

Undersøgelse af 26 gaskedlers levetid

Notat
Januar 2019

NOTAT

Undersøgelse af 26 gaskedlers levetid

Jean Schweitzer, Jonas Hoen, DGC

Rapporten/notatet er udarbejdet i 2018-19 på baggrund af undersøgelser fra 2016.

1. Indledning

På baggrund af datamateriale fra HMN har Dansk Gasteknisk Center (DGC) undersøgt muligheden for i praksis at bruge statistisk modellering til at forudsige villakedlers levetid baseret på tilgængelige statistiske data om kedelinstallationer.

Metoden, der blev brugt i andre referencer som fx i /3/ er en simpel statistik på kedelalder ved udskiftning. Metoden er ikke repræsentativ for kedellevetid, med mindre den betragtede kedelbestand er meget gammel, og at kedeltyperne ikke har været installeret i længere tid.

For at finde en kedels levetid har man brug for enten:

- En komplet registrering af driftssvigt for en periode, der er længere end levetiden (dvs. 25-35 år vil være at foretrække), hvilket sandsynligvis ikke kan lade sig gøre, da de første kedler blev installeret sidst i 80'erne.
- En statistisk modellering af levetiden (som bruges her).

Ideen med dette projekt var at se på udviklingen i udskiftningsstatistiske data for kedlernes driftssvigt og ekstrapolere disse data med en statistisk model udviklet i DGC /1/. Dette arbejde har givet flere resultater for den aktuelle levetid for gaskedler og har også gjort det muligt at forbedre metoden. /2/

Med data fra 26 gaskedler har vi nu fået et klarere billede af levetiden for gaskedler på det danske marked til kunder med et større varmebehov end villakunder, dvs. kedelstørrelser på mellem 20 og 30 kW.

BEMÆRK

I denne rapport/dette notat taler vi om "driftssvigt" som en måde at forenkle rapporteringen. Det ville faktisk være mere hensigtsmæssigt at tale om "kedlens alder ved udskiftning", da vi ikke har viden om årsagen til, at kedlen udskiftes.

2. Kort præsentation af kedlers levetid. Statistisk modellering til forudsigelse af kedlers levetid

Kedlers levetid er defineret som

- den tid, hvor 50 % af de installerede apparater ikke længere er i drift.

Ud fra det foreliggende materiale fik vi verificeret, at for et antal kedler kan vi modellere kedlers levetid med en normalfordeling (Gauss-model). Nærmere oplysninger om denne metode kan fås i /2/.

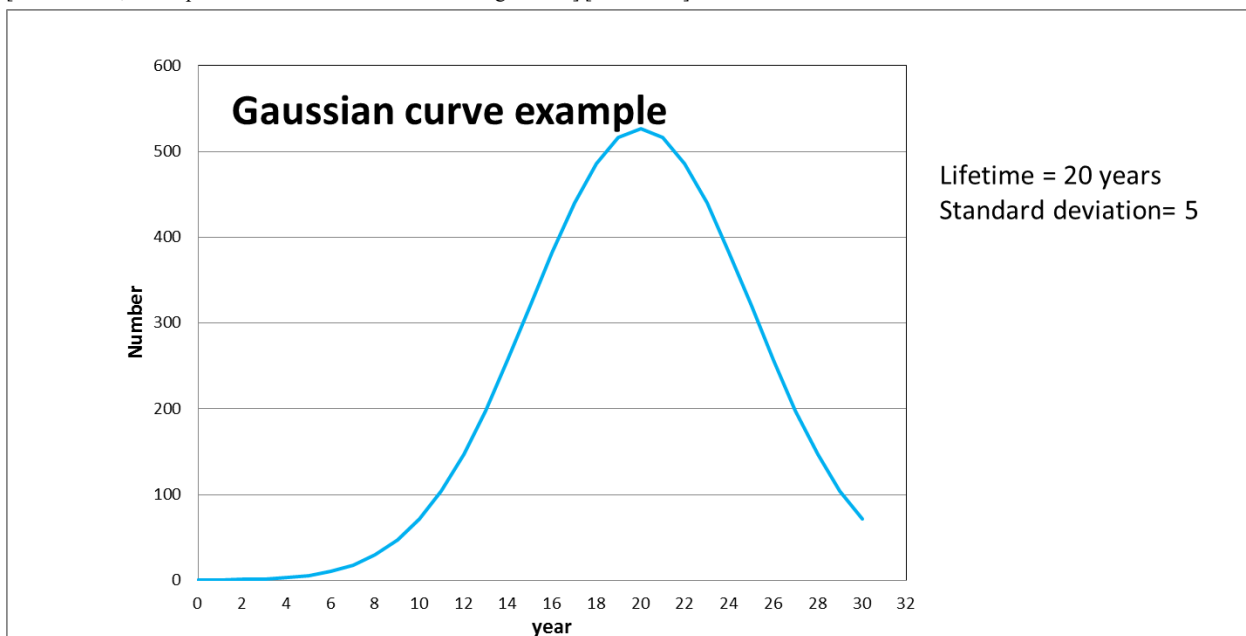
En Gauss-model kan beskrives med følgende funktion:

$$f(x) = a \exp\left(-\frac{(x-b)^2}{2c^2}\right)$$

Hvor

- c er standardafvigelsen, som indikerer, hvor spredningen (i tid) er for udskiftninger.
- b er center-/midterpositionen og er udtryk for den gennemsnitlige levealder (= levetid defineret som, at 50 % af bestanden ikke længere er i drift)
- a er kurvens top (afhænger af antal kedler i stikprøven)

[Gauss-kurve, eksempel – Levetid = 20 år – Standardafvigelse = 5] [Antal – År]



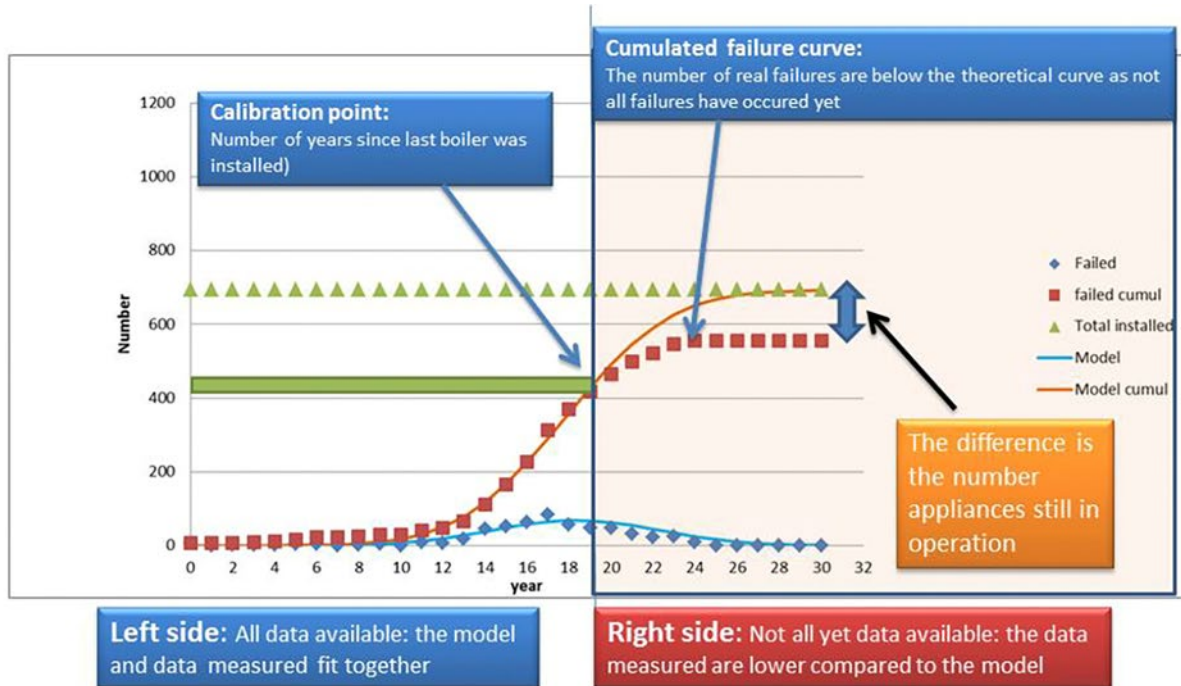
Figur 1 Eksempel på (teoretisk) Gauss-kurve, der viser udviklingen i antal driftssvigt (%).

Statistisk modellering støtter sig til en analyse af datamateriale for driftssvigt i de første år. I mange tilfælde er det muligt at bruge datamateriale fra de første år til at bestemme parameter a, b og c.

I praksis findes Gauss-kurven, som passer bedst til data for udskiftning og deraf følger a, b, og c (se nedenfor).

