Klimarådet.

Bilag 1 – Metodenotat til Klimarådets analyse om gasudfasning

Klimarådets analyse *Fra gas til grøn varme* bygger på data og forudsætninger, som er nærmere beskrevet i dette bilag. I afsnit 1.1-1.4 beskrives datagrundlaget og forudsætningerne for Klimarådets analyse af, hvor energieffektive de eksisterende naturgasfyrede bygninger er. Klimarådet har derudover lavet en analyse af de samfundsøkonomiske omkostninger i fem forskellige varmeforsyningsscenarier for 1.000 repræsentative naturgasfyrede bygninger. I afsnit 2.1 beskrives Klimarådets beregningsmetode til dimensionering af de individuelle varmepumper i analysen ud fra data for de 1.000 bygninger. I afsnit 2.2 beskrives beregningsmetoden til dimensionering af store varmepumper i fjernvarmen og en biomassekedel på baggrund af det samlede varmebehov i bygningerne og varmetab i fjernvarmenettet. I afsnit 2.3 beskrives metoden til beregning af virkningsgraden for store varmepumper i fjernvarmen ud fra temperaturen af varmekilden, samt frem- og tilbageløbstemperaturerne i fjernvarmenettet. I afsnit 2.4 beskrives Klimarådets metode til opgørelse af gennemsnitlig radiatoromkostninger for ældre ineffektive bygninger, der skal til, for at de kan modtage lavtemperaturfjernvarme. I Klimarådets analyse er der foretaget en række følsomhedsanalyser, som fremgår i analysens kapitel 5. I afsnit 2.5 vises yderligere følsomhedsanalyser ved ændring i diskonteringsrente, investeringsomkostninger, energipriser og omkostninger til drift og vedligehold.

Indhold

1 Datagrundlag for de eksisterende naturgasfyrede bygninger ... 2

1.1 Data ... 2

1.2 Databearbejdning ... 2

1.3 Fjernvarmeområder ... 4

1.4 Definition af en ældre ineffektiv bygning ... 4

2 Forudsætninger og følsomhedsberegninger for samfundsøkonomisk analyse ... 4

2.1 Dimensionering af individuelle varmepumper ... 4

2.2 Dimensionering af store varmepumper og biomassekedel ... 5

2.3 Virkningsgrad på store varmepumper i fjernvarmen ... 6

2.4 Opgørelse af radiatoromkostninger i bygninger ... 6

2.5 Yderligere følsomhedsanalyser ... 6

1 Datagrundlag for de eksisterende naturgasfyrede bygninger

Klimarådet undersøger i kapitel 3 omfanget af gasopvarmede bygninger, der har et højt varmeforbrug, og som dermed potentielt har behov for energirenoveringer og/eller udskiftning af radiatorer for at kunne forsynes med lavtemperaturvarme. I kapitel 4 danner et repræsentativt udsnit af 1.000 bygninger i datasættet grund for de samfundsøkonomiske beregninger. Dette afsnit beskriver datagrundlag, metodiske skridt og overvejelser foretaget i forbindelse med denne analyse.

1.1 Data

Klimarådets analyse bygger på datasæt over naturgasforbrug i 2020 samt bygningsinformationer for de bygninger, der er opvarmet med naturgas. Indhold og kilder fremgår af tabel 1 nedenfor. Naturgasforbrug pr. bygning og BBR-oplysninger er leveret samlet fra Vurderingsstyrelsen. Data for naturgasforbrug bliver målt pr. naturgasmåler, og for en afregningsperiode som typisk går fra maj til april. Derfor er datasættet bearbejdet af Vurderingsstyrelsen til at udgøre kalenderåret 2020.

Tabel 1 Datasæt brugt i analysen

Datasæt	Indhold	Kilde
Eksisterende fjernvarmeområder	Hvilke områder der i dag er udlagt til fjernvarme.	Plansystem.dk
Potentielle fjernvarmeområder	Hvilke områder der potentielt kan udlægges til fjernvarme.	Mathiesen et. al., *Varmeplan Danmark 2021*, 2021
Naturgasforbrug	Naturgasforbrug pr. bygning. Omregnet til kalenderår og fra den enkelte naturgasmåler til bygningsniveau.	Vurderingsstyrelsen
Bygnings- og Boligregistret (BBR)	Indeholder en række bygningsinformationer. Alder, størrelse og placering af bygningen er centrale oplysninger for analysen.	Vurderingsstyrelsen

