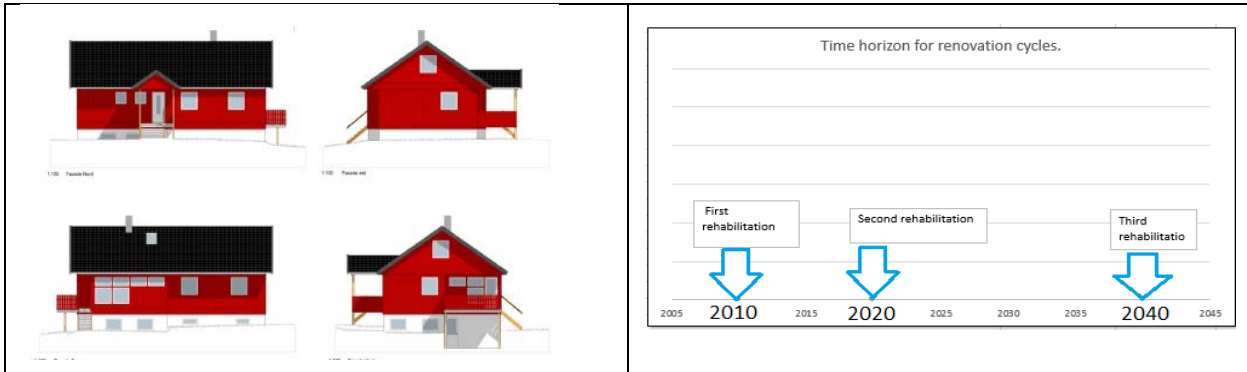
Resultatene fra arbeidet indikerer at en rehabiliteringspakke tilpasset et NS3700-scenarior gir en høyere energi- og drivhusgassbesparelser enn for et TEK10-scenarior, men denne forskjellen er relativt liten sammenlignet med reduksjonspotensialet i forhold til et baseline-scenarior uten dyp rehabilitering. Gevinsten ved rehabilitering er ikke like stor for drivhusgassutslipp som den er for primærenergi, fordi materialforbruket som medgår til produksjon av byggevarer til rehabilitering bidrar relativt mye til de samlede utslipp. Nedenfor er vist en del forutsetninger og resultater fra dette arbeidet.

Figur 18 viser utviklingen i antall boliger som er beregnet å utsettes for rehabilitering, og antallet som forutsettes revet i løpet av perioden frem til 2050.



Figur 18: Antall boliger i ulike rehabiliterte tilstand innen boligmasse-segmentet eneboliger bygget mellom 1980 og 1990

Figur 19 viser hvilken type eksempelhus som er valgt ut for analyse, og tidspunktet for når de tre trinn i rehabilitering av dette huset er forutsatt utført frem mot 2050.



Figur 19: Valgt eksempelhus og forutsatt rehabiliteringsplan

I tabell 15 og 16 er det vist en oversikt over de tiltak som er forutsatt å inngå i de tre trinn av rehabiliteringsplanen for TEK10-scenariet og NS3700 scenariet.

Tabell 15: Tiltaksoversikt i rehabiliteringsplan for TEK10-scenarior

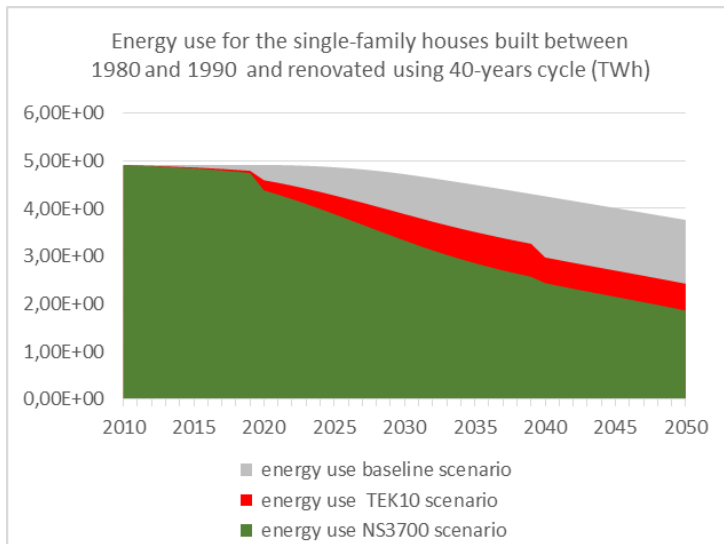
	Measures TEK10 scenario					
Renovation cycle	Space heating system	DHW	Windows & doors	External wall	Roof	Floor
<b>1<sup>st</sup> renovation 2010</b>	80% covered by direct electric heat generator, 20% by wood oven	100% covered by electricity for electric boiler	Changed for two-pane windows with new U-value=1.2	No renovation	No renovation	No renovation
<b>2<sup>nd</sup> renovation 2020</b>	40% covered by air-to-air heat pump, 60% covered by the direct electric heat generator; ventilation with heat exchanger installed	No changes	New doors U-value=0.8	Old insulation removed, new added, U-value= 0.21	Old insulation removed, New added U-value=0.12	Old insulation removed, New added U-value=0.11
<b>3<sup>rd</sup> renovation 2040</b>	Improved efficiency of the heat pump 50% covered.	No changes	No changes	No changes	No changes	No changes

