



Fremtidig utvikling i energiforbruk og CO₂-utslipp for Norges boligmasse

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



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

Trondheim, revidert 30.03.2016 (opprinnelig versjon 16.09.2015)

Forfattere:

- Helge Brattebø, Reyn O'Born, Nina Holck Sandberg og Magnus I. Vestrum, alle ved Institutt for energi og prosessteknikk, NTNU
- Igor Sartori, SINTEF Byggforsk



Fremtidig utvikling i energiforbruk og CO₂-utslipp for Norges boligmasse

Forfattere:

- Helge Brattebø, Reyn O'Born, Nina Holck Sandberg og Magnus I. Vestrum, alle ved Institutt for energi og prosesssteknikk, 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, 30.03.2016

Professor Helge Brattebø, Industriell økologi, Institutt for energi og prosesssteknikk

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 CO₂-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) 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. Derne st 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 skisserer videre metodikk for og resultater fra scenarioanalyse av fremtidig energibruk og CO₂-utslipp utført gjennom et antall masteroppgaver ved NTNU, der ulike deler av boligmassen er studert mer i detalj innen rammen av hver masteroppgave. Avslutningsvis gis det en presentasjon av forutsetninger og resultater fra scenarioanalyser for utviklingen av energibruk og CO₂-utslipp i den samlede norske samlede boligmassen som er utført mot slutten av EPISCOPE-prosjektet. Denne rapporten er en revidert versjon (datert 30.03.2016) av den opprinnelige rapporten (datert 16.09.2015).

Innholdsliste

Forord.....	i
Innholdsliste	ii
1 Sammensetningen av den norske boligmassen	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Boligstatistikk for Norge i henhold til EPISCOPE-typologien	2
2 Status for rehabilitering utført i den norske boligmassen	4
3 Energibalanser for typologier i den norske boligmassen	7
3.1 Eksempelbygninger og varianter av utforming for disse	7
3.2 Sammenstilling av energibalanse resultater for eksempelbygninger	9
4 Modellering av energiutviklingen i boligmassen samlet.....	13
4.1 Dynamisk MFA-modellering av boligmassen og rehabiliteringsaktivitet.....	14
4.2 Enovas potensial- og barrierestudie om energieffektivisering i norske bygg...	25
4.3 Scenarier for deler av boligmassen – Masteroppgaver i EPISCOPE-prosjektet utført ved NTNU	28
4.3.1 Eldre eneboliger bygget frem til og med 1980	29
4.3.2 Eneboliger bygget mellom 1981 og 1990	36
4.3.3 Eldre leilighetsblokker bygget frem til og med 1980	40
4.3.4 Leilighetsblokker bygget mellom 1981 og 2010	47
5 Scenarioanalyser for energibruk og CO₂-utslipp fra den samlede norske boligmassen frem mot 2050.....	51
5.1 Den observerte boligmassen og formålet med scenarioanalysene.....	51
5.2 Datakilder.....	56
5.3 Beskrivelse av scenariene	57
5.4 Resultater	58
5.5 Konklusjoner.....	61
6 Litteraturreferanser	62

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 boligenes 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://episcopes.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 Bratneb 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 boliger (#)				Bruksareal (1000 m ²)			
	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
SUM	1 146 087	301 043	63 265	1 510 395	1 278 960	505 143	665 107	2 449 210	213 241	55 091	45 604	313 936

Aldersklasse	Andel bebodde boliger (%)				Antall bebodde boliger (#)				Bebodd bruksareal (1000 m ²)			
	SFH	TH	AB	Total	SFH	TH	AB	SUM	SFH	TH	AB	SUM
1955 og tidligere	85,33	88,88	88,24	86,74	342 585	127 313	158 537	628 335	53 482	13 123	10 427	77 422
1956 - 1970	95,60	94,97	91,78	94,46	217 900	77 474	111 382	406 994	35 647	9 170	6 988	51 535
1971 - 1980	94,78	96,54	92,58	94,59	208 206	70 012	84 606	362 829	35 262	8 228	6 078	49 463
1981 - 1990	95,23	95,31	88,48	94,06	192 582	67 307	50 850	310 697	36 380	7 638	3 805	47 516
1991 - 2000	94,03	94,95	85,91	91,91	103 147	52 823	55 890	211 746	16 843	5 304	3 811	25 675
2001 - 2010	92,95	94,47	87,27	90,92	91 842	63 884	110 811	266 766	15 360	6 591	7 860	29 557
2011 og senere	92,79	94,42	87,36	90,82	17 764	13 152	20 262	51 102	3 185	1 483	1 630	6 239
SUM	91,61	93,37	89,03	91,28	1 171 655	471 652	592 145	2 235 639	195 350	51 438	40 601	286 561

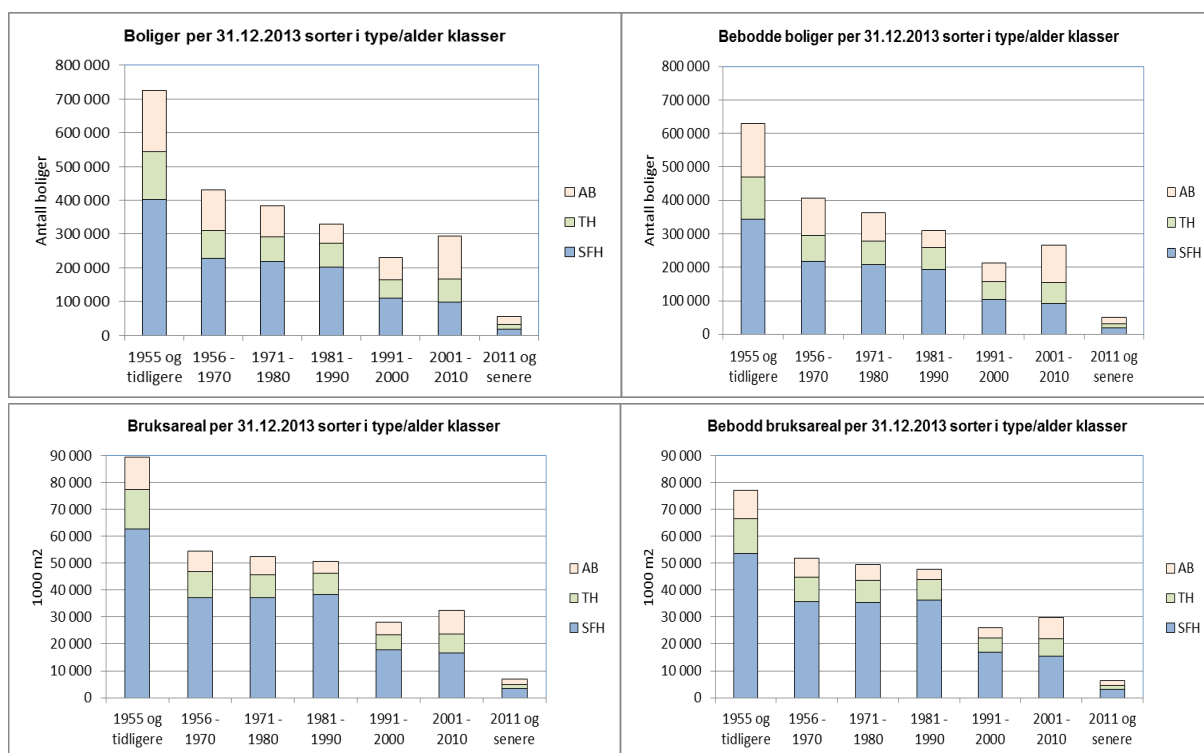
Tabellens øverste del rapporterer tall for antall bygninger, boliger og kvadratmeter bruksareal for hver aldersklasse, fordelt på den norske boligtypeinndelingen som er benyttet i EPISCOPE:

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

Tallene her er beregnet med grunnlag i statistikk for *bebodde og ubebodde boliger* 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.

Tabellens nederste del rapporterer *andelen bebodde boliger* for hver boligtype og aldersklasse, samt antall bebodde boliger og bebodd bruksareal beregnet ut fra disse andelen. Tallene for andel bebodde boliger (%) er hentet ut fra SSB statistikk for folke- og boligtellingsen i 2011, med noen mindre justeringer for å tilpasse denne statistikken til aldersklassene som er benyttet i EPISCOPE-prosjektet.

Figur 1 illustrerer denne boligstatistikken som søylediagram. Figuren viser med stor tydelighet i hvilken grad den norske boligmassen er dominert av SFH (eneboliger inkl. våningshus). Videre er det relevant å merke seg alderssammensetningen av Norges boligmasse: litt under 1/3 er bygget før 1956 (dvs. 29,6 % av boliger og 28,4 % av bruksareal), og litt under 2/3 er bygget før 1981 (dvs. 62,8 % av boliger og 62,5 % av bruksareal). Dermed er også en stor andel av gulvarealet i dagens norske boliger (37,5 %) bygget etter 1981, i en situasjon med gradvis strengere energikrav. Figuren viser også effektene av andelen ikke bebodde boliger; totalt er 8,72 % av boligene i henhold til tabell 1 ikke bebodd). Man burde 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 CO₂-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/m²/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 Prognosesenteret AS og Entelligens AS, se tabell 2.

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 Renoverter viser andelen av boliger innenfor hver byggeperiode som har utført en eller flere typer av energirelaterte oppgraderinger.

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/m²/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 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 %
Leilighet						
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 %	38 %	3 %	1 %	0 %
Småhus						
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 %
Yttervegg/ fasade		Byggeår bolig				
Enebolig	Før 1956	1956-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Originalisolasjon	36 %	68 %	94 %	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 %
Leilighet						
Originalisolasjon	57 %	63 %	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 %
Småhus						
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 %
Tak/ loft		Byggeår bolig				
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 %
Leilighet						
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 %
Småhus						
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 %

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
Enebolig					
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%
Leilighet					
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%
Småhus					
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%

Tabell 4: Netto energibehov (kWh/m²/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)

Enebolig	Netto energibehov kWh per km					
	Totalt energi	Oppvarming	Belysning	Bektrisk utstyr	Vifter	Teppevann
Enebolig						
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
Leilighet						
Leilighet						
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
Småhus						
Småhus						
Før 1956	247,5	188,6	11,4	17,5	-	30,0
1956-1970	175,7	118,8	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
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%
Leilighet			
Leilighet			
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%
Småhus			
Småhus			
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%
Totalt	45,23	43,69	4%

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/m²/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.

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 V1 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 V2 og V3 at den samme bygningen har gjennomgått en energioppgradering som følge av rehabilitering, 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 får en forbedret energibalanse i forhold til variant V1. Variant V2 tilsvarer oppgradering til en energistandard på linje med det som anses som vanlig for dagens typer energirehabilitering i Norge. Variant V3 tilsvarer oppgradering til en ambisiøs energistandard, tilsvarende TEK10 standard, eventuelt også med takmontert solcelleanlegg.

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

	Variant V1	Variant V2	Variant V3
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 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 V1 skal representere dagens energistandard (TEK10), variant V2 skal representere passivhus standard (NS3700) og variant V3 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 V1, V2 og V3. 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). Typologibrosjyren finnes er senere også utviklet for et sett syntetiske gjennomsnittsbygg for hver type/alder klasse (Brattebø et al. 2015a).

3.2 Sammenstilling av energibalanse resultater for eksempelbygninger

I dette kapittelet sammenstilles resultatene fra energibalanseberegningene 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/m²/år)
- Forbruk av energibærere (kWh/m²/år)
- Forbruk av primærenergi (kWh/m²/år)
- Direkte og indirekte utslipp av drivhusgasser, målt som CO₂-ekv (kg/m²/år)
- Energikostnader, dvs. kjøp av energivarer (NOK/m²/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 energivarene 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 CO₂-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 brenslere 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.

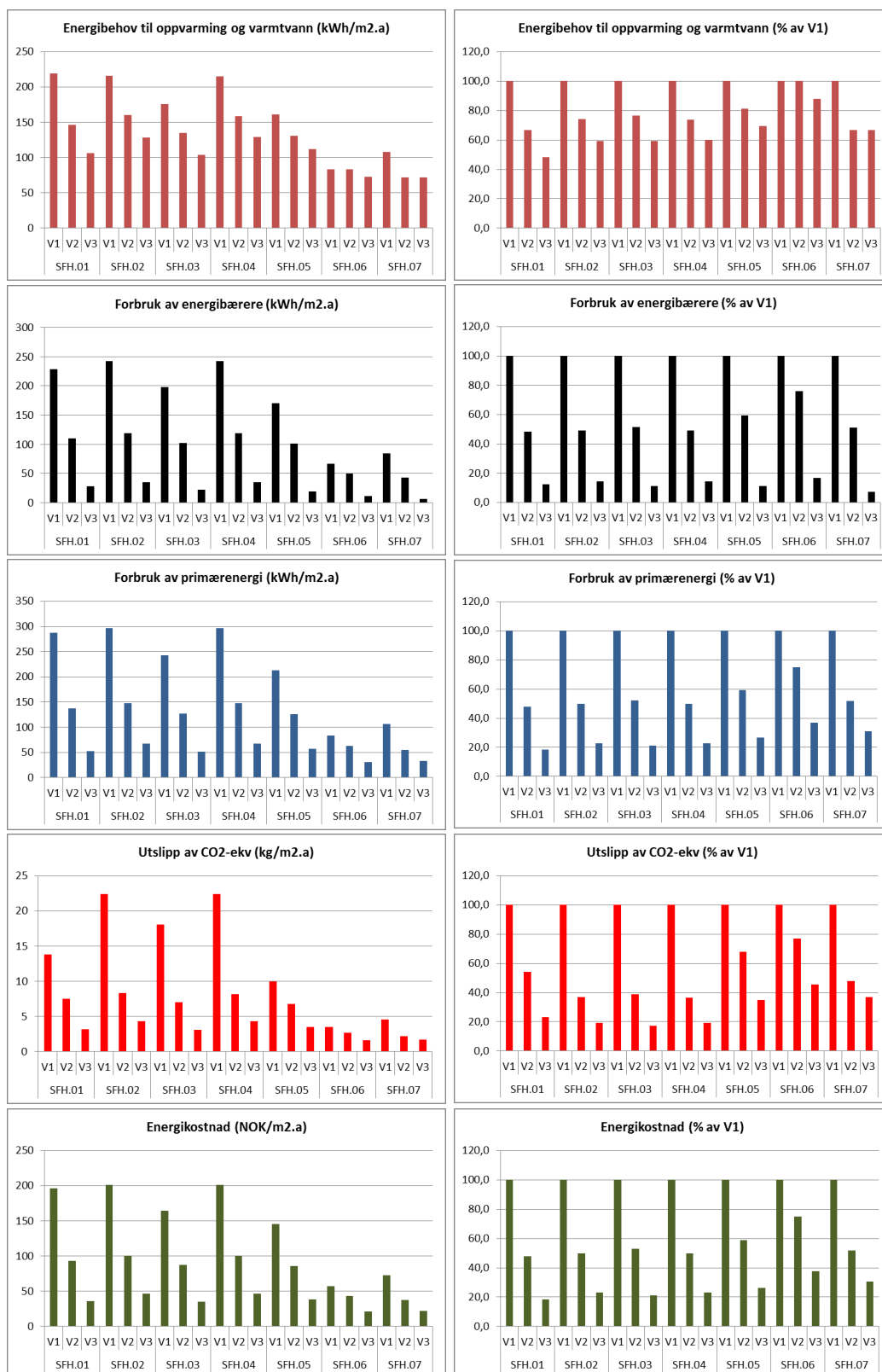
Tabell 6 viser resultatene for segmentene SFH.01 – SFH.07, dvs. for eneboliger og våningshus fra de ulike aldersklassene som er vist i Tabell 1. SFH.01 representerer den eldste aldersklassen frem til og med 1955, mens SFH.07 representerer den yngste aldersklassen fra og med 2011. Tallverdiene er vist som absolutte størrelser (kWh/m²/år, kg CO₂-ekv/m²/år og NOK/m²/år) og som relative størrelser (% relativt til verdien for variant V1) for hver aldersklasse. Nederst i tabellen er det angitt gjennomsnittverdi for hver resultatindikator, over alle alderssegmentene, for variant V2 og V3 i forhold til variant V1.

