

# **Teknisk arbejdsrapport:**

# **Forsyningssikker- hed i DEA-bench- marking**

Juli 2021



KONKURRENCE- OG FORBRUGERSTYRELSEN

---

**Arbejdsrapport: Forsyningsikkerhed i DEA-benchmarking**

**Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen**

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

Online ISBN 978-87-7029-761-5

Arbejdsrapporten er udarbejdet af  
Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen.

Juli 2021

# Indhold

---

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Kapitel 1                                                                                        | 5         |
| <b>Forord</b> .....                                                                              | <b>5</b>  |
| Kapitel 2                                                                                        | 6         |
| <b>Oversigt over 4 forskellige DEA-modeller</b> .....                                            | <b>6</b>  |
| Kapitel 3                                                                                        | 7         |
| <b>Data for forsyningssikkerhed</b> .....                                                        | <b>7</b>  |
| 3.1 Data for forsyningssikkerhed .....                                                           | 7         |
| 3.2 Samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerhed .....                        | 8         |
| Kapitel 4                                                                                        | 11        |
| <b>Benchmarkingteori</b> .....                                                                   | <b>11</b> |
| 4.1 Nuværende benchmarkingmodel .....                                                            | 11        |
| 4.2 Teori om DEA-benchmarking .....                                                              | 13        |
| Kapitel 5                                                                                        | 16        |
| <b>Standardmodel til integration af flere parametre i benchmarkingmodeller</b> .....             | <b>16</b> |
| 5.1 Basismodel uden forsyningssikkerhed som sammenligningsgrundlag .....                         | 16        |
| 5.2 Præsentation af standardmodellen .....                                                       | 17        |
| 5.3 Resultater for standardmodellen .....                                                        | 18        |
| 5.4 Diskussion af standardmodellen .....                                                         | 22        |
| Kapitel 6                                                                                        | 23        |
| <b>Benchmarkingmodel med samfundsøkonomiske omkostninger</b> .....                               | <b>23</b> |
| 6.1 Data for samfundsøkonomiske omkostninger .....                                               | 23        |
| 6.2 Præsentation af model med samfundsøkonomiske omkostninger .....                              | 25        |
| 6.3 Resultater for model med samfundsøkonomiske omkostninger .....                               | 26        |
| 6.4 Diskussion af model med samfundsøkonomiske omkostninger .....                                | 30        |
| Kapitel 7                                                                                        | 31        |
| <b>Benchmarkingmodeller med vægtrestriktioner for forsyningssikkerhed</b> .....                  | <b>31</b> |
| 7.1 Hvad betyder vægtrestriktioner? .....                                                        | 32        |
| 7.2 Præsentation af model med relative vægtrestriktioner .....                                   | 33        |
| 7.3 Resultater for model med relative vægtrestriktioner .....                                    | 35        |
| 7.4 Præsentation af model med virtuelle vægtrestriktioner .....                                  | 37        |
| 7.5 Resultater for model med relative virtuelle vægtrestriktioner .....                          | 39        |
| 7.6 Mulige variationer over modeller med vægtrestriktioner .....                                 | 42        |
| 7.7 Diskussion af modeller med vægtrestriktioner .....                                           | 43        |
| Kapitel 8                                                                                        | 44        |
| <b>Benchmarkingmodeller med sammenligningsgrundlag sammensat efter forsyningssikkerhed</b> ..... | <b>44</b> |

---

---

|                                                   |                                                                    |           |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.1                                               | Præsentation af modeller med ændring i sammenligningsgrundlag..... | 45        |
| 8.2                                               | Resultater for modeller med ændret sammenligningsgrundlag.....     | 47        |
| 8.3                                               | Diskussion af ændret sammenligningsgrundlag.....                   | 51        |
| Kapitel 9                                         |                                                                    | 52        |
| <b>Sammenfatning af modellerne.....</b>           |                                                                    | <b>52</b> |
| 9.1                                               | Kriterier for en god model .....                                   | 52        |
| Litteraturliste                                   |                                                                    | 55        |
| Appendix 1                                        |                                                                    | 56        |
| <b>DEA i envelopment og multiplier space.....</b> |                                                                    | <b>56</b> |
| 10.1                                              | DEA i envelopment space .....                                      | 56        |
| 10.2                                              | DEA i multiplier space.....                                        | 57        |
| Appendix 2                                        |                                                                    | 59        |
| <b>DEA-vægte .....</b>                            |                                                                    | <b>59</b> |
| Appendix 3                                        |                                                                    | 60        |
| <b>Principalkomponenter (PCA).....</b>            |                                                                    | <b>60</b> |

---

# Kapitel 1

## Forord

---

Dette arbejdsrapport er teknisk bilag til Forsyningssekretariatets analyse 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 DEA-model.

Vi bruger 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 DEA på data for danske vandselskaber. SFA beskrives i særskilt arbejdsrapport.

---

# Kapitel 2

## Oversigt over 4 forskellige DEA-modeller

Der præsenteres 4 overordnede modeller til integration af forsyningssikkerhed inden for DEA-metoden. Modellerne er præsenteret i Tabel 2.1 og beskrives hver især i kapitlerne 5-8. I kapitel 9 sammenfatter vi modellerne og holder deres fordele og ulemper op mod hinanden. Der drages dog ikke en samlet konklusion, fordi en sådan bl.a. vil afhænge af resultater fra en analyse af SFA-metoden og af de samlede effekter af en eventuel integration af de to metoder.

Tabel 2.1 **Oversigt over modeller til integration af forsyningssikkerhed**

| Model                               | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D.1 Standardmodel                   | <i>Standardmodellen</i> er den mest simple metode, da forsyningssikkerhedsparametrene blot inkluderes som output uden yderligere omregninger. I modellen sidestilles forsyningssikkerhed med alt andet selskabet producerer. Det betyder, at et selskab kan fremstå som effektivt ved blot at være det bedst præsterende på én parameter, mens det samtidigt er dårligst på de resterende parametre. Det er ikke hensigten med integrationen at give skæve incitamenter mellem økonomi og forsyningssikkerhed. Resultaterne af den empiriske model viser, at netop dette vil blive et stort problem i standardmodellen. |
| D.2 Samfundsøkonomiske omkostninger | <i>Samfundsøkonomiske omkostninger</i> ved svigt i forsyningssikkerhed sidestilles med selskabernes driftsmæssige omkostninger. De samfundsøkonomiske omkostninger udregnes blandt andet ved forbrugernes betalingsvilligheder for at undgå svigt i forsyningssikkerhed.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| D.3 Vægtrestriktioner               | Forsyningssikkerhed håndteres i benchmarkingmodellen ved at bruge såkaldte <i>vægtrestriktioner</i> . Vægtrestriktioner sætter en begrænsning for, hvor stor en betydning forsyningssikkerhed må have i beregningen af de efficiensscorer, modellen beregner for hvert enkelt selskab som et udtryk for deres effektivitet. Der er undersøgt to modeller til at sætte vægtrestriktionerne; relative og virtuelle restriktioner. Den første udnytter betalingsvillighederne til at sætte en restriktion. Den anden model vægter forsyningssikkerhed relativt til de andre outputs i modellen.                            |
| D.4 Sammenligningsgrundlag          | Den sidste model indarbejder ikke forsyningssikkerhed direkte, men håndterer det eksternt ved at skabe forskellige <i>sammenligningsgrundlag</i> : Ved at rangordne selskaberne ud fra deres niveau af forsyningssikkerhed kan et selskabs økonomiske performance ikke sammenlignes med selskaber, der har dårligere forsyningssikkerhed. Der undersøges forskellige metoder til at danne sammenligningsgrundlaget.                                                                                                                                                                                                     |

**Anm.:** Tabellen viser de fire modeller, der er testet til at integrere forsyningssikkerhed i en DEA-benchmarkingmodel.