Tabell 16: Tiltaksoversikt i rehabiliteringsplan for NS3700-scenarior

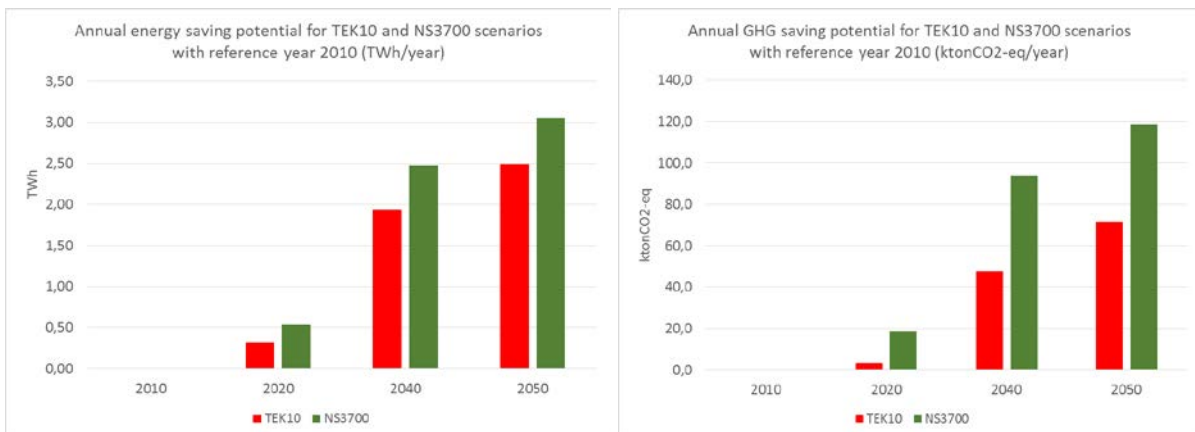
	Measures NS3700 (passive house) scenario					
Renovation cycle	Space heating system	DHW	Windows & doors	External wall	Roof	Floor
<b>1<sup>st</sup> renovation 2010</b>	80% covered by direct electric heat generator, 20% by wood oven	100% covered by electricity for electric boiler	Changed for three-pane windows with new U-value=0.8	No renovation	No renovation	No renovation
<b>2<sup>nd</sup> renovation 2020</b>	Vacuum solar collector with water based heating system (new boiler and radiators)	65% heat demand covered by heat from solar collector and 35% by direct electricity	New doors U-value=0.8	Old insulation removed, new added, U-value= 0.11	Old insulation removed, New added U-value=0.08	Old insulation removed, New added U-value=0.11

<b>3<sup>rd</sup> renovation 2040</b>	No changes	Improved efficiency of solar collector to 80%	No changes	No changes	No changes	No changes
---------------------------------------	------------	---	------------	------------	------------	------------

Figur 20 viser de estimerte verdier for årlig forbruk av primærenergi (TWh/år) for et baseline scenario og for TEK10 og NS3700 scenariene. Grunnen til reduksjonen også i baseline scenariet er at en viss del av boligmassen som ble bygget på 1980-tallet må forutsettes å bli revet i løpet av tiden mot 2050. Figur 21 viser diagram for årlig gevinst i forhold til baseline scenario, for forbruket av primærenergi og for utslippet av drivhusgasser (GHG).