Figur 2 viser grafisk verdiene for resultatindikatorene 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 ₂ -ekv		Energikostnad	
		(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kg/m ² .a)	(% av V1)	(NOK/m ² .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.



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

Dette mønsteret kan oppsummeres som følger:

- For samtlige resultatindikatorer ser det ut til at verdiene for variant V1 (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 V2 (forbedret energistandard) og V3 (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.
- Resultatene for forbruk av primærenergi, utslipp av CO₂-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 V2 og V3.

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.

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.

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.

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

Eksempelbygning	Variant	Energibehov		Energibærere		Primærenergi		Utslipp CO ₂ -ekv		Energikostnad	
		(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kg/m ² .a)	(% av V1)	(NOK/m ² .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

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

Eksempelbygning	Variant	Energibehov		Energibærere		Primærenergi		Utslipp CO ₂ -ekv		Energikostnad	
		(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kWh/m ² .a)	(% av V1)	(kg/m ² .a)	(% av V1)	(NOK/m ² .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

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 m² og år, vil det være mulig å estimere det totale

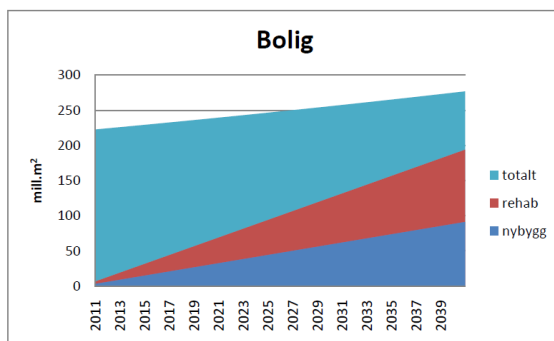
energiforbruket m.m. for hvert type- og aldersklasse segment av den norske boligmassen. Disse resultatene kan så adderes til estimat for den samlede boligmassen. Dette forutsetter at man lar eksempelbygningene representere sine respektive type- og aldersklasse segmenter, at man vet hva som er det samlede gulvareale (m² 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 (m²) av det samlede gulvareale innen hvert segment av boligmassen
- ii) Forventet årlig omfang (m²) 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’, og utvikler seg med metodiske forbedringer og nye resultater underveis i arbeidet. 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 fluktuasjoner 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)

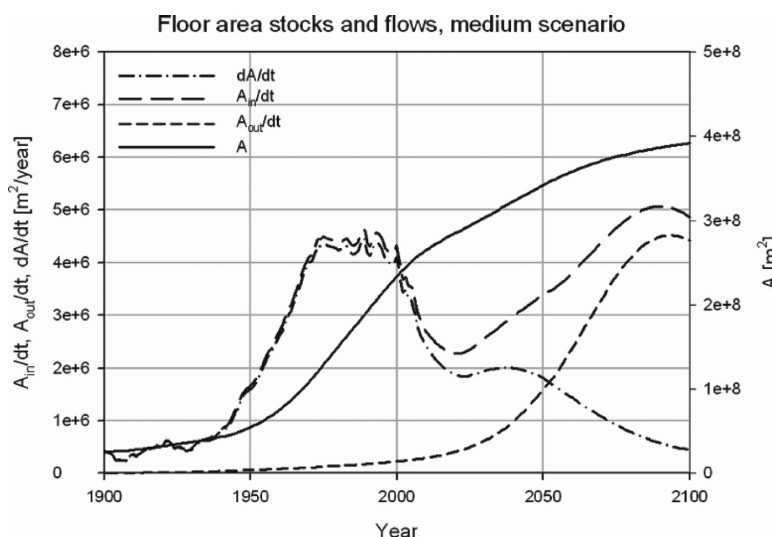
Når man ser på endringer i boligmassen over lengre tidshorisonter vil det derimot være opplagte feilkilder forbundet med lineære framskrivninger. Dette fordi det systemet som boligmassen representerer best kan beskrives som å være av typen ‘dynamisk strøm-lagerbeholdning system’ (på engelsk ‘dynamic 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.

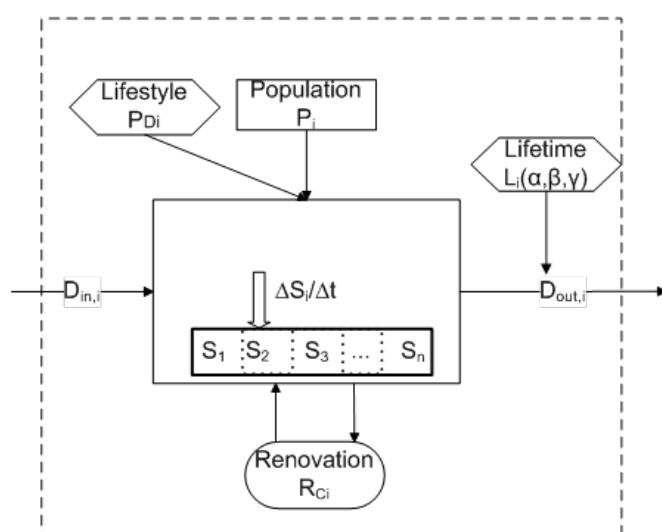
Av spesiell relevans for arbeidet i EPISCOPE er studiene til Bergsdal et al. (2007) som dokumenterer mekanismene i boligmassens dynamikk og Sandberg et al. (2014) som bruker en segmentert modell for dynamisk analyse av rehabiliteringsbehovet i den norske boligmassen. Figur 4 viser beregnede resultater fra Bergsdal et al. for å vise viktige utviklingstrekk fra 1900 til 2100 i den norske boligmassens bruksareal A angitt i m² 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 m²/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 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. Rehabiliterte 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)

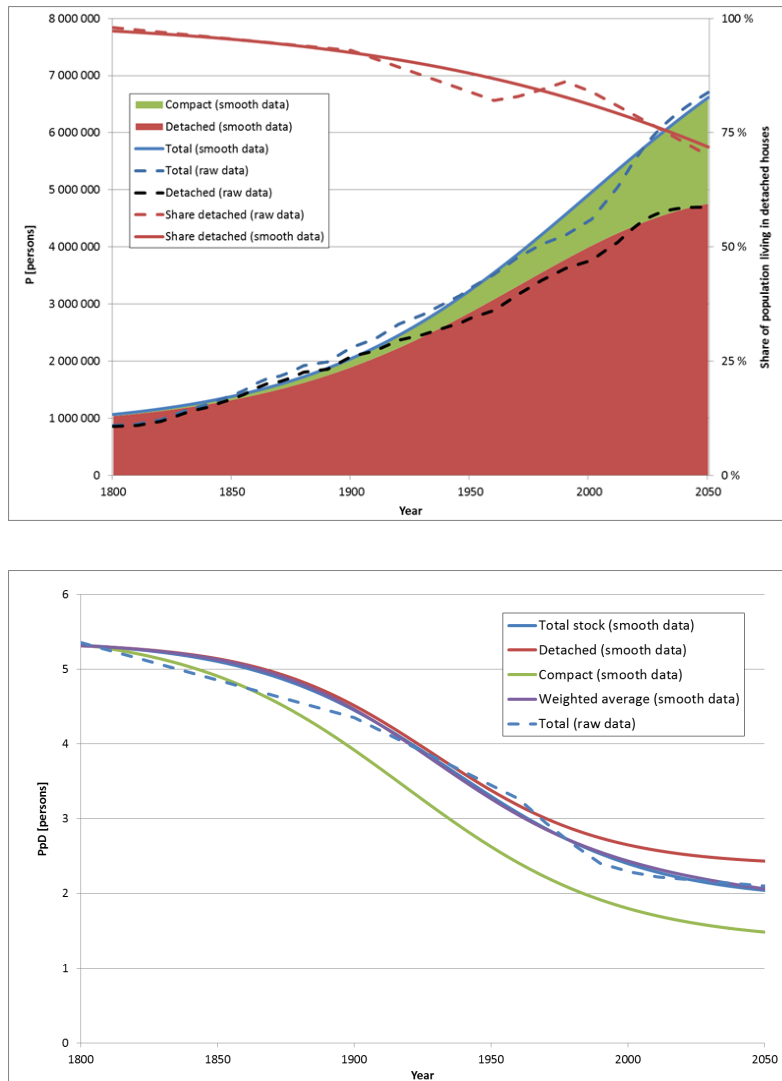
Aldersklasse (cohort) nr.	Startår	Sluttår
1		1920
2	1921	1945
3	1946	1980
4	1981	2011
5	2012	2050

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

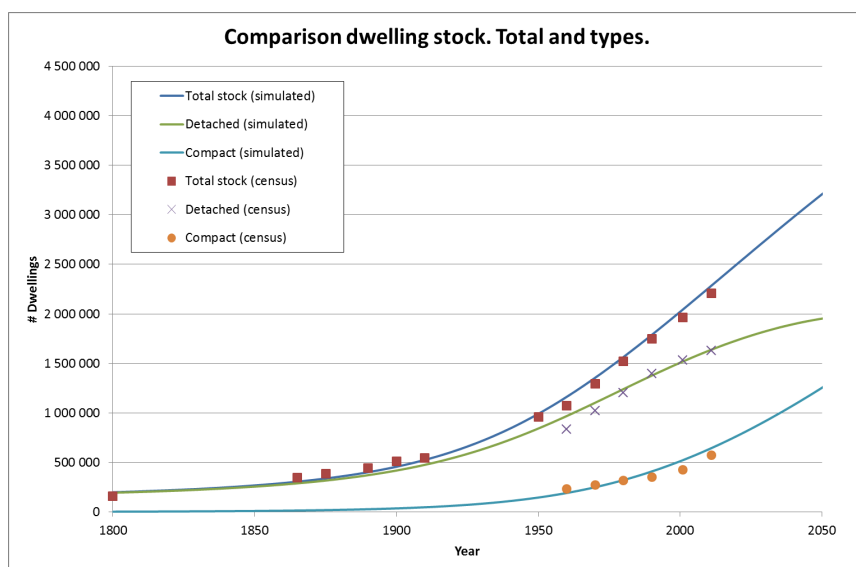
utskifting av installasjoner og vinduer. For dypere energirehabilitering, som etterisolering av tak, yttervegger og gulv, vil en rehabiliteringssyklusen på 40 år eller lengre trolig gjelde.



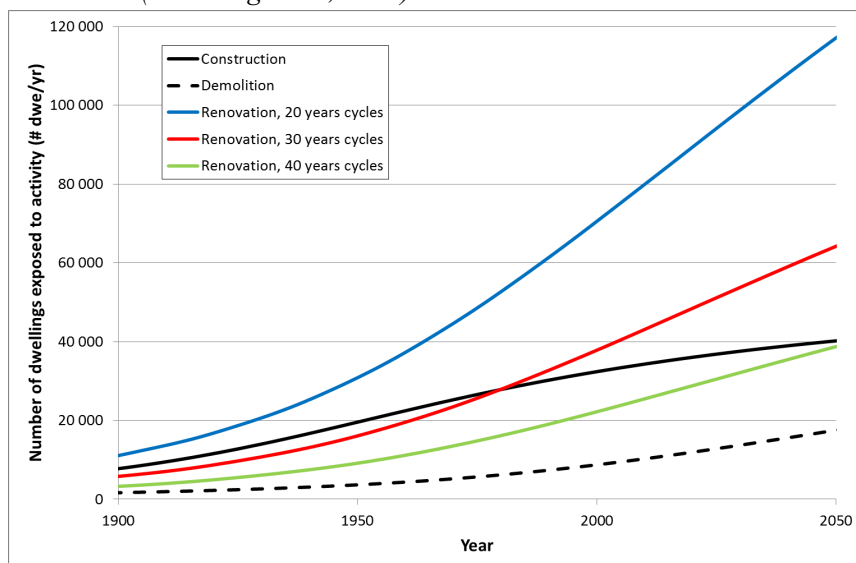
Figur 6: Utviklingen i befolkning, andelen av 'detached houses' og personer per bolig (Sandberg et al., 2014)

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.