1.2 Databearbejdning

Den første del af databearbejdningen omfatter data for de naturgasopvarmede boliger. Første skridt er at importere rådata fra Vurderingsstyrelsen, som består af 371.597 observationer. Andet skridt er kun at beholde bygninger til bolig og erhverv, der bruger naturgas til rumopvarmning. Disse bygninger udvælges på baggrund af udvalgte bygningsanvendelseskategorier, som fremgår af tabel 2 nedenfor. Bygningskategorierne stemmer overens med dem, der bruges i analyserne *Varmeplan Danmark 2021* og SBi's rapport *Varmebesparelse i eksisterende bygninger* fra 2017.[1,2] Tredje skridt er at fjerne observationer, der mangler information omkring alder, gasforbrug og areal, hvor disse variable er lig 0. Efter disse skridt er der 352.232 observationer tilbage i datasættet.

I første del af denne analyse ses der på nettovarmeforbruget med henblik på at identificere bygninger med højt varmeforbrug, som potentielt kan få problemer med lavtemperaturvarme. Naturgasforbruget pr. bygning er derfor korrigeret for hhv. virkningsgrad i gasfyr og forbrug til produktion af varmt vand. Analysen antager, at gasfyr i Danmark har en gennemsnitlig konverteringseffektivitet på 95 pct., hvilket svarer til erfaringerne i Dansk Gasteknisk Center.[3,4] Det betyder, at et naturgasfyr, der afbrænder naturgas med et energiindhold på 100 kWh, kun leverer 95 kWh varme. De resterende 5 kWh går tabt i form af varm røggas.

Der er desuden antaget et energiforbrug til varmtvandsforbrug for forskellige boligtyper på baggrund af en rapport fra SBi fra 2021.[4] Dette fremgår af tabel 2 nedenfor. For nogle få boliger vil denne vurdering give et meget højt energiforbrug til varmt vand. Derfor er det antaget, at hvis varmtvandsforbruget beregnet på baggrund af

kvadratmeter giver over 30 pct. af det samlede energiforbrug, så sættes varmtvandsforbruget til at være 30 pct. af det samlede energiforbrug. På baggrund af dette estimerede varmeforbrug kan der beregnes et varmeforbrug pr. kvadratmeter.

Tabel 2 Bygningsinformationer og antagelser om varmtvandsforbrug

Type bygning	BBR-kode	Antaget varmtvandsforbrug[4]
Stuehuse	110	15 kWh pr. m^2
Parcelhuse	120, 121, 122, 185	15 kWh pr. m_2
Række-, kæde- og dobbelthuse	130, 131, 132	15 kWh pr. m^2
Etageboliger og lign	140, 150, 160, 190	35,8 kWh pr. m^2
Handel og service	320, 321, 322, 323, 324, 325, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 339, 390	15 kWh pr. m^2
Institutioner	410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 419, 420, 421, 422, 429 430, 431, 432, 433, 439	26,2 kWh pr. m^2

Data for boligareal
Til boligareal er der benyttet det samlede boligareal i bygningen inklusiv evt. boligareal i kælder og tagetage. For erhverv er det samlede erhvervsareal i bygningen brugt inklusiv evt. erhvervsareal i kælder og tagetage.

Gasforbrug pr. kvadratmeter
I analysen beregnes en ny variabel for gasforbrug til opvarmning i kWh pr. kvadratmeter, som udregnes på baggrund af forbruget af gas til opvarmning og boligarealet, som er beskrevet ovenfor. Dette er en af hovedvariablene i analysen.

Outliers fjernes
Outliers med et usandsynligt højt eller lavt gasforbrug pr. kvadratmeter fjernes. Her er den nedre grænse sat til 10 kWh pr. kvadratmeter og den øvre grænse sat til 1.000 kWh pr. kvadratmeter. Af de høje outliers fjernes herved 610 observationer og af de lave fjernes 7.223 observationer. Det vil sige, at over 90 pct. af de outliers der fjernes er bygninger med et gasforbrug til opvarmning på under 10 kWh pr. kvadratmeter, hvilket svarer til 2 pct. af hele datasættet. Heraf er over halvdelen parcelhuse og omkring 1/5 etageboliger og lignende. I den høje ende af gasforbruget er der meget få observationer, og 99 pct. af datasættet har et gasforbrug, der ligger under 260 kWh pr. kvadratmeter. Efter outliers er fjernet, er der 344.399 observationer i datasættet.