3. Forklaring til notatets/rapportens tal/resultater

[Kalibreringspunkt: Antal år siden den sidste kedel blev installeret – Venstre side (grønne bar): Alle data er til rådighed: Modellen og datamateriale passer sammen – Akkumuleret fejlkurve/driftssvigtkurve: Antal aktuelle driftssvigt er under den teoretiske kurve, da ikke alle driftssvigt har fundet sted endnu – Forskellen er antal apparater, der stadig er i drift – Højre side: Ikke alle data er til rådighed: Datamaterialet er mindre i forhold til modellen] [Driftssvigt – Akk. Driftssvigt – Samlede installationer – Model – Akk. Model] [Antal – År]



Figur 2 Modelling af levetid

Værdierne i parametermodellen er justeret i forhold til de akkumulerede antal driftssvigt svarende til det samlede antal år uden installation af den givne kedel med kalibreringspunkt som reference (tallet på denne figur er 19 år). I dette eksempel har vi valgt en ret gammel kedel, så vi kan vise, at modellen falder ret godt i tråd med de aktuelle data.

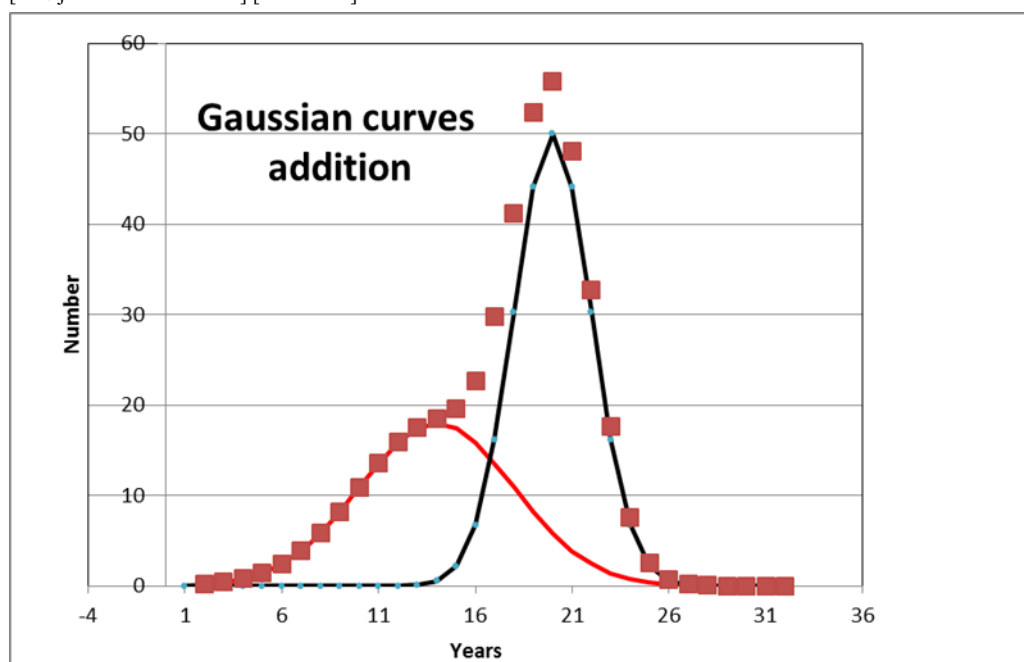
Venstre side af kurven skulle passe, da der ikke vil være nogle driftssvigt < 19 år. I den højre side af kurven skulle kurven (modellen) ligge over prikkerne (registrerede driftssvigt), da der vil komme flere driftssvigt efter 20, 21, ... år.

4. Betingelser for modellens ”brugbarhed”

Modellen kan kun bruges til en homogen kedelbestand. Dette betyder, at hvis der sker ændringer i produktionen af en kedel, der allerede er på markedet, vil dette kunne påvirke levetiden, og Gauss-kurven vil i så fald ikke være gældende. Ligesådan hvis to eller flere forskellige kedler bliver blandet sammen i datamaterialet, vil der være et overlap af forskellige kurver, hvilket vil resultere i temmelig forskellige resultater.

Figur 3 (der er med fiktive data) viser hvorfor tilføjelsen af to ekstra Gauss-kurver (fx for 2 forskellige kedler) ikke giver en Gauss-profil.