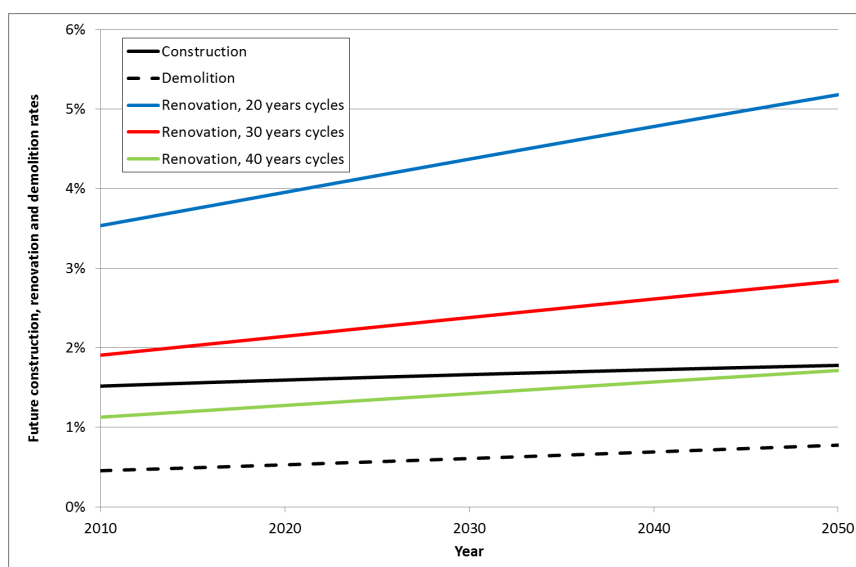


Figur 7: Utviklingen i antall boliger totalt, og fordelt på type (Sandberg et al., 2014)



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)

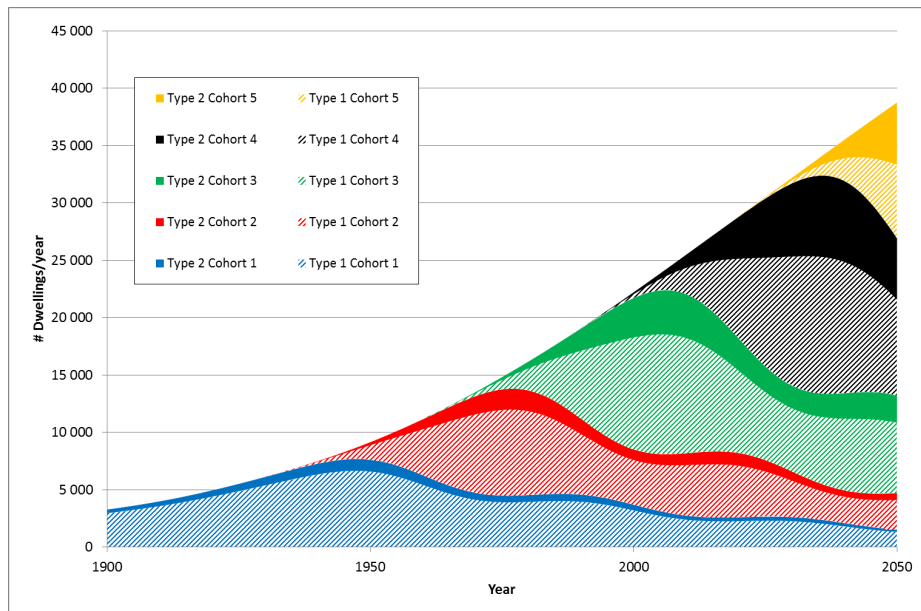
Resultatene i figur 9 indikerer også at den oppnådde rehabiliteringsraten, forutsatt 40 års syklus som kan antas å være relevant for dyp energirehabilitering av boligbygninger, ikke vil være tilstrekkelig for å kunne møte målene i bygningsenergidirektivet (EPBD). Sammenlignet med 3 % målet for rehabilitering 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 gjennomsnittsintervall 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.

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 V2 og V3. Det er ikke nødvendig at en bolig først rehabiliteres til variant V2 før den senere løftes til variant V3. 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 V2 eller direkte til variant V3. Dermed vil til det samlede antallet boliger i en gitt klasse til enhver tid enten finnes i variant V1, V2 eller V3, 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.



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

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 V1 til variant V2 eller V3. 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 har bedre kvalitet 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.

I de neste kapitlene beskrives metodikk og foreløpige resultater fra scenarioanalyse over boligmassens energiforbruk og tilhørende CO₂-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 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/m²/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.

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.

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

	Energiforbruk før tiltak kWh/m ² /år	Sparing per bolig kWh/år	Totalt potensial TWh/år	Totalt potensial % av totalen
Eneboliger				
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>			8,99	67,4
Leiligheter				
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>			1,75	13,1
Småhus				
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>			2,60	19,5
Alle boliger		6 304	13,34	100,0

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 kWh/m ²		Netto andel ambisiøs rehabilitering		Resultat GWh			
	Dyp rehab. 1000 m ²	Lett rehab. 1000 m ²	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/m²) 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 (m²) i boliger som forventes å være utsatt for henholdsvis lett energirehabilitering og dyp rehabilitering.
- 2) Angi den beregnede forventede årlige forbedrede energiytelsen (kWh/m²) 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.

4.3 Scenarier for deler av boligmassen – Masteroppgaver i EPISCOPE-prosjektet utført ved NTNU

Noenlunde tilsvarende typer studier til det som er utført i Enovastudien er utført ved NTNU, men 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 CO₂-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 CO₂-utslippet forbundet med produksjonen av materialer som medgår under oppgradering av bygningene, mens de andre oppgavene bare

studerer energiforbruket og CO₂-utslippene forbundet med direkte energi til drift. Nedenfor gis et utdrag av resultater fra hver oppgave.

4.3.1 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 scenarioer 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 passivhus oppgradering, 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 varmepumper funnet lønnsomme, mens luft-til-vann varmepumper 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 rehabiliteringspakkenes, bortsett fra en, vil bli lønnsomme.

Hvis alle rehabiliterte bygg oppgraderes til nær nullenergibyggninger 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 CO₂-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

Package No.	Measures included in rehabilitation package
No. 0	No measures except commonly assumed change of windows
No. 1	1.0 Only facade rehabilitation 1.0.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question 1.0.2 Passive House rehabilitation on all components in question 1.1 Rehabilitation of facade along with installation of an air-to-air heat pump 1.1.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question 1.1.2 Passive House rehabilitation on all components in question
No. 2	2.0 Only facade rehabilitation 2.0.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question 2.0.2 Passive House rehabilitation on all components in question 2.1 Rehabilitation of facade along with installation of an air-to-air heat pump 2.1.1 TEK 10 rehabilitation on all components in question 2.1.2 Passive House rehabilitation on all components in question
No. 3	All rehabilitation on building envelope elements is to the TEK 10 standard. 3.0 Only rehabilitation of building envelope elements. 3.1 Rehabilitation on building envelope elements along with installation of balanced ventilation 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. 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. 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.
No. 4	All rehabilitation on building envelope elements is to the Passive House standard. 4.0 Only rehabilitation of building envelope elements. 4.1 Rehabilitation on building envelope elements along with installation of balanced ventilation 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. 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. 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.

No. 5	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.
	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.

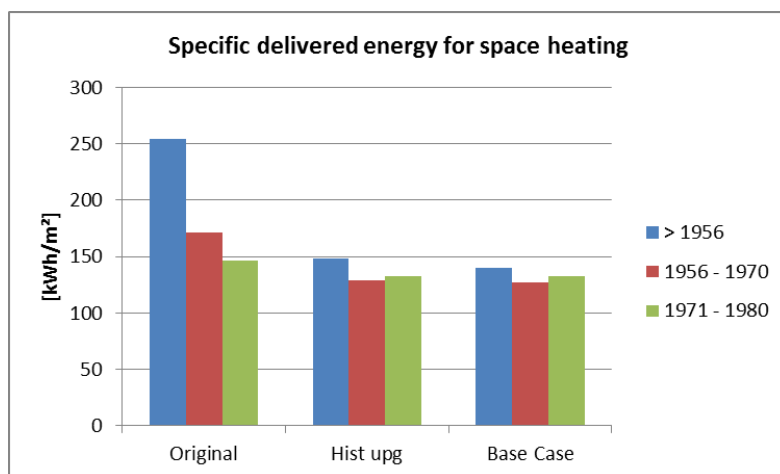
Tabell 13: Oversikt over U-verdier for elementer i bygningskroppen innen hver rehabiliteringspakke

Renovation package 1						
U –values for each building element, based on age cohort and technical level [W/m ² 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 ² 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
Renovation package 3						
U-values based on age cohort [W/m ² 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			
Renovation package 4						
U-values based on age cohort [W/m ² 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			

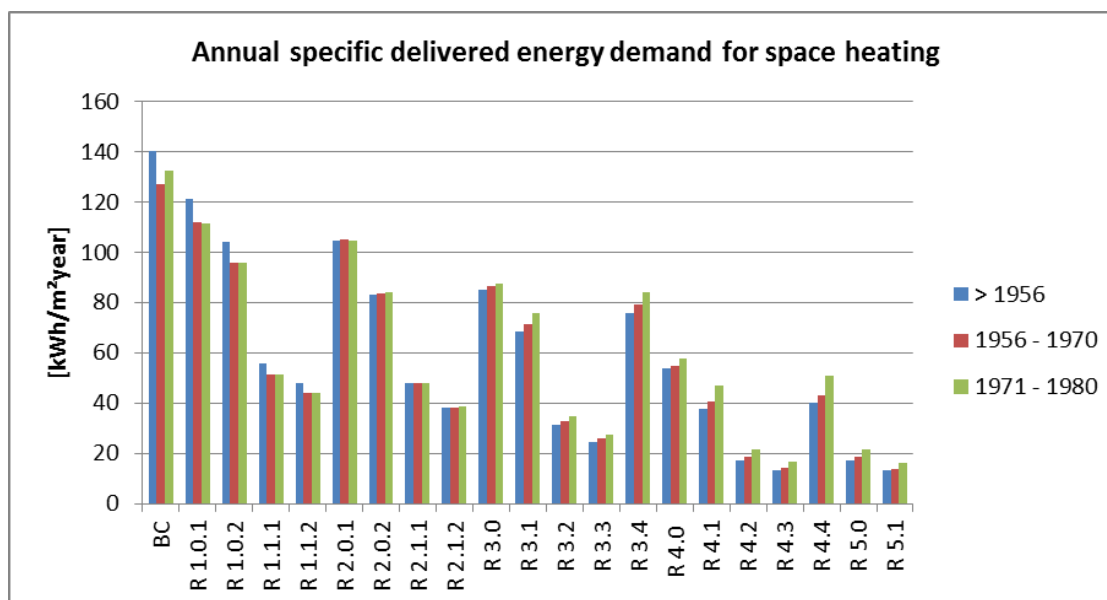
Roof	0.08	0.08	0.08
Floor	0.08	0.08	0.08
Renovation package 5			
U-values based on age cohort [W/m ² K]			
Building envelope element	Passive House standard		
	>1956	56 – 70	70 – 80
Walls	0.09	0.10	0.09
Windows	0.7	0.7	0.7
Doors	0.8	0.8	0.8
Roof	0.08	0.08	0.08
Floor	0.08	0.08	0.08

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.

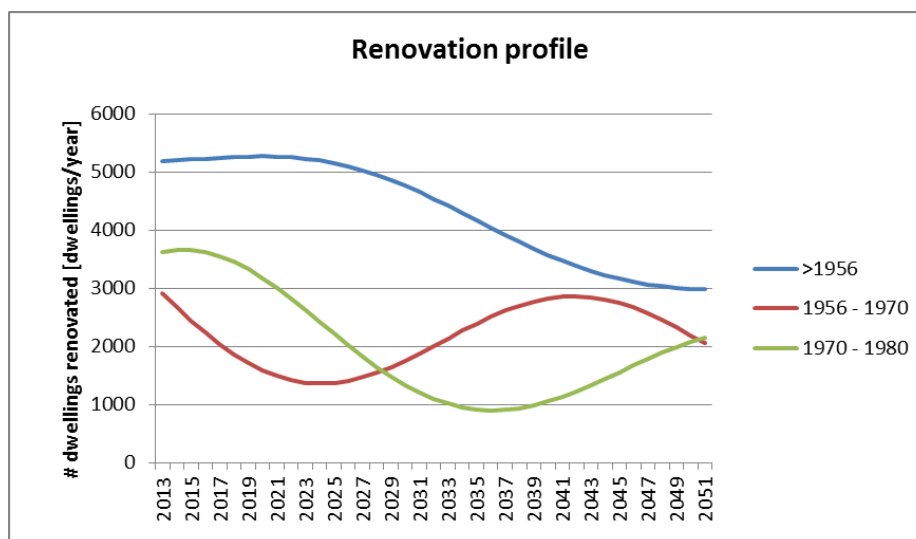


Figur 11: Spesifikt energibehov for romoppvarming for eneboliger i original tilstand, historisk oppgradert tilstand og i forutsatt Base Case tilstand



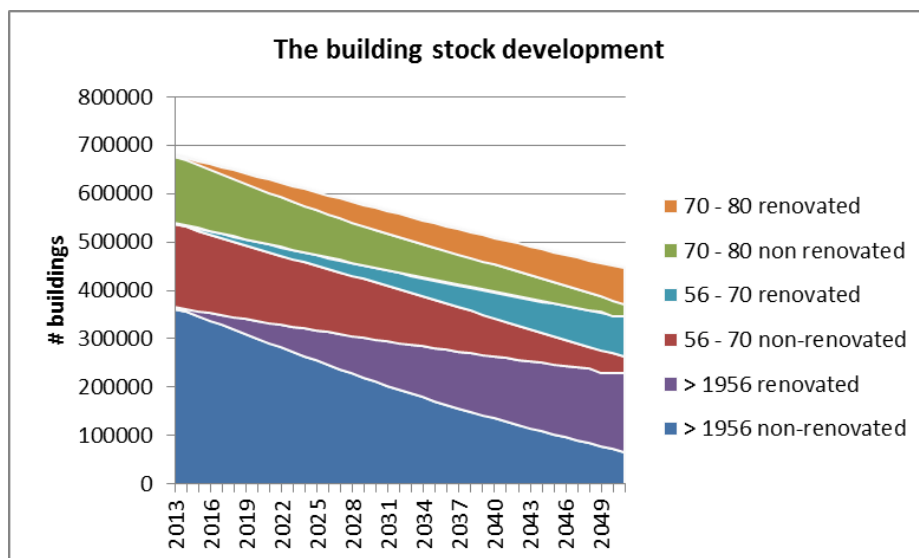
Figur 12: Spesifikt energibehov for romoppvarming for eneboliger i original tilstand, historisk oppgradert tilstand og i forutsatt Base Case tilstand

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.



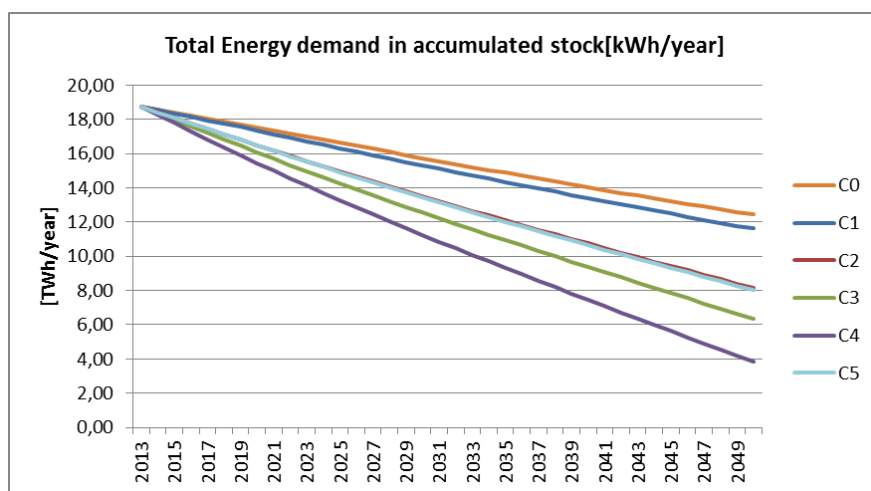
Figur 14: Spesifikt energibehov for romoppvarming for eneboliger i original tilstand, historisk oppgradert tilstand og i forutsatt Base Case tilstand

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

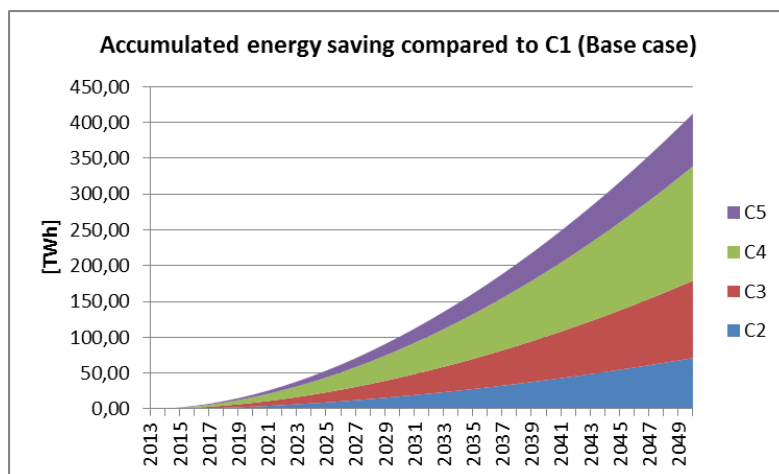
Scenarios	Specification
C0	All buildings at current state, no rehabilitations carried out, not even those required to maintain the current state
C1 (Base Case)	All renovated buildings are only renovated according to Base Case, unchanged buildings have an energy balance according to current state
C2	All 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 eneboliger 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.