Bygninger opført efter 2020 fjernes
I datasættet er der 60 bygninger, der er opført i 2021 og 2022. Gasforbrugsdata er dog fra 2020, hvor der givetvis har været en anden bygning på adressen. Derfor forventes gasforbruget ikke at være repræsentativt for de nye bygninger herefter, og derfor tages disse observationer ud. Der er 344.339 observationer i det endelige datasæt, som bruges til analysen, efter bygninger opført i 2021 og 2022 er fjernet.

Kvalitetstjek
I Energistyrelsens *Klimafremskrivning 2022* har Privat service, Engros- og detailhandel, Offentlig service og Husholdninger tilsammen et naturgasgasforbrug på 9.137 GWh. Datasættet har et samlet naturgasforbrug efter sortering af bygningstyper på 7.906 GWh. Det samlede naturgasforbrug i de naturgasopvarmede bygninger i analysen er 6.540 GWh i 2020 efter sortering af outliers. Ved et konverteringstab på 5 pct. giver det et samlet nettovarmeforbrug på 6.213 GWh til opvarmning og varmt vand. Heraf estimeres 5.303 GWh at være gasforbrug til opvarmning, når forbruget til varmt vand trækkes fra.

1.3 Fjernvarmeområder

Der er brugt data fra *Varmeplan Danmark 2021* til eksisterende og potentielle fjernvarmeområder. Det er beregnet, hvilke nye fjernvarmeområder der er udvidelser af eksisterende områder, og hvilke der vil være helt nye områder.

Der tages udgangspunkt i Varmeplan Danmarks fjernvarmescenarie s2, som omfatter områder, der er anbefalet udlagt til fjernvarme. Områderne i scenarie s2 har en varmedensitet på over 10 kWh pr. kvadratmeter. I områder med lavere varmedensitet anbefales fjernvarme ikke, om end det i nogle af disse områder kan give mening lokalt. Klimarådet har beregnet, hvilke af de anbefalede fjernvarmeområder der ligger umiddelbart op ad et eksisterende fjernvarmeområde, og som derfor er en udvidelse. Hvis det ikke ligger op ad et eksisterende område, så defineres det som et nyt område. Dette er illustreret i figur 3.2 i analysen.

1.4 Definition af en ældre, ineffektiv bygning

Bygninger fra før 1985 vil muligvis kræve energiforbedringer ved tilslutning til lavtemperaturfjernvarme, hvis de ikke er blevet væsentligt energirenoveret igennem tiden. Alternativt kan de have behov for en individuel varmepumpe, der er dimensioneret til et højt varmebehov og fremløbstemperatur. Derfor er der særligt fokus på de ældre ineffektive bygninger. I analysen defineres en ældre ineffektiv bygning, som en bygning der er opført inden 1985 og har et nettovarmeforbrug på over 85 kWh pr. kvadratmeter.

Baggrund for skæringsåret 1985 og grænse for varmeforbrug på 85 kWh pr. kvadratmeter
Energikravene i *Bygningsreglementet* blev strammet betydeligt i slutningen af 1970'erne, og i 1985 indførtes de første krav om, at bygningers varmesystemer skulle være forberedt for fremløbstemperaturer under 60°C.[5] Derfor vil bygninger fra før 1985 ikke nødvendigvis være forberedt til lavtemperaturfjernvarme.

SBi's rapport *Varmebesparelser i eksisterende bygninger* fra 2021 estimerer, at enhedsforbruget i forskellige bygningskategorier kan komme ned på omkring 85 kWh pr. kvadratmeter efter renovering og uden at tage højde for forbrugernes komfortforbedringer. Derfor benyttes 85 kWh pr. kvadratmeter som en grænse for, hvornår en bolig har et højere forbrug, end det der er mulig at nå ved renoveringer. Hertil kommer, at der i *Bygningsreglementet 1985* står, at *"Det årlige nettoenergibehov til opvarmning og ventilation må ikke overstige 7,2 GJ med et tillæg på 0,252 GJ pr. m_2 bruttoetageareal"*. For et gennemsnitligt hus på 150 kvadratmeter betød det, at nettoenergibehovet ikke måtte overstige 83 kWh pr. kvadratmeter for bygninger fra efter 1985.