[Tilføjelse af Gauss-kurver] [Antal – År]



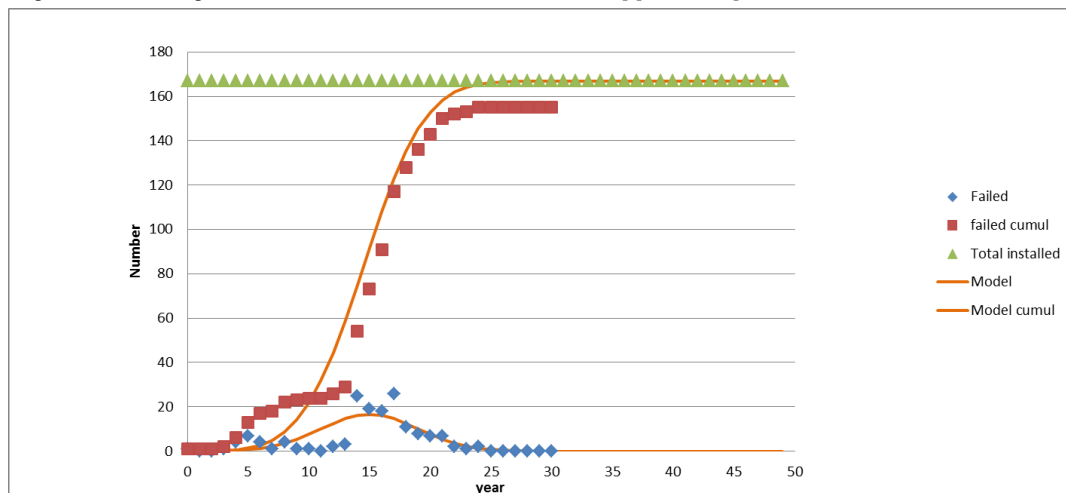
Figur 3 Tilføjelse af 2 Gauss-kurver (1-rød 2 sort)

Sidst men ikke mindst er der antallet af år, hvor ingen kedler er installeret. Jo længere denne periode er, jo mere præcise resultater - simpelthen fordi modellen har brug for en vis datamængde for at kunne ”kalibrere” parametrene.

Der var et par tilfælde, hvor modellen ikke kunne bruges:

1. Hvis der, som tidligere nævnt, er tale om en uhomogen kedelbestand (fx viser kedel 9 noget, der ligner en ”dobbelt” Gauss-kurve; måske pga. ændringer på kedlen i perioden, hvor den blev solgt, pga. regionale installationsforskelle, eller at der simpelthen er tale om to forskellige kedler.)

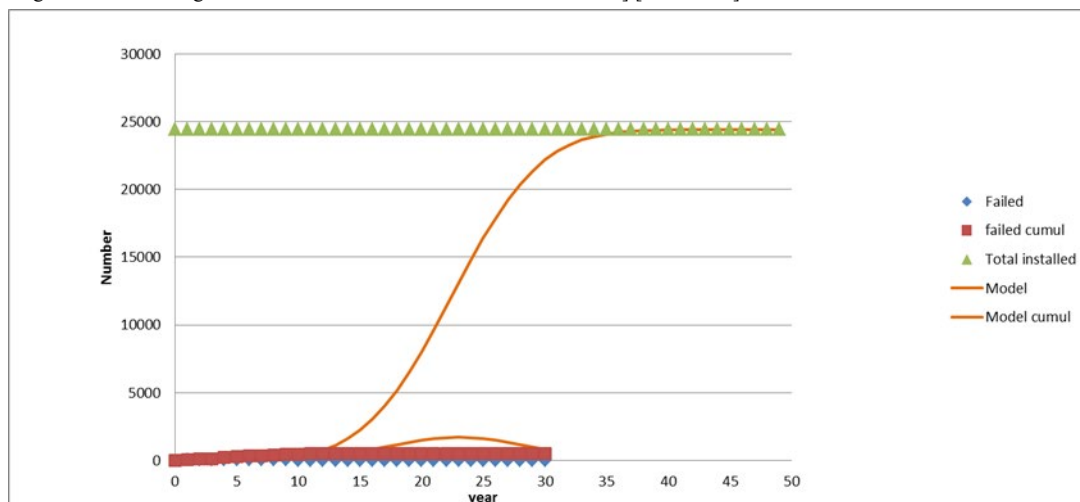
[Driftssvigt – Akk. Driftssvigt – Samlede installationer – Model – Akk. Model] [Antal – År]



Figur 4 Kedel 9 Reelt eksempel på tilføjelse af 2 Gauss-kurver

2. For ”ny” kedel: Kedlen er stadig solgt på markedet, hvilket besværliggør statistikken. Dette er tilfældet for fx kedel 13.

[Driftssvigt – Akk. Driftssvigt – Samlede installationer – Model – Akk. Model] [Antal – År]



Figur 5 Kedel 13

3. For lille bestand: I nogle tilfælde ville det sandsynligvis være muligt at få resultater ved at arbejde med de originale data og
 - a. hvis muligt identificere årsagen til den ikke-homogene bestand og omarbejde datamaterialet ved at udskille de originale data med de identificerede parametre, der forårsager uhomogeniteten (fx to forskellige modeller i samme datafil).
 - b. for kedler, der stadig er på markedet: At finde statistik udelukkende for de første år, så man får mindst 3 eller 4 år uden salg for den udvalgte bestand.

Det var dog ikke muligt at udføre dette arbejde inden for projektets rammer.

5. Hvor nøjagtig er modellen?

Vi har mødt to problemstillinger undervejs i arbejdet med datamaterialet:

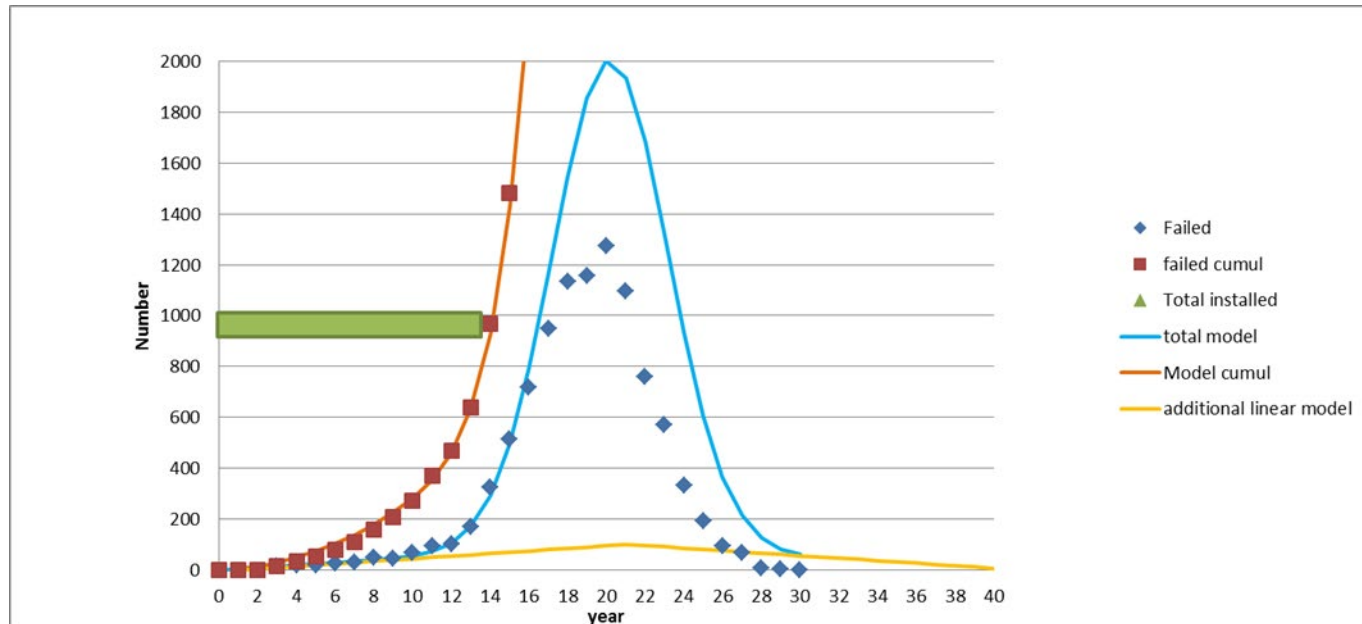
1. Er Gauss-modellen god nok til, at vi kan ekstrapolere og vurdere levetiden?
2. Hvor mange år uden salg er der behov for, for at vi kan få en tilfredsstillende nøjagtighed for levetiden?

Disse to problemstillinger kan illustreres og undersøges med kedel 4, som er en kedel med en stor bestand (> 16.000), og som er temmelig gammel (hovedsageligt solgt i perioden 1985-2001), hvilket gør det muligt at tjekke både detaljerne i modellen og resultatet, der udelukkende skulle være baseret på tidlige data (statistisk på de første år).

1. Nogle kedler passer ikke ind i Gauss-modellen (baseret på normalfordelingen). Dette kan skyldes større hyppighed af driftssvigt for nye apparater på markedet pga. fejldegnede svage komponenter eller komponenter hvis design ikke er tilstrækkeligt afprøvet.

I dette tilfælde har vi prøvet at supplere Gauss-kurven med en ekstra, lineær model, og vi har fundet et godt match, se Figur 6. Den lineære model inkluderer børnesygdomme i nye design/kedler.

[Driftssvigt – Akk. Driftssvigt – Samlede installationer – Model – Akk. model – Ekstra, lineær model] [Antal – År]



Figur 6 Gauss-model (rød) kombineret med en lineær model (gul) passer til denne kedel (blå kurve)

I den sidste ende ved vi endnu ikke, om dette viser sig at være en bedre model end den simple Gauss-model, da der er brug for en større datamængde for at kunne verificere, at den nye model er bedre.

Men det vigtigste er, at vi har set, at selv små uoverensstemmelser i Gauss-modellen ikke vil ændre levetiden synderligt (forskul < 1 år i dette eksempel).

2. Hvor mange år uden kedelsalg er der brug for, for at vi kan få en rimelig nøjagtighed for levetiden?

	Valideringspunkt	(år)	14	12	10	8	6	4
a	Kurvns top		9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
b	Midterposition		21,1	19,91	18,9	17,86	17,0	16,5
c	Standardafvigelse		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2

Vi har brugt en kedel (nr. 4) med en lang statistikperiode (14 år) for at tjekke, hvad levetiden ville have været, hvis den var blevet beregnet med en Gauss-model, hvis vi havde mindre datamateriale – henholdsvis 12, 10, 8, 6 eller 4 år.

Tabellen viser, at i det relevante tilfælde ville modellen baseret på en kortere periode ("valideringspunkt") føre til en underestimering af den aktuelle levetid: Baseret på 14 års datamateriale ville modellen give en levetid på 21,1 år, mens den kun ville være 16,5 år med 4 års datamateriale.

Dette betyder, at i sådanne tilfælde og særligt for kondenserende kedler kan den angivne levetid være underestimeret. Nøjagtigheden er også dårligere.

Øvelsen blev gentaget på flere kedler med samme resultat: En Gauss-model baseret på et for lille datamateriale vil føre til en underestimering af den aktuelle levetid.

6. Resultater

6.1. Undersøgte kedler

Ref.nr.	Kedeltype	Fabrikant	Ref.-nr.	Kedeltype	Fabrikant
1	traditionel	A	14	kondenserende	G
2	traditionel	A	15	kondenserende	G
3	traditionel	A	16	kondenserende	F
4	traditionel	A	17	kondenserende	H
5	traditionel	A	18	kondenserende	B
6	traditionel	A	19	kondenserende	I
7	traditionel	B	20	kondenserende	J
8	traditionel	D	21	kondenserende	K
9	traditionel	C	22	kondenserende	F
10	traditionel	B	23	kondenserende	G
11	traditionel	B	24	kondenserende	B
12	traditionel	E	25	kondenserende	E
13	kondenserende	A	26	kondenserende	A

6.2. Oversigt over resultater

Type	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	trad	Gnmsn. (**)
Ref.-nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Antal inst.	3012	1522	5968	16558	5459	3257	6600	1032	167	2264	584	2115		
Først inst. (*)	2002	1998	1988	1985	1994	1998	1994	1992	1992	1989	1996	1990		1991
Sidst inst. (*)	2008	2005	2000	2001	2001	2006	2005	1996	1994	1998	2001	2000		2002
År siden sidste salg/inst.	7	10	15	14	14	9	10	19	21	17	14	15		13,0
Data kan ikke bruges pga.									1)					
Stadig aktiv (2015)	91 %	71 %	41 %	34 %	39 %	69 %	71 %	8 %		34 %	56 %	14 %		46 %
Levetid	20,0	18,1	19,8	21,1	17,6	18,5	20,0	16,8		20,9	17,7	16,7		19,7
Standardafvigelse	5,4	4	4	4,2	3,6	5,4	4,9	3		3,5	4	2,9		4,2
Risiko for underestimeret levetid? (3)				Ja			Ja	Ja		Ja	Ja	ja		

Type	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	kond	Gnmsn. (**)
Ref.-nummer	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Antal inst.	24420	5500	2273	2843	2843	10795	82	323	693	1084	5292	591	1175	10285	
Først inst. (*)	2001	2005	1997	1996	1998	2002	1991	2005	1992	1996	2007	1998	1999	2001	1996
Sidst inst. (*)	2015	2014	2009	2010	2015	2014	1993	2014	1996	2006	2015	2009	2009	2014	2008
År siden sidste salg/inst.	0	1	6	5	0	1	22	1	19	9	0	6	6	1	7,2
Data kan ikke bruges pga.	2)	2)			2)	2)		2)			2)			2)	
Stadig aktiv (2015)			86 %	92 %			4 %		18 %	81 %		87 %	76 %		80 %
Levetid			20,0	19,8			8,0		18,3	18,0		16,5	16,6		18,7
Standardafvigelse			5,8	5,66			3,5		4	4		5	5		5,2
Risiko for underestimeret levetid? (3)			Ja	Ja					Ja			Ja	ja		

(*) Årstal for første kedelsalg/-installation / Årstal for sidste kedelsalg/-installation

(**) Gennemsnit vægtet med bestand

1) Uhomogen kedelbestand, "dobbel" Gauss-kurve

2) For "ny" kedel: Kedlen sælges eller er blevet solgt i de seneste 8 mdr., hvilket besværliggør statistikbehandling

3) To faktorer fører til underestimering pga. den anvendte metode: a) Tidligt driftssvigt, som ikke reflekteres af Gauss-modellen og/eller b) Lav værdi for "År siden sidste salg"

Gennemsnitlige levetider (*)

Gennemsnit traditionel kedel (år)	19,7 år
Gennemsnit kondenserende kedel (år)	18,7 år

(*) *Vægtet med antal installerede kedler.*

Kommentarer

1. Vi kan sandsynligvis uddrage flere resultater fra vores datamateriale for kondenserende kedler ved at udvælge de første installationsår og udarbejde separate statistikker.
2. Den faktiske forskel mellem kondenserende og traditionelle kedler skyldes sandsynligvis kun, at den anvendte metode underestimerer levetiden for kedler med for nye data.

7. Kommentarer om vurdering af levetid i andre referencer**Metoden brugt i /3/ er simple statistikker baseret på udskiftninger og som diskuteret i starten underestimeres den aktuelle levetid for kedler.**

Jo yngre kedelbestand, jo større afvigelse mellem aktuel levetid og levetiden angivet i /3/. Dette forklarer, hvorfor levetiden for kondenserende kedler er lav i analysen i /3/. Denne pointe anerkendes på en eller anden måde i rapportens konklusion /3/, men læseren kan stadig blive forvirret over tallene i tabellen på rapportens side 2.

Den angivne gennemsnitlige levetid i /3/ er 18 år, hvor vi mener (på baggrund af vores undersøgelse), at den nærmere er 20 år.

Hvorfor er metoden anvendt i /3/ ikke pålidelig nok til at vurdere en kedels levetid?

Metoden (med baggrund i faktiske registreringer af driftssvigt – eller udskiftninger) giver et tal for alderen af udskiftede kedler uden at tage antallet af kedler, der stadig er i drift, med i betragtningen. Dette tal kan kun blive lavere end den aktuelle kedellevetid. Det følgende eksempel (en kedel, hvor vi har en temmelig god historik) viser, hvilke uoverensstemmelser der vil være ved at bruge denne (for) forenkede metode.

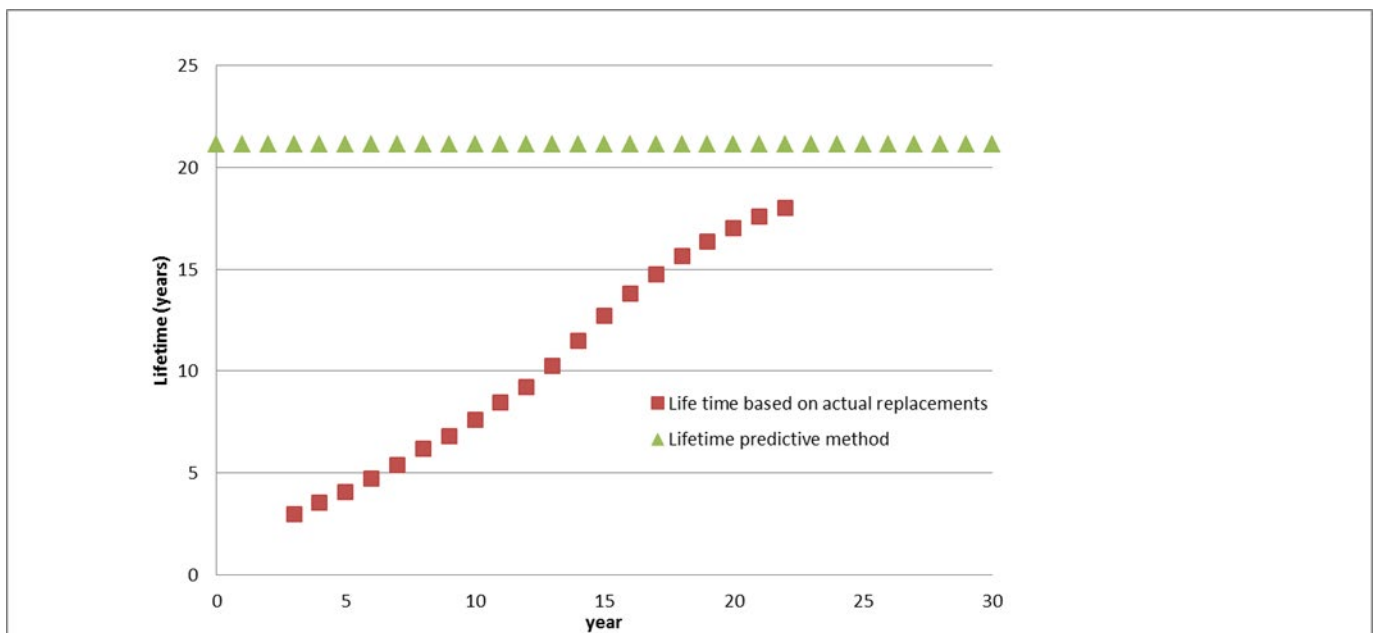
Eksempel, kedel nr. 4

Først installeret (*)	1985
Sidst installeret (*)	2001
Stadig aktiv (2015)	34%
Samlet antal inst.	16558
Kurvens top	9,5
Midterposition	21,1
Standardafvigelse	4,2

Den statistiske metode, vi har brugt, forudsiger en levetid på 21,1 år. Dette tal kan betragtes som temmelig nøjagtigt, idet

- der ikke er blevet installeret nogen kedler siden 2001
- kun 34 % stadig er i drift (dvs. modellen er baseret på 66 % af bestanden > levetid)

I nedenstående figur viser kurven med røde prikker udviklingen i levetid baseret på den enkle statistik over udskiftede kedler.



Kurven, der fremkommer, når man inkluderer de apparater, der stadig er på markedet, ligger meget under den forventede levetid, da gennemsnitsalderen for udskiftede kedler stiger over tid. Den vil først konvergere og i sidste ende nå den forventede levetid, når alle kedelmodeller er ude af drift (hvilket ikke er tilfældet her, da 34 % stadig er i drift).

8. Konklusion

Datamaterialet for traditionelle kedler er vældig godt: Det har været muligt at bruge datamaterialet for 11 ud af 12 kedler, svarende til samlet ca. 48.000 enheder.

Datamaterialet for kondenserende kedler er tilfredsstillende: Det har været muligt at bruge datamaterialet for 7 ud af 14 kedler, svarende til samlet ca. 9.000 enheder.

Levetidsanalysen af 26 kedler viser, at den gennemsnitlige levetid for kedler er omkring 20 år for både traditionelle og kondenserende kedler.

Mere præcist er tallene:

- Gennemsnit for traditionelle kedler: 19,7 år
- Gennemsnit for kondenserende kedler: 18,7 år

Så i praksis har vi fundet en lidt lavere levetid for kondenserende kedler, men metoden, vi har brugt, underestimerer den aktuelle levetid, da datahistorikken er relativt ny for de fleste kondenserende kedler.

9. Referencer

/1/ Facts and figures about domestic gas boilers

A compilation of results covering 25 years of testing at DGC's laboratory, project report, February 2016 (DGC project no. 741-28)

/2/ Prediction and evaluation of lifetime of boilers with existing statistics. Method feasibility study.

Jean Schweitzer, Danish Gas Technology Centre, October 2015

/3/ Kvalitetssikring af projektvurdering. Gaskedlers gennemsnitlige levetid og udskiftningshastighed.

Niras, 2. februar 2015