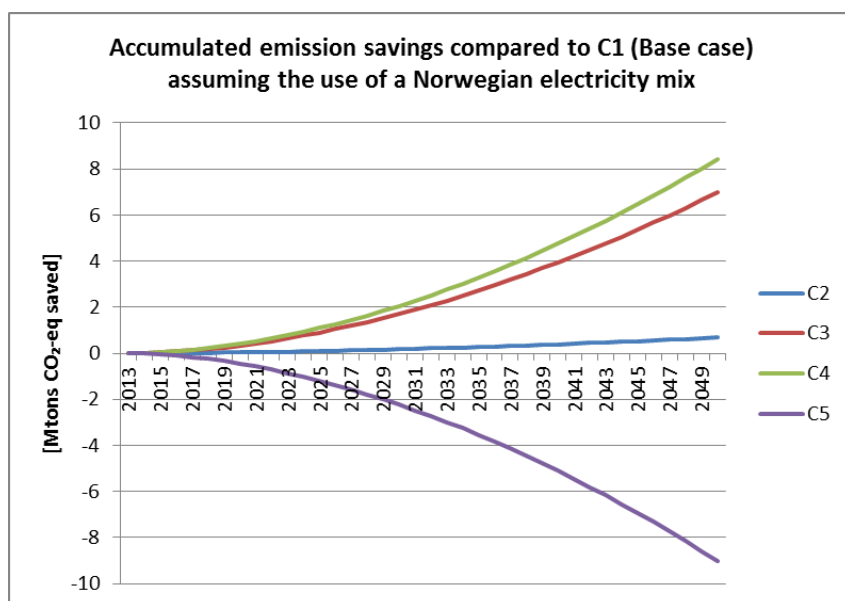
Figur 15: Estimert total årlig akkumulert besparelse i levert energi for de ulike scenarier for eldre eneboliger.

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.



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

Til sist i presentasjonen av resultater for eldre eneboliger vises i figur 17 de beregnede akkumulerte utslippsbesparelser (Mton CO₂-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.



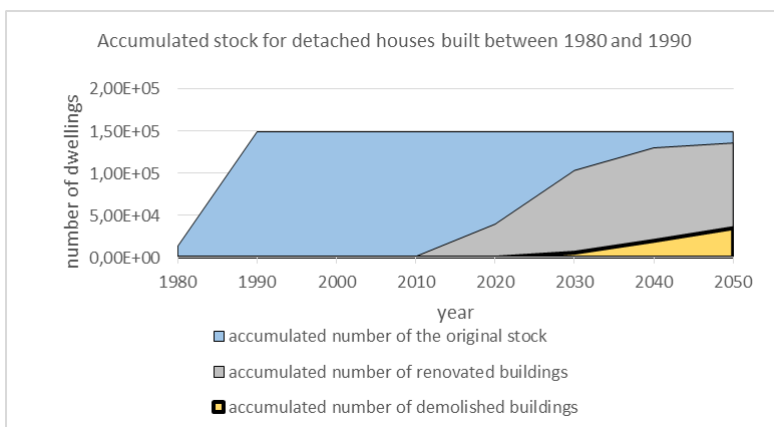
Figur 17: Estimert total årlig akkumulert besparelse i utslipp av drivhusgasser for de ulike scenarier for eldre eneboliger, i forhold til Base Case scenario C1.

4.3.2 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 tilsvarer primærenergi, og drivhusgassutslipp (GHG-emissions) målt som CO₂-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. Dernest er hele boligmassesegmentet analysert, med utgangspunkt i dynamisk MFA for å vurdere effektene av endringer over tid.

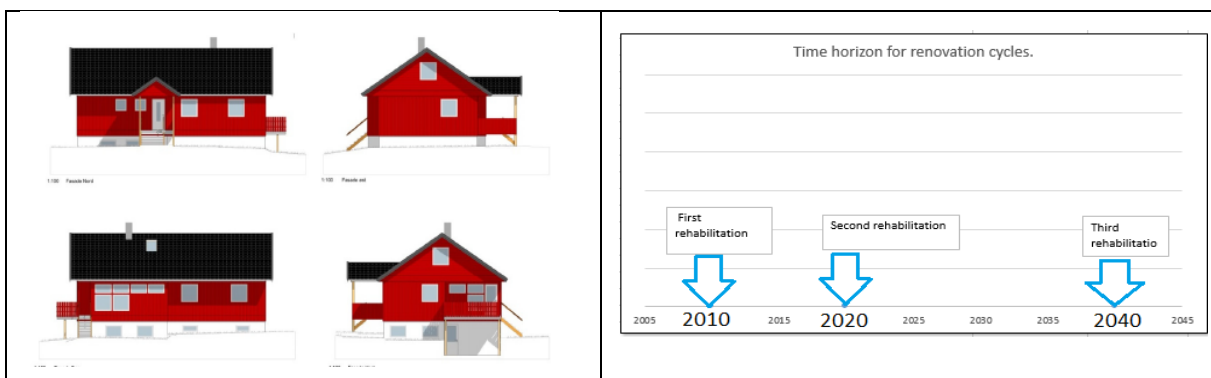
Resultatene fra arbeidet indikerer at en rehabiliteringspakke tilpasset et NS3700-scenarier gir en høyere energi- og drivhusgassbesparelser enn for et TEK10-scenarier, men denne forskjellen er relativt liten sammenlignet med reduksjonspotensialet i forhold til et baseline-scenarier uten dyp rehabilitering. 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 til 2050.



Figur 18: Antall boliger i ulik rehabilitert 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.

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.



Figur 19: Valgt eksempelhus og forutsatt rehabiliteringsplan

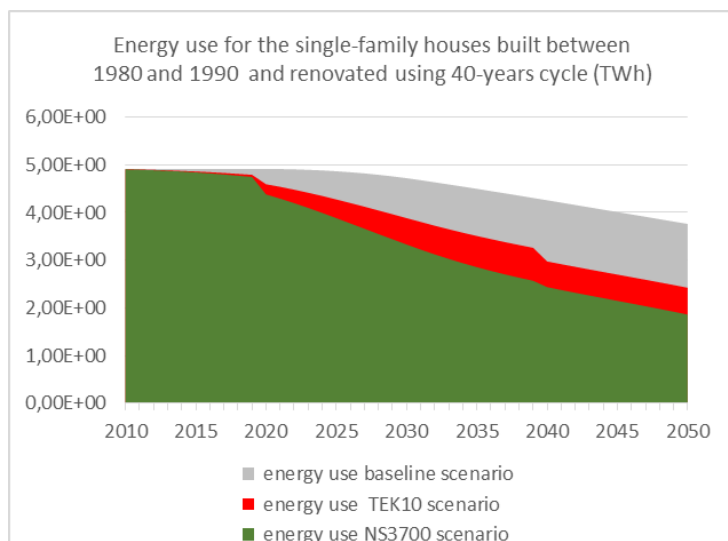
Tabell 15: Tiltaksoversikt i rehabiliteringsplan for TEK10-scenarior

	Measures TEK10 scenario					
Renovation cycle	Space heating system	DHW	Windows & doors	External wall	Roof	Floor
1 st renovation 2010	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
2 nd renovation 2020	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
3 rd renovation 2040	Improved efficiency of the heat pump 50% covered.	No changes	No changes	No changes	No changes	No changes

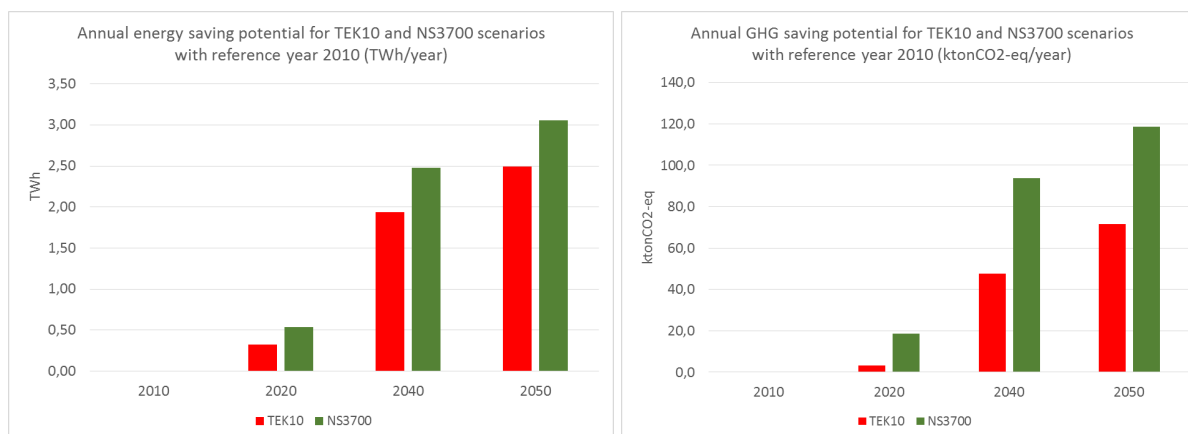
Tabell 16: Tiltaksoversikt i rehabiliteringsplan for NS3700-scenarior

	Measures NS3700 (passive house) scenario					
Renovation cycle	Space heating system	DHW	Windows & doors	External wall	Roof	Floor
1 st renovation 2010	80% covered by direct electric heat generator, 20% by wood oven	100% covered by electricity for electric boiler	Changed for three-pane windows with U-value=0.8	No renovation	No renovation	No renovation
2 nd renovation 2020	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
3 rd renovation 2040	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).



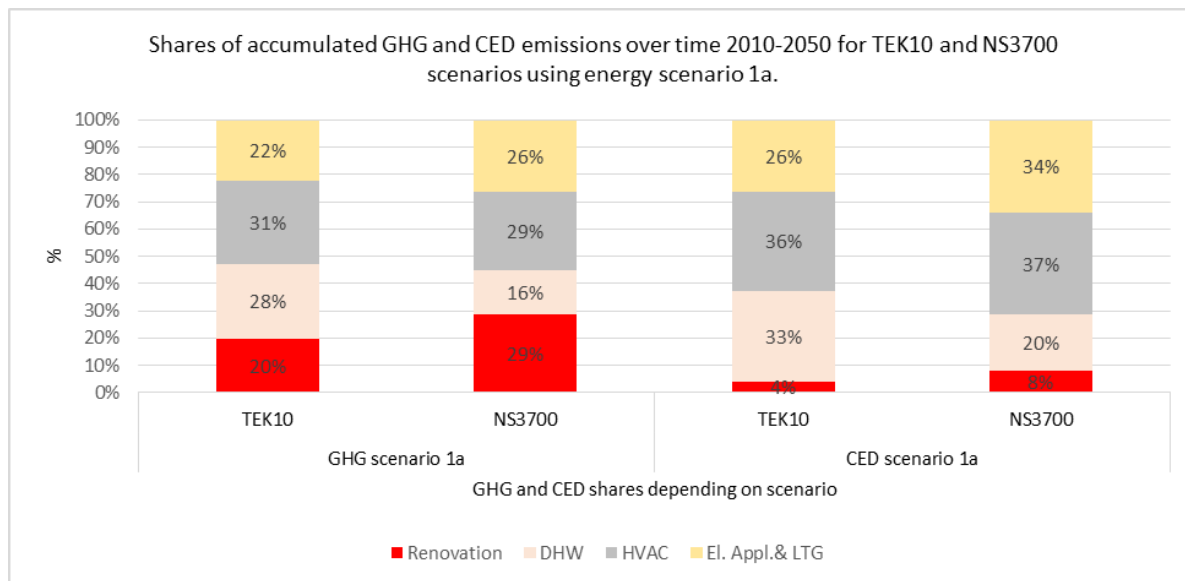
Figur 20: Årlig forbruk (TWh/år) av primærenergi for baseline, TEK10 og NS3700 scenarier for eneboligsegmentet bygget mellom 1980 og 1990, for perioden 2010-2050



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

4.3.3 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 bygningsmasse 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-oppggradering av bygget vil da være 46 %, mens en passivhus-oppggradering 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/m² 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).