2 Forudsætninger og følsomhedsberegninger for samfundsøkonomisk analyse

I kapitel 4 undersøges, hvilken eller hvilke forsyningsformer der bidrager til en samfundsøkonomisk optimal omstilling væk fra opvarmning med naturgas. De samfundsøkonomiske omkostninger ved forskellige typer varmeforsyning beregnes for et generisk område, hvor der etableres ny fjernvarmeproduktion og infrastruktur af fjernvarmenet. I dette bilag uddybes en række forudsætninger for beregningerne og yderligere følsomhedsanalyser.

2.1 Dimensionering af individuelle varmepumper

I dette afsnit beskrives, hvordan individuelle varmepumper er dimensioneret i de samfundsøkonomiske beregninger i kapitel 4. Scenarie 1 – eller Basisscenariet – forudsætter, at alle de 1.000 bygninger i det repræsentative udsnit af gasopvarmede bygninger fremover skal opvarmes af en individuel varmepumpe. For at beregne de samfundsøkonomiske omkostninger herved er det nødvendigt at kende kapaciteten af de varmepumper, der kan erstatte gasopvarmning af de på gældende huse.

Klimarådet har anmodet Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpeteknik, om at levere en beregningsformel til omregning af et gasforbrug til en varmepumpekapacitet til énfamiliehuse. Varmepumpen dækker både varmeforbrug og varmtvandsproduktion.

Teknologisk Institut har anbefalet, at nedenstående omregningsformel benyttes:

$$Kapacitet\ af\ varmepumpe_{-7\,°C} = (E_{total} - 0{,}86 * beboere) * 0{,}44 + 0{,}1 * beboere$$

Hvor:

- E_{total} [MWh]= Bygningens nettoenergiforbrug korrigeret for virkningsgrad i MWh
- Kapacitet af varmepumpe, $_{-7\,°C}$ [kW] = Varmepumpens varmeeffekt ved -7 °C i kW.

Klimarådet har beregnet nettoenergiforbruget, E_{total}, i hver af de 1.000 bygninger ved at korrigere deres gasforbrug med den gennemsnitlige konverteringseffektivitet på 95 pct. for gasfyr i Danmark.

Antallet af beboere per bygning er estimeret til 2,5 i gennemsnit. Dette er beregnet som et vægtet gennemsnit ud fra det gennemsnitlige antal beboer i forskellige typer af bygninger ifølge Danmarks Statistik, samt fordelingen af bygningstyper i vores datasæt på 1.000 bygninger.[6]

Teknologisk Institut understreger, at omregningen er sket på baggrund af en graddageberegning af nettovarmeforbruget fra gasfyr med udgangspunkt i en indetemperatur på 20°C, brugsvandsforbrug på 860 kWh/person/år og 2.552 graddage svarende til årsnormalen målt i perioden fra 1991 til 2020. Formlen kan kun benyttes til at give et overslag til varmepumpekapacitet og Teknologisk Institut anbefaler, at dimensionering bør udføres efter Dansk Standard 1150.

2.2 Dimensionering af store varmepumper og biomassekedel

Produktionskapaciteten i fjernvarmen skal kunne dække varmeforbrug og tab i nettet. Varmepumperne og biomassekedlen i fjernvarmeforsyningen er i Klimarådets beregninger blevet dimensioneret på baggrund af en antagelse om antal fuldlasttimer pr. bygning og en samtidighedsfaktor. Dertil indgår det estimerede varmeforbrug og tab i fjernvarmenet. Formel til estimering af varmeeffekt fremgår af formel 1), 2) og 3) nedenfor.

$$1)\ effekt_{samlet} = effekt_{varmebeho} + effekt_{varmetab}$$

$$2)\ effekt_{varmebehov} = \frac{varmebeho}{fuldlasttimer} \times samtidighedsfaktor$$

$$3)\ effekt_{varmetab} = \frac{varmetab}{8760\ timer}$$

Hvor:

- Fuldlasttimer=1.800
- Samtidighedsfaktor=0,62
- Varmebehov=18.193 kWh
- Varmetab=varmebehov*ledningstab

Antallet af fuldlasttimer er antaget at være 1.800 for en bygning. Samtidighedsfaktoren er et udtryk for, at ikke alle bygninger vil have deres maksimale forbrug i den samme time. Eksempelvis vil alle ikke tage varme bade eller vaske op på samme tid. Hvis alle bygninger havde deres maksimale forbrug i samme time, ville det være nødvendigt at installere kapacitet, der kunne dække dette behov. Men da der antages en forskydning, så kan der installeres mindre kapacitet i fjernvarmen. Samtidighedsfaktoren er antaget at være 0,62. Ledningstabet er henholdsvis 20 pct. for højtemperaturfjernvarme og 12 pct. for lavtemperaturfjernvarme.

