

Teknisk arbejds- papir:

Forsyningssik- kerhed i SFA- benchmarking

Juni 2022



KONKURRENCE- OG FORBRUGERSTYRELSEN

Forsyningssikkerhed i SFA-benchmarking

Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen

Carl Jacobsens Vej 35
2500 Valby
Tlf.: +45 41 71 50 00
E-mail: kfst@kfst.dk

Online ISBN 978-87-7029-780-6

Teknisk arbejdsrapport: Forsyningssikkerhed i SFA-benchmarking er udarbejdet af Forsyningssekretariatet, som er en del af Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen.

Juni 2022

Indhold

Kapitel 1	4
Forord	4
Kapitel 2	5
Introduktion	5
Kapitel 3	7
Data for forsyningssikkerhed	7
3.1 Data for forsyningssikkerhed	7
3.2 Samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerhed	8
Kapitel 4	11
Teori om benchmarking og SFA	11
4.1 Nuværende benchmarkingmodel	11
4.2 Teori om SFA-benchmarking	13
4.3 Basismodellen	16
Kapitel 5	18
SFA-modeller med forsyningssikkerhed	18
5.1 SFA-model med forsyningssikkerhed som outputs	18
5.2 SFA-model med samfundsøkonomiske omkostninger	19
Litteratur	28
Appendiks 1	29
Monotonicitet	29
Appendiks 2	31
Regressionsresultater for model S.0 og S.1	31

Kapitel 1

Forord

Dette arbejdsrapport er teknisk bilag til Forsyningssekretariatets analyse af mulige metoder til integration af forsyningssikkerhed i økonomisk benchmarking. I arbejdsrapporten beskriver vi teoretiske og principielle overvejelser ved at indarbejde ikke-økonomiske parametre – i dette tilfælde forsyningssikkerhedsparametre for drikkevand og spildevand – i en konkret SFA-model.

Vi bruger i dag to nationalt og internationalt velkendte benchmarkingmetoder til at måle danske vandselskabers økonomiske effektivitet – Data Envelopment Analysis (DEA) og Stochastic Frontier Analysis (SFA). Dette arbejdsrapport beskriver teoretiske og praktiske overvejelser ved at bruge SFA på forsyningssikkerhedsdata fra danske vandselskaber. DEA beskrives i særskilt arbejdsrapport.¹ Kapitel 3, 4.1 og 6.1 er identiske med de tilsvarende kapitler i DEA-arbejdsrapporten.

Baggrunden for dette arbejdsrapport kan findes i DEA-papirets følgebrev, som findes på vores hjemmeside.²

¹ Arbejdsrapporten for DEA-modellerne kan findes her <https://www.kfst.dk/vandtilsyn/analyser/forsyningssikkerhed-okonomisk-regulering-og-benchmarking/>

² Følgebrev for arbejdsrapporterne for både DEA og SFA kan findes her, <https://www.kfst.dk/vandtilsyn/analyser/forsyningssikkerhed-okonomisk-regulering-og-benchmarking/>

Kapitel 2

Introduktion

Forsyningssekretariatet har siden 2016 anvendt to forskellige metoder i en best-of-two-tilgang til benchmarking af de største vand- og spildevandsselskaber i Danmark. Modellerne er henholdsvis en Data Envelopment Analysis (DEA)-model og en Stochastic Frontier Analysis (SFA)-model. Begge metoder er internationalt anerkendte og udbredte. Yderligere informationer om vores benchmarkingmodeller kan findes på vores hjemmeside.³

SFA er en metode, som ved brug af statistiske metoder er i stand til at identificere hvert enkelt vandselskabs inefficiens og på den baggrund fastsætte hvert vandselskabs effektive omkostningsniveau. SFA er således en statistisk metode til estimation af fx omkostningsfunktioner, hvor fejlløbet er sammensat af statistisk usikkerhed/støj og inefficiens.

Dette arbejdsrapport undersøger mulighederne for at introducere forsyningssikkerhed til vores SFA-modeller. Der er udarbejdet et lignende rapport for vores DEA-modeller.⁴ Arbejdsrapporterne tager udgangspunkt i de benchmarkingmodeller, som blev brugt til at benchmarke drikkevandsselskaber i 2020. Der er kun udført analyser for drikkevandsselskaber, men metoderne kan også direkte anvendes for spildevandsselskaber. Modellerne i dette arbejdsrapport skal derfor ses som *eksempler*. Modellerne kan ligeledes udvides med flere og andre parametre for forsyningssikkerhed.

Når en omkostningsfunktion estimeres, skal de producerede mængder, rammebetingelser og andre forhold, som påvirker omkostningerne, inkluderes, da modellen ellers kan estimere selskabernes inefficiens forkert. De danske vandselskaber leverer ud over selve drikke- og spildevandsydelserne også forsyningssikkerhed. Forsyningssikkerhed antages at have omkostninger. Derfor kan det give upræcise efficiensscorer, hvis ikke forsyningssikkerhed inkluderes i modellen, ligesom det kan give selskaberne incitament til at levere et lavere eller for lavt niveau af forsyningssikkerhed.

Analyser finder imidlertid, at vandkvalitet og forsyningssikkerhed ikke er påvirket negativt af den økonomiske regulering og benchmarkingen.⁵ Så selv om man i princippet kan være bekymret for, at økonomisk regulering stiller selskaber med høj forsyningssikkerhed relativt dårligt, er der ikke tegn på, at dette rent faktisk er sket.

Der er alligevel gode argumenter for at inddrage forsyningssikkerhed i benchmarkingen. Dels kan det give et incitament til endnu højere forsyningssikkerhed, dels kan det give mere retvisende benchmarking af selskaberne, hvilket i sidste ende leder til mere retvisende effektivise-

³ <https://www.kfst.dk/vandtilsyn/benchmarking/>

⁴ Arbejdsrapport for DEA-modellerne kan findes på <https://www.kfst.dk/vandtilsyn/analyser/forsyningssikkerhed-okonomisk-regulering-og-benchmarking/>

⁵ Se det samlede analysemateriale på www.kfst.dk/vandtilsyn/analyser/forsyningssikkerhed-okonomisk-regulering-og-benchmarking/

ringskrav til de forskellige selskaber. Et bredt politisk flertal besluttede i 2018, at forsyningssikkerhed fremover skal integreres mere direkte i den økonomiske regulering af vandselskaberne.⁶

I dette arbejdspapir har vi forsøgt at anvende to forskellige tilgange til implementering af forsyningssikkerhed i vores SFA-modeller:

- » *Behandling af forsyningssikkerhed som noget selskaberne producerer.* Det kan antages, at selskaberne producerer et givent niveau af forsyningssikkerhed. Denne produktion er forbundet med en omkostning, og derfor kan den modelleres som en produktionsmængde. Dette har dog vist sig ikke at være en model, som kan anvendes til modellering af forsyningssikkerhed. Det skyldes, at omkostningsniveauet og forsyningssikkerheden (delvist) påvirker fastsættelsen af hinanden, hvilket bryder med en central teoretisk antagelse i omkostningsfunktioner. Delanalyser har vist, at problemet i vores model er for stort til, at vi kan fastsætte en model med forsyningssikkerhed som produktionsmængde.
- » *Benchmarking på baggrund af selskabernes samfundsøkonomiske omkostninger.* Ved at bruge betalingsvilligheder og afgifter som udtryk for forbrugernes velfærdsøkonomiske tab ved svigt i forsyningssikkerheden, kan vi lave en model med samfundsøkonomiske omkostninger for levering af ydelser i vandsektoren. Modellen giver selskaberne incitament til at levere det samfundsøkonomisk optimale niveau af forsyningssikkerhed og producerer resultater, som forekommer rimelige til benchmarking af vandsektoren.

⁶ Den politiske aftale fra 2018: www.kfst.dk/media/54111/justeret-oekonomisk-regulering-af-vandsektoren-22112018.pdf

Kapitel 3

Data for forsyningssikkerhed

Denne analyse tager udgangspunkt i Miljøministeriets liste over parametre, der definerer forsyningssikkerhed på hhv. drikke- og spildevandsområdet i Danmark (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2021). Definitionen af forsyningssikkerhed og uddybning af den tilhørende parameterliste fremgår af *Datanotat om forsyningssikkerhedsparametre*.⁷

3.1 Data for forsyningssikkerhed

Der er udvalgt tre parametre for forsyningssikkerhed, der som eksempler belyser mulighederne for at integrere forsyningssikkerhedsparametre i benchmarkingmodellerne. Når de resterende forsyningssikkerhedsparametre, som fremgår af parameterlisten er fravalgt, skyldes det, at data for nuværende endnu ikke er af en tilstrækkeligt høj kvalitet til benchmarking. Tabel 3.1 opsummerer de tre udvalgte forsyningssikkerhedsparametre.

Tabel 3.1 **Forsyningssikkerhedsparametre i analysen**

Parameter	Beskrivelse
Bakteriologiske overskridelser	Frekvensen af "forureningstilfælde" med mikrobiologisk forurening set i forhold til den producerede vandmængde, hvor der er korrigeret for den ekstra risiko for overskridelser, der forekommer, ved at selskabet har valgt at udvide sit kontrolprogram. Det skal kunne tilskrives vandforsyningens ansvar.
Ikke-planlagte afbrydelser	Nøgletallet belyser de gener, selskabets ikke planlagte afbrydelser har haft for kunderne.
Vandtab	Nøgletallet viser, hvor stor en procentdel af den vandmængde der pumpes ud på selskabet eget distributionsnet, der forsvinder som vandtab.

Anm.: Tabellen beskriver de tre parametre, der bruges i analysearbejdet.

Kilde: Datanotat om forsyningssikkerhedsparametre

En uddybende beskrivelse af data kan findes i *Datanotat om forsyningssikkerhedsparametre*. Heri beskrives også, hvordan data til de enkelte parametre er indhentet og opgjort til brug for analysen.