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

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

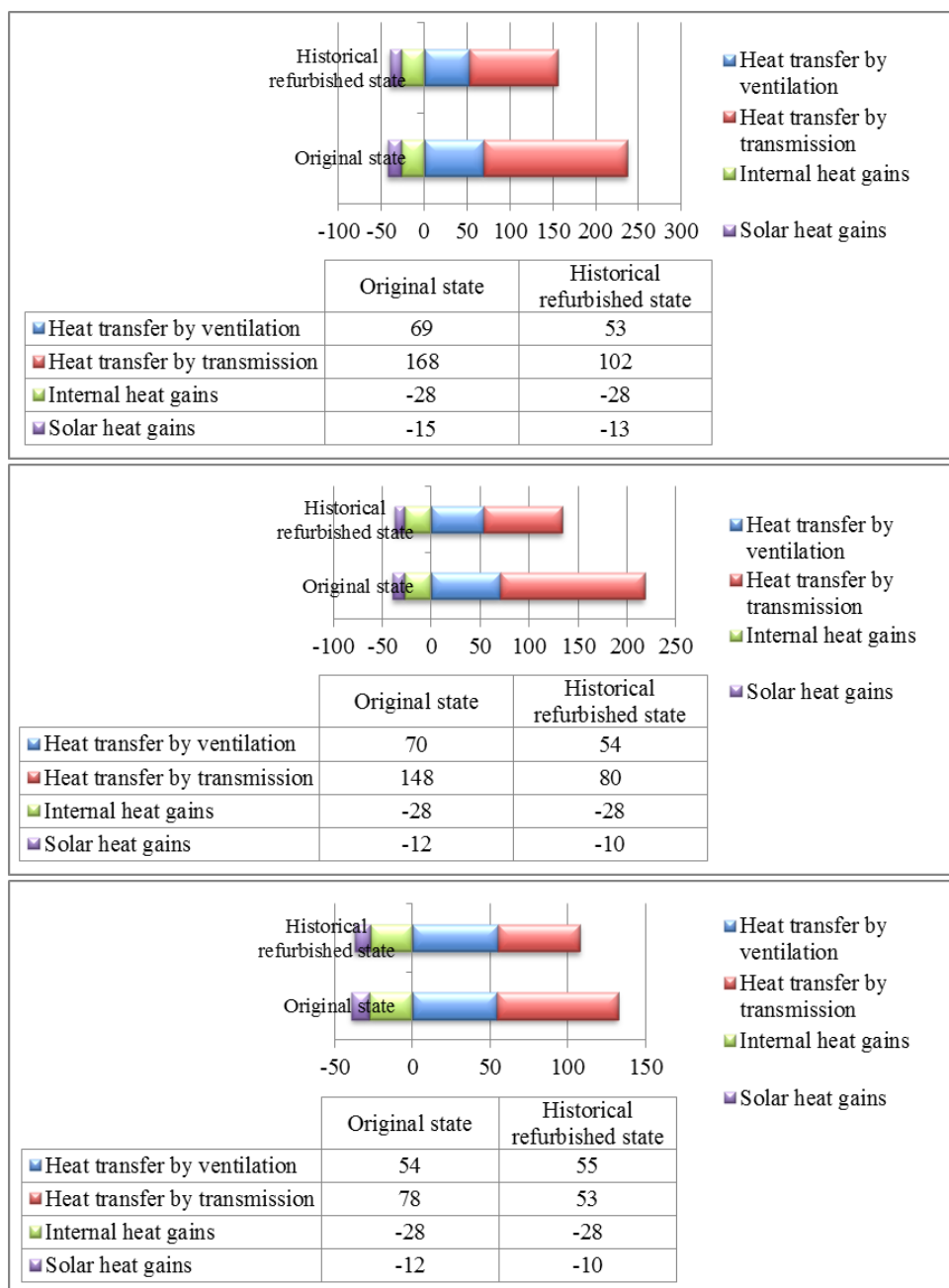
	Before 1956	1956-1970	1971-1980
General information			
BRA ($A_{c,ref}$)	568	1056	1800
Number of units per block (units)	8	16	24
Length x width ($m \times m$)	15.97×8.87	34.18×7.70	39.79×11.24
Number of floors	4	4	4
Ceiling height (m)	2.8	2.8	2.5
Area values for each construction element (m²)			
Wall ($A_{env,wall}$)	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
Area for different windows orientations (m²)			
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
Effective U-value for construction (original building state) (W/m²K)			
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
Effective U-value for construction (historical refurbished building state) (W/m²K)			
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
Indoor climate			
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 (ϑ_{int})	20.39	20.6	20.74
Air exchange values (1/h) (original building state)			
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
Air exchange values (1/h) (historical refurbished building state)			
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

Tabell 18: Oversikt over ulike rehabiliteringspakker som er analysert

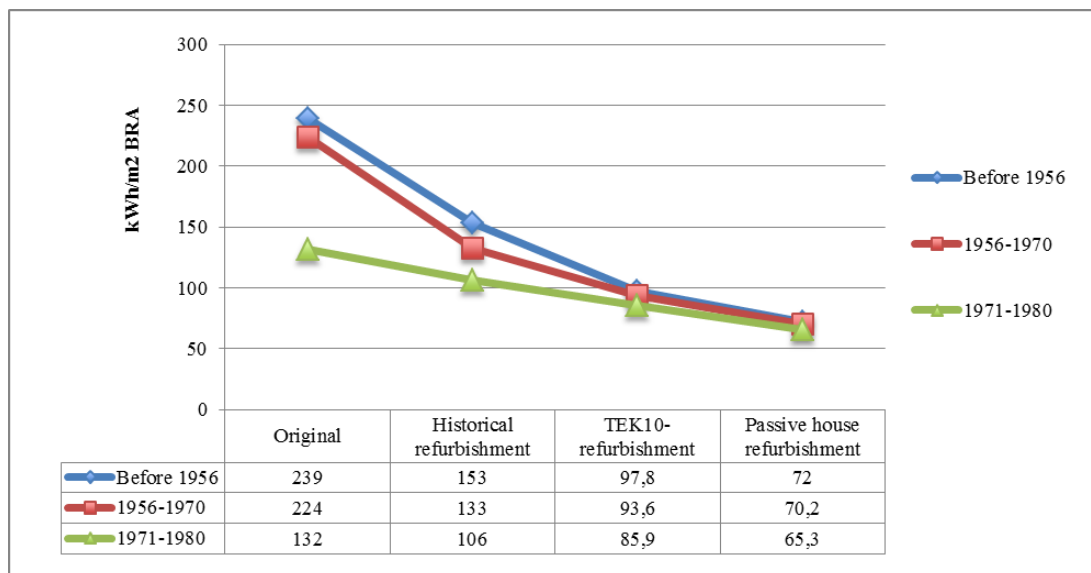
Renovation package	Description
0	No energy-related upgrades except improving the U-values of the windows to 1.4 W/m ² K
1	Upgrading windows to passive house level
2	TEK10 envelope upgrade
3	Passive house envelope upgrade
4	Installation of air-to-air heat pump
5	Installation of balanced ventilation system 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/m²) 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.

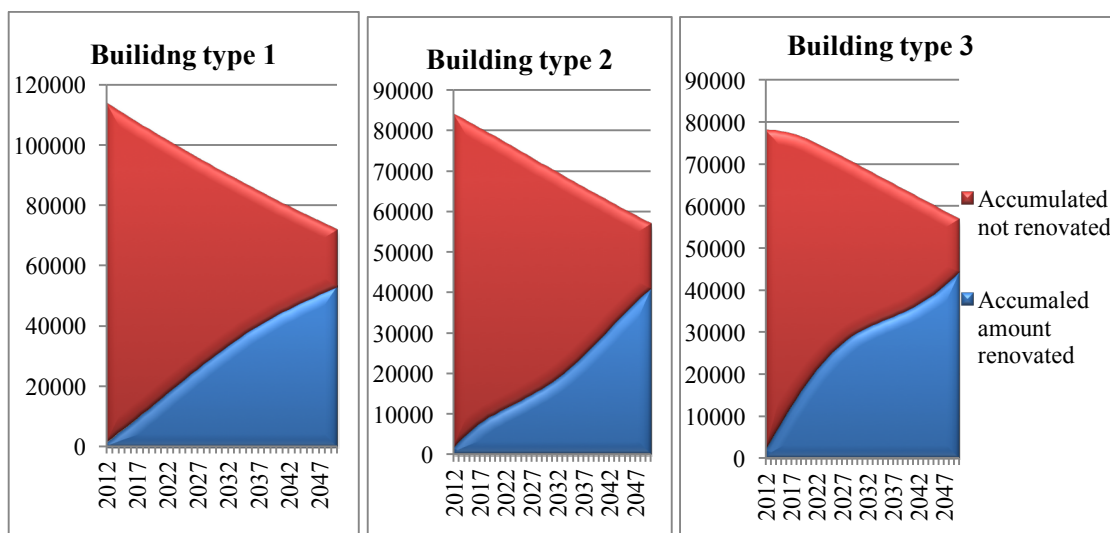


Figur 24: Beregnet årlig mengde spesifikk levert energi til romoppvarming og varmtvann for leilighetsblokker bygd før 1980

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



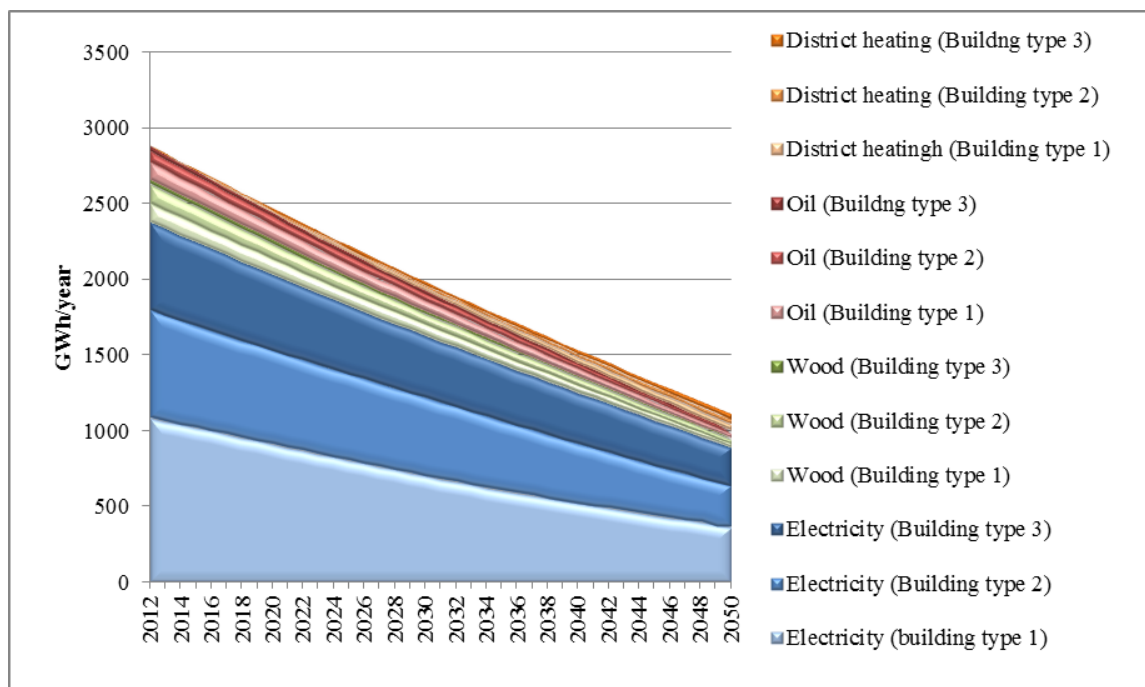
Figur 25: Antall blokkleiligheter som ut fra dynamisk MFA modell er forutsatt rehabilitert og ikke rehabilitert til enhver tid frem mot 2050.

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

4.3.4 Leilighetsblokker bygget mellom 1981 og 2010

Denne studien er utført av Skaran (2014), som en analyse av strategier for energireduksjon i tre bygningstypologier av leilighetsblokker, den første bygd mellom 1981 og 1990, den andre mellom 1991 og 2000, og den siste i perioden 2001-2010. Utrekninger har blitt gjennomført for

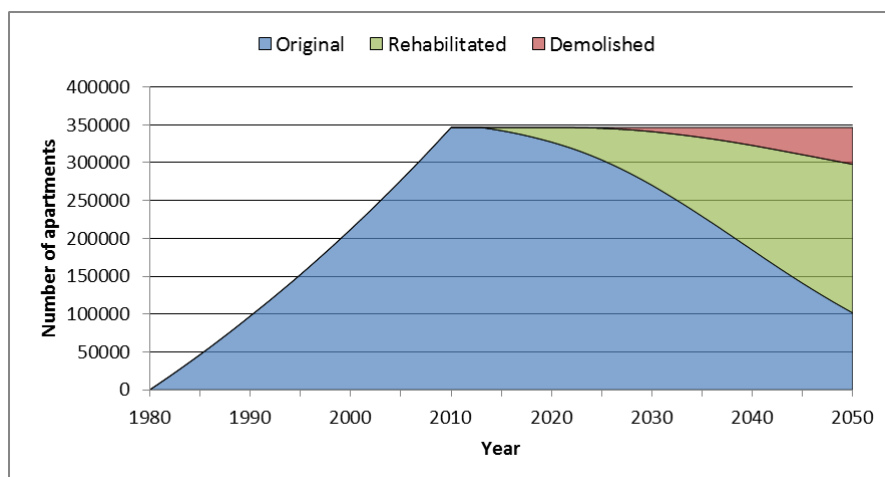
syntetisk definerte standardbygg i Oslo-klima. Først ble energibalansene for bygningene etablert, både i originaltilstand og etter gjennomførte energiltak på isolasjon eller energi- eller ventilasjonssystemet. Etterpå ble varmerelaterte kostnader regnet ut for å finne kombinasjonene med lavest netto nåverdi, basert på en 36 års investeringshorisont. Ut i fra disse resultatene kunne aktuelle scenarier for energibruk og CO₂-utslipp regnes ut for perioden 2014-2050, basert på at gjennomsnittsbygg skulle bli rehabilitert i gjennomsnitt 40 år etter sin bygging.

Energibruken for originalbyggene ble funnet til å være lav, og i nærheten av den nåværende standarden, TEK 10, som må følges ved store rehabiliteringer. Nesten ingen av de andre rehabiliteringene endte opp som lønnsomme med dagens kostnader, og en dobling av elektrisitetsprisen påvirket resultatet kun i liten grad. I de fleste tilfellene viste den beste løsningen seg å være å endre så lite som mulig, selv om utskifting av vinduer og dører kunne være lønnsomt for de eldste byggene. Elektriske panelovner til all romoppvarming er det vanligste systemet i dag, men dette tilfredsstiller ikke kravene i TEK 10. Hvis oppvarmingssystemet skal endres, er luft-til-luft-varmepumper det beste alternativet. Besparelsene for dette systemet varierer imidlertid etter uteklimaet. Oljekjeler er det dyreste alternativet, og disse bør fjernes, noe som blir påbudt snart uansett.

Rivninger i seg selv fører til en energireduksjon på 15 % innen 2050, noe som er svært nært rehabiliteringspakken som baserer seg på lavest mulige kostnader, på 21 %. Rehabiliteringspakken med lavest utslipp halverer energiforbruket, mens rehabiliteringer til nullenerginivå resulterer i en endring på 72 %. Det finnes ingen offisielle reduksjonsmål i Norge, men en halvering av energibruken fra 2010 til 2050 har blitt nevnt i en tidligere rapport for Kommunal- og regionaldepartementet. Dette målet kan bare nås ved hjelp av nullenergirehabiliteringer. Utslippene følger lignende mønster som energibruken når norsk energimiks brukes som grunnlag. Det viste seg imidlertid at definisjonen av energimiks og tilhørende utslipp påvirker resultatene mer enn de valgte rehabiliteringspakkene når totale utslipp skal beregnes. Nedenfor presenteres noen av forutsetningene og resultatene i dette arbeidet.

Figur 27 viser antall leiligheter fra hver periode som frem mot 2050 ble beregnet å befinne seg i en av de tre tilstandene; originaltilstand, rehabilitert tilstand, revet tilstand. Beregningene forteller at antallet leiligheter i 2014 er ca. 346 500, og at 57 % av disse er rehabilitert innen 2050, mens 14 % er revet i 2050. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig årlig rehabiliteringsrate på 1,57 % og rivningsrate på 0,39 %.

For de leilighetene som er beregnet å være i rehabilitert tilstand er det så forutsatt et antall alternative rehabiliteringsscenarier, se tabell 22.



Figur 27: Estimert utvikling i antall leiligheter fra hver periode som er i original tilstand, rehabilitert tilstand eller revet tilstand.