2.3 Virkningsgrad på store varmepumper i fjernvarmen

Virkningsgraden er en central forudsætning i Klimarådets beregninger, idet den beskriver, hvor meget energi en varmepumpe skal bruge til at producere samme mængde varme. Varmepumpernes virkningsgrad er beregnet på baggrund af Energistyrelsens Teknologikatalog. Temperaturniveauerne for varmekilder og i fjernvarmenettet, der er brugt i beregningerne, fremgår af tabel 3 nedenfor.

Tabel 3 Temperaturer antaget til beregning af virkningsgrader

Alternativ	Varmekilde	Fremløbs temperatur	Returløbs temperatur	Virkningsgrad
Scenarie 3	Luft 7,7º C	70º C	35º C	3
Scenarie 4	Luft 7,7º C	60º C	30º C	4
Scenarie 5	Overskudsvarme 25º C	60º C	30º C	7

2.4 Opgørelse af radiatoromkostninger i bygninger

Klimarådet antager, at det kan være nødvendigt med visse tiltag i ineffektive bygninger, for at de kan opnå tilstrækkelige komforttemperaturer, når de forsynes med lavtemperaturfjernvarme. Omkostninger hertil indgår i omkostningerne i scenarierne med lavtemperaturfjernvarme, og derfor er det nødvendigt at estimere omfanget af og priser på tiltagene.

Boks 2.4 i kapitel 2 resumerer dels to eksempler på omlægning til lavtemperaturfjernvarme i et større antal bygninger, dels en række forskningsprojekter, der kun har afprøvet temperatursænkninger i relativt få bygninger. Både de praktiske eksempler og forskningsprojekterne indikerer, at der kun kræves begrænsede bygningstilpasninger.

Der er dog ikke fundet videnskabelige casestudier af renoveringsbehovet ved den konkrete implementering af lavtemperaturfjernvarme i et stort antal danske bygninger. I mangel heraf antages det beregningsteknisk i denne analyse, at de ældre, ineffektive bygninger opført før 1985 klargøres til lavtemperaturfjernvarme ved at installere ekstra radiatorkapacitet. Antallet beregnes ud fra følgende parametre:

- Bygninger med et areal under 100 kvadratmeter antages at have fem radiatorer
- Bygninger over 100 kvadratmeter antages at have en ekstra radiator for hver 15 kvadratmeter, som bygningens areal overstiger 100 kvadratmeter.
- Ved nettoenergiforbrug over 85 kWh pr. kvadratmeter udskiftes en andel af bygningens radiatorer svarende til den andel, som nettoenergiforbruget overstiger 85 kWh pr. kvadratmeter.

Bygningsarealerne er indeholdt i det datasæt, der er leveret fra Vurderingsstyrelsen og resumeret i kapitel 3.