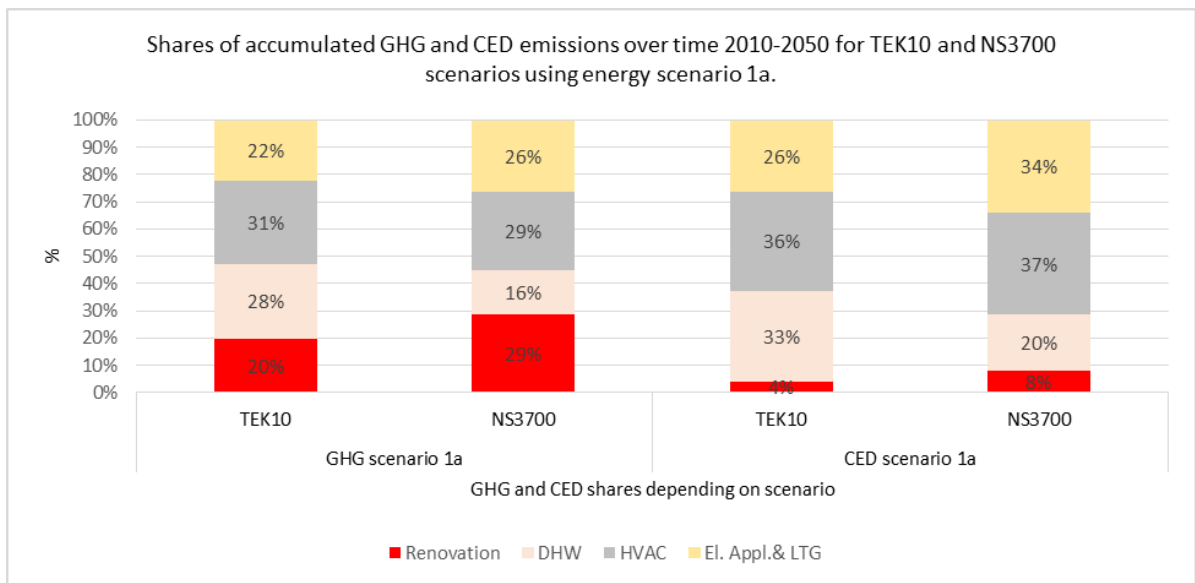


Figur 20: Årlig forbruk (TWh/år) av primærenergi for baseline, TEK10 og NS3700 scenarier for eneboligsegmentet bygget mellom 1980 og 1990, for perioden 2010-2050



Figur 21: Årlig gevinst i forbruk av primærenergi (CED) og drivhusgassutslipp (GHG) for TEK10 og NS3700 scenarier i forhold til baseline scenario for 2010-2050

Til sist i presentasjonen for eneboliger fra 1980-tallet vises i figur 22 hvordan de akkumulerte verdier for utslipp av drivhusgasser (GHG) og primærenergi (CED) for TEK10 og NS3700 scenarier fordeler seg i prosent på henholdsvis bidraget fra produksjon av byggevarer til rehabilitering (Renovation), oppvarming av varmtvann (DHW), romoppvarming (HVAC) og elektriske installasjoner og belysning. Det fremgår at produksjon av byggevarer som medgår til rehabilitering gir betydelige bidrag til de samlede utslippene av drivhusgasser, men i liten grad til primærenergiforbruket. For øvrig er det ikke en veldig ulik fordeling mellom de andre bidragsyterne, selv om ventilasjon dominerer her.



Figur 22: Prosentandel bidrag til utslipp av drivhusgasser (GHG) og primærenergi (CED) for TEK10 og NS3700 scenarier for eksempelhus for 2010-2050

### Eldre leilighetsblokker bygget frem til og med 1980

Denne studien er utført av Folstad (2014), som en analyse av tre bygningstypologier av leilighetsblokker, den første bygd før 1956, den andre bygd i perioden 1956-1970, og den siste bygd i perioden 1971-1980. De tre bygningstypologiene er definert som typiske bygg fra hver angitte periode. Energibalansen er beregnet etter TABULA-prinsippet i EPISCOPE-prosjektet, før og etter rehabilitering. To tilstander før rehabilitering er analysert for hver periode; original tilstand og historisk oppgradert tilstand. Dette er gjort siden en stor del av byggene har gjennomgått en form for rehabilitering allerede, og energisparingspotensialet ved ytterligere tiltak er mindre for disse historisk oppgraderte byggene enn for de i original tilstand. En kostnadsanalyse basert på nåverdivurdering er utført over en periode på 36 år for ulike rehabiliteringspakker, som grunnlag for utvelgelse av tiltak til en scenariomodell, som henter inputs fra en segmentert dynamisk MFA bygningssmasse modell og energiberegningsmodellen.

Reduksjonspotensialet ved å oppgradere en typisk bygning bygd før 1956 fra original tilstand til TEK10-nivå er 68 % for romoppvarming. Oppgradering videre til passivhusnivå fører til at reduksjonspotensialet økes til 81 %, noe som viser at det er store forbedringspotensialer for denne bygningstypen. Imidlertid vil kun et mindretall på 16 % av leilighetsblokkene fra denne perioden være i original tilstand, noe som betyr at et mer realistisk reduksjonspotensial vil være fra historisk rehabilitert tilstand til TEK10- eller passivhusnivå. Reduksjonspotensialet for en TEK10-oppgradering av bygget vil da være 46 %, mens en passivhus-oppgradering av bygget vil gi et reduksjonspotensial på 67 %. Leilighetsblokker bygd mellom 1971 og 1980 har det minste energisparepotensialet ettersom kvaliteten her er forholdsvis bra. Dette gjør også disse bygningstypene minst lønnsomme for ulike nye tiltak. Nesten alle rehabiliteringer er funnet å være lønnsomme for leilighetsblokker bygd før 1956 og mellom 1956-1970 i original tilstand siden disse bygningstypene har høyest energibehov. Imidlertid vil en oppgradering av bygningskroppen til TEK10-nivå og passivhusnivå kombinert med installasjon av luft-til-luft varmepumpe være økonomisk lønnsomt for alle bygningstypene over en periode på 36 år. Installasjon av balansert ventilasjonssystem er kun lønnsomt for leilighetsblokker bygd før 1956 og mellom 1956-1970 i original tilstand. Det er imidlertid anbefalt å installere et balansert ventilasjonsanlegg i bygget når bygningskroppen oppgraderes til passivhusnivå for å sikre tilfredsstillende luftkvalitet. Siden det er stor vilje til å betale for komfort er det antatt at installasjon av balansert ventilasjonsanlegg vil være realistisk for alle bygningstypene til tross for at netto nåverdi er opptil 400 NOK/m<sup>2</sup> høyere enn for referansescenariet der ingen energirelaterte oppgraderinger er forutsatt. Nedenfor presenteres noen av forutsetningene og resultatene i dette arbeidet.