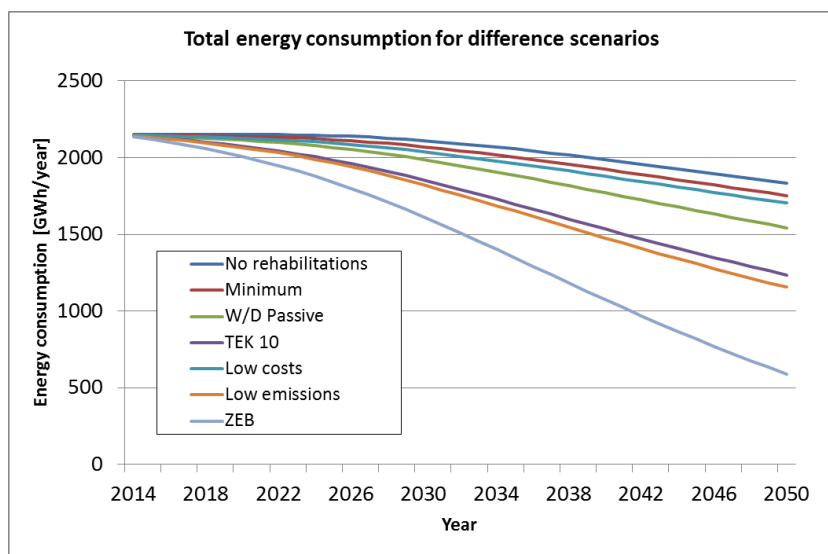
Tabell 22: Alternative rehabiliteringsscenarier analysert i denne studien

Scenario	Explanation
No rehabilitation	No measures carried out
Minimum	Building is subject to renovations related to wear and tear.
W/D Passive	Windows and doors replaced with new passive alternatives with the lowest NPV who fulfil the TEK10 standard are chosen
TEK10	Energy rehabilitation fulfilling the requirements set by TEK10
Low costs	The alternatives with the lowest NPVs are chosen
Low emissions	The options with the lowest possible emissions are chosen.
ZEB	Zero energy demand for heating

Resultatene fra scenarioanalysen, med utregning av estimert samlet energiforbruk fra år 2014 til 2050 er så vist i figur 28, og med tilhørende tallverdier i tabell 23.

Resultatene viser at det forventes store forskjeller mellom de ulike rehabiliteringsscenariene. Tilsvarende det som er tidligere er omtalt for andre boligtypologier er ikke reduksjonen for 'No rehabilitation' (ned til ca 85 % av 2014-nivået) en reell reduksjon, siden disse leilighetene er revet og erstattet av andre nye bygg.

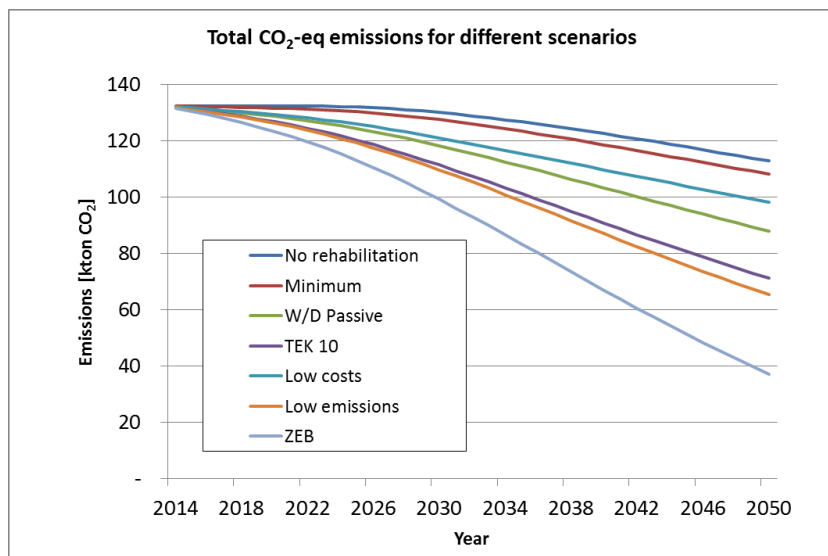
I figur 28 er vist de estimerte samlede utslipp av CO₂-ekv frem mot 2050, for de ulike rehabiliteringsscenariene. Det er her forutsatt en norsk elektrisitetsmix som grunnlag for utslippsnivået. Tallverdiene er gitt i tabell 23, med angivelse av det relative bidraget til utslipp fra hver energivare, samt reduksjonen samlet i forhold til 2014-nivået.



Figur 28: Samlet estimert energiforbruk mot 2050, for de ulike scenarier

Tabell 22: Estimert samlet energiforbruk og reduksjon fra 2014-niv, for de ulike scenarier

Scenario	Energy consumption (GWh/year)	Share of 2014 level
No rehabilitation	1831	85 %
Minimum	1754	82 %
W/D Passive	1543	72 %
TEK10	1236	57 %
Low costs	1703	79 %
Low emissions	1155	54 %
ZEB	589	27 %



Figur 28: Samlet estimert CO₂-ekv. utslipp mot 2050, for de ulike scenarier

Tabell 23: Estimert samlet CO₂-ekv. utslipp og reduksjon fra 2014-nivå, for de ulike scenarier

Scenario	CO2 emissions [kton]					Share of emissions in 2014
	El	District heating	Oil	Biogenic	Total	
2014 level	101,24	6,74	12,27	6,5	131,76	100 %
No rehabilitations	86,50	6,13	14,27	5,91	112,81	86 %
Minimum	82,87	6,13	13,18	5,91	108,09	82 %
W/D Passive	74,72	4,90	3,67	4,53	87,82	67 %
TEK 10	59,67	3,99	3,67	3,74	71,07	54 %
Low costs	82,28	6,13	3,67	5,91	97,99	74 %
Low emissions	56,03	2,84	3,67	2,74	65,27	50 %
ZEB	27,73	2,84	3,67	2,74	36,97	28 %

5 Scenarioanalyser for energibruk og CO₂-utslipp fra den samlede norske boligmassen frem mot 2050

I dette kapitlet presenteres forutsetning, resultater og konklusjoner fra noen utvalgte scenarioanalyser for energibruk og CO₂-utslipp fra den norske boligmassen frem mot 2050, utført som del av de norske "Pilot Actions" studiene i EPISCOPE prosjektet. Kapitlets innhold dekker i hovedsak det som er levert inn som det norske bidraget til utarbeidelsen av synteserapport S3 i EPISCOPE prosjektet.

5.1 Den observerte boligmassen og formålet med scenarioanalysene

I henhold til ny statistikk, publisert 22. april 2015 (SSB 2015a), har Norges boligmasse per 31. desember 2013 i alt 2,466 millioner boliger (beboede og ubebodde). Av disse er 52 % i form av eneboliger, 22,7 % er boligblokk, 11,5 % er rekkehus, kjedehus og andre småhus, 9,1 % er tomannsboliger og 1,9 % bygninger for bofellesskap. De resterende 2,7 % er boliger i andre bygningstyper der gulvarealet i hovedsak benyttes for andre formål enn bolig. Fra 01.01.2012 til 31.12.2013 var det en netto vekst av 44000 boliger, hvorav nesten halvparten blokkleiligheter. Dette tilsvarer ca 1,8 % vekst i antallet boliger i løpet av to år, og viser at den norske boligmassen vokser betydelig som følge av endringer i folketall og demografi. Økningen er i hovedsak i byområder.

Et sammendrag av data for boligmassen (beboede og ubebodde boliger) er vist tidligere i denne rapporten, se tabell 1 i kapittel 1.2. Tabell 24 oppsummerer de totale tall per 31.12.2013, som er relevante for boligmassens energibruk i *beboede boliger*. "Nasjonalt referanseareal" angir m² bruksareal (BRA) i beboede boliger. "EPISCOPE referanseareal" angir m² oppvarmet areal i beboede boliger, som i mangel av god statistikk her er forutsatt å være 85 % av BRA.

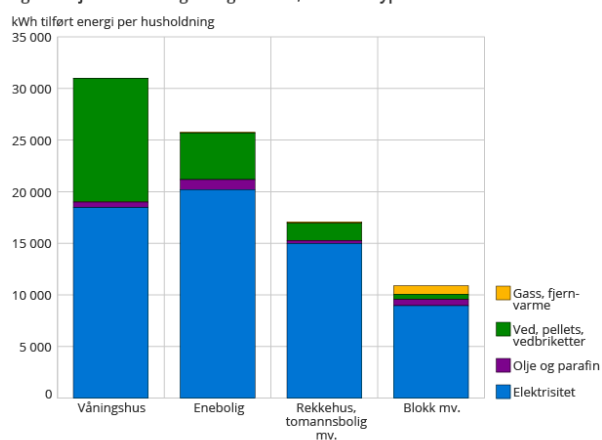
Tabell 24: Norges boligmasse (beboede boliger) per 31.12.2013 (SSB 2014)

Antall boliger	Antall bygninger	Antall innbyggere	Nasjonalt referanseareal (BRA)	EPISCOPE referanseareal (0,85 BRA)
~ 2,466 mill	~ 1.51 mill	~ 5.11 mill	~ 0,287 x 10 ⁹ m ²	~ 0,244 x 10 ⁹ m ²

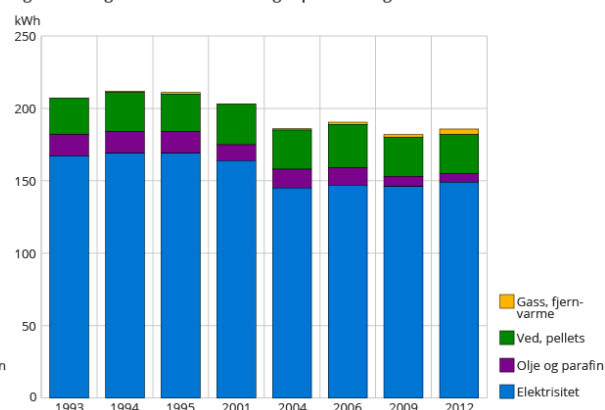
Energikildene for energi til boliger i Norge er vesentlig annerledes enn for de fleste andre land i Europa, siden energi til romoppvarming, ventilasjon og varmtvann i hovedsak dekkes fra elektrisitet. De sist tilgjengelige statistiske data (SSB 2014b) viser et total årlig energiforbruk per husholdning per 2012 på 20230 kWh, tilsvarende ca 185 kWh/m²/år, se figur 29. Av dette er 79,3 % elektrisitet, 3,5 % er olje og parafin, og 15,8 % er ved, kull og koks (i all hovedsak ved). For boligblokk er det også brukt noe gass og fjernvarme. 94 % av boligene har utstyr for elektrisk romoppvarming, 66 % har vedovn eller peis, 4 % har tilknytning til fjernvarme og 27 % har varmepumpe teknologier.

Figur 29 viser hvordan tilført energi per husholdning fordeler seg på de ulike energibærerne for ulike boligtyper (SSB 2014b). Denne fordelingen, og energiforbrukets størrelse, er en konsekvens av mange faktorer (eks. klima, byggeskikk, teknologi, kostnader, bruker adferd, osv.) og reflekterer gjennomsnittet for norske boligers energitilstand i dag. Dette er i stor grad en konsekvens av andelen av eldre kontra nyere boliger, omfanget av utførte energirehabiliteringer av boliger og energistandarden for nye boliger. Figuren viser også at det har vært en moderat nedgang i samlet energiforbruk de siste 20 år, målt som kWh/m²/år. Resultatene som er vist i figur 29 (høyre del) relaterer seg til m² boligareal totalt, uten justering for andelen ubebodde boliger.

Figur 1. Gjennomsnittlig energiforbruk, etter hustype, 2012



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 5. Energiforbruk i husholdninger per m² boligareal

Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 29: Gjennomsnittlig energiforbruk, etter hustype, 2012 (SSB 2014b)

Den termiske tilstanden i norske boliger er studert blant annet på bakgrunn av det representative utvalget av boligmassen som ble benyttet i Prognosesenterets grunnlagsrapport til Enovas potensial- og barrierestudie (Prognosesenteret 2012). Her ble det vist at en betydelig andel av boligmassen i 2010 står i sin opprinnelige tilstand, f.eks. 22-25 % av alle boligbygg bygget mellom 1956 og 1970, og 61 % (eneboliger), 39 % (rekkehus og småhus) og 29 % (blokkleiligheter) av boligbygg bygget mellom 1971 og 1980. Det er derimot stor usikkerhet mht hvor stor den aggregerte energispareeffekten av utført 'historisk rehabilitering' er, både for ulike typer og for ulike aldersklasser av boligbygg. Her mangler man simpelthen gode data. Det er også stor usikkerhet mht hvordan denne effekten vil kunne utvikle seg fremover.

Et hovedformål med scenarioanalysene som er utført innen rammen av den norske deltakelsen i EPISCOPE prosjektet er derfor å belyse hvilke størrelsesordener man vil kunne oppnå for de aggregerte effekter av ulike rehabiliteringsambisjoner for den norske boligmassen mot 2050. Dette er utført ved bruk av dynamisk modellering slik vi har beskrevet tidligere i denne rapporten, basert på estimater for årlige endringer i boligmassens størrelse, sammensetning og energikarakteristika. Her tas det hensyn til fremtidig aldring av dagens boligmasse, med ulike ambisjoner for rehabiliteringer som følge av dette, og en tilførsel av nye boliger med høy energistandard for å erstatte de boliger som rives og for å møte det økende antall boliger som trengs på grunn av befolkningsvekst fremover. Ved bruk av estimerte energikarakteristika for ulike type/alder segmenter av boligmassen, og antatte frekvenser for energirehabilitering, er de aggregerte energispareeffektene estimert for ulike ambisjonsnivå for rehabilitering.

Scenarienes fokus er å belyse langtidseffektene av ulike rehabiliteringsambisjoner for eksisterende boligmasse, når det gjelder levert energi og klimagassutslipp mot 2050. Beregningene er basert på forutsetningen at energistandarden for *nye* boligbygg (som bygges etter 2015) holdes konstant og at omfanget av energigenerering ved varmepumper og solenergi holdes konstant. Dette vil selvsagt ikke reflektere virkeligheten, men disse forutsetningene er nødvendige for å sortere ut effektene av ulike ambisjoner for rehabilitering av *eksisterende* boliger, når det gjelder energibehovet til romoppvarming, ventilasjon og varmtvann. Hovedproblemstillingen bak scenarioanalysen er dermed følgende:

Hvordan vil ulike ambisjonsnivå for energirehabilitering av eksisterende boliger i den norske boligmassen bidra til samlede reduksjoner i levert energi til romoppvarming, ventilasjon og varmtvann, og hvordan vil dette bidra til å møte politiske mål for klimagassutslipp mot 2050?