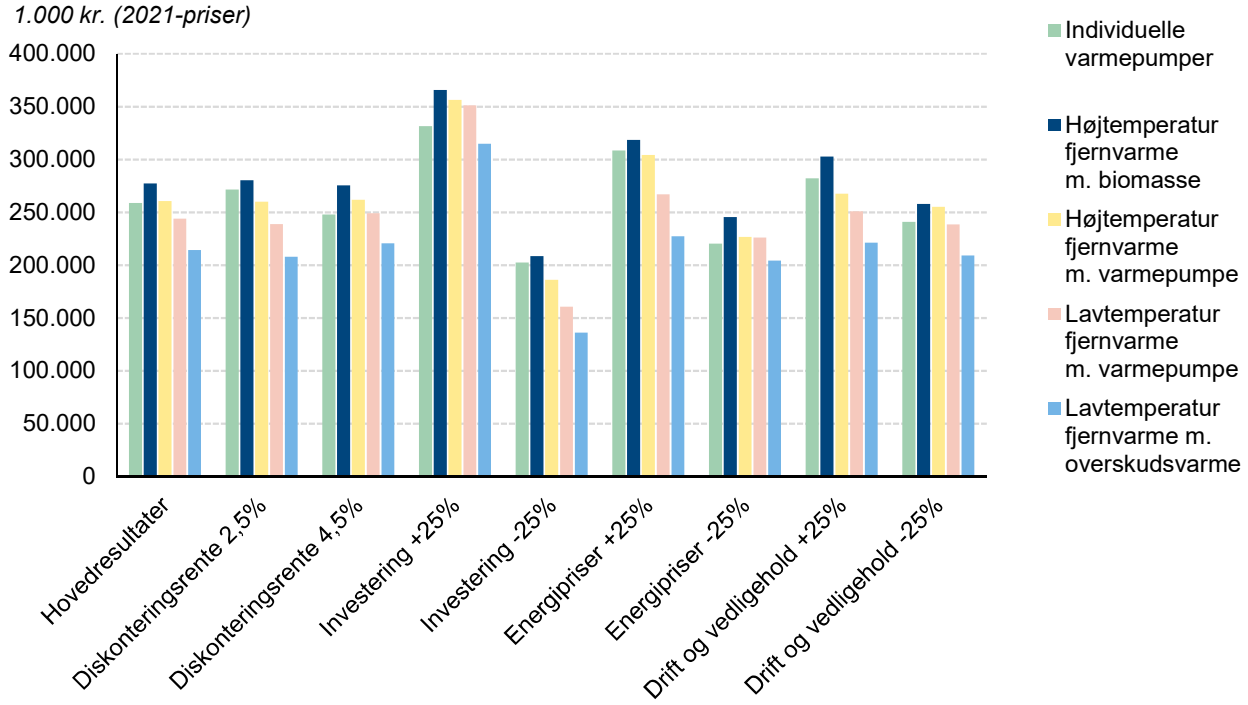
Nettoenergiforbruget er beregnet af Klimarådet ud fra data om bygningernes gasforbrug, areal, en gennemsnitlig konverteringseffektivitet af gasfyrene og antagelser om forbruget til produktion af varmt vand jf. bilagets afsnit 1.2 ovenfor.

På baggrund af ovenstående metode, data for de 1.000 bygninger og radiatoromkostninger fra Teknologikataloget beregnes en gennemsnitlig investeringsomkostning til udskiftning af radiatorer for ældre ineffektive bygninger på 19.292 kr. pr. bygning.

2.5 Yderligere følsomhedsanalyser

I den samfundsøkonomiske analyse i kapitel 4 beregnes de totale samfundsøkonomiske omkostninger i fem forskellige varmeforsyningsscenarier. Der er i kapitel 4 præsenteret en række følsomhedsanalyser og varianter af

beregningerne. Yderligere følsomhedsanalyser er vist i figur 1 nedenfor. Figuren viser, hvordan ændringer i diskonteringsrenten, investeringsomkostningerne, energipriserne, samt drift og vedligehold vil påvirke resultaterne af analysen. Overordnet tegner de ekstra følsomhedsanalyser det samme billede som hovedresultaterne i analysen. Lavtemperaturfjernvarme med overskudsvarme er den billigste varmeforsyningsform og biomassebaseret fjernvarme er den dyreste. Stigende investeringsomkostninger vil dog forværre fjernvarmens konkurrencekraft i forhold til individuelle varmepumper, og særligt hvis der ikke er overskudsvarme til rådighed. Det skyldes, at kapitalinvesteringerne i fjernvarmen er større end for individuelle varmpumper som vist i kapitel 4. Omvendt vil stigende energipriser gøre særligt lavtemperaturfjernvarme samfundsøkonomisk fordelagtigt.



Figur 1 Totale samfundsøkonomiske omkostninger i varmeforsyningsscenarier ved forskellige ændringer i antagelser

Anm. 1: Figuren viser nutidsværdien af de totale omkostninger for alle bygninger over perioden 2023-2043. Det antages, at tilslutningsprocenten til fjernvarmen er 100 pct. i hele perioden.

Kilde: Egne beregninger.

Referencer

[1] Mathiesen et. al., *Varmeplan Danmark 2021*, 2021
[2] SBi, *Varmebesparelser i eksisterende bygninger*, 2017
[3] Dansk Gasteknisk Center, *personlig korrespondance*, 18.august 2022
[4] SBi, *Varmebesparelser i eksisterende bygninger*, 2021
[5] Byggestyrelsen, *Bygningsreglement for småhuse, BR-S 85*, 1985
[6] Danmarks Statistik, *Statistikbanken, BOL106*, senest opdateret: 08-04-2022