Tabell 17 spesifiserer forutsetningene i de bygningsavhengige parameterne som er benyttet som utgangspunkt for analysen. Verdiene er valgt slik at de i stor grad stemmer overens med det som tidligere er benyttet i bakgrunns materialet for Enovas potensial- og barrierestudie (Prognosesenteret 2012) og med verdier fra TABULA-metodikken (Loga og Diefenbach 2013).

Tabell 17: Oversikt over bygningsavhengige parametere som er benyttet for analyse av blokkleiligheter bygd før 1980

	Before 1956	1956-1970	1971-1980
<b>General information</b>			
BRA ( $A_{C,ref}$ )	568	1056	1800
Number of units per block (units)	8	16	24
Length x width ( $m \times m$ )	15.97 × 8.87	34.18 × 7.70	39.79 × 11.24
Number of floors	4	4	4
Ceiling height (m)	2.8	2.8	2.5

<b>Area values for each construction element (m<sup>2</sup>)</b>			
Wall ( $A_{env,wall}$ )	438.8	771.7	738.6
Floor ( $A_{env,floor}$ )	142	264	450
Roof ( $A_{env,roof}$ )	142	264	450
Window ( $A_{env>window$ )	113.6	158.4	270
Door ( $A_{env,door}$ )	4	8	12
<b>Area for different windows orientations (m<sup>2</sup>)</b>			
Horizontal ( $A_{window,hor}$ )	0	0	0
South ( $A_{window,south}$ )	68.16	95.04	162
West ( $A_{window,west}$ )	0	0	0
East ( $A_{window,east}$ )	0	0	0
North ( $A_{window,north}$ )	45.44	63.36	108
<b>Effective U-value for construction (original building state) (W/m<sup>2</sup>K)</b>			
Wall	0.82	0.96	0.34
Floor	0.55	0.38	0.24
Roof	0.81	0.33	0.21
Window	2.6	2.6	2.6
Door	2.5	2.5	2
Thermal bridge value	0.15	0.15	0.1
<b>Effective U-value for construction (historical refurbished building state) (W/m<sup>2</sup>K)</b>			
Wall	0.41	0.29	0.18
Floor	0.26	0.18	0.21
Roof	0.31	0.24	0.14
Window	2.0	2.0	1.6
Door	2.0	2.0	1.6
Thermal bridge value	0.1	0.1	0.1
<b>Indoor climate</b>			
Heated part of the apartment	77%	80%	82%
Unheated part of the apartment	23%	20%	18%
Temperature heated part	22	22	22
Temperature unheated part	15	15	15
Average temperature ( $\vartheta_{int}$ )	20.39	20.6	20.74
<b>Air exchange values (1/h) (original building state)</b>			
Average air change rate related to the utilization of the building ( $n_{air,use}$ )	0.4	0.4	0.4
Air change by infiltration ( $n_{air,infiltr}$ )	0.4	0.4	0.2
<b>Air exchange values (1/h) (historical refurbished building state)</b>			
Average air change rate related to the utilization of the building ( $n_{air,use}$ )	0.4	0.4	0.4
Air change by infiltration ( $n_{air,infiltr}$ )	0.2	0.2	0.2

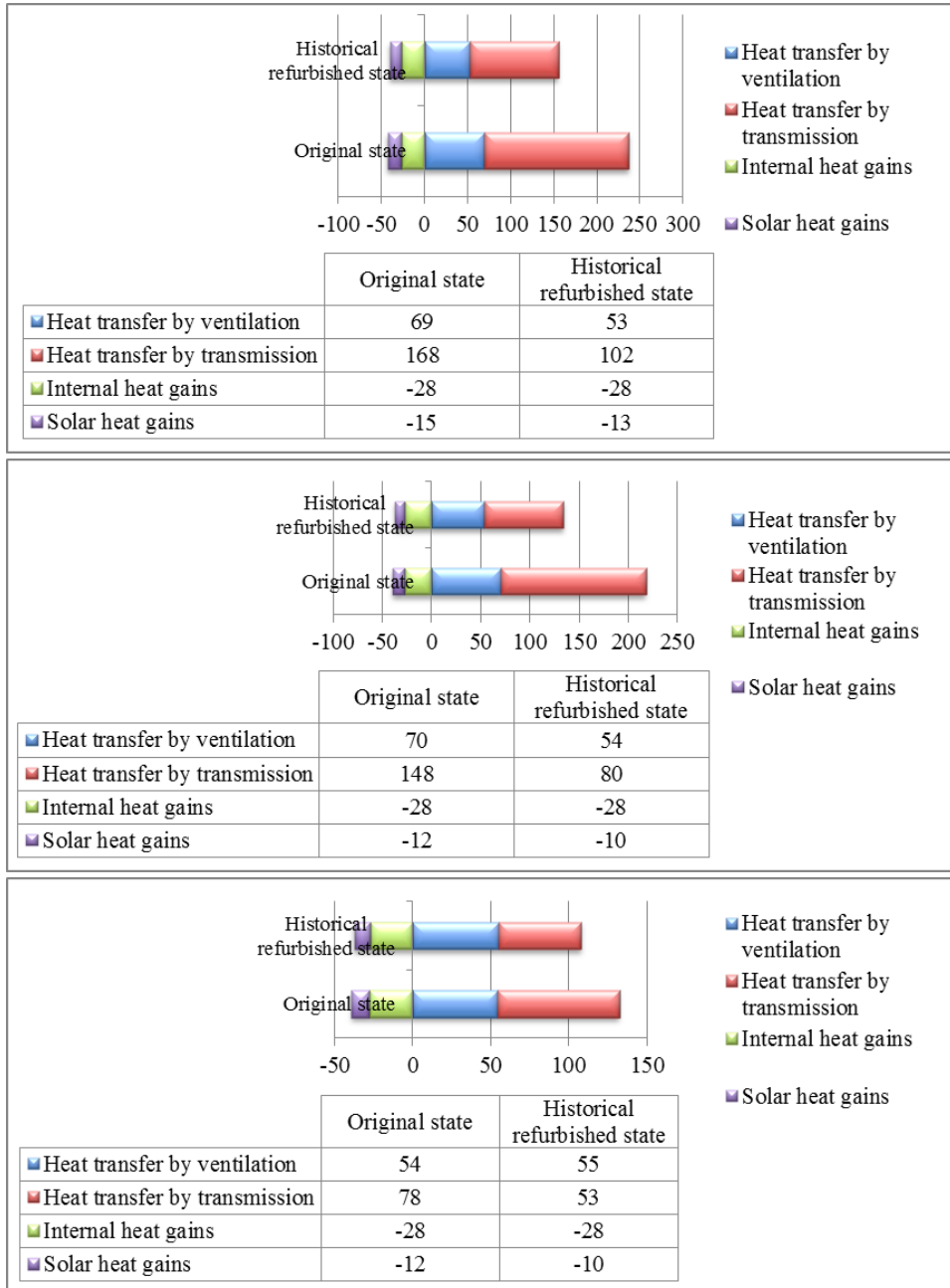
Analysen har vurdert 18 ulike rehabiliteringspakker for blokkleiligheter bygd før 1980. Tabell 18 viser hva hver pakke omfatter.

*Tabell 18: Oversikt over ulike rehabiliteringspakker som er analysert*

Renovation package	Description
0	No energy-related upgrades except improving the U-values of the windows to 1.4 W/m <sup>2</sup> K
1	Upgrading windows to passive house level
2	TEK10 envelope upgrade
3	Passive house envelope upgrade
4	Installation of air-to-air heat pump
5	Installation of balanced ventilation system with 70 % heat recovery
6	TEK10 envelope upgrade + installation of air-to-air heat pump
7	TEK10 envelope upgrade + installation of balanced ventilation system with 70 % heat recovery
8	TEK10 envelope upgrade + Installation of water-based heating system with radiators + connecting to district heating
9	Passive house envelope upgrade + installation of air-to-air heat pump
10	Passive house envelope upgrade + installation of balanced ventilation system with 80 % heat recovery
11	Passive house envelope upgrade + Installation of water-based heating system with radiators + connecting to district heating
12	Passive house envelope upgrade + Installation of water-based heating system + installation of solar collectors
13	Passive house envelope upgrade + Installation of water-based heating system with radiators + installation of air-to-water heat pumps
14	Passive house envelope upgrade + Installation of water-based heating system + installation of solar collectors + installation of balanced ventilation system with heat recovery

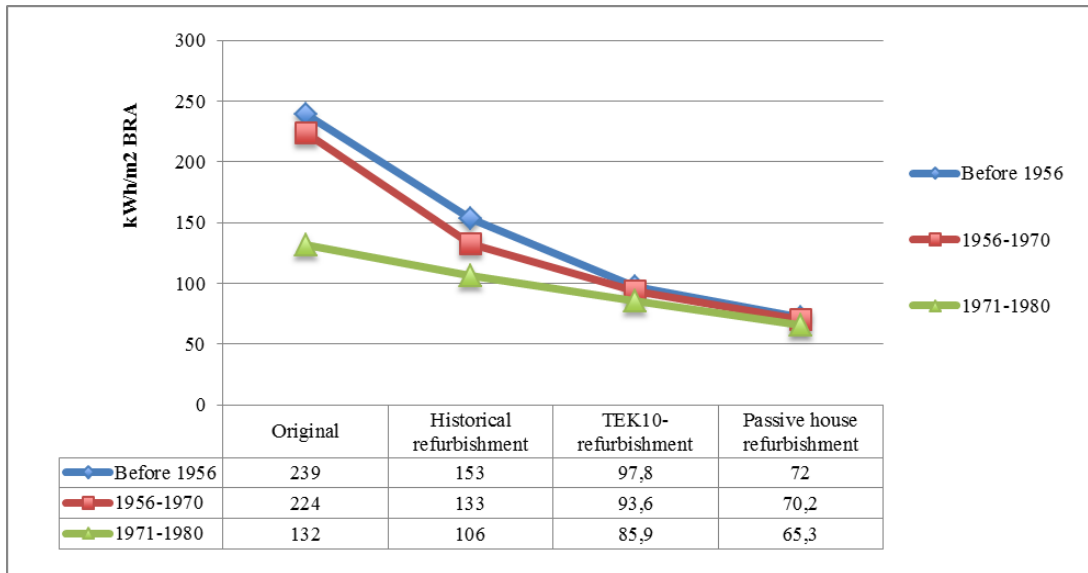
Med dette som utgangspunkt er det foretatt beregninger av energibalansen for boligene. Figur 23 viser resultatene for varmetap og varmetilskudd for leiligheter fra de ulike aldersklassene; de bygd frem til og med 1955 øverst, de bygd mellom 1956 og 1970 i midten, og de bygd mellom 1971 og 1980 nederst. Det er vist resultater for boligene i original tilstand og i historisk oppgradert tilstand. Legg merke til at skalaene ikke er den samme i de tre figurene.





Figur 23: Beregnet varmetap og varmetilskudd for leilighetsblokker bygd før 1956 (øverst), mellom 1956 og 1970 (i midten) og mellom 1971 og 1980 (nederst)

I figur 24 er beregnet mengde spesifikk levert energi (kWh/m<sup>2</sup>) til boligene angitt, for de tre aldersklassene boliger og de fire analyserte tilstandene. Legg merke til den betydelige effekten av historisk rehabilitering av eldre leiligheter, og at vesentlig ytterligere reduksjon er teknisk potensielt mulig ved TEK10 og passivhus rehabilitering. Tabell 19 viser de tilhørende potensielle besparelser ved TEK10 og passivhus rehabilitering målt i forhold til leilighetenes originale tilstand og historisk oppgraderte tilstand.

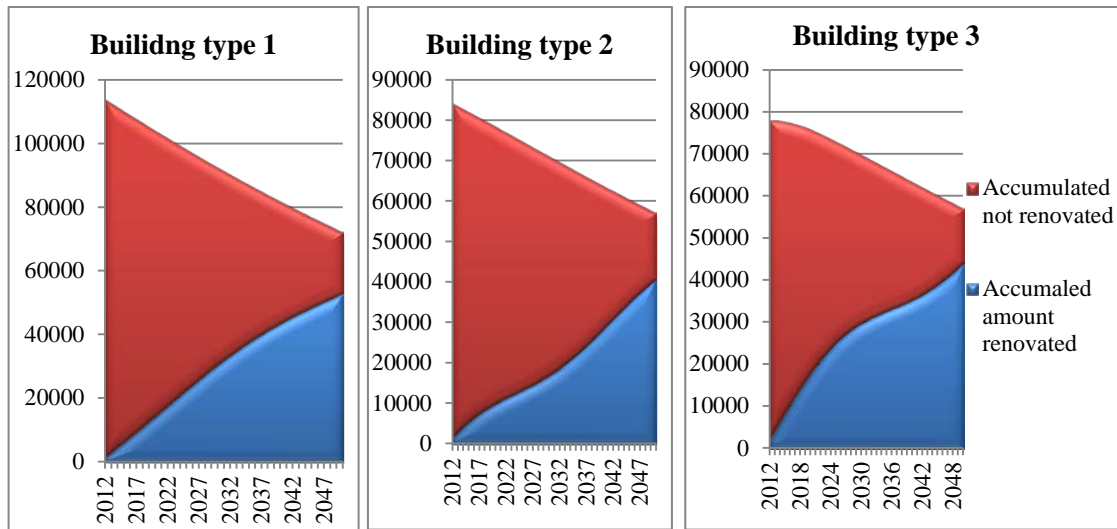


Figur 24: Beregnet årlig mengde spesifikk levert energi til romoppvarming og varmtvann for leilighetsblokker bygd før 1980

Tabell 19: Årlig beregnet energisparing i ved oppgradering til TEK10 og NS3700 standard i forhold til original og historisk oppgradert tilstand

Annual savings from original state (kWh/m <sup>2</sup> year)		
	TEK10-refurbishment package	Passive house refurbishment package
<b>Before 1956</b>	136.2	162
<b>1956-1970</b>	124.1	147.5
<b>1971-1980</b>	40.9	61.5
Annual savings from historical refurbished state (kWh/m <sup>2</sup> year)		
	TEK10-refurbishment package	Passive house refurbishment package
<b>Before 1956</b>	54.6	80.4
<b>1956-1970</b>	39.6	63
<b>1971-1980</b>	19.6	40.2

Figur 25 viser resultatene fra dynamisk MFA analyse av boligmassens utvikling, dvs. hvilket antall leiligheter som til enhver tid vil finnes, enten i rehabilitert tilstand eller i ikke-rehabilitert tilstand. Grunnen til at summen av disse synker med tiden er at en betydelig andel av leilighetene bygd før 1980 vil måtte forutsettes å rives på grunn av sin høye alder. Legg også her merke til at skalaen på y-aksen ikke er den samme i alle figurene.



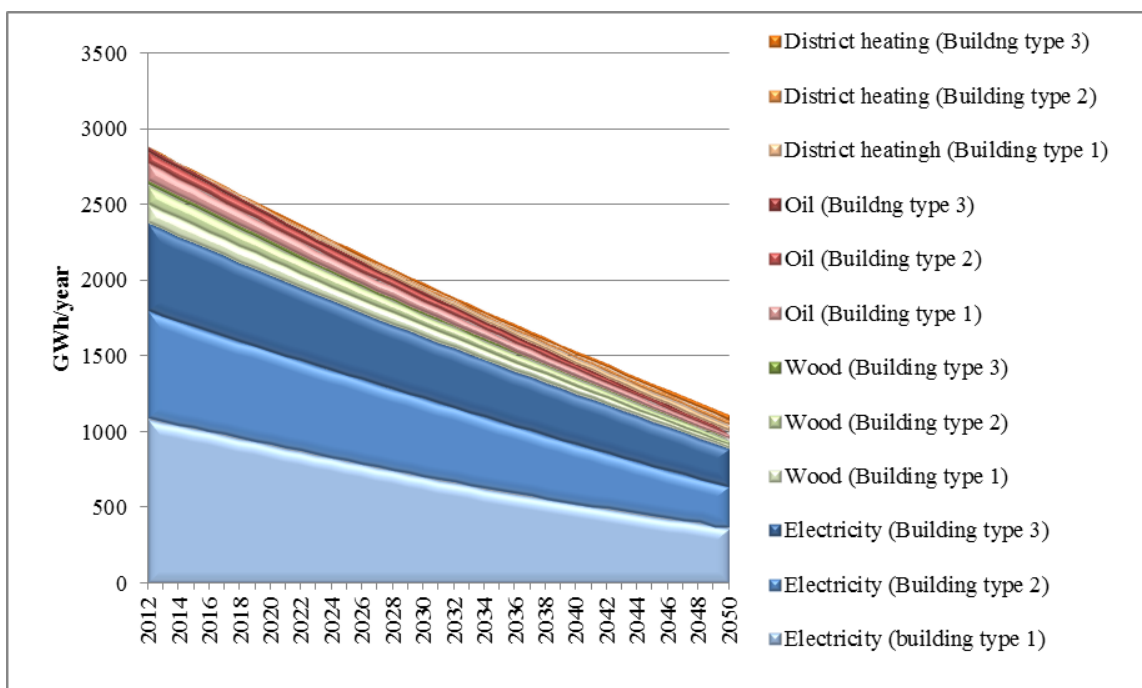
Figur 25: Antall blokkleiligheter som ut fra dynamisk MFA modell er forutsatt rehabilitert og ikke rehabilitert til enhver tid frem mot 2050.

I tabell 18 ble det vist samtlige rehabiliteringspakker som er analysert i dette arbeidet. Kun et mindre antall av disse er valgt ut for å være med i scenarier for utviklingen frem mot 2050, på grunn av at det var disse som var mest kostnytte-effektive. I tabell 20 er det vist hvordan disse er kombinert inn i en scenarioanalyse. Litt ulike andeler av hver pakke er benyttet for ulike aldersklasser, uten at det her er store forskjeller. I sum innebærer dette at det her er forutsatt at alle leilighetene som er utsatt for rehabilitering gjennomgår dyp energirehabilitering. Utover dette viste figur 25 ovenfor at en god del leiligheter forblir ikke-rehabiliteret.

Tabell 20: Forutsatt fordeling av ulike rehabiliteringspakker i scenarioanalyse

	Before 1956	1956-1970	1971-1980
TEK10 envelope upgrade (2)	20%	20%	20%
Passive house envelope upgrade (3)	5%	5%	5%
TEK10 envelope upgrade + air-to-air heat pump (6)	20%	20%	20%
TEK10 envelope upgrade + connect to district heating (8)	10%	10%	10%
Passive house envelope upgrade + air-to-air heat pump (9)	10%	10%	10%
Passive house envelope upgrade + balanced ventilation system with 80 % heat recovery (10)	25%	25%	30%
Passive house envelope upgrade + installing a solar collector system + balanced ventilation system (14)	10%	10%	5%

I figur 26 vises de beregnede resultater for utviklingen i levert energibehov for leilighetene frem mot 2050. Resultatene er fordelt på forbruket av elektrisitet, ved, olje og fjernvarme, og på de tre bygningstypene; type 1 fra før 1956, type 2 mellom 1956 og 1970, og type 3 mellom 1971 og 1980. Som forventet er det elektrisitet som dominerer gjennom hele perioden.



Figur 26: Estimert utvikling i levert energibehov mot 2050 for blokkleiligheter bygget før 1980

På grunnlag av resultatene for forbruk av ulike energivarer er det i tabell 21 vist hva som blir det samlede beregnede utslipp av drivhusgasser, henholdsvis i 2012 og i 2050. Tallene viser at det utslippsnivået i 2050 er beregnet å være under 1/3 av utslippsnivået i 2012, men at det er store forskjeller mellom nivåene avhengig av hvilken energimix som er forutsatt i analyse,

Tabell 21: Estimert utslipp av drivhusgasser i 2012 og 2050 ved ulike antakelser om energimix

Emission factor	GHG emissions – 2012 (ktonnes CO <sub>2</sub> -eq./year)	GHG emissions – 2050 (ktonnes CO <sub>2</sub> -eq./year)
Norwegian mix (0.05 kg CO <sub>2</sub> -eq./kWh)	254	72
Nordic mix (0.2 kg CO <sub>2</sub> -eq./kWh)	611	193
European mix (0.542 kg CO <sub>2</sub> -eq./kWh)	1 425	469

---

## 5. Litteraturreferanser

Analyse & Strategi AS (2011): Konsekvensanalyse av å innføre nye forskriftskrav til energieffektivisering av bygg.

Bergsdal, H., Brattebø, H. and Müller, D.B. (2014): Dynamic material flow analysis for Norway's dwelling stock. *Building Research and Information*, Vol 35(5), 557-570

Bergsdal, H., Brattebø, H., Bohne, R.A. and Müller, D.B. (2007): Dynamic material flow analysis for PCBs in the Norwegian building stock. *Building Research and Information*, Vol 42(3), 359-370

Block, V.V.H. (2014): Boligstatistikk for forskningsformål ved NTNU. Datamateriale mottatt per epost fra SSB, 04.09.2014.

Buildings Performance Institute Europe (2011): Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings., in, Buildings Performance Institute Europe, Brussels, 2011.

Brattebø, H., O'Born, R., Sartori, I., Klinski, M. og Nørstebø, B. (2014): Typologier for norske boligbygg - Eksempler på tiltak for energieffektivisering. Program for industriell økologi, Institutt for energi og prosessteknikk, NTNU. Trondheim, 05.09.2014.

Enova (2012): Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering i norske bygg. Enova rapport 2012:01

EU Parlamentet (2012): Energy Efficiency Directive, i E.P.a.t. Council (Ed.) 2012/27/EU 2012.

Loga T. and Diefenbach N. (2013): TABULA Calculation Method – Energy Use for Heating and Domestic Hot Water – Reference Calculation and Adaptation to the Typical Level of Measured Consumption. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt. ISBN 978-3-941140-31-8

Pauliuk, S., Sjöstrand, K. and Müller D.B. (2013): Transforming the Norwegian dwelling stock to reach the 2 degrees celsius climate target: Combining material flow analysis and life cycle assessment techniques. *Journal of Industrial Ecology*, Vol 17(4), 542-554

Prognosesenteret (2012): Potensial- og barrierestudie; Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport. Utført av Prognosesenteret AS i samarbeid med Entelligens AS. Enova rapport 2012:01.1

Sandberg, N.H., Bergsdal, H., Brattebø, H. (2011): Historical energy analysis in the Norwegian dwelling stock. *Building Research and Information*, Vol 39(1), 1-15

Sandberg, N.H., Sartori, I. and Brattebø, H. (2014): Using a dynamic segmented model to examine future renovation activities in the Norwegian dwelling stock. *Energy and Buildings*, Vol 82, 287-295

Sartori, I., Bergsdal, H., Müller, D.B. and Brattebø, H. (2008): Towards modelling of construction, renovation and demolition activities: Norway's dwelling stock, 1900-2100. *Building Research and Information*, Vol 36(5), 412-425