Det er mange faktorer som kan tenkes å utvikle seg forskjellig frem mot 2050, og det kunne derfor være aktuelt å arbeide med mange ulike scenarier der variasjonene i slike faktorer systematiseres. I forskningsarbeidet ved NTNU vil flere slike studeres, på ulike måter, men innenfor rammen av EPISCOPE-prosjektets finansiering har vi kun arbeidet med følgende tre scenarier:

- Trendscenario: Trender for energiintensitet i ulike type/alder segmenter i boligmassen fra perioden 1993 – 2012 videreføres ved lineær ekstrapolering mot 2050
- Scenario B: Konservativ rehabilitering – Alle boliger løftes til variant V2 nivå for energistandard når de utsettes for rehabilitering frem mot 2050
- Scenario C: Proaktiv rehabilitering – Alle boliger løftes til variant V2 nivå for energistandard når de utsettes for rehabilitering frem til 2020 og til variant V3 nivå for energistandard når de utsettes for rehabilitering fra 2020 og frem til 2050

Mens trendscenarioet tar observerte energiintensiteter (kWh/m² levert energi) siden 1993 som utgangspunkt, gjør de to andre scenariene bruk av beregnede verdier for energiintensitet for de tre variantene (V1, V2 og V3 nivå) for energistandard som tidligere er beregnet for typologiene for norske boliger i EPISCOPE prosjektet, jfr. kapittel 3.2 i denne rapporten. Det er derimot i denne delen av prosjektet gjennomgående benyttet *antatte syntetiske gjennomsnittsbygg* for hvert type/alder segment av boligmassen, fra en revidert utgave av typologibrosjyren for norske boligbygg, mens tallverdiene i kapittel 3.2 representerte en blanding av reelle eksempelbygg og antatte syntetiske bygg.

V1 representerer boligen med en energistandard slik den ble bygget, V2 energistandarden etter en antatt vanlig energirehabilitering av boligen er utført og V3 energistandarden etter en antatt ambisiøs energirehabilitering av boligen er utført. En vesentlig fordel med denne måten å utføre scenarioanalysen på er at man da gjør full 'gjenbruk' av tidligere beregninger og resultater fra den reviderte typologibrosjyren for norske boligbygg og at de byggetekniske forutsetningene for de tre energistandardene for hvert type/alder segment av boligmassen allerede er definert og beskrevet i denne brosjyren.

Norske myndigheter vedtok nylig (Klima- og miljødepartementet 2015) å følge EUs mål for klimagassutslipp, dvs. minst 40 % reduksjon i 2030, relativt til 1990-nivået. Det er derimot ikke besluttet entydige mål for 2050, og det er heller ikke formulert sektorspesifikke mål for utslipp fra boligbygg eller bygningssektoren. Siden sammensetningen av energibærerne levert til den norske boligmassen er så dominert av elektrisitet fra vannkraft, vil det være svært begrensede muligheter for store utslippsreduksjoner ved tiltak i verdikjedene for levert energi. Dette innebærer at større utslippsreduksjoner må søkes realisert ved tiltak i boligmassen selv, enten ved å redusere netto energibehov som følge av bygningstekniske forbedringer i form av passivhus teknologi eller endret brukeratferd, eller ved NZEB-relaterte tiltak i retning stor-skala implementering av løsninger for på stedet energigenerering fra solenergi, jordvarme og varmepumpe til erstatning for energibærere levert utenfra.

Med dette som utgangspunkt er det i våre studier forutsatt at scenarioanalysene bør vurdere CO₂ utslipp fra den norske boligmassen opp mot følgende (nasjonale) måltall:

- 40 % reduksjon innen 2030, med lineær interpolering 30 % reduksjon innen 2020 og videre med lineær ekstrapolering 60 % reduksjon innen 2050
- Alle disse reduksjoner er relativt til størrelsen av det estimerte faktiske CO₂ utslipp fra den norske boligmassen i 1990, dvs. $4,50 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv

Dette gir følgende (nasjonale) *måltall for årlige utslipp*, målt i kg CO₂-ekv/år og kg CO₂-ekv/m²/år etter å ha korrigert for den beregnede (estimerte) fremtidige veksten i gulvareal boligmasse:

- $3,15 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år i 2020, som tilsvarer 10,19 kg CO₂-ekv/m²/år basert på estimert nasjonalt referanseareal eller 11,98 kg CO₂-ekv/m²/år basert på estimert EPISCOPE referanseareal for 2020
- $2,70 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år i 2030, som tilsvarer 8,06 kg CO₂-ekv/m²/år basert på estimert nasjonalt referanseareal eller 9,47 kg CO₂-ekv/m²/år basert på estimert EPISCOPE referanseareal for 2030
- $1,80 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år i 2050, som tilsvarer 4,72 kg CO₂-ekv/m²/år basert på estimert nasjonalt referanseareal eller 5,56 kg CO₂-ekv/m²/år basert på estimert EPISCOPE referanseareal for 2050

Måltallene ovenfor er gitt både som absolutte utslipp (kg CO₂-ekv/år) og som spesifikke utslipp (kg CO₂-ekv/m²/år). De spesifikke utslippene er relatert til *modell-estimerte* fremtidige nasjonale referanseareal (dvs. bruksareal, BRA) og EPISCOPE referanseareal (dvs. oppvarmet areal, forutsatt lik 0,85 · BRA, i henhold til TABULA-metodikken i EPISCOPE prosjektet), alle for norske *bebodde* boliger. Disse er gitt i tabell 25 nedenfor, og er estimert ved bruk av den dynamiske modellen for den norske boligmassen.

Tabell 25: Estimert referanseareal for den norske boligmassen (bebodde boliger)

Årstall	Nasjonalt referanseareal (BRA)	EPISCOPE referanseareal (0,85 BRA)
2015	$0,296 \times 10^9$ m ²	$0,252 \times 10^9$ m ²
2020	$0,309 \times 10^9$ m ²	$0,263 \times 10^9$ m ²
2030	$0,335 \times 10^9$ m ²	$0,285 \times 10^9$ m ²
2050	$0,381 \times 10^9$ m ²	$0,324 \times 10^9$ m ²

Scenariometodikken benytter dynamisk modellering i to trinn. Det første trinnet består av en dynamisk massebalanse-konsistent modellering av selve *boligmassens utvikling* frem mot 2050, der boligmassen er inndelt i gitte segmenter av boligtyper og årsklasser for byggeår, i tråd med metodikken som er beskrevet i kapittel 4.1. Her følger man endringene i antall boliger og gulvareal (m²) i hvert type/alder segment for hvert år, med estimering av hvor store andeler av

boligene og gulvarealet som teoretisk sett vil befinne seg i hver av variantene V1, V2 og V3, som beskrevet i kapittel 3.1, gitt antatte verdier for levetider og rehabiliteringsfrekvenser. Driverne i modellen er den antatte utviklingen i behovet for boliger og gulvareal, gitt antakelser om folketall, personer per bolig og gulvareal per bolig (Sandberg et al. 2014a og 2014b). I dette laget av modelleringen følger man aldersutviklingen for hvert segment av boligmassen, med sannsynlighetsfunksjoner for levetid som estimerer omfanget av rehabilitering og riving/nybygging av boliger fram mot 2050. Det er her forutsatt en rehabiliteringssyklus på 40 år for frekvensen av energirehabilitering, og denne bestemmer dermed sannsynlighetsfunksjonen for når boliger bygget for eksempel i 1976 forventes å bli eksponert for energirehabilitering og når de forventes å rives. Modellens resultat-output er antall boliger og gulvareal i hvert type/alder segment av boligmassen som teoretisk sett er eksponert for rehabilitering for hvert år frem mot 2050. I en gitt scenario kan det spesifiseres input forutsetninger som reflekterer dette scenariets egenart. Slike forutsetninger er relatert til eksterne drivere (dvs. behovet for boliger og gulvareal), parametere i sannsynlighetsfunksjoner (dvs. rehabiliteringssyklus og levetid for boliger), samt andelen av befolkningen som bor i ulike typer boliger over tid (dvs. andelen i eneboliger, småhus og blokkleilighet).

Det andre trinnet i modellen beregninger av samlet energibehov og CO₂-utslipp, basert på estimering av hva som må tilføres av ulike energibærere for å møte utviklingen i boligmassen. Her gis inputdata for levert energi (kWh/m²/år) for ulike energibærere, for hvert type/alder segment av boligmassen og for hver variant (V1, V2 og V3) som representerer de forutsatte ambisjonsnivå for rehabilitering. For et gitt scenario må man anta tidsprofilen for disse ambisjonsnivåene implementeres. Dette innebærer å ta stilling til hva som er verdiene for energiintensitet for hvert type/alder segment og rehabiliteringsnivå, og når disse forutsettes benyttet fremover i tid. I modellen forutsettes det også en gitt utvikling i sammensetningen av energimiks over tid (dvs. andelene av hver energibærer), samt utslippskoeffisientene (kgCO₂-ekv/kWh) for CO₂ utslipp (inklusive direkte og indirekte utslipp) for hver energibærer. Output-resultater fra dette trinnet i modellberegningene blir dermed de fremtidige årlige mengder levert energi (kWh/år og kWh/m²/år) samt tilhørende CO₂ utslipp (kg CO₂-ekv/år og kg CO₂-ekv/m²/år). Disse resultatene kan så sammenlignes med politiske måltall.

5.2 Datakilder

Data for boligstatistikk i Norge er hentet fra de siste tilgjengelige kilder fra Statistisk Sentralbyrå [SSB 2014a og 2015a], som har data om antall bygninger, antall boliger og bruksareal for hver kommune, som så grupperes for hvert segment av boligtype og hver byggeperiode som vi arbeider med i EPISCOPE. Befolkningsframskrivninger er også hentet fra Statistisk Sentralbyrå, mens antakelser om framtidig utvikling i personer per bolig og gulvareal per bolig er basert på videreføring av historiske trendkurver. Data for energibruken i boliger er delvis basert på tall fra Statistisk Sentralbyrå (SSB 2014) og supplert med data fra Prognosesenterets potensial- og barrierestudie (Enova 2012; Prognosesenteret 2012). Verdier for CO₂ utslippskoeffisienter for

ulike energibærere er hentet fra bakgrunnsdokumentasjon for en norsk klimakalkulator (CICERO 2012).

5.3 Beskrivelse av scenariene

De tre scenarioanalysene som er utført i EPISCOPE benytter samme antakelser for det første trinnet av modelleringen – boligmasseutviklingen – og fører til følgende fremtidig referanseareal (i EPISCOPE definert som oppvarmet areal, som vi har antatt å være lik 85% av boligmassens bruksareal): 252 million m² i 2015, 263 million m² i 2020, 285 million m² i 2030 og 324 million m² i 2050. Dette innebærer en relativ økning i forhold til 2015 på 13,1% i 2030 og 28,6% i 2050. For å sikre at det samlede energiforbruket i den norske boligmassen (kWh/år) ikke overstiger 2015-nivået må dermed den spesifikke energiintensiteten (kWh/m²/år) i 2030 og 2050 reduseres med minst de samme prosentverdier.

Siden de tre scenariene primært har til hensikt å belyse effektene av ulike ambisjoner for rehabilitering, er den fremtidige utviklingen i andelen av de ulike energibærere antatt å være lik i alle scenariene frem mot 2050. Energimiksen for elektrisitet er forutsatt uendret i forhold til situasjonen slik den var i 2013. Bruk av fyringsolje og kull er antatt faset ut, lineært fra 3,4 % i 2015 til null i 2020, og erstattet med fjernvarme. Fra 2020 er fjernvarme så antatt å øke lineært fra 3,7 % til 7,7 % i 2050. Bruk av ved og biomasse er antatt å avta lineært fra 17,4 % i 2015 til 13,0 % i 2050. Bruk av naturgass og flytende gass er antatt å fortsatt holde et lavt nivå på 0,4 %, som i 2015. Bruk av elektrisitet beregnes som differensen mellom 100 % og summen av alle andre energibærere, og holder et nivå mellom 75 og 79 % gjennom analyseperioden, noe som er svært høyt i forhold til situasjonen i de andre landene som er med i EPISCOPE-prosjektet. Samlet sett domineres altså levert energi til den norske boligmassen av elektrisitet, fulgt av ved og biomasse, samt en liten andel fjernvarme.

Trendscenariet ekstrapolerer de årlige observerte gjennomsnittsverdier for levert energiintensitet (kWh/m²/år) i den norske boligmassen for perioden 1993-2012, ved lineær ekstrapolering av denne trendlinjen hele veien frem mot 2050. Dette kan sies å være en høyst usikker antakelse, siden forbedringene i observert energiintensitet gjennom de siste 20 år kan hende ikke vil holde tritt i samme tempo gjennom de neste 35 år mot 2050. På den annen side er denne type lineære framskrivninger ikke uvanlige i praksis, og som scenario representerer dette kun et av flere innen et mulighetsrom for utvikling.

De to øvrige scenariene representerer som nevnt ovenfor en konservativ (moderat ambisiøs) og en proaktiv (svært ambisiøs) tilnærming til hvordan oppnå reduksjoner i energibruk og CO₂-utslipp gjennom rehabilitering av komponenter i bygningskroppen. Scenario B, det konservative scenariet, antar at alle energirehabiliteringstiltak som i henhold til boligmassemodellen skal utføres frem mot 2050 blir utført ved løsninger tilsvarende variant V2 spesifikasjonene i den norske typologibrosjyren (Brattebø et al. 2015a), som er forutsatt å reflektere et vanlig

ambisjonsnivå for energirehabilitering. Scenario C er derimot et proaktivt scenario og antar at alle energirehabiliteringstiltak som skal utføres mellom 2020 og 2050 blir utført ved løsninger tilsvarende variant V3 spesifikasjonene i typologibrosjyren, siden dette er forutsatt å reflektere et ambisiøst nivå for energirehabilitering. Rehabilitering utført før 2020 er antatt å følge variant V2 spesifikasjonene både for scenario B og C.

Det er i B og C scenariene forutsatt at nye bygg som reises mellom 2015 og 2020 bygges etter TEK10 energistandard (KMD 2010), mens nye bygg etter 2020 bygges etter passivhus standarden NS 3700 og nye bygg etter 2020 bygges etter en antatt TEK2020 standard i tråd med NZEB standard. Det er dermed ingen forskjell mellom disse to scenariene når det gjelder energistandarden på fremtidige nye bygg. Forskjellene omfatter kun type og ambisjonsnivå for rehabilitering for de boliger som i henhold til boligmassemodellen blir eksponert for rehabilitering, med en rehabiliteringssyklus på 40 år.

5.4 Resultater

Hovedresultatene fra beregningene er vist i tabell 26 og figur 30. I referansesituasjonen for 2015 er det estimerte totale behovet for levert energi til oppvarming, ventilasjon og varmtvann (altså alt energibehov unntatt elektriske installasjoner) i den norske boligmassen beregnet til 35824 GWh/år, med en vektet gjennomsnittlig utslippsfaktor på 0,095 kg CO₂-ekv/kWh som gir et samlet utslipp på 3,68 millioner tonn CO₂-ekv/år. Videre er det estimert en gjennomsnittlig energiintensitet til oppvarming, ventilasjon og varmtvann på 154 kWh/m²/år og en gjennomsnittlig utslippsintensitet på 14,6 kg CO₂-ekv/m²/år, begge i forhold til oppvarmet bebodd areal.