Kilde: Egen tilvirkning

## Kapitel 3

# Data for forsyningssikkerhed

Der er behov for data om forsyningssikkerhed af statistisk kvalitet for at kunne vurdere modellernes egenskaber. Denne analyse tager udgangspunkt i Miljøministeriets liste over parametre, der definerer forsyningssikkerhed på hhv. drikke- og spildevandsområdet. Definitionen af forsyningssikkerhed og uddybning af den tilhørende parameterliste fremgår af *Datanotat om forsyningssikkerhedsparametre*.<sup>1</sup>

### 3.1 Data for forsyningssikkerhed

Der er udvalgt tre parametre for forsyningssikkerhed, der som eksempler belyser mulighederne for at integrere forsyningssikkerhedsparametre i benchmarkingmodellerne. Både for disse og for andre lignende parametre – nuværende og kommende. 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.

<sup>1</sup> 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.

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 <sup>3</sup> )                   | 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 flere af de analyserede modeller anvendes et estimat for de samfundsøkonomiske omkostninger ved et svigt i forsyningssikkerheden. Vi har valgt at anvende to forskellige estimater til brug for beregningen af de samfundsøkonomiske omkostninger: 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. Med disse estimater er det muligt at beregne en faktisk værdi for den omkostning, samfundet har ved et svigt i forsyningssikkerheden.



Tabel 3.3 **Betalingsvilligheder<sup>1</sup> og afgifter for forsyningssikkerhed**

| Parameter                    | Omkostning                              | Type               |
|------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| Bakteriologisk overskridelse | 70,3 kr. pr. overskridelse <sup>2</sup> | Betalingsvillighed |
| Ikke-planlagte afbrydelser   | 4,3 kr. pr. afbrydelsesminut            | Betalingsvillighed |
| Vandtab <sup>3</sup>         | 6,18 kr. pr. m <sup>3</sup>             | 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-beloebsgaenser-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 en samfundsøkonomisk omkostning 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, 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 samfundsøkonomiske omkostninger på lige fod med

---

brugen af betalingsvillighed. Selskaberne pålægges i dag en afgift på 6,18 kr. pr. m<sup>3</sup> for vandtab, som overstiger 10 pct. af den udpumpede vandmængde<sup>2</sup>. Denne afgift kan bruges som estimat for den samfundsøkonomiske omkostning ved, at 1 m<sup>3</sup> 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.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Afgiften for ledningsført vand per 1/2-2021 ændret. Link: <https://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser-i-lovgivningen/vandafgiftsloven/>

<sup>3</sup> Afgift til ledningsført vand håndteret i dag som en såkaldt ikke-påvirkelig omkostning. For at give selskaberne det rette incitament bør omkostningen være påvirkelig.

---

## Kapitel 4

# Benchmarkingteori

---

Når vi analyserer de forskellige modelmuligheder, tager vi udgangspunkt i DEA-metoden for den nuværende benchmarkingmodel. Denne model har været anvendt til at stille effektiviseringskrav i flere reguleringsperioder og bliver løbende opdateret for kontinuerligt at forbedre den, så den giver så retvisende resultater som muligt. Derfor danner den et godt grundlag for at integrere forsyningssikkerhed. Yderligere har vi i forbindelse med denne analyse undersøgt, om væsentlige afvigelser fra den nuværende model kan forbedre mulighederne for at integrere forsyningssikkerhed, men vi har ikke fundet grundlag for dette<sup>4</sup>.

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 nærværende arbejdsrapport.

### 4.1 Nuværende benchmarkingmodel

Benchmarking er som nævnt en metode til at lave relative evalueringer af vandselskabernes performance. Performance er her opgjort som forholdet mellem et selskabs aktiviteter og aktiver på den ene side og på den anden side de tilhørende omkostninger; jo lavere omkostninger relativt til aktiviteter og aktiver, jo højere vil produktiviteten alt andet lige være. Produktiviteten kaldes herefter for efficiensscoren. Efficiensscoren anvendes til at beregne effektiviseringskrav.

#### 4.1.1 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 sammenlignelige drifts- og anlægsomkostninger i kroner (herefter omkostningsgrundlaget). 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 drikkevandselskab. 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.

---

<sup>4</sup> Bemærk at en væsentlig del af den nuværende benchmarkingmodel blev ændret i 2020 som følge af dette analysearbejde. Når vi henviser til den nuværende benchmarkingmodel er det dermed den, som blev brugt efter disse ændringer i 2020.

Netvolumenmålene korrigeres for at håndtere de rammebetingelser, som ikke kan inkluderes direkte i dem. Netvolumenmålene korrigeres både for befolkningstæthed og alder. Der foretages hvert år en analyse af, hvilken betydning befolkningstæthed og alder har på forsyningsselskabernes netvolumenmål. På baggrund af denne analyse korrigeres netvolumenmålene, så selskaber eksempelvis ikke straffes for at skulle servicere et område med høj befolkningstæthed.

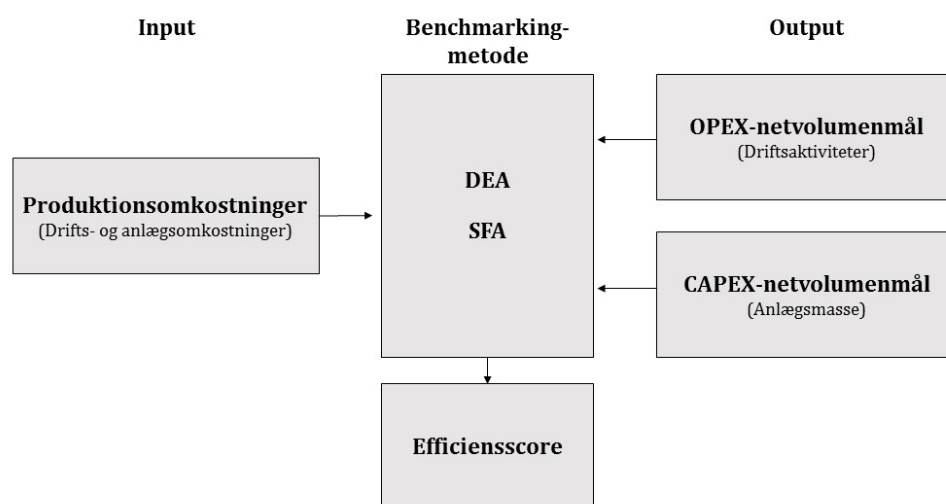
#### 4.1.2 Benchmarking med SFA og DEA

Benchmarkingen indeholder dermed et enkelt input (omkostninger) og to output (de korrigerede netvolumenmål), jf. Figur 4.1. Benchmarkingmodellen er input-orienteret, hvilket betyder, at selskaberne skal mindske omkostninger (input) uden at ændre produktionen (output). Det betyder, at modellen overlader til selskaberne at vurdere, hvilket output (netvolumenmål) der er nødvendige for at servicere deres kunder. Modellen stiller alene krav til, at selskabet skal producere dette output lige så 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. Da disse metodefordele og -ulemper er forskellige, komplimenterer metoderne hinanden.

Selskaberne får tildelt efficiensscore efter den benchmarkingmetode som stiller dem bedst – en såkaldt *best-of-two*-tilgang. *Best-of-two*-tilgangen mindsker metodeusikkerheden i benchmarkingen. Den er dermed 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 DEA-benchmarking

I det følgende gennemgås kort, hvordan selskabernes efficiensscorer beregnes ved brug af DEA-metoden.

### 4.2.1 Data Envelopment Analysis (DEA)

DEA er en ikke-parametrisk metode, der anvender lineær programmering til at sammenligne vandselskaberne med hinanden for herved at bestemme effektiviteten af disse selskaber. Vandselskaberne sammenlignes i en DEA-model på baggrund af deres omkostningsgrundlag, som er modellens input, samt deres OPEX- og CAPEX-netvolumenmål, som er modellens output. Netvolumenmålene korrigeres for alder og tæthed, jf. afsnit 4.1.1. Modellen er inputorienteret, hvilket vil sige, at omkostningerne minimeres, mens output (netvolumenmålene) er konstante. Herudover antages der konstant skalaafkast.

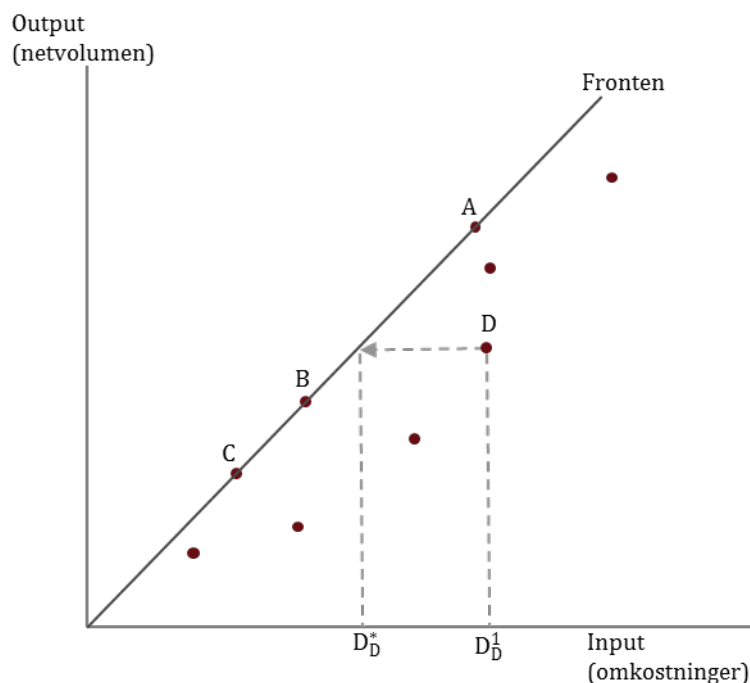
I DEA fastlægger de mest effektive selskaber en front, som omslutter de andre selskaber. De mest effektive selskaber ligger dermed på fronten, mens de mindre effektive selskaber ligger i området under. Jo længere et selskab befinder sig fra fronten, jo mindre effektivt er selskabet. De mest effektive selskaber vil få en efficiensscore på 1, hvilket svarer til, at de er 100 pct. effektive i benchmarkingen.

I den inputorienterede model, hvor omkostninger minimeres, indikerer en efficiensscore på fx 0,85, at selskabet bør kunne operere med 85 pct. af dets nuværende omkostninger for at nå dets effektive omkostningsniveau.

Figur 4.2 viser en grafisk illustration af en simpel inputorienteret model med konstant skalaafkast og ét input og ét output. Selskaberne A, B og C er frontelskaber og danner derfor den front, som de øvrige selskaber bliver sammenlignet med. Selskab D er ikke blandt de mest effektive selskaber, hvorfor selskabet er placeret "under" fronten. Figuren viser, at selskab D har omkostninger svarende til  $O_D^1$ . Hvis selskabet alt andet lige reducerer sine omkostninger til dets effektive niveau (punktet  $O_D^*$ ), vil selskabet være blandt de mest effektive og dermed ligge på fronten.

Med antagelsen om konstant skalaafkast antages det, at hvis omkostningsgrundlaget fordobles, fordobles størrelsen af drifts- og anlægsvolumen (netvolumen) også. Med konstant skalaafkast antages det dermed, at der ikke er signifikante ulemper ved enten at være et stort eller et lille selskab. Det beror blandt andet på, at der i fastlæggelsen af netvolumenmålene er taget højde for eventuelle stordriftsfordele. Dette gøres ved de funktionelle former i beregningen af OPEX-netvolumenmålet samt i de variable priser i POLKA, der bruges til beregning af CAPEX-netvolumenmålet. En nærmere beskrivelse af netvolumenmålene, herunder de funktionelle former, fremgår af det tekniske metodepapir for benchmarkingmodellen (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2018).

Figur 4.2 Eksempel på udregning af efficiensscore i DEA



**Anm.:** Simpel illustration af DEA-benchmarking med ét input og ét output og konstant skalaafkast.

Kilde: Egen tilvirkning

I DEA kan optimeringsproblemet matematisk opstilles både i "envelopment space" og i "multiplier space". Envelopment og multiplier space er hinandens duale og derfor to tilgange til at betragte det samme problem på, som giver det samme resultatet for selskaberne, der benchmarkes. Det er nødvendigt at forstå de to tilgange til det matematiske problem for at forstå teorien bag flere af de modeller, som analyseres. Teorien bag de to tilgange gennemgås derfor i appendix 1.

### Svigt i forsyningssikkerhed som uønskede outputs i DEA

Forsyningssikkerhedsparametrene kan betragtes som output i produktionen af drikkevand. En grundlæggende udfordring ved forsyningssikkerhedsparametrene er, at de er såkaldte "uønskede outputs", fordi de repræsenterer svigt. En stigning i forsyningssikkerhedsparametrene (eksempelvis flere afbrydelsesminutter), vil således betyde et fald i niveauet af forsyningssikkerheden.

I DEA antages det imidlertid som udgangspunkt, at alle outputs er "ønskede". Mere output er derfor altid bedre i en DEA-model. Det modsatte er tilfældet for variablene for forsyningssikkerhed, hvor en lavere værdi for variabelen betyder højere forsyningssikkerhed. Det er derfor nødvendigt at håndtere dem som uønskede outputs.

Der er flere metoder til at behandle uønskede outputs inden for DEA – se eksempelvis Scheel (2001) for en gennemgang af de mest benyttede metoder. Der er dog generelt ikke konsensus om, hvilke metoder der er bedst, og der er fordele og ulemper ved alle metoderne.

I denne analyse bruger vi metoden, hvor uønskede outputs modelleres som inputs. Når forsyningssikkerhedsparemetrene tilføjes som separate variable til modellerne, tilføjes de derfor som inputs.<sup>5</sup>

Inputs ønskes minimeret, og jo mindre input et selskab bruger, desto mere effektivt vil det fremstå i benchmarkingen. Ved at modellere forsyningssikkerhedsparemetrene som inputs vil selskabernes efficiens dermed blive vurderet ud fra, at mindre af det uønskede output er bedre. På den måde vil et selskab fremstå *mere* effektivt ved at have *færre* mikrobiologiske overskridelser, *færre* afbrydelsesminutter og *mindre* vandtab.<sup>6</sup>

Da vi hovedsageligt er interesseret i at måle, hvor stor en reduktion af FATO selskaberne kan opnå, givet selskabets niveau for forsyningssikkerhed, anvender vi forsyningssikkerhed som såkaldte *non-discretionary* inputs, hvilket er forklaret i Boks 4.1,

#### Boks 4.1

#### Forsyningssikkerhedsparemetre som "non-discretionary" inputs

Den økonomiske benchmarking af vandselskaberne har til formål at identificere et effektivt omkostningsniveau for selskaberne. Derfor minimeres selskabernes omkostninger (FATO), givet deres output (OPEX og CAPEX). Selskabets efficiensscore er afgjort ved forskellen mellem selskabets faktiske omkostningsniveau og det effektive omkostningsniveau.

I en standard input-orienteret DEA-model minimeres alle inputs radialt. Efficiensscoren afspejler derfor, hvor meget *alle* selskabernes inputs kan reduceres *proportionalt*, altså med samme faktor. Når vi tilføjer forsyningssikkerhedsparemetrene som inputs til vores basis DEA-model, vil efficiensscoren være et udtryk for, hvor meget selskaberne kan minimere både deres omkostninger men også forbedre forsyningssikkerheden (minimere forsyningssikkerhedsparemetrene).

Formålet med at inddrage forsyningssikkerhed er dog ikke at stille specifikke krav til, hvor meget selskaberne skal forbedre deres forsyningssikkerhed. Vi søger ikke at angive et effektivt niveau for disse. Vi er i stedet udelukkende interesseret i at vurdere selskabernes økonomiske performance og på den måde finde frem til et effektivt omkostningsniveau, givet deres niveau af forsyningssikkerhed.

Forsyningssikkerhedsparemetrene behandles derfor som såkaldte "*non-discretionary*" inputs. Det betyder overordnet, at selskabernes niveau af forsyningssikkerhed indgår i vurderingen af selskabernes efficiens, men at efficiensscoren beregnes ved at minimere selskabernes omkostningsniveau, givet deres niveau af forsyningssikkerhed i tillæg til deres niveau af netvolumen-mål.

Med modellerne, hvor forsyningssikkerhed optræder som separate paremetre, søger vi derfor ikke at sætte et mål for, hvor meget selskaberne skal minimere forsyningssikkerhedsparemetrene. Vi bestemmer derimod, hvor mange omkostninger selskaberne burde kunne operere for, givet deres niveau af forsyningssikkerhed samt OPEX og CAPEX.

<sup>5</sup> Bemærk dog, at dette ikke er gældende i den metode, hvor de samfundsøkonomiske omkostninger inkluderes direkte i benchmarkingmodellen, da disse håndteres direkte som input på lige fod med alle andre omkostninger.

<sup>6</sup> Forsyningssikkerhedsparemetrene kan ikke umiddelbart fortolkes som inputs i produktionen af drikkevand. Dog kan der argumenteres for, at der sker et trade-off mellem at levere forsyningssikkerhed og holde omkostningerne nede. På den måde indgår forsyningssikkerhed i produktionen af drikkevand.

## Kapitel 5

# Standardmodel til integration af flere parametre i benchmarkingmodeller

Vi præsenterer i de følgende fire kapitler fire overordnede modeller til at implementere forsyningssikkerhed i DEA. Hver model har forskellige antagelser, fordele og ulemper. Under hver model præsenteres empiriske resultater for at illustrere effekten af at implementere forsyningssikkerhed i den økonomiske benchmarking med den givne model.

### 5.1 Basismodel uden forsyningssikkerhed som sammenligningsgrundlag

For at illustrere effekten af de enkelte modeller sammenligner vi deres empiriske resultater med resultaterne fra den nuværende DEA-model for drikkevandsselskaber (Basismodel D.0, jf. Tabel 5.1). Basismodellen er den "rene" selskabsøkonomiske benchmarking uden forsynings-sikkerhedsparametre, som vi kender fra den økonomiske regulering i dag.

Til de empiriske resultater bruger vi gennemgående data for drikkevandsselskaberne<sup>7</sup> for 2019<sup>8</sup>. Vi har herudover benyttet data for drikkevandsselskaberne for 2018 som robusthedstjek af modellerne.

Tabel 5.1 DEA basismodel

| Model          | Beskrivelse                                                                                                                          | Input | Output <sup>1</sup>         |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------|
| D.0 Basismodel | Benchmarkingmodel uden forsyningssikkerhed, tilsvarende den model der bruges i den økonomiske benchmarking af vandselskaberne i dag. | FATO  | OPEX og CAPEX netvolumenmål |

**Note 1:** Netvolumenmål er korrigeret for tæthed og alder i overensstemmelse med den benchmarkingmodel, der anvendes i dag.

**Anm.:** D.0 er basismodel, som er identisk med den model, der i dag bruges til benchmarking i forbindelse med den økonomiske regulering. Resultaterne fra denne model sammenlignes med de empiriske resultater fra de modellerne gennemgået i analysen.

Kilde: Egen tilvirkning.

<sup>7</sup> I alle modellerne indgår de drikkevandsselskaber som benchmarkes i forbindelse med den økonomiske regulering. Heraf er tre selskaber (Kalundborg Overfaldevand, Vandfællesskabet Nordvestsjælland og Sjælsø Vand) ekskluderet fra datasættet, da disse har en struktur, der kan besværliggøre en sammenligning med de resterende selskaber. Dermed indgår 72 selskaber i datasættet.

<sup>8</sup> I alle empiriske modeller antager vi herudover konstant skalaafkast (CRS) på samme måde som i den nuværende benchmarking af vandselskaberne.



## 5.2 Præsentation af standardmodellen

I dette kapitel præsenterer vi den mest simple model til at implementere forsyningssikkerhed i en DEA-model. Vi kalder denne for standardmodellen (D.1). Med standardmodellen inkluderes forsyningssikkerhedsparametrene direkte som separate parametre – dvs. at der tilføjes yderligere tre outputs. På den måde indgår forsyningssikkerhedsparametrene på lige fod med selskabernes øvrige outputs (netvolumenmålene, jf. Kapitel 4) i fastlæggelsen af selskabernes efficensscore.

Udfordringen med denne model er, at et selskabs effektivitet i DEA kan beregnes uden at lægge vægt på alle parametre. Dvs. at et selskab teoretisk set kan blive fuldt effektivt ved at være det bedst præsterende på blot én af forsyningssikkerhedsparametrene og samtidigt være det dårligst præsterende på alle andre, herunder de økonomiske parametre, jf. Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen (2019). Det kan dermed potentielt marginalisere betydningen af selskabernes økonomiske effektivitet. Dette omtaler vi som dimensionsproblemet, da det opstår, når antallet af dimensioner (variable) forøges i DEA-modellen.

Som tidligere beskrevet er forsyningssikkerhedsparametrene til brug for denne analyse angivet som svigt i forsyningssikkerheden og betragtes derfor som såkaldte ”uønskede outputs”<sup>9</sup>, jf. Kapitel 4.

Uønskede outputs håndteres metodisk som et input. Ved at håndtere forsyningssikkerhedsparametrene som inputs i benchmarkingmodellen antages det, at selskaberne har et *trade off* mellem at minimere omkostningerne eller minimere svigt i forsyningssikkerhed. Med andre ord antages det, at det koster penge at forbedre forsyningssikkerheden.

Inputs og outputs for standardmodellen (D.1) er vist i Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Den empiriske model for standardmodellen

| Model             | Beskrivelse                                                           | Input                                                                        | Output                      |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| D.1 Standardmodel | Modellen håndterer forsyningssikkerhed som ”uønskede” og faste input. | FATO, Vandtab, Afbrydelses-<br>minutter og Mirkobiologiske<br>overskridelser | OPEX og CAPEX netvolumenmål |

**Note:** Bemærk, at forsyningssikkerhedsparametrene er uønskede outputs, hvorfor de teoretisk behandles som faste (non-discretionary) inputs, jf. Kapitel 4. Dvs. at forsyningssikkerhedsparametrene matematisk håndteres som inputs.

**Anm.:** D.1 beskriver standardmodellen, hvor forsyningssikkerhedsparametrene inkluderes som uønskede outputs.

Kilde: Egen tilvirkning.

<sup>9</sup> Da forsyningssikkerhedsparametrene er uønskede outputs håndteres de som *faste* (non-discretionary) inputs, da benchmarkingmodellen ikke skal minimere svigt i forsyningssikkerheden, men blot evaluere omkostningerne, med baggrund i selskabets niveau for forsyningssikkerhed. Matematisk vil forsyningssikkerhedsparametrene altså indgå som inputs.

### 5.3 Resultater for standardmodellen

Tabel 5.3 viser de overordnede resultater for den empiriske standardmodel (D.1) i sammenligning med basismodellen uden forsyningssikkerhed (D.0).

Inkluderes svigt i forsyningssikkerhed som i standardmodellen, stiger efficiensscorene betydeligt i forhold til basismodellen. I standardmodellen vil alle selskaber opnå den samme eller højere score sammenlignet med basismodellen. Den gennemsnitlige efficiensscore er 0,83 i standardmodellen, mens den er betydeligt lavere i basismodellen på 0,76.

Der er forskel på, hvilke selskaber der oplever den største effekt af, at forsyningssikkerhed inkluderes i modellen. Forskellen mellem 1. kvartil i de to modeller er betydeligt mindre (0,035) end forskellen mellem 3. kvartil (0,175). Det indikerer, at det er de mest effektive selskaber, der oplever den største stigning i efficiensscoren, når forsyningssikkerhedsparemetrene inkluderes ved standardmodellen.

Særligt fronten udvides betydeligt i standardmodellen. I basismodellen er der seks frontelskaber, men hvis forsyningssikkerhed inkluderes i modellen, vil fronten bestå af 19 selskaber. 13 selskaber bliver altså i dette tilfælde fuldt effektive alene ved at inkludere forsyningssikkerhedsparemetrene i modellen som separate variable.

Tabel 5.3 Resultater for model D.1 – sammenholdt med basismodellen

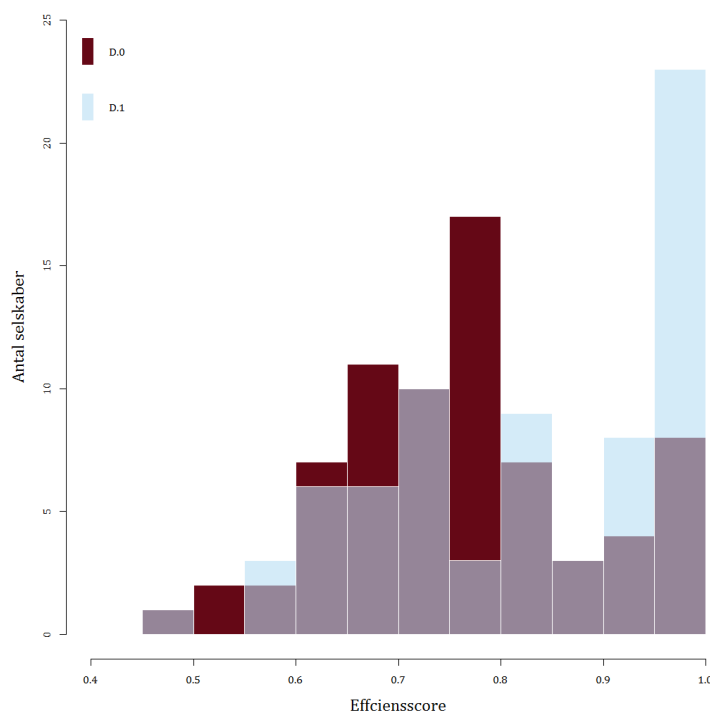
| Model             | Min   | 1. kvartil | Median | Gennemsnit | 3. kvartil | Frontelskaber |
|-------------------|-------|------------|--------|------------|------------|---------------|
| D.0 Basismodel    | 0,492 | 0,671      | 0,760  | 0,763      | 0,825      | 6             |
| D.1 Standardmodel | 0,492 | 0,706      | 0,842  | 0,830      | 1          | 19            |

**Anm.:** Tabellen viser oversigt over benchmarkingresultater, dvs. efficiensscore. Modellerne er nærmere beskrevet i tabel 5.4. Bemærk, at maksimum ikke er angivet, da den altid vil være 1 i en DEA-model. Bemærk, at maksimum ikke er angivet, da den altid vil være 1 i en DEA-model.

Kilde: Egen tilvirkning.

Resultaterne fra Tabel 5.3 er illustreret i histogrammet i Figur 5.1. Her ses det, at scorerne fra standardmodellen generelt ligger til højre for scorerne fra basismodellen. Efficiensscorene i basismodellen er i højere grad centreret omkring den gennemsnitlige efficiensscore, mens den i standardmodellen er centreret omkring 1. Som forventet viser det, at standardmodellen medfører en relativt stor stigning i antallet af frontelskaber.

Figur 5.1 Histogram over resultater fra model med forsyningssikkerhed



**Anm.:** Histogrammet viser fordelingen af efficiensscorene i henholdsvis basismodellen (D.0) (rød søjle), og standardmodellen (D.1) (lyseblå søjler). De lystskraverede røde søjler indikerer der hvor der er et overlap mellem resultaterne fra basismodellen og standardmodellen. Resultaterne er udarbejdet på baggrund af data for 2019.

*Kilde: Egen tilvirkning*

Ændringerne i de enkelte selskabers scorer er illustreret i Figur 5.2. 57 ud af 72 selskaber opnår en bedre score i standardmodellen (D.1) end i basismodellen (D.0). Størstedelen af selskaberne opnår altså en stigning i efficiensscoren, hvis forsyningssikkerhed implementeres i den økonomiske benchmarking ved standardmodellen. For disse 57 selskaber stiger scoren i gennemsnit med 0,085 (8,5 pct.-point). Alt andet lige vil det betyde, at for de 57 selskaber vil effektiviseringskravet i gennemsnit falde med 8,5 pct.-point. Selskaberne kan altså alt andet lige opkræve 8,5 pct.-point mere fra vandforbrugerne i dette specifikke scenarium.<sup>10</sup> Det selskab, som oplever den største ændring i scoren, går fra en score på 0,65 i basismodellen til at være frontelskab (score på 1) i standardmodellen.

De resterende 15 selskaber vil få samme score som i basismodellen. Seks af disse er frontelskaber i basismodellen. Frontelskaber i basismodellen opnår allerede den maksimale score

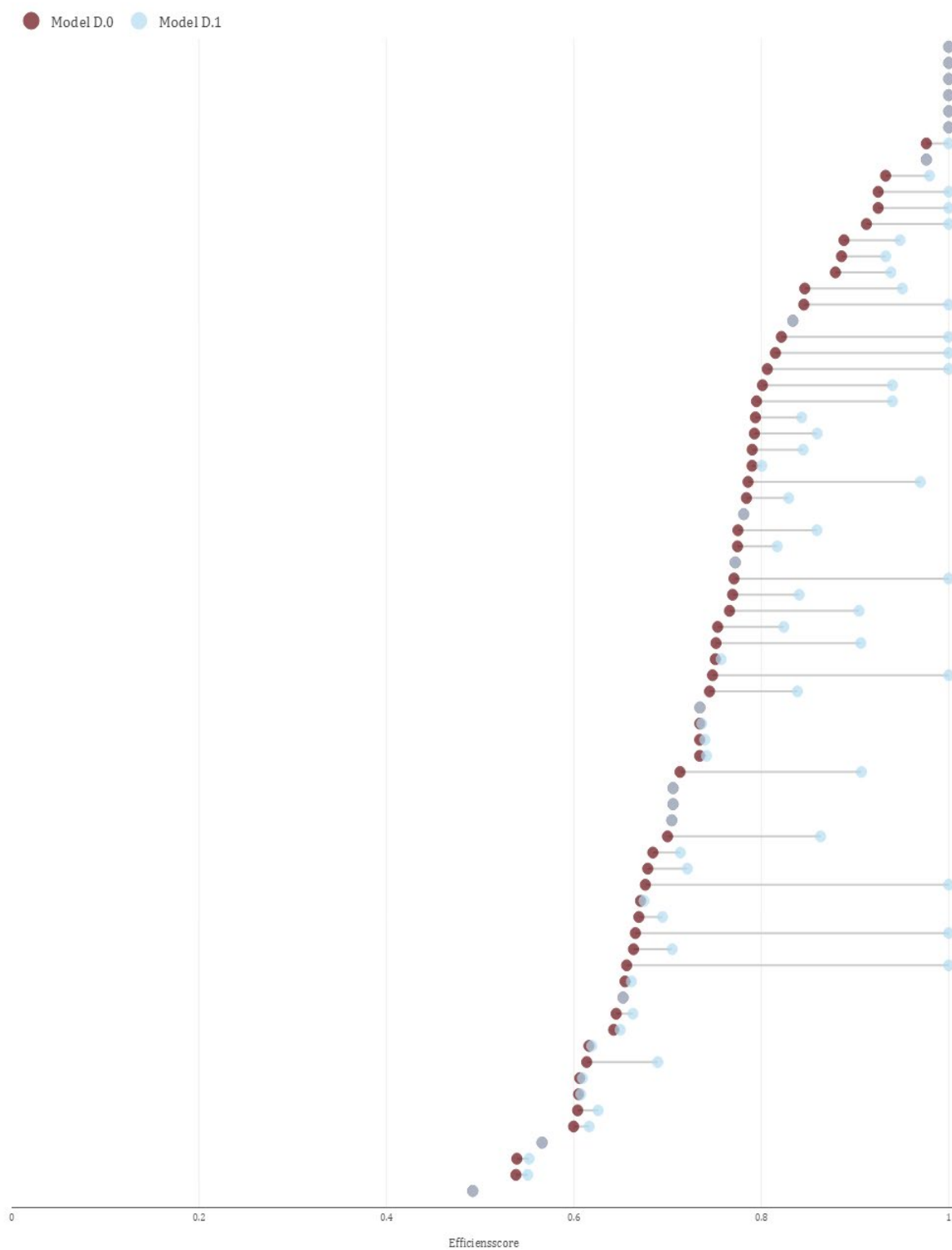
<sup>10</sup> I praksis stiller vi ikke effektiviseringskrav direkte til vandselskabernes omkostninger, men til deres indtægtsrammer. Forholdet mellem selskabernes faktiske omkostninger og deres indtægtsrammer vil derfor have betydning for hvordan effektiviseringskravet i sidste ende beregnes

---

på 1 og kan derfor ikke opnå en stigning i scoren, når der tilføjes flere parametre til modellen. Det er forventeligt, at efficiensscorene er højere eller uændrede, og at antallet af frontsekskaber stiger i standardmodellen i sammenligning med basismodellen. Det skyldes, at antallet af parametre i standardmodellen er højere end i basismodellen. De relativt store ændringer i efficiensscorene viser, at denne modelform hvor antallet af parametre blot øges, stiller de fleste sekskaber bedre og en række sekskaber betydeligt bedre.

---

Figur 5.2 Resultater af benchmarking



**Anm.:** Figuren viser forskellen mellem efficiensscoren, et selskab vil opnå i basismodellen (D.0) (rød) og i standardmodellen (D.1) (lyseblå). De selskaber hvor kun en lysegrå score fremgår, indikerer at scoren er ens i de to modeller. Scorerne bygger på 2019-data.

Kilde: Egen tilvirkning

#### 5.4 Diskussion af standardmodellen

Standardmodellen, hvor forsyningssikkerhed implementeres direkte i benchmarkingmodellen, har den fordel, at den er simpel. Modellen har realistiske teoretiske antagelser, der beror på, at forsyningssikkerhedsparametre indgår som et (uønsket) output på lige fod med selskabernes øvrige outputs. Modellen giver også overodnet set incitament til at forbedre forsyningssikkerheden samtidigt med, at der fastholdes et incitament til at forbedre den økonomiske effektivitet.

En betydelig udfordring ved standardmodellen er dog dimensionsproblemet. Når antallet af parametre øges, tillader modellen, at selskaber bliver fuldt effektive eller oplever en stor stigning i efficiensscoren ved blot at fokusere på forsyningssikkerhed (Heesche & Asmild, 2020, Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2019). Modellen giver altså mulighed for, at et selskabs effektivitet kan beregnes, uden at alle parametre tages med i betragtning. Dvs. at et selskab teoretisk kan blive fuldt effektivt i modellen ved at være det bedst præsterende på blot én af forsyningssikkerhedsparametrene og samtidigt være det dårligst præsterende på alle andre, herunder de økonomiske parametre.

Udfordringen skyldes, at forsyningssikkerhed tilføjes som ekstra parametre, uden at der sættes restriktioner på betydningen af disse. Det vil sige, at der ikke sættes en øvre (eller nedre) grænse for, hvor meget forsyningssikkerhed må have af betydning i beregningen af selskabernes efficiens, relativt til betydningen af økonomi (netvolumenmål og FATO). Et selskab kan derved blive fuldt effektivt på trods af en dårlig økonomisk effektivitet, hvis blot selskabet har få svigt i forsyningssikkerhed.

Udfordringen er ikke kun teoretisk, men fremgår også af de empiriske resultater for standardmodellen. Antallet af frontselskaber stiger betydeligt ved at implementere forsyningssikkerhedsparametrene ved brug af standardmodellen. Herudover oplever enkelte selskaber store stigninger i efficiensscoren, når svigt i forsyningssikkerhed inkluderes som separate parametre i denne model.

Hvis vi anvender modellen med data for drikkevandsselskaberne for 2018 i stedet for 2019, viser det blandt andet, at antallet af frontselskaber i 2018 vil være 13 (mod 19 i 2019). Så store udsving i antallet af frontselskaber indikerer, at modellen ikke er tidsmæssigt konsistent, men relativt påvirkelig for udsving i observerede data. Det vil derfor også være en uhenigtsmæssig model at anvende, hvis der potentielt skal implementeres relativt mange forsyningssikkerhedsparametre i den økonomiske benchmarking.

De resterende DEA-modeller i denne analyse forsøger alle at løse dimensionsproblemet.

## Kapitel 6

# Benchmarkingmodel med samfundsøkonomiske omkostninger

---

I dette kapitel viser vi, hvordan de samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerhed kan bruges til at implementere forsyningssikkerhed i DEA.

Ved at anvende de samfundsøkonomiske omkostninger ved svigt i forsyningssikkerhed i den nuværende benchmarkingmodel, får selskaberne incitament til at agere samfundsøkonomisk optimalt.

Idéen bag denne model er at anvende de samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerheden ved at lægge dem til selskabernes faktiske omkostninger i benchmarkingmodellen. Denne model er også beskrevet i *Forsyningssikkerhed og regulering af vandsektoren* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2021)<sup>11</sup>.

Ved at anvende den samfundsøkonomiske model undgår vi, at antallet af dimensioner stiger, når vi tilføjer forsyningssikkerhed til modellen, som det var tilfældet ved standardmodellen. Vi sikrer dermed en mere robust model. Samtidigt giver det selskaberne incitament til at vælge et optimalt niveau af forsyningssikkerhed, som også er omkostningseffektivt.<sup>12</sup> Denne model er derfor teoretisk overlegen i forhold til de resterende modeller i analysen.

Udfordringen ved modellen er, at det kræver et meget præcist estimat over de samfundsøkonomiske omkostninger. En usikkerhed i estimatet vil medføre en tilsvarende usikkerhed i incitamentet. Det betyder altså, at hvis betalingsvillighederne ikke er korrekte, kan modellen give selskaberne et incitament til at fokusere på forsyningssikkerhed på et niveau, som ikke er samfundsøkonomisk optimal.

### 6.1 Data for samfundsøkonomiske omkostninger

De samfundsøkonomiske omkostninger til 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 en værdi for den samfundsøkonomiske omkostning.

---

<sup>11</sup> 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 (2019).

<sup>12</sup> 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).

De samfundsøkonomiske omkostningers betydning for det enkelte selskabs omkostningsgrundlag (input) i benchmarkingen varierer betydeligt mellem selskaberne. For de selskaber som har lavest svigt i forsyningssikkerhed (1. kvartilen), udgør de samfundsøkonomiske omkostninger hertil mindre end 5 pct. af deres samlede omkostningsbase. For selskaber med den dårligste forsyningssikkerhed (3. kvartilen) udgør omkostningerne mere end en tredjedel af de samlede omkostninger, jf. Tabel 6.1. I gennemsnit udgør omkostninger til manglende forsyningssikkerhed 20 pct. af de samlede omkostninger.

**Tabel 6.1 Oversigt over vandselskabers samfundsøkonomiske omkostninger til svigt i forsyningssikkerhed i 2019<sup>1</sup>**

| 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) <sup>2</sup> | 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 omkostningerne udgør af de samlede omkostninger for både selskabets faktiske omkostninger og de samfundsøkonomiske omkostninger for alle forsyningssikkerhedsparametrene.

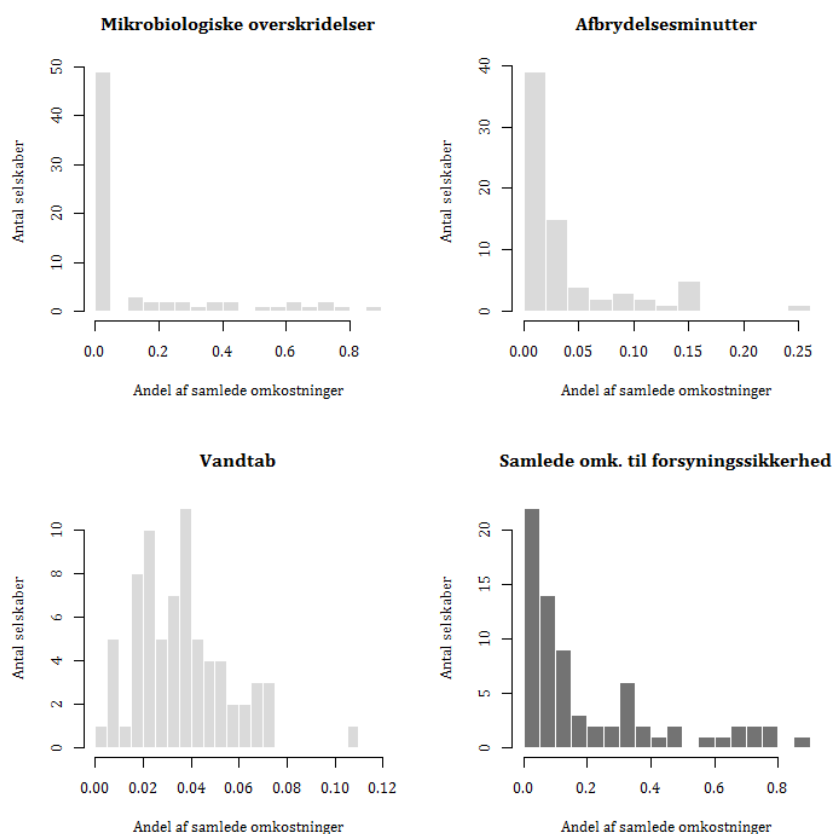
Kilde: Egne beregninger på baggrund af data fra Miljøstyrelsens performancebenchmarking (Miljøstyrelsen, u.d.).

Der er stor spredning i, hvor store samfundsøkonomiske omkostninger selskaberne oplever til de forskellige typer hændelser, jf. Figur 6.1. Særligt de samfundsøkonomiske omkostninger til mikrobiologiske overskridelser er præget af, at mange selskaber ikke har mikrobiologiske overskridelser (49 ud af 72). Disse selskaber har derfor ingen samfundsøkonomiske omkostninger til mikrobiologiske overskridelser, mens de resterende selskaber oplever relativt store omkostninger. For afbrydelsesminutter og vandtab er der også enkelte selskaber, som oplever, at de samfundsøkonomiske omkostninger hertil fylder relativt meget.

I den empiriske model i næste afsnit indgår kun de samfundsøkonomiske omkostninger til afbrydelsesminutter og vandtab. Mikrobiologiske overskridelser er ikke inkluderet som en del af selskabets omkostninger. Grundet de ekstreme værdier for mikrobiologiske overskridelser, relativt til de andre parametre, er det vurderet, at parameteren mere retvisende kan inkluderes i benchmarkingmodellen ved at bruge en anden model.



Figur 6.1 Histogrammer over forsyningssikkerheds andel af selskabernes omkostninger i 2019



**Anm.:** Histogrammerne viser, hvor stor en andel de enkelte parametre udgør af selskabets samlede omkostninger. Histogrammet i nederste højre hjørne viser den samlede omkostning af de tre parametre som andel af de samlede omkostninger.

Kilde: Egen tilvirkning

## 6.2 Præsentation af model med samfundsøkonomiske omkostninger

De samfundsøkonomiske omkostningerne til svigt i forsyningssikkerheden (med undtagelse af mikrobiologiske overskridelser) inkluderes i den empiriske model D.2 som en del af de totale omkostninger (input) i benchmarkingmodellen, jf. Tabel 6.2.

For at vurdere benchmarkingmodellens resultater sammenholdes de med basismodellen, som ikke inkluderer omkostninger til manglende forsyningssikkerhed (D.0) (baggrunden for basismodellen er beskrevet i afsnit 5.1). Den eneste forskel mellem de to modeller er dermed de samfundsøkonomiske omkostninger til manglende forsyningssikkerhed, hvorfor forskellen mellem resultaterne kan henføres direkte til disse omkostninger.

Tabel 6.2 **Oversigt over benchmarkingmodel med samfundsøkonomiske omkostninger til forsyningssikkerhed, drikkevand**

| Model                                         | Beskrivelse                                                                                                                   | Input                                                                                | Output <sup>1</sup>         |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| D.0 Basismodel                                | Basismodel uden forsyningssikkerhed, tilsvarende den model der bruges i den økonomiske benchmarking af vandselskaberne i dag. | FATO                                                                                 | OPEX og CAPEX netvolumenmål |
| D.2 Model med samfundsøkonomiske omkostninger | Model hvor de samfundsøkonomiske omkostninger til svigt i forsyningssikkerhed er inkluderet i omkostningerne.                 | FATO + samfundsøkonomiske omk. til vandtab + samfundsøkonomiske omk. til afbrydelser | OPEX og CAPEX netvolumenmål |

**Note 1:** Netvolumenmål i begge modeller er korrigeret for tæthed og alder i overensstemmelse med den benchmarkingmodel der bruges i dag.

**Anm.:** D.0 er basismodel, som er identisk med den model der i dag bruges til benchmarking i forbindelse med den økonomiske regulering. D.2 angiver modellen med samfundsøkonomiske omkostninger til svigt i forsyningssikkerhed inkluderet som en del af de samlede omkostninger. Modellen indeholder dermed fortsat blot et enkelt input.

Kilde: Egen tilvirkning.

### 6.3 Resultater for model med samfundsøkonomiske omkostninger

Når omkostninger til manglende forsyningssikkerhed inkluderes i den empiriske model (D.2), forskydes resultaterne i nogen grad. I gennemsnit er efficiensscorene dog tilnærmelsesvist uændrede sammenlignet med basismodellen (D.0) jf. Tabel 6.3.

Tabel 6.3 **Resultater af benchmarking med og uden omkostninger til manglende forsyningssikkerhed**

| Model                                         | Min   | 1. kvartil | Median | Gennemsnit | 3. kvartil | Frontselskaber |
|-----------------------------------------------|-------|------------|--------|------------|------------|----------------|
| D.0 Basismodel                                | 0,492 | 0,671      | 0,760  | 0,763      | 0,825      | 6              |
| D.2 Model med samfundsøkonomiske omkostninger | 0,418 | 0,665      | 0,768  | 0,767      | 0,865      | 6              |