⁷ Datanotatet ligger her: <https://www.kfst.dk/vandtilsyn/analyser/forsyningssikkerhed-okonomisk-regulering-og-benchmarking/>

Som det fremgår af Tabel 3.1 er forsyningssikkerhed beskrevet som observationer af svigt i forsyningssikkerhed. Dvs. at de selskaber, som har den højeste forsyningssikkerhed, er de selskaber, som i et år har færrest hændelser inden for de tre parametre.

Data for de tre parametre er forskellige, da de repræsenterer forskellige typer af svigt i forsyningssikkerhed. Tabel 3.2 giver et overblik over data for de tre forsyningssikkerhedsparametre.⁸

Vi bruger som udgangspunkt 2019-data, da dette er det nyeste tilgængelige data. Data for 2017 og 2018 er også opgjort og bruges til at teste modellernes robusthed over flere år.

Nogle af benchmarkingmodellerne kræver, at data i nogen grad omregnes for at kunne håndteres korrekt i benchmarkingmodellerne. Ved de modeller, hvor det er relevant, vil det blive beskrevet nærmere.

Tabel 3.2 Oversigt over data for forsyningsparametre – 2019 data

Parameter	Min	1. kvartil	Median	Gennemsnit	3. kvartil	Maks
Bakteriologiske overskridelser (antal)	0	0	0	1,1	1,0	11,0
Ikke-planlagte afbrydelser (minutter total)	450	16.042	118.239	488.624	426.864	12.159.698
Vandtab (m ³)	12.894	96.660	164.118	216.623	253.254	1.744.702

Anm.: Tabellen viser data for 2019. Bemærk, at data er absolutte værdier og tager dermed ikke højde for forskelle i selskabernes størrelse.

Kilde: Egen tilvirkning.

3.2 Samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerhed

I én af de analyserede modeller anvendes et estimat for det velfærdsøkonomiske tab for forbrugerne ved et svigt i forsyningssikkerheden. Vi har valgt at anvende to forskellige estimater til brug for beregningen af det velfærdsøkonomiske tab ved svigt i forsyningssikkerheden: betalingsvillighed, som tidligere er opgjort og dokumenteret (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2020a) og afgift. Tabel 3.3 giver et overblik over de estimater, der bruges til beregning af omkostningerne. Vi antager, at afgiften, ligesom betalingsvilligheden, er et udtryk for forbrugernes velfærdsøkonomiske tab ved svigt i forsyningssikkerheden. Med disse estimater er det derfor muligt at beregne en faktisk værdi for det velfærdsøkonomiske tab ved svigt i forsyningssikkerheden.

⁸ Bemærk at enheden for vandtab er forskellige i tabel 3.1 og 3.2. Der skyldes, at enhederne i miljøstyrelsens performancebenchmarking for vandtab er i pct., mens der i dette arbejdsblad anvendes m³. Øvrige enheder er ens mellem tabellerne.

Tabel 3.3 **Betalingsvilligheder¹ og afgifter for forsyningssikkerhed**

Parameter	Omkostning	Type
Bakteriologisk overskridelse	70,3 kr. pr. overskridelse ²	Betalingsvillighed
Ikke-planlagte afbrydelser	4,3 kr. pr. afbrydelsesminut	Betalingsvillighed
Vandtab ³	6,18 kr. pr. m ³	Afgift

Note 1: Betalingsvillighederne er korrigeret for nettoafgift faktoren (NAF).

Note 2: Betalingsvilligheden for bakteriologiske overskridelser skal forstås som betalingsvilligheden for at undgå én bakteriologisk overskridelse pr. 1.000 vandprøver udtaget i vandselskabets ledningsnet.

Note 3: For vandtab bruges afgiften for ledningsført vand. Vandselskaberne skal i dag betale en afgift for vandtab som overstiger 10 pct. af den udpumpede vandmængde.

Anm.: Tabellen viser betalingsvilligheder og afgifter, som bruges til at værdisætte forbrugernes omkostninger ved svigt i forsyningssikkerhed.

Kilde: Betalingsvilligheder er opgjort i analysen "Forbrugernes betalingsvilje for forbedringer i vandsektoren (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2020a). Satsen for afgift for ledningsført vand findes på Skats hjemmeside <https://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser-i-lovgivningen/vandafgiftsloven/>

Betalingsvillighed skal forstås som den årlige ekstrabetaling, en forbruger er villig til at give for at undgå et svigt. Dermed kan betalingsvilligheden anvendes som den omkostning, svigtet har for forbrugeren. Da forbrugerne i gennemsnit er villige til at betale 4,3 kr. for at undgå et yderligere afbrydelsesminut om året, kan det antages, at forbrugerne i gennemsnit oplever en omkostning på 4,3 kr. pr. minuts afbrydelse. For hvert minut et vandselskab ikke kan levere vand til en forbruger, pålægger de altså forbrugeren og dermed også samfundet en omkostning på 4,3 kr. Ved at gange omkostningen med alle forbrugernes afbrydelser i løbet af et år, kan der findes et estimat for det velfærdsøkonomiske tab ved afbrydelser. Samme metode kan bruges for bakteriologisk overskridelser, hvor betalingsvilligheden er 70 kr. pr. overskridelse, pr. 1.000 prøver.

Betalingsvillighederne er kun indhentet hos privatforbrugere og ikke hos eksempelvis virksomheder. Det må dog forventes, at virksomheder på lige fod med private oplever omkostninger og gener ved svigt i forsyningssikkerhed. Herudover vil virksomheder med et stort vandforbrug opleve ekstra store gener ved svigt i forsyningssikkerheden, da det kan skade deres egen produktion. Da der ikke er udført betalingsvillighedsanalyser for danske virksomheder, antages det beregningsteknisk, at betalingsvilligheden for de private forbrugere også er repræsentativ for virksomheder. En fyldestgørende beskrivelse af, hvordan betalingsvillighederne er fundet, findes i *Forbrugernes betalingsvilje for forbedringer i vandsektoren* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2020a).

For enkelte forsyningssikkerhedsparametre betaler selskaberne allerede en afgift for svigt. Disse afgifter kan bruges som estimat for samfundsøkonomisk tab på lige fod med brugen af betalingsvillighed. Selskaberne pålægges i dag en afgift på 6,18 kr. pr. m³ for vandtab, som

overstiger 10 pct. af den udpumpede vandmængde⁹. Denne afgift kan bruges som estimat for det samfundsøkonomiske tab ved, at 1 m³ vand ikke når frem til kunden. Ved i benchmarkingen at pålægge selskabet afgift for *hele* den tabte vandmængde, får de et incitament til at nedbringe vandtabet til det niveau, hvor selskabets omkostninger til en yderligere reduktion er højere end afgiften.¹⁰

I dette arbejdspapir anvender vi tre forskellige udtryk for selskabernes omkostninger:

- » *Faktiske totale omkostninger*, som udtrykker selskabernes samlede produktionsomkostninger.
- » *Forbrugernes velfærdsøkonomiske tab*, som udtrykker det velfærdsøkonomiske tab for forbrugerne ved svigt i forsyningssikkerheden, dvs. betalingsvillighederne og afgiften fra tabel 3.3 ganget mængden af svigt.
- » *Samlede samfundsøkonomiske omkostninger*, som udtrykker den samlede omkostning for samfundet ved at forsyne vand.¹¹ De samlede samfundsøkonomiske omkostninger er summen af de faktiske totale omkostninger og forbrugernes velfærdsøkonomiske tab.

⁹ Afgiften for ledningsført vand per 1/2-2021 ændret. Link:

¹⁰ Afgift til ledningsført vand håndteret i dag som en såkaldt ikke-påvirkelig omkostning. For at give selskaberne det rette incitament bør omkostningen være påvirkelig.

¹¹ Vores data for de samlede samfundsøkonomiske omkostninger indeholder ikke alle informationer om de emner, som giver anledning til samfundsøkonomiske omkostninger. Eksempelvis har vi ikke eksternaliteter indeholdt i de samfundsøkonomiske omkostninger.

Kapitel 4

Teori om benchmarking og SFA

Når vi analyserer forskellige modelmuligheder, tager vi udgangspunkt i SFA-metoden for den nuværende benchmarkingmodel for drikkevandssektoren. Denne model har været anvendt til at stille effektiviseringskrav i 2020 men bliver løbende på et fagligt grundlag opdateret for kontinuerligt at forbedre metoden, så den giver så retvisende resultater som muligt. Derfor danner den et godt grundlag for at integrere forsyningssikkerhed.

Dette kapitel indeholder først en overordnet beskrivelse af den nuværende benchmarkingmodel og herefter en præsentation af den generelle benchmarkingteori, der er relevant for arbejdet i dette arbejdsrapport.

4.1 Nuværende benchmarkingmodel

Benchmarking er en metode til at sammenligne vandselskabers performance for at bestemme deres individuelle omkostningsefficiens opgjort ved en såkaldt efficiensscore. Det er en score mellem nul og én, hvor én indikerer, at selskabet er fuldstændig omkostningsefficient.¹² Efficiensscoren indgår i fastlæggelsen af hvert selskabs individuelle effektiviseringskrav, som selskaberne får udmeldt i de økonomiske rammer.

Omkostninger og netvolumenmål

For at kunne benchmarke vandselskaberne er det en forudsætning, at selskabernes omkostninger samt aktiviteter og aktiver opgøres ensartet. Omkostningerne er givet som selskabernes totale omkostninger i kroner. Der findes dog ikke en tilsvarende simpel måde at opgøre selskabernes aktiviteter og aktiver på. Af den årsag er der til brug for benchmarkingen udviklet *netvolumenmål*, der angiver produktionsvolumen af hvert selskabs driftsaktiviteter (OPEX) og anlægsmasse (CAPEX).

Netvolumenmålene udtrykker de gennemsnitlige omkostninger ved at drive et drikkevands-selskab. Netvolumenmålet for CAPEX er bestemt af pris- og levetidskataloget (POLKA), hvorimod OPEX-netvolumenmål er baseret på gennemsnitlige driftsomkostninger forbundet med at drive en række overordnede aktiviteter (costdrivere) i selskabet. Netvolumenmålene inkluderer dermed de forskelligheder, der er mellem selskabernes produktion, og kan derfor bruges som et output i benchmarkingen, da netvolumenmålet kan sammenlignes på tværs af selskaber.

Benchmarking med SFA og DEA

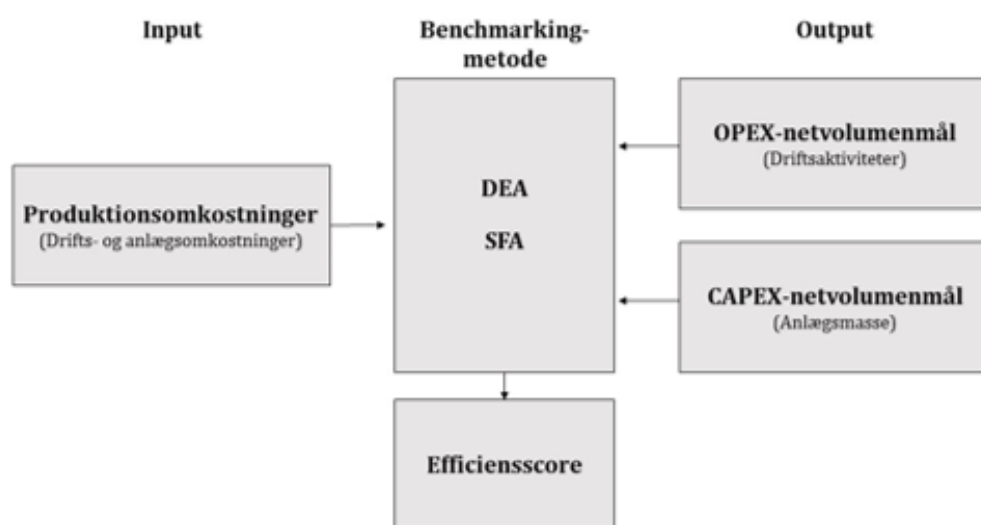
Benchmarkingen indeholder dermed et enkelt input (faktiske totale omkostninger) og to output (netvolumenmål), jf. Figur 4.1. Benchmarkingmodellen er omkostnings (input)-orienteret, hvilket betyder, at selskaberne skal mindske deres faktiske totale omkostninger (input) ved given produktion (output). Det betyder, at modellen overlader til selskaberne at vurdere, hvilket output (netvolumenmål) der er nødvendige for at servicere deres kunder. Modellen

¹² For DEA gælder det, at en score på én indikerer, at selskabet er et af de – eller dét – mest omkostningsefficiente selskab.

stiller alene krav til, at selskabet skal producere dette output ligeså billigt, som de bedste selskaber kan gøre det.

Der anvendes to forskellige benchmarkingmetoder til at evaluere selskaberne: DEA og SFA. Metoderne har det til fælles, at de på systematisk vis beregner hvert selskabs omkostningseffektivitet (efficiensscore) ved brug af det samme data. Der er fordele og ulemper ved begge metoder. Derfor får selskaberne tildelt efficiensscore efter den benchmarkingmetode, som stiller dem bedst. Denne tilgang kaldes *best-of-two*. *Best-of-two*-tilgangen afhjælper, at meto-
deusikkerhed i benchmarkingen giver selskaberne for lave efficiensscorer. Den er altså et forsigtighedshensyn, som reducerer risikoen for, at selskaberne stilles effektiviseringskrav, der er for høje.

Figur 4.1 Illustration af benchmarkingmetoder



Anm.: Figuren illustrerer processen ved den økonomiske benchmarking. På baggrund af input (omkostninger) og output (netvolumenmål) beregnes en efficiensscore for hvert selskab. Der beregnes en score ved brug af både DEA og SFA metoder. Selskabet tildeles den bedste af de to scorer (best-of-two).

Kilde: Egen tilvirkning

En nærmere gennemgang af den nuværende benchmarkingmodel findes i de årlige benchmarkingmodelpapirer, som offentliggøres på Konkurrence- og Forbrugerstyrelsens hjemmeside (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, u.d.).

4.2 Teori om SFA-benchmarking

I det følgende gennemgås kort, hvordan selskabernes efficiensscorer beregnes ved brug af SFA-metoden. En nærmere beskrivelse af SFA fremgår af vores baggrundsnotatet *Dokumentationsnotat til beskrivelse af Forsyningssekretariatets SFA-model*, som findes på vores hjemmeside.¹³

Stochastic Frontier Analysis (SFA)

SFA er en udbredt benchmarkingmetode, der er i stand til at tage højde for både inefficiens og generel støj i data. Med SFA anvendes regressionsanalyse til at sammenligne selskaber og bestemme deres efficiens. Selskaberne sammenlignes på baggrund af deres faktiske omkostninger og outputs, hvor sidstnævnte er et udtryk for det, selskaberne producerer.¹⁴

SFA er grundlæggende en metode til estimation af bl.a. omkostningsfunktioner. Når en funktion estimeres med SFA, inddeles fejleddet i et såkaldt støjled og et inefficiensled. Det betyder, at modellen både kan identificere variation i den afhængige variabel som værende reel støj og inefficiens. Datasæt og modeller påvirkes næsten altid af støj, hvilket kan skyldes målefejl, udeladte variable, etc. Det kan dog også skyldes inefficiens, hvilket giver anledning til at anvende SFA.

I reguleringen af vandsektoren anvender vi en SFA-model til at estimere en omkostningsfunktion. Det betyder, at vi antager, at selskaberne har en omkostningsminimerende adfærd. Denne antagelse er væsentlig for benchmarkingen og gør, at det er meningsfuldt at stille individuelle effektiviseringskrav til vandselskabernes økonomiske rammer. Omkostningsfunktioner defineres gennem minimeringsproblemet

$$c(y) = \min_x \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (1)$$

$$\text{st. } f(x) \geq y,$$

hvor $c(y)$ er en omkostningsfunktion, x_i er mængden af input i , y er en given mængde output og $f(x)$ er en produktionsfunktion.¹⁵ En produktionsfunktion beskriver, hvordan input omdannes til output. Det betyder, at en omkostningsfunktion angiver det minimale omkostningsniveau, som er nødvendigt for at producere outputmængden y .

For at forstå hvordan SFA-metoden virker, er det nødvendigt først at anskue den udbredte OLS-metode,¹⁶ som ofte anvendes til estimering af omkostningsfunktioner. Ud fra OLS kan omkostningsfunktionen estimeres ved

$$c = c(y) + r, \quad (2)$$

hvor r er fejleddet. Fejleddet udtrykker den del af omkostningerne, som den forklarende variabel y ikke kan forklare.

¹³ SFA-baggrundsnotatet findes under "Baggrundsmetoderne" på vores hjemmeside [her](#).

¹⁴ I benchmarking af vandsektoren antages, at selskaberne ikke har mulighed for at øge deres output, men at de derimod kan reducere deres omkostninger, for at opnå en højere effektivitet.

¹⁵ I omkostningsfunktioner indgår også variabelen w , som er inputpriserne. I vores SFA-model antager vi, *law-of-one-price* er gældende. Det betyder, at alle selskaber kan købe deres inputs til samme priser, hvilket gør, at w matematisk set udgår af ligningen.

¹⁶ OLS står for Ordinary Least Squares og er en almindelig metode til regressionsanalyse, der estimerer parameterværdier i en lineær regression ved brug af mindste kvadraters metode.

Når omkostningsfunktionen estimeres ved brug af OLS, tilskrives hele fejleddet, at der er støj i modellen. Det kan være problematisk, da en del af fejleddet også kan skyldes, at nogle selskaber er inefficiente. Når vandselskabernes omkostninger estimeres med OLS antages det derfor implicit, at alle selskaber er efficiente. Dette er ikke en rimelig antagelse, hvilket betyder, at OLS ikke er velegnet til estimation af omkostningsfunktionen.

For at tage højde for inefficiens blandt selskaberne, kan man i stedet estimere omkostningsfunktionen fra ligning (3) ved brug af SFA:

$$c = c(y) + u + v, \quad (3)$$

hvor v er støj, mens u er omkostningsinefficiens. v og u udgør tilsammen fejleddet i SFA-modellen, $r = v + u$.¹⁷ Det betyder, at SFA-modellen fordeler den statistiske usikkerhed i støj og inefficiens.¹⁸

Ligesom i OLS-modellen indeholder støj den del af variationen i den forklarende variabel, som modellen ikke kan forklare. Det kan fx være måleusikkerhed, unøjagtigheder i datasættet, udeladte forklarende variable, og/eller approksimationsfejl i funktionsformen. Forskellen fra OLS ligger altså i, at selskabernes inefficiens indgår særskilt i modelspecifikationen, hvorfor det ikke fremgår af støjleddet. OLS og SFA er illustreret i figur 4.2.

I figuren bliver omkostningsfunktionen forskudt nedad, når den estimeres med SFA (den røde linje) frem for OLS (den sorte linje). Årsagen hertil skal findes i definitionen af en omkostningsfunktion. Som nævnt tidligere, angiver omkostningsfunktionen de *mindst* mulige omkostninger, som et selskab bruger på at producere en given mængde output. Ved estimering med OLS, vil alle variationer i data som funktionen ikke kan forklare blive tilskrevet støj. Modellen antager derfor, at det minimale omkostningsniveau er midt mellem datapunkterne, således at alle selskaberne gennemsnitlig afviger lige meget fra funktionen. I SFA antages det derimod, at nogle selskaber kan være inefficiente. Derfor afviger selskaberne gennemsnitligt ikke lige meget fra funktionen. Da noget af afvigelsen fra funktionen nu ikke er støj men inefficiens, kan nogle selskaber reducere deres omkostninger (uden at reducere output). Det betyder, at det er muligt for selskaber at reducere deres fejleddet, r_{SFA} . Da dette almindeligvis sker for mange selskaber, betyder det, at det minimale omkostningsniveau for et givent produktionsniveau falder sammenlignet med OLS. Derfor forskydes omkostningsfunktionen i nedadgående retning.

Figuren viser også forskellen i fejleddet i SFA og OLS. Fejleddet fra OLS, r_{OLS} , er angivet som afstanden mellem datapunktet og OLS-omkostningsfunktionen. Fejleddet fra SFA, r_{SFA} , er i stedet afstanden mellem data punktet og SFA-omkostningsfunktionen. SFA-fejleddet er større, fordi funktionen forskydes nedad, mens datapunktet forbliver uændret. SFA-fejleddet består endvidere af støj, v , og inefficiens, u . Fordelingen mellem støj og inefficiens er ikke givet, og skal i figuren alene ses som et illustrativt eksempel.

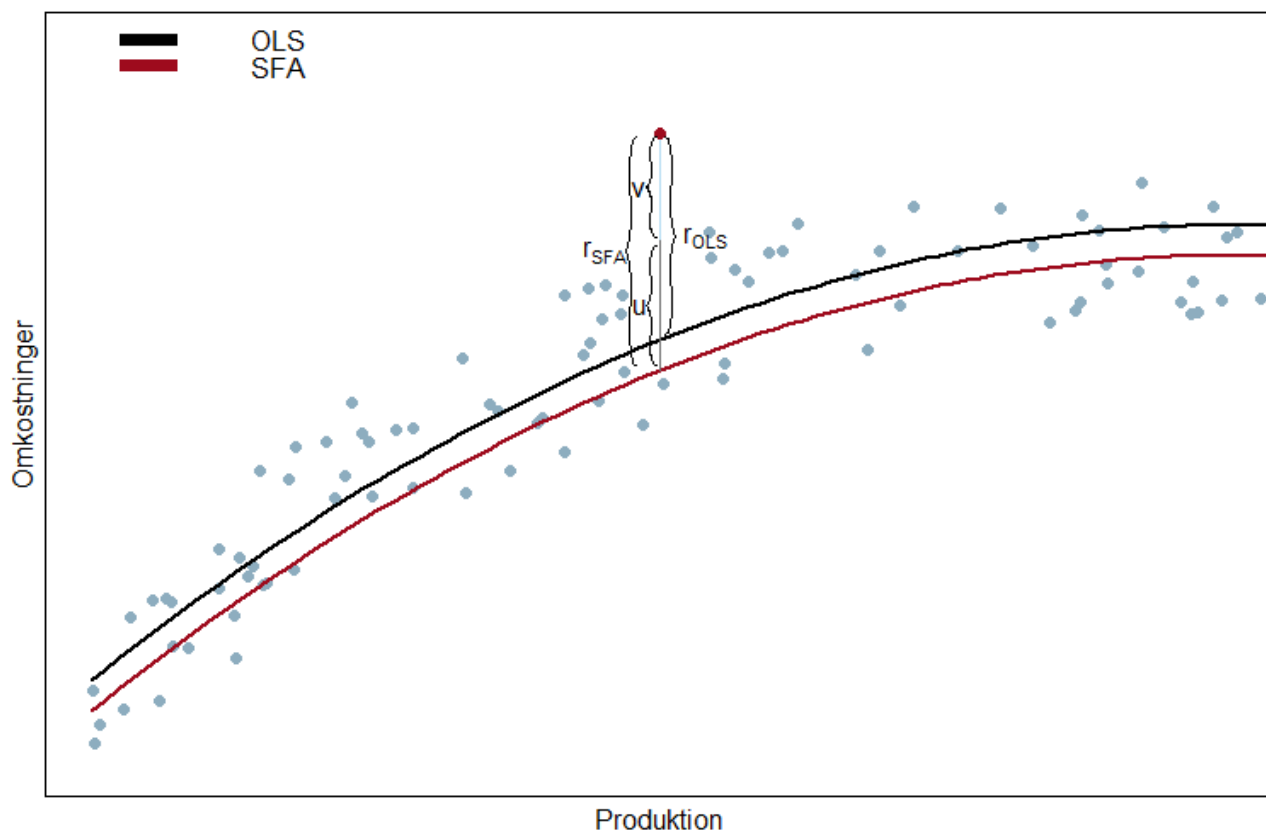
I figuren er der også en række observationer, som ligger under SFA-omkostningsfunktionen. Observationer, som ligger under omkostningsfunktionen, vil i hovedreglen have høje efficiensscorer. Det skyldes, at deres omkostninger er lavere, end omkostningsfunktionen, som angiver

¹⁷ Det er vigtigt at være opmærksom på, at fejleddet, r , i OLS og SFA ikke er ens, med mindre alle selskaber er efficiente.

¹⁸ SFA-modellen bruger en maximum-likelihood estimator til at estimere modelparametrene, hvorfra selskabernes efficiensscorer kan beregnes. Konkret foregår det ved at maksimere en likelihood-funktion, som bruger modellens parametre samt fordelingerne af v og u til at finde de værdier, som samlet set giver den højeste værdi af likelihood-funktionen. Det vil sige de parameter-værdier, der – for givne værdier af de forklarende variable i datasættet – maksimerer sandsynligheden for at opnå værdierne af den afhængige variabel. Dette foregår gennem en iterativ proces, hvor en maksimeringsalgoritme afsøger kombinationerne af SFA-modellens parametre. Mere information om maximum-likelihood estimatoren kan bl.a. ses i Bogetoft og Otto (2011).

de minimale omkostninger. Grunden til at observationerne under omkostningsfunktionen ikke får en efficiensscore på 1 er, at SFA-modellen vil estimere at noget af afvigelsen er støj.

Figur 4.2 Eksempel på SFA og OLS



Anm.: Illustration af SFA og OLS baseret på simuleret data. Den sorte linje markerer omkostningsfunktionen estimeret ved OLS, mens den røde linje markerer funktionen estimeret med SFA.

Kilde: Egen tilvirkning

En central teoretisk antagelse for omkostningsfunktioner er antagelsen om monotonicitet. Monotonicitet betyder blandt andet, at omkostningerne ikke må falde, hvis en outputmængde stiger. Monotonicitet er særligt centralt, da brud på det bevirker, at et selskabs efficiens øges, hvis deres netvolumenmål falder relativt til deres omkostninger. Derudover kan ét brud med antagelsen påvirke modellens evne til at estimere alle selskabernes efficiensscore. Derfor er det nødvendigt at modificere modellen, så monotonicitet sikres for alle selskaber. Dette gøres ved brug af en statistisk metode (Henningsen og Henning, 2009). Både monotonicitet og metoden til at sikre det er forklaret nærmere i appendiks 1. I dette arbejdsrapport præsenteres udelukkende efficiensscore fra modeller, hvor monotonicitet er sikret.

4.3 Basismodellen

I dette afsnit præsenteres basismodellen for SFA-benchmarking i dette arbejdspapir. Modellen er identisk med den SFA-model, som blev brugt til benchmarking af drikkevandsselskaberne i 2020. I alle modeller vil de samme antagelser være gældende omkring inefficiens og støj. Disse antagelser er beskrevet i vores dokumentationsnotat for SFA-modellen.¹⁹

Vores basismodel er en såkaldt log-log-model. Det betyder, at både den afhængige og de forklarende variable er logaritmetransformeret. Logaritmetransformering betyder, at der tages logaritmen til en variabel, og bruges som regel når en variabel har en skæv fordeling.²⁰ Det kan fx være tilfældet, hvis variablen har relativt mange store observationer. Dertil kan så komme rammebetingelser, som ikke nødvendigvis skal logaritmetransformeres. Grundformen for log-log-modeller til estimering af omkostningsfunktioner kan skrives som

$$\log(c) = \log(c(y)) + u + v \quad (4)$$

Translogmodellen

Der findes flere funktionsformer til at estimere ligning (4). Vi anvender den udbredte translogmodel. Det skyldes primært translogmodellens fleksibilitet, som giver den gode egenskaber til at modellere produktionen i vandsektoren, og at den er forholdsvis fleksibel i forhold til antagelser om produktionsteknologien (Henningsen, 2019). Translogmodellen skrives som

$$\log(c) = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \log(y_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \log(y_i) \log(y_j) + v + u \quad (5)$$

Hvor β_0 er interceptet/konstanten, β_i og β_{ij} er parametre og m er antallet af outputs, som produceres. I vores basismodel indgår OPEX- og CAPEX-netvolumenmålene som outputs (y_i), mens c gives ved de faktiske totale omkostninger (herefter FATO). Derudover korrigeres der for rammebetingelserne alder og tæthed direkte i modellen, uden at de logaritmetransformeres. Desuden antager vi, at effekten fra alder og tæthed ikke afhænger af outputmængderne. Det betyder, at effekten af rammebetingelserne ikke afhænger af selskabernes størrelse. Dermed fremkommer vores basismodel:

$$\begin{aligned} \log(FATO_i) = & \beta_0 + \beta_1 \log(OPEX_i) + \beta_2 \log(CAPEX_i) + \beta_{11} \log(OPEX_i)^2 \\ & + \beta_{22} \log(CAPEX_i)^2 + \beta_{12} \log(OPEX_i) \log(CAPEX_i) + \delta_1 alder_i \\ & + \delta_2 tæthed_i + v_i + u_i \end{aligned} \quad (6)$$

Selvom translogmodeller er meget udbredte, har de stadig ulemper. I implementering af forsyningssikkerhed i SFA, er det primært tre emner, som kræver særlig opmærksomhed.

For det første er antallet af frihedsgrader²¹ lavt i den nuværende model, som estimerer otte parametre. Når antallet af frihedsgrader falder, bevirker det blandt andet, at modellens p-værdier og standardfejl stiger, og parameterestimererne bliver mindre præcise. Det betyder, at de estimerede efficiensscorer også vil blive mindre præcise. Når der er få frihedsgrader, skal en

¹⁹ SFA-baggrundsnotatet findes under "Baggrundsmetoderne" på vores hjemmeside [her](#)

²⁰ Med en skæv fordeling menes, at fordelingen af en variabel afviger fra den fordeling, som det i modellen antages at variablen har.

²¹ Frihedsgrader refererer til hvor mange estimerer i en model, som kan sættes frit. Dette afhænger af hvor mange observationer og variable man har i sit datasæt. Der er ikke nogle håndfaste regler for, hvor mange frihedsgrader der er påkrævet for at lave en analyse, udover at jo flere frihedsgrader, jo bedre.

tilføjelse af en ekstra variabel derfor kun ske, hvis det under hensyntagen til den ekstra usikkerhed stadig vurderes gavnligt.

For det andet medfører mange parametre risiko for multikollinearitet. Multikollinearitet betyder, at flere af de forklarende variable er stærkt korrelerede. Det gør, at modellen har svært ved at skille de forskellige variables effekt fra hinanden. Et af de typiske tegn på multikollinearitet er insignifikante parameterestimer. Parametrene kan dog alligevel have en effekt på selskabernes omkostninger, hvilket fx kan testes ved brug af en Wald-test (Wooldridge, 2015).

Tabel 4.1 Efficienssscorer for mode S.0 (Basismodellen)

Model	Min	1. Kvartil	Median	Gennemsnit	3. Kvartil	Maks
S.0	0,68	0,84	0,89	0,87	0,92	0,96

Anm.: Efficienssscorer beregnet for basismodellen beregnet på baggrund af data for 2019.

Kilde: Egen tilblivelse

For det tredje medfører flere variable i en SFA-model, at den gennemsnitlige efficiensscore i hovedreglen stiger, da variansen falder. Vi bruger bl.a. SFA til at fastlægge et selskabs individuelle effektiviseringspotentiale. Der skal derfor være en velfunderet årsag til at inkludere en ekstra variabel, da effektiviseringspotentialet ellers falder, alene på grund af at antallet af variable stiger.

Tabel 4.1 viser et overblik over efficiensscorerne fra basismodellen. Fra tabellen kan det ses, at 50 pct. af selskaberne har en efficiensscore mellem 0,84 og 0,92. Det betyder, at de fleste selskaber kan reducere deres omkostninger med mellem 8 og 16 pct. Det ses også, at der ikke er stor forskel mellem 3. kvartil og den højeste efficiensscore. Det indikerer, at der er en stor gruppe selskaber, som har høj efficiens. Fra 1. kvartil til den laveste efficiensscore er der et relativt stort fald på 0,16. Det indikerer, at der er en gruppe selskaber, som har et betydeligt omkostningsmæssigt efterslæb.

Kapitel 5

SFA-modeller med forsyningssikkerhed

I dette kapitel gennemgår vi to metoder til implementering af forsyningssikkerhed i SFA-modeller.

5.1 SFA-model med forsyningssikkerhed som outputs

I dette afsnit redegør vi for de udfordringer, som opstår, hvis forsyningssikkerhed skal implementeres i SFA-modeller som forklarende variable, dvs. outputs. Når forsyningssikkerhed integreres som ekstra outputs, betyder det, at forsyningssikkerhed indgår i modellen ligesom OPEX- og CAPEX-netvolumenmålene. Det betyder også, at forsyningssikkerhed har samme teoretiske antagelser knyttet til sig.

Overordnet set kan vi ikke opstille en model med det tilgængelige data, som integrerer forsyningssikkerhed i basismodellen som outputs. Derfor fremgår der ikke resultater af benchmarkmodeller med forsyningssikkerhed som output.

Hovedårsagen til, at vi ikke kan opstille en sådan model, skal findes i vores variable for forsyningssikkerhed. Forsyningssikkerhed kan (delvist) fastsættes af selskaberne selv, fordi miljøreguleringen stiller krav til nogle af variablene, og som selskaberne derfor skal leve op til. Miljøreguleringen sætter imidlertid kun en ramme for selskabernes adfærd omkring forsyningssikkerhed. Inden for miljøreguleringens rammer kan selskabernes direktion og bestyrelse i et vist omfang selv bestemme, hvor meget forsyningssikkerhed, selskabet skal producere. Fx efterspørgsel fra ejere eller forbrugere og virksomheder i forsyningsområdet dog påvirke.

Når selskaberne selv kan fastsætte, hvor meget forsyningssikkerhed de vil producere, medfører det, at de også selv kan bestemme, hvor mange omkostninger de vil bruge på forsyningssikkerhed. Omkostningerne og forsyningssikkerhedsniveauerne fastsættes samtidigt og afhænger af hinanden. Denne sammenhæng mellem de forklarende og den afhængige variabel kaldes *endogenitet*.²² Der må ikke forekomme endogenitet, når vi estimerer en SFA-model.

Antagelsen om fravær af endogenitet for outputs er helt central. Er den brudt, skal resultaterne fortolkes varsomt, og det kan betyde, at det ikke er meningsfuldt at estimere omkostningsfunktionen. Det skyldes, at modellen beregner både koefficienter, støj og inefficiensled forkert. Dette problem kaldes *bias*.²³

Bias kan blandt andet gøre, at modellerne undervurderer effekten af den forklarende variabel. Det giver selskaberne incitament til at producere for lidt forsyningssikkerhed. I ekstreme tilfælde kan det endda ændre fortegnet på koefficienterne. Her vil det give selskaberne incitament til at sænke forsyningssikkerheden. Det skyldes, at en negativ koefficient for et output

²² Formelt set defineres endogenitet som korrelation mellem en eller flere forklarende variable og modellens fejllid (Wooldridge, 2015)

²³ Yderligere information om endogenitet og bias kan bl.a. ses i Wooldridge (2015)

afspejler, at selskaberne bør reducere deres omkostninger, når de øger det pågældende output. Det går imod vores antagelse om, at det koster penge af øge forsyningssikkerheden. Derfor kommer selskaberne til at få lave efficiensscorer, hvis de har høj forsyningssikkerhed.

Vi har foretaget en række analyser, hvor vi modellerer forsyningssikkerhed som forklarende variable. Analyserne viser, at der netop er problemer med endogenitet i modellerne.

Den typiske løsning på endogenitet er at bruge såkaldte instrumenter. Instrumenter er variable, som forklarer den endogene variabel (i vores tilfælde forsyningssikkerhed), men som ikke fastsættes samtidigt med den afhængige variabel.²⁴ Vi har dog ikke fundet velegnede instrumenter for forsyningssikkerhed og kan derfor ikke bruge denne tilgang.

Det er på baggrund af ovenstående vores vurdering, at problemerne med endogenitet i vores modeller er for store til, at de kan estimeres meningsfyldt. Vores SFA-modeller kan derfor ikke på nuværende tidspunkt integrere forsyningssikkerhed som outputs.

5.2 SFA-model med samfundsøkonomiske omkostninger

Idéen bag denne model er at anvende forbrugernes velfærdsøkonomiske tab ved svigt i forsyningssikkerheden ved at lægge dem til selskabernes faktiske totale omkostninger i benchmarkingmodellen. Derved fås de samlede samfundsøkonomiske omkostninger. Denne model er også beskrevet i *Forsyningssikkerhed og regulering af vandsektoren* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2021a) og i *Teknisk arbejdsrapport: Forsyningssikkerhed i DEA-benchmarking* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2021b)²⁵. Forbrugernes velfærdsøkonomiske tab, faktiske totale omkostninger og samlede samfundsøkonomiske omkostninger forkortes herefter hhv. FV, FATO og SSO. De tre terminologier er defineret i boks 6.1.

Boks 5.1 Forkortelser

I dette arbejdsrapport anvendes tre forkortelser for de omkostninger, som indgår i vores SFA-model med samfundsøkonomiske omkostninger:

- » *FATO – Faktiske Totale Omkostninger*. FATO udtrykker selskabernes samlede produktionsomkostninger.
- » *FV – Forbrugernes Velfærdsøkonomiske tab*. FV udtrykker det velfærdsøkonomiske tab, som forbrugerne har i forbindelse med svigt i forsyningssikkerheden. Det findes ved at gange betalingsvilligheder og afgifter med antallet af svigt i forsyningssikkerheden.
- » *SSO – Samlede Samfundsøkonomiske Omkostninger*. SSO udtrykker den samlede omkostning, som samfundet har ved forsynings af vand. SSO er summen af FATO og FV.

Ved at anvende den samfundsøkonomiske model undgår vi, at antallet af parametre stiger, når forsyningssikkerhed tilføjes til modellen. Netop antallet af parametre kan være en udfordring,

²⁴ Formelt betyder det, at instrumentvariable er korreleret med den endogene variabel og ukorreleret med fejllæddet. Yderligere information om instrumentvariable kan ses i Wooldridge (2015)

²⁵ Metoden med at indregne omkostninger til svigt i forsyningssikkerhed som en del af forsyningsselskabernes omkostninger bruges blandt andet i reguleringen af den norske elsektor. Her indregnes forbrugerne omkostninger ved ikke leveret el som en del af selskabets omkostninger i den økonomiske benchmarking jf. NVE (2020)

når omkostningsfunktionen estimeres ud fra en translog-model. Dermed bliver modellen mere robust, end hvis forsyningssikkerhed blev implementeret som selvstændige variable. Samtidigt giver det selskaberne incitament til at vælge et samfundsøkonomisk optimalt niveau af forsyningssikkerhed. For at vandselskaberne agerer samfundsøkonomisk optimalt, er det nødvendigt, at de også er omkostningseffektive.²⁶

Udfordringen ved modellen er, at det kræver et godt estimat for betalingsvillighederne. Det skyldes som tidligere nævnt, at estimatet udtrykker den omkostning, som et svigt i forsyningssikkerheden har for samfundet gennem et velfærdstab for forbrugerne. Kan et selskab fjerne et svigt i forsyningssikkerheden til en pris, som lavere end estimatet for betalingsvilligheden, bør selskabet gøre det. Hvis den betalingsvilligheden er estimeret for højt, betyder det, at selskaberne vil overinvestere i forsyningssikkerhed. Er estimatet for lavt, vil de underinvestere. Det betyder, at et upræcist estimat for betalingsvillighederne giver selskaberne et incitament til at fokusere på forsyningssikkerhed på et niveau, som ikke er samfundsøkonomisk optimalt.

5.2.1 Data for forbrugernes velfærdsøkonomiske tab og de samlede samfundsøkonomiske omkostninger

De samfundsøkonomiske omkostninger ved svigt i forsyningssikkerheden beregnes på baggrund af de betalingsvilligheder og afgifter, som er beskrevet i Kapitel 3. Ved at gange disse priser for svigt i forsyningssikkerheden med selskabernes faktiske antal svigt, beregnes det samlede velfærdsøkonomiske tab, som forbrugerne oplever.

FV's betydning for det enkelte selskabs SSO i benchmarkingen varierer betydeligt mellem selskaberne. For de selskaber som har lavest svigt i forsyningssikkerhed (1. kvartilen), udgør FV mindre end 5 pct. af SSO. For selskaber med den dårligste forsyningssikkerhed (3. kvartilen) udgør FV mere end en tredjedel af SSO, jf. Tabel 5.1. I gennemsnit udgør FV 20 pct. af SSO.

²⁶ For at sikre, at selskaberne har et incitament til at lægge sig på det samfundsøkonomisk optimale niveau af forsyningssikkerhed på både kort og lang sigt, kræver det, at den samfundsøkonomiske omkostning afholdes af selskaberne og ikke kun medtages i benchmarkingen. På kort sigt, vil selskaberne ikke have et incitament til at forøge deres niveau af forsyningssikkerhed, hvis de samfundsøkonomiske omkostninger kun indgår i benchmarkingen og ikke afholdes som faktiske omkostninger. Denne problemstilling opstår fordi der er en indhentningshastighed på de effektiviseringskrav, der stilles til vandselskaberne i dag, og er nærmere beskrevet i *Forsyningssikkerhed og regulering af vandsektoren* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2021).

Tabel 5.1 Oversigt over vandselskabers samfundsøkonomiske tab til svigt i forsyningssikkerhed i 2019¹

Hændelse	Min	1. kvartil	Median	Gennemsnit	3. kvartil	Maks
Mikrobiologiske overskridelser	0,0 pct.	0 pct.	0 pct.	13,6 pct.	19,9 pct.	87,9 pct.
Afbrydelsesminutter	0,0 pct.	0,3 pct.	1,6 pct.	3,6 pct.	4,0 pct.	25,4 pct.
Vandtab	0,3 pct.	2,2 pct.	3,5 pct.	3,6 pct.	4,6 pct.	10,9 pct.
Samlede omkostninger til forsyningssikkerhed (Sum af alle tre hændelser)	1,9 pct.	4,5 pct.	9,4 pct.	20,7 pct.	30,9 pct.	88,2 pct.
Samlede omkostninger til forsyningssikkerhed (uden omkostninger til mikrobiologiske overskridelser) ²	0,5 pct.	3,5 pct.	4,9 pct.	7,1 pct.	8,7 pct.	32,2 pct.

Note 1: Fordelingen af de samfundsøkonomiske omkostninger i årene 2017 og 2018 er i store træk tilsvarende fordelingen i 2019.

Note 2: Indeholder kun omkostninger til vandtab og afbrydelsesminutter og udelader dermed omkostninger til mikrobiologiske overskridelser.

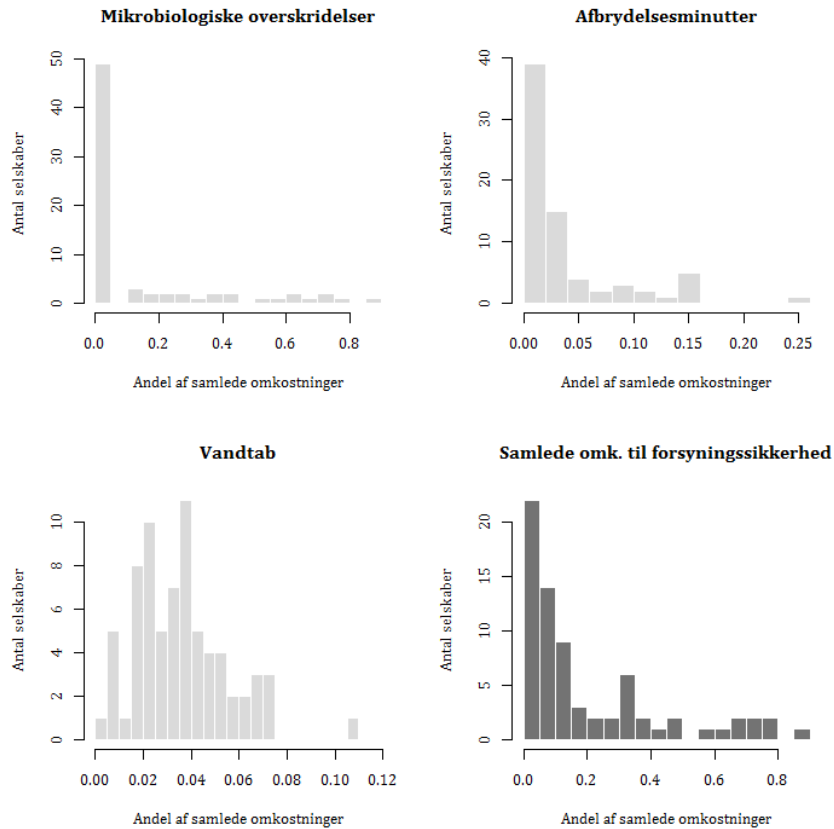
Anm.: Tabellen angiver, hvor meget FV udgør af SSO for både selskabets FATO og den enkelte forsyningssikkerhedsparameter samt andelen af SSO for alle forsyningssikkerhedsparametrene.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af data fra Miljøstyrelsens performancebenchmarking (Miljøstyrelsen, u.d.)

Der er stor spredning i, hvor stor FV selskaberne oplever til de forskellige typer hændelser, jf. Figur 5.1. Særligt FV til mikrobiologiske overskridelser er præget af, at mange selskaber ikke har mikrobiologiske overskridelser (49 ud af 72). Disse selskaber har derfor intet samfundsøkonomisk tab i forbindelse med mikrobiologiske overskridelser, mens de resterende selskaber oplever relativt store tab. For afbrydelsesminutter og vandtab er der også enkelte selskaber, som oplever, at FV hertil fylder relativt meget.

I modellen i næste afsnit indgår kun FV fra afbrydelsesminutter og vandtab. Grunden til, at mikrobiologiske overskridelser ikke er inkluderet som en del af SSO, er den store variation for variablen. På nuværende tidspunkt er mikrobiologiske overskridelser på den baggrund ikke med i SFA-modellen med samfundsøkonomiske omkostninger.

Figur 5.1 Histogrammer over forbrugernes velfærdsøkonomiske tabs andel af selskabernes samlede samfundsøkonomiske omkostninger i 2019



Anm.: Histogrammerne viser, hvor stor en andel de enkelte parametres FV udgør af selskabets SSO, hvis SSO kun fastsættes ud fra FATO og FV fra de enkelte parametre. Histogrammet i nederste højre hjørne viser FV for alle tre parametre som andel af SSO.

Kilde: Egen tilvirkning

5.2.2 Model med samfundsøkonomiske omkostninger

Vi anvender som tidligere nævnt betalingsvillighederne og afgiften fra tabel 3.3 til at beregne de samfundsøkonomiske omkostninger, dog uden mikrobiologiske overskridelser. De samlede samfundsøkonomiske omkostninger (SSO) bliver dermed

$$SSO = FATO + 6,18 \cdot m^3 \text{ vandtab} + 4,3 \cdot \text{antal afbrydelsesminutter} = FATO + FV \quad (9)$$

SSO indeholder dermed både FATO og omkostningerne til svigt i forsyningssikkerheden. SSO kan nu indsættes i stedet for FATO i basismodellen

$$\log(SSO) = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \log(y_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \log(y_i) \log(y_j) + v + u \quad (10)$$

Modellen i ligning (10) kalder vi S.1. For at vurdere model S.1's resultater sammenholdes de med basismodellen, som ikke inkluderer omkostninger til manglende forsyningssikkerhed

(S.0). Baggrunden for basismodellen er beskrevet i afsnit 4.3. Den eneste forskel mellem de to modeller er dermed FV. Derfor skyldes forskellen mellem resultaterne disse omkostninger.

5.3.3 Resultater for model med samfundsøkonomiske omkostninger

Når FV inkluderes i model S.1, ændres resultaterne i nogen grad. I gennemsnit er efficiensscorene dog tilnærmelsesvist uændrede sammenlignet med basismodellen jf. Tabel 5.2. Regressionsresultaterne er vist i appendiks 2, tabel A.2.2.

Tabel 5.2 **Resultater af benchmarking med og uden forbrugernes velfærdsøkonomiske tab**

Model	Min	1. kvartil	Median	Gennemsnit	3. kvartil	Maks
S.0 Basismodel	0,682	0,840	0,889	0,874	0,921	0,957
S.1 Model med samfundsøkonomiske omkostninger	0,685	0,836	0,894	0,873	0,919	0,956

Anm.: Tabellen viser oversigt over benchmarkingresultater, dvs. efficiensscorer.

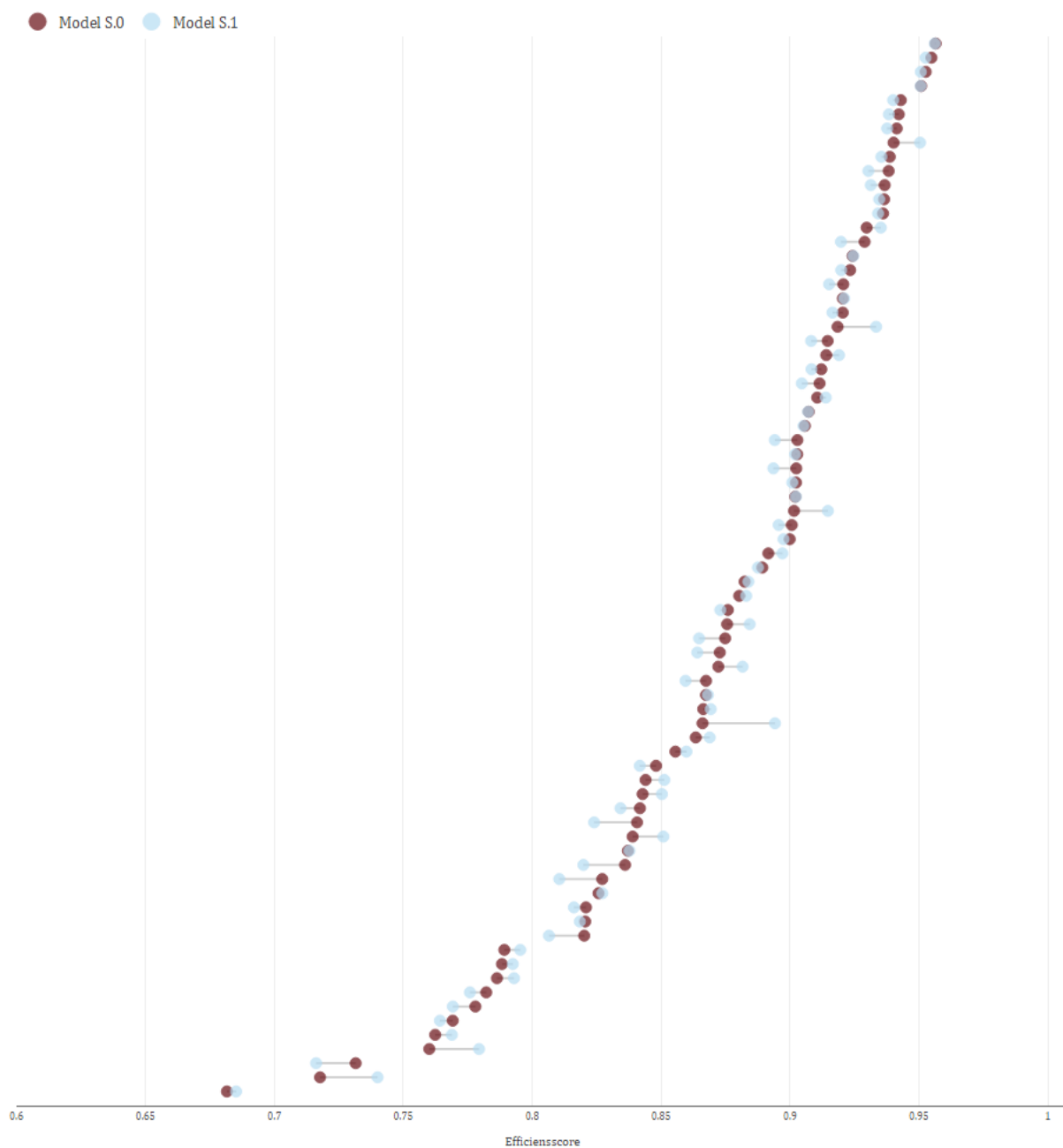
Kilde: Egen tilvirkning.

Modellen med de samfundsøkonomiske omkostninger (S.1) giver resultater, som overordnet set er tæt på basismodellen (S.0). Tabel 6.3 viser dog ikke, hvordan de enkelte selskaber påvirkes som følge af svigt i forsyningssikkerheden. Dette kan ses i figur 6.2.

Overordnet set viser figuren, at de fleste selskabers efficiens kun påvirkes i lille grad. Knap halvdelen af selskaberne (31 af 72) vil opnå en højere efficiensscore i modellen med de samfundsøkonomiske omkostninger til forsyningssikkerhed sammenholdt med basismodellen.

Ændringerne i efficiensscorer fremstår usystematiske. Dette vurderes ud fra, at der både er selskaber, som stilles bedre, og selskaber som stilles dårligere i model S.1, og at ændringerne i scorerne ikke er lige store på tværs af selskaberne.

Figur 5.2 Resultat af benchmarking med samfundsøkonomiske omkostninger



Anm.: Figuren viser efficiensscoren opnået i basismodellen (rød) og scoren opnået i modellen med forsyningssikkerhed (blå). Selskaberne er rangeret efter den efficiensscore, de opnåede i basismodellen

Kilde: Egen tilblivelse

Analysens formål er undersøge, hvordan forsyningssikkerhed kan få betydning for selskabernes effektiviseringskrav, uden at det i større grad giver anledning til resultater, som ikke kan forklares intuitivt. Dette ønske lever modellens resultater umiddelbart op til. Resultaterne for modellen viser dog særligt én udfordring, som er illustreret i figur 6.3.

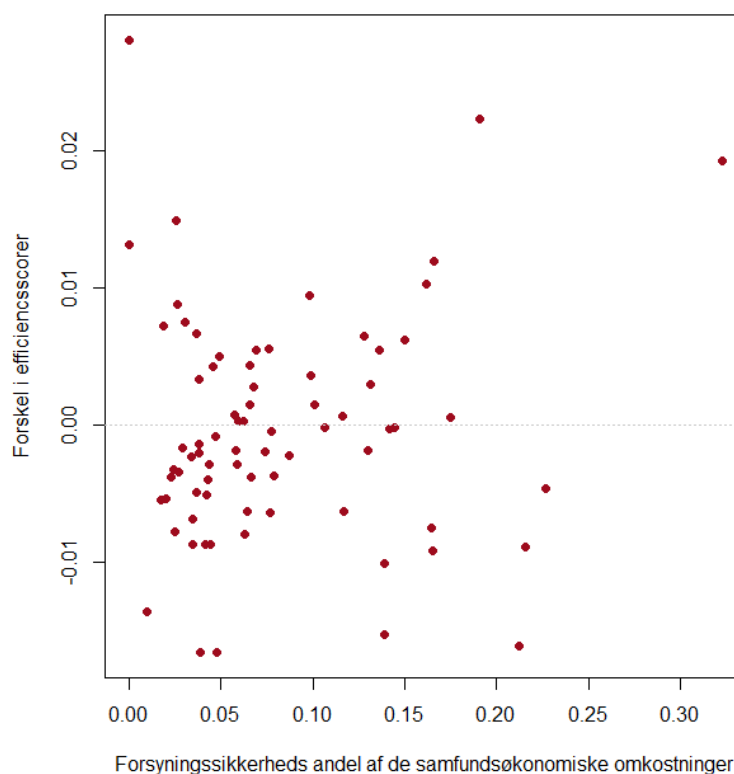
Figur 6.3 viser, hvor stor en andel af SSO, der udgøres af FV i forhold til ændringen i efficiensscorene. Hvis et selskab har mange svigt i forsyningssikkerheden, bør introduktionen af samfundsøkonomiske omkostninger stille selskaberne dårligere i benchmarkingen. Det skyldes, at omkostningerne stiger uden en tilsvarende stigning i outputtet. Det betyder, at efficiensscoren bør *falde*. Omvendt bør selskaber med få svigt i forsyningssikkerheden stilles bedre, og derved få en højere efficiensscore. Dette er imidlertid ikke altid tilfældet. Som det kan ses af figuren, er der selskaber med mange svigt i deres forsyningssikkerhed, som ikke stilles dårligere som følge af introduktionen af samfundsøkonomiske omkostninger. Ligeledes får mange selskaber, med få svigt i forsyningssikkerheden en lavere efficiensscore sammenlignet med basismodellen.

Årsagen til disse resultater skal findes i omkostningsfunktionen. Umiddelbart kunne det forventes, at omkostningsfunktionen forskydes opad med FV. Dette er imidlertid ikke tilfældet, da omkostningsfunktionen også ændrer form. At omkostningsfunktionen ændrer form betyder, at modellens parametre ændrer værdier. Dermed bliver de enkelte selskabers afstand til omkostningsfunktionen både ændret af FV og af de nye parameterværdier. Ændringen af formen gør, at selskaberne ikke nødvendigvis stilles dårligere, hvis de har mange svigt i forsyningssikkerheden eller bedre, hvis de har få svigt.

Hvorvidt de stilles dårligere eller bedre afhænger i stedet af, hvor på omkostningsfunktionen de bliver benchmarket. Hvis omkostningsfunktionen lokalt ændrer sin form markant, således at den bevæger sig tættere på et selskabs SSO, kan det betyde at selskabets efficiensscore falder, selvom SSO er høj relativt til de andre selskaber. Det er med andre ord omkostningsfunktionens form sammenholdt med selskabernes SSO og netvolumenmål, som bestemmer, hvorvidt selskaberne stilles bedre eller dårligere som følge af at inducere FV til modellen.

Det er dog vigtig at bemærke, at selskaberne har incitament til at have et samfundsøkonomisk optimalt niveau af forsyningssikkerhed. Det skyldes blandt andet, at monotonicitet er sikret i modellen.

Figur 5.3 Sammenhæng mellem omkostninger til forsyningssikkerhed og efficiensscore



Note 1: Forsyningssikkerheds andel af de samfundsøkonomiske omkostninger er beregnet som

$$\frac{6,18 \cdot m^3 \text{ vandtab} + 4,3 \cdot \text{antal afbrydelsesminutter}}{FATO + 6,18 \cdot m^3 \text{ vandtab} + 4,3 \cdot \text{antal afbrydelsesminutter}}$$

Anm.: x-aksen angiver, hvor en andel af selskabernes samfundsøkonomiske omkostninger, som udgøres af svigt i forsyningssikkerheden. y-aksen angiver forskellen mellem basismodellen S.0 og modellen med samfundsøkonomiske omkostninger, S.1. Er forskellen over 0 betyder det, at modellen med de samfundsøkonomiske omkostninger giver en højere efficiensscore for det pågældende selskab. Dette indikeres af den stiplede grå linje indikerer.

Kilde: Egen tilvirkning

5.4.4 Diskussion af model med samfundsøkonomiske omkostninger

I modellen med samfundsøkonomiske omkostninger inddrages forsyningssikkerhed på en forholdsvis simpel måde i benchmarkingen, da FV blot lægges til selskabets FATO. I modellen sikres det, at selskaberne får et incitament til at vælge det samfundsøkonomisk optimale niveau af forsyningssikkerhed.

Når FV inkluderes i benchmarkingmodellen, vil de selskaber, som pålægger deres forbrugere og samfundet høje omkostninger, opnå en dårligere score, end i en model der kun indeholder økonomiske variable (basismodellen). Det tilskynder dermed selskaberne til at forbedre forsyningssikkerheden til det samfundsøkonomisk optimale niveau for at reducere disse omkostninger.

Modellen skaber generelt konsistente resultater, som ikke afviger væsentligt fra de resultater, basismodellen skaber. Det betyder, at forsyningssikkerhed har en påvirkning i benchmarkingen, men ikke på et niveau, hvor det fjerner selskabernes incitamentet til at blive omkostningsefficiente.

Som nævnt kræver denne model, at betalingsvillighederne er retvisende estimeret. Disse er for udvalgte parametre analyseret i *Forbrugernes betalingsvilje for forbedringer i vandsektoren* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2020a). Er betalingsvilligheden eksempelvis overestimeret, vil svigt i forsyningssikkerhed have for stor betydning for benchmarkingresultatet, og benchmarkingmodellen vil give selskaberne incitament til et forsyningssikkerhedsniveau, der er for højt. Er betalingsvilligheden estimeret retvisende, giver modellen selskaberne retvisende incitamenter til at optimere både forsyningssikkerhed og økonomi.

Det gælder herudover generelt for denne model, at hvis vi kender FV ved svigt i forsyningssikkerhed, er det relativt enkelt at inddrage flere parametre. Der opstår ved brug af denne model ikke de udfordringer med antallet af parametre, som er beskrevet i afsnit 4.3, da FV ved yderligere parametre ligeledes kan inkluderes i FATO. Ligeledes kan modellen anvendes for spildevandssektoren, hvis vi får fastsat betalingsvilligheder for spildevandsrelaterede parametre.

Litteratur

Bogetoft, P., & Otto, L. (2011). Benchmarking with DEA, SFA, and R. Springer.

Chambers, R. G. (1988). Applied production analysis: a dual approach. Cambridge University Press.

Henningsen, A. (2019). Introduction to Econometric Production Analysis with R. Fourth edition. Tilgængelig online på: <https://leanpub.com/ProdEconR/>

Henningsen, A., & Henning, C. H. (2009). Imposing regional monotonicity on translog stochastic production frontiers with a simple three-step procedure. *Journal of Productivity Analysis*, 32(3), 217-229.

Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen (2020a): Forbrugernes betalingsvilje for forbedringer i vandsektoren. Oktober 2020.

Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen (2021a): Forsyningssikkerhed og regulering af vandsektoren, juni 2021.

Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen (2021b): Forsyningssikkerhed i DEA-benchmarking, juli 2021.

Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen (u.d.): Modelpapirer for benchmarkingmodellen opdateres årligt og udgives på Konkurrence- og Forbrugerstyrelsens hjemmeside: <https://www.kfst.dk/vandtilsyn/benchmarking/okonomiske-rammer-modelbeskrivelse-og-resultater/>

NVE (2020): Om reguleringen av strømnetselskaperes inntekter. Baggrundspapir (ikke dateret, men downloadet januar 2020). <https://www.nve.no/media/8368/om-reguleringen-av-str%C3%B8mnetselskaperes-inntekter.pdf>

Scheel, H. (2001): Undesirable Outputs in Efficiency Valuations. *European Journal of Operational Research* 132:400-410.

Wooldridge, J. M. (2015). Introductory econometrics: A modern approach. Cengage learning.

Appendiks 1

Monotonicitet

Monotonicitetsantagelsen er central i det empiriske arbejde med omkostningsfunktioner, når disse anvendes til at estimere efficiens.

Monotonicitet i forbindelse med omkostningsfunktioner referer til to ting: monotonicitet i inputpriser og monotonicitet i outputmængder. Formelt er de defineret som (Chambers, 1998)

- **Monotonicitet i inputpriser:** Omkostningerne er ikke-faldende i inputpriser; hvis $w' \geq w$ så $c(w', y) \geq c(w, y)$
- **Monotonicitet i outputmængder:** Omkostningerne er ikke-faldende i outputmængderne; hvis $y \geq y'$ så $c(w, y) \geq c(w, y')$

Monotonicitet i inputpriserne medfører, at en stigning i prisen på et input aldrig kan reducere det minimale omkostningsniveau. Monotonicitet i outputmængderne medfører, at en større mængde i et output ikke fører til lavere omkostninger. Denne antagelse bør altid undersøges, når man arbejder med omkostningsfunktioner, uanset om det er translog eller en anden funktionsform, som anvendes og uanset om funktionen estimeres med OLS, SFA eller en anden estimator.

Det kan beregnes, om antagelserne er opfyldt for de individuelle selskaber i regressionen. En translog-funktion vil ofte have en eller flere observationer, som bryder med antagelsen om monotonicitet. Det betyder ikke nødvendigvis, at translog-formen ikke egner sig til at estimere omkostningsfunktionen. Det er dog vigtigt, at tage højde for dette ved at tilpasse modellen, så monotonicitet er opfyldt.

Beregningen af hvorvidt monotonicitet er opfyldt, sker ved at beregne den marginale ændring i omkostningerne ved en stigning i inputpriserne eller outputmængderne, dvs. den første ordens afledte:

$$\frac{\partial c(w, y)}{\partial w_i} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (a. 1.1)$$

$$\frac{\partial c(w, y)}{\partial y_i} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (a. 1.2)$$

For en translog omkostningsfunktion afhænger niveauet af mere end blot parameterværdierne:

$$\frac{\partial c(w, y)}{\partial w_i} = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \log(w_j) + \sum_{j=1}^m \psi_{ij} \log(y_j) \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (a. 1.3)$$

$$\frac{\partial c(w, y)}{\partial y_i} = \beta_i + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \log(y_j) + \sum_{j=1}^n \psi_{ji} \log(w_j) \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (a. 1.4)$$

Det betyder, at monotonicitetsantagelsen kan være brudt for enkelte selskaber, afhængig af selskabets specifikke værdier af w_j og y_j . I Forsyningssekretariatets SFA-model er monotonicitet kun relevant i forhold til output, da inputpriserne antages at være konstante på tværs af selskaberne.

Formlerne (a.1.3) og (a.1.4) beregnes for hver observation for alle inputpriser og outputmængder. Er antagelsen brudt for et selskab for én variabel, er monotonicitetsantagelsen brudt for den pågældende observation, og modellen bør tilpasses.

En metode til at sikre, at monotonicitetsantagelsen er overholdt for samtlige observationer er baseret på Henningsen og Henning (2009). Her sker en tilpasning af SFA-modellens koefficienter i tre trin, så de overholder monotonicitet.

1. **Estimation af almindelig SFA-model under en translog-omkostningsfunktion:** Herfra opnås estimater af translog-koefficienterne og det er muligt at beregne de estimerede koefficienters varians-kovarians-matrix. I dette trin undersøges det desuden, om monotonicitetsantagelsen er overholdt for samtlige selskaber.
2. **Identificér koefficienter, der opfylder monotonicitetsantagelsen for alle observationer, og er så tæt på de oprindelige koefficienter som muligt:** Der identificeres nye værdier for translog-koefficienterne, som opfylder monotonicitet ved alle observerede outputmængder, og som er så tæt på de oprindelige koefficienter (fra trin 1) som muligt. Hvis inputpriser varierer på tværs af selskaberne, skal koefficienterne for disse også tilpasses til at overholde monotonicitetsantagelsen. Dette er dog ikke tilfældes i Forsyningssekretariatets SFA-model, hvor selskaberne antages at have ens inputpriser. Afstanden mellem de oprindelige koefficienter (trin 1) og de nye koefficienter (trin 2) måles relativt standardfejlen på de originale koefficienter. Det betyder, at en given afstand mellem den originale værdi og den nye værdi af en koefficient har større betydning, hvis det originale estimat af koefficienten har en lille standardfejl i forhold til hvis det har en høj standardfejl.
3. **Estimér efficiensscorerne for selskaberne baseret på koefficienterne, der opfylder monotonicitet:** En ny translog SFA-model estimeres, hvor de fittede værdier, der opnås på baggrund af koefficienterne i trin 2, indgår som forklarende variabel. I dette trin kan der desuden tillades, at koefficienterne fra trin 2 justeres. Dette trin er vigtigt, idet estimationen fra trin 1 kan resultere i, at SFA-modellens koefficienter er systematisk fejlestimerede, som følge af brud på monotonicitetsantagelsen. Hvis dette er tilfældet, vil det afspejle sig i koefficienterne i trin 2. Dette korrigeres i trin 3.

Appendiks 2

Regressionsresultater for model S.0 og S.1

I dette appendiks præsenteres regressionsresultaterne for estimering af model S.1 og S.2. Hvis monotonicitet sikres, er modellen *restringeret*. Hvis monotonicitet ikke sikres, er modellen *restringeret*.

Tabel A.2.1 Parameterestimer for model S.0 (basismodellen)

Variabel	Urestringeret	Restringeret
Intercept	7,55	10,48
Log(OPEX)	6,15	2,44
Log(CAPEX)	-5,91	-2,56
Log(OPEX) ²	-0,58	-0,26
Log(CAPEX) ²	0,18	0,06
Log(OPEX*CAPEX)	0,22	0,13
Alder	-0,01	-0,02
Tæthed	2,52	2,23

Anm.: Parameterestimerne er beregnet på baggrund af data fra 2019. Bemærk at p-værdier ikke beregnes i den restringerede model. Derfor rapporteres signifikans ikke i tabellen. *Kilde: Egen tilvirkning*

Tabel A.2.2 Parameterestimer for model S.1 (Model med samfundsøkonomiske omkostninger)

Variabel	Urestringeret	Restringeret
Intercept	13,61	16,4
Log(OPEX)	5,55	2,49
Log(CAPEX)	-6,04	-3,33
Log(OPEX) ²	-0,44	-0,21
Log(CAPEX) ²	0,29	0,16
Log(OPEX*CAPEX)	0,12	0,08
Alder	-0,01	-0,01
Tæthed	2,83	2,10

Anm.: Parameterestimerne er beregnet på baggrund af data fra 2019. Bemærk at p-værdier ikke beregnes i den restringerede model. Derfor rapporteres signifikans ikke i tabellen. *Kilde: Egen tilvirkning*