Alle tre scenarier gir betydelige reduksjoner i årlig energibehov og utslipp, som vist i figur 30. Det spesifikke energibehovet reduseres fra 154 kWh/m²/år til 147-151 kWh/m²/år i 2020, 120-131 kWh/m²/år i 2030 og 81,4-98,4 kWh/m²/år i 2050. De antatte endringene i fordelingen mellom energibærere påvirker i liten grad den gjennomsnittlige utslippsintensiteten, som går ned fra 0,095 kg CO₂-ekv/kWh i 2015 til 0,086 kg CO₂-ekv/kWh i 2020, 2030 og 2050). Samlet sett bidrar dette likevel til store reduksjoner i utslipp pr enhet oppvarmet gulvareal, som går ned fra 14,6 kg CO₂-ekv/m²/år i 2015 til 12,6-13,0 kg CO₂-ekv/m²/år i 2020, videre til 10,3-11,3 kg CO₂-ekv/m²/år i 2030 og endelig til 7,0-8,4 kg CO₂-ekv/m²/år i 2050.

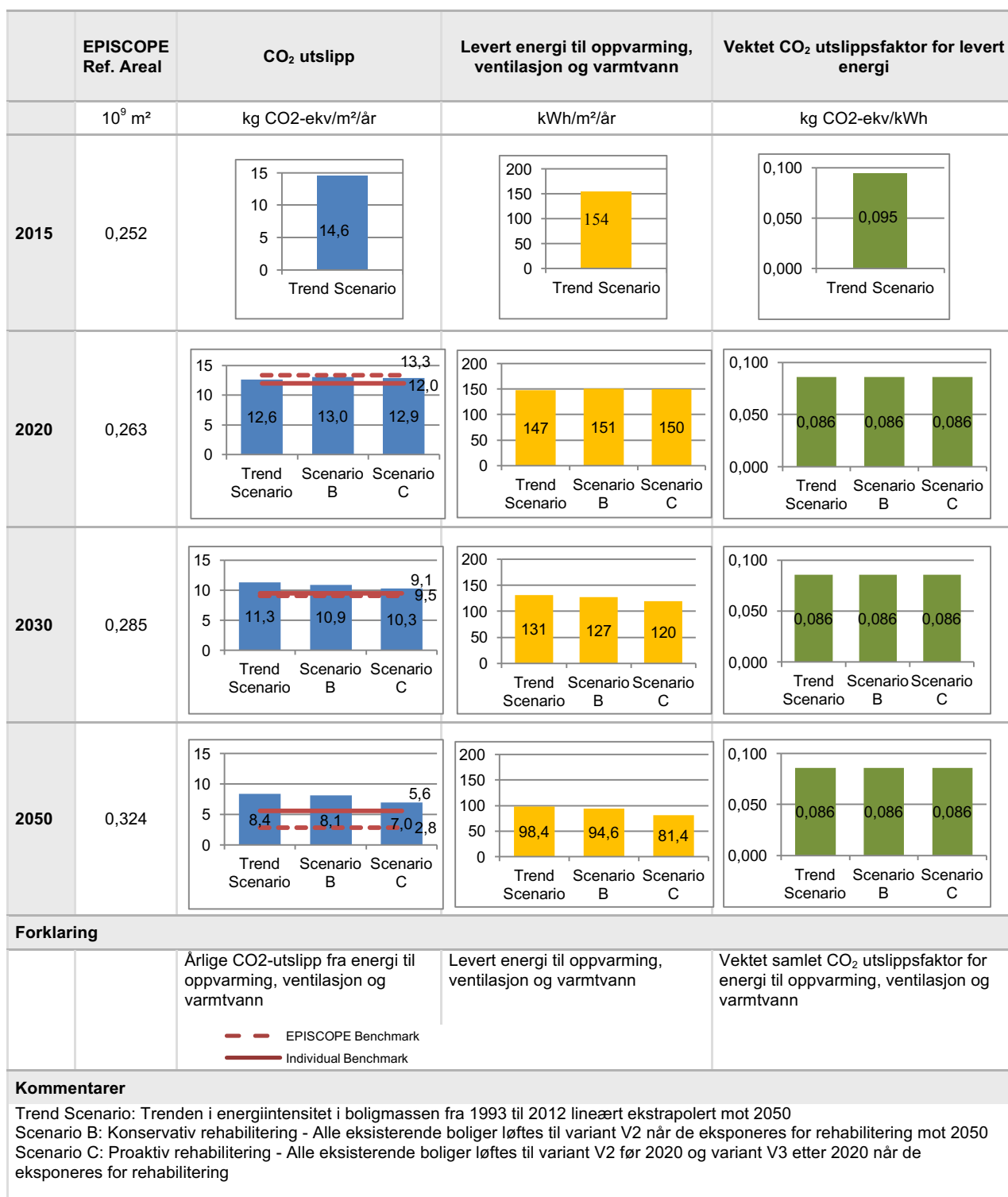
På tross av den betydelige veksten i boligmassens referanseareal fra 2015 til 2050, gir disse reduksjonene i utslipp per enhet oppvarmet gulvareal (kg CO₂-ekv/m²/år) betydelig reduksjon i samlede årlige utslipp (tonn CO₂-ekv/år) på ca. 8-10 % i 2020, 13-20 % i 2030, og 26-39 % i 2050, sammenlignet med 2015 nivået. Dersom fremtidige utslipp sammenlignes med utslippene i 1990 – som var 4,50 millioner tonn CO₂-ekv/år – blir reduksjonene enda større; 25-26 % i 2020, 29-35 % i 2030, og 40-50 % i 2050, avhengig av hvilket scenario man ser på.

Tabell 26: Beregnet levert energi til oppvarming, ventilasjon og varmtvann fordelt på energibærere (GWh/år) til Norges boligmasse mot 2050 (Stein et al. 2015)

	2015	2020			2030			2050		
Energibærer (GWh/år)	Trend Scenario	Trend Scenario	Scenario B	Scenario C	Trend Scenario	Scenario B	Scenario C	Trend Scenario	Scenario B	Scenario C
Naturgass	41	41	42	41	39	38	36	33	32	28
Propan/butan	105	104	107	106	101	98	92	86	83	71
Fyringsolje	1 229	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kull	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tre / biomasse	6 222	5 973	6 118	6 082	5 337	5 169	4 885	3 823	3 675	3 164
Fjernvarme	1 103	1 333	1 365	1 357	1 740	1 685	1 593	2 258	2 171	1 869
Elektrisitet ¹⁾	27 119	28 209	28 898	28 727	27 194	26 339	24 891	23 148	22 250	19 157
SUM	35 824	35 660	36 530	36 313	34 411	33 329	31 497	29 348	28 211	24 289
1) Elektrisitet til oppvarming, ventilasjon og varmtvann (eksl. Elektriske installasjoner)										

Dette må vurderes som gode nyheter og viser at det bør kunne være realistiske muligheter for å oppnå store kutt i årlige verdier for levert energi og CO₂-utslipp gjennom tiltak for energirehabilitering i den norske boligmassen, til tross for en betydelig voksende boligmasse. Hvor store kutt man vil make å oppnå vil derimot definitivt påvirkes av hvor stor *andel* av boligene som faktisk blir energioppgradert, og til hvilken energistandard, når de *potensielt* eksponeres for rehabilitering i henhold til *frekvensen* for slik rehabilitering (i disse beregningene er frekvensen satt til 40 år). I tillegg virker selvsagt andre faktorer også inn; som endret brukeratferd (energikultur), bruken av elektriske installasjoner, omfanget av fremtidig bruk av varmepumpe- og solenergi-teknologier i eksisterende bygningsmasse, samt fremtidige klimaendringer.

På den annen side vil den størrelsesorden av reduksjoner i CO₂-utslipp vi har estimert her *ikke være tilstrekkelig* til å møte de miljøpolitiske mål for klimagassutslipp. Som vist i figur 30 vil EPISCOPE benchmark utslippsnivået oppnås for 2020 og muligens for 2030, men langt fra oppnås for 2050. Disse benchmark-verdiene baseres på følgende utslippsreduksjoner i forhold til 2015-nivået: 5 % ned i 2020, 30 % ned i 2030 og 75 % ned i 2050. Legger man de norske (nasjonale) målene til grunn, i figuren angitt ved 'Individual benchmark', se kapittel 5.1, så er disse verken oppnådd for 2020, 2030 eller 2050. Grunnen til at det er så markant avstand mellom de to benchmark-nivåene er at det norske nivået er beregnet med basis i 1990-utslipp (her estimert til 4,50 millioner tonn CO₂-ekv/år) mens EPISCOPE nivået er beregnet ut fra et felles sett av målfaktorer for alle landene som er med i EPISCOPE prosjektet og er relatert til estimert utslippsnivå i 2015.



Figur 30: Beregnet årlig mengde CO₂-utslipp og levert energi til oppvarming, ventilasjon og varmtvann for den norske boligmassen mot 2050 (Stein et al. 2015).

5.5 Konklusjoner

De samlede funn fra scenarioanalysen av den samlede norske boligmassen viser at ambisjonene for energioppgradering gjennom rehabiliteringstiltak i eksisterende bygg har betydelig påvirkning på fremtidige reduksjoner i energibruk og klimagassutslipp. Dette er et viktig og nødvendig bidrag i retning å oppnå de nasjonale klimapolitiske mål, og må realiseres parallelt med andre tiltak som bedre energistandard i nye bygg og økt innfasing av varmepumper og solenergi.

Det er utført beregninger for tre scenarier: i) et Trend scenario der trendene i forbedret energiintensitet fra perioden 1993 – 2012 er videreført lineært mot 2050, ii) et Scenario B som reflekterer en konservativ rehabiliteringsambisjon der alle boliger som skal rehabiliteres frem mot 2050 løftes til en energistandard tilsvarende variant V2 nivå, og iii) et Scenario C som reflekterer en ambisiøs rehabiliteringsambisjon der alle boliger som skal rehabiliteres frem mot 2050 løftes til en energistandard tilsvarende variant V3 nivå.

Det er ikke vedtatt noen offisielle miljøpolitiske mål for reduksjon i drivhusgassutslipp fra den norske boligmassen, men dersom boligmassen skulle ta sin like store prosentvis andel av samlede nasjonale mål for utslippskutt ville man kunne forutsette 40% reduksjon i 2030 og 60% reduksjon i 2050 i forhold til 1990 utslippene. Klimagassutslippene knyttet til energibruken i boligmassen med 1990 som referanse er beregnet til å være $4,50 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år. Gitt scenariene for boligmassens utvikling i størrelse og sammensetning fremover gir dette følgende måltall for utslipp: $3,15 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år eller 11,98 kg CO₂-ekv/m²/år oppvarmet areal i 2020, og $2,70 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år eller 9,47 kg CO₂-ekv/m²/år oppvarmet areal i 2030, og $1,80 \cdot 10^9$ kg CO₂-ekv/år eller 5,56 kg CO₂-ekv/m²/år oppvarmet areal i 2050.

Våre anslag for det totale behovet for levert energi til oppvarming, ventilasjon og varmtvann (altså alt energibehov unntatt elektriske installasjoner) i den norske boligmassen for 2015 er beregnet til 35824 GWh/år. Med en vektet gjennomsnittlig utslippsfaktor på 0,095 kg CO₂-ekv/kWh gir dette et samlet utslipp på 3,68 millioner tonn CO₂-ekv/år. Det er beregnet en gjennomsnittlig energiintensitet til oppvarming, ventilasjon og varmtvann på 154 kWh/m²/år og en gjennomsnittlig utslippsintensitet på 14,6 kg CO₂-ekv/m²/år oppvarmet areal.

Det er ikke en veldig stor forskjell mellom resultatene for de tre her definerte scenariene mot 2050. Alle scenarier gir betydelige reduksjoner i årlig energibehov og utslipp, med reduksjon i energibruk ned til 147-151 kWh/m²/år i 2020, 120-131 kWh/m²/år i 2030 og 81,4-98,4 kWh/m²/år i 2050. De estimerte nivåene for klimagassutslipp pr enhet oppvarmet gulvareal er 12,6-13,0 kg CO₂-ekv/m²/år i 2020, og 10,3-11,3 kg CO₂-ekv/m²/år i 2030 og endelig til 7,0-8,4 kg CO₂-ekv/m²/år i 2050. I forhold til utslippsnivået i 2015, angitt i tonn CO₂-ekv/år, innebærer dette en reduksjon på 8-10 % i 2020, 13-20 % i 2030, og 26-39 % i 2050. I forhold

til utslippsnivået i 1990 er reduksjonen estimert til 25-26 % i 2020, 29-35 % i 2030, og 40-50 % i 2050, avhengig av hvilket scenario man ser på.

Ingen av scenariene oppfyller de miljøpolitiske mål for reduksjoner i klimagassutslipp. Siden Trend scenariet representerer de høyeste utslippsnivåene fremover, er det opplagt behov for et økt tempo i utslippskuttene fra boligmassen i forhold til trendlinjen fra 1993 til 2012. Fremtiden blir altså enda mer utfordrende med tanke på reduksjoner i energibruk og klimagassutslipp enn det man har sett i denne perioden. Det må derfor satses på et mye større omfang av ambisiøs rehabilitering enn hva tilfelle har vært de siste to tiårene, i tillegg til full introduksjon av passivhus, lavenergihus og NZEB-boliger for nybygg.

6 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., Bohné, 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 prosesssteknikk, NTNU. Trondheim, 05.09.2014.

Brattebø, H., O'Born, R., Sartori, I., Klinski, M. og Nørstebø, B. (2015a): Typologier for norske boligbygg - Eksempler på tiltak for energieffektivisering. Revidert typologibrosjyre. Program for industriell økologi, Institutt for energi og prosesssteknikk, NTNU. Trondheim, 19.06.2015.

Brattebø, H., Sandberg, N.H., Vestrum, M.I. and Sartori, I. (2015b): Modeling energy and GHG flows from ageing dwelling stocks towards 2050. Presentasjon på International Society for Industrial Ecology biennial meeting, ISIE2015, University of Surrey, 7-10 Juli 2015.

CICERO (2012): Kalkulator for beregning av klimagassutslipp fra husholdninger. Bakgrunnsdokument oppdatert av CICERO Senter for klimaforskning, MiSA og Østfoldforskning. Desember 2012.

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

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

KMD (2015): Ny utslippsforpliktelse for 2030 – en felles løsning med EU. Meld. St.13 (2014-2015) Melding til Stortinget.

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

Sandberg, N.H., Sartori, I. and Brattebø, H. (2014b): Sensitivity analysis in long-term dynamic building stock modeling - Exploring the importance of uncertainty of input parameters in Norwegian segmented dwelling stock model. *Energy and Buildings*. Vol. 85, December 2014, 136–144.

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

SSB (2014a): Norges boligstatistikk 2013. Excel-fil levert fra SSB til NTNU for bruk i EPISCOPE-prosjektet.

SSB (2014b): Energy consumption in households, 2012. Statistics Norway. <https://www.ssb.no/en/husenergi/>

SSB (2015): Dwellings, 1 January 2014. Online available: <http://ssb.no/en/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boligstat/aar/2015-04-22>

Stein, B., Loga, T. and Diefenbach, N. (Eds.) (2015): Scenario Analyses Concerning Energy Efficiency and Climate Protection in Regional and National Residential Building Stocks. Examples from Nine European Countries. EPISCOPE Synthesis Report No. 3 (Deliverable D3.5). IWU Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, Germany, September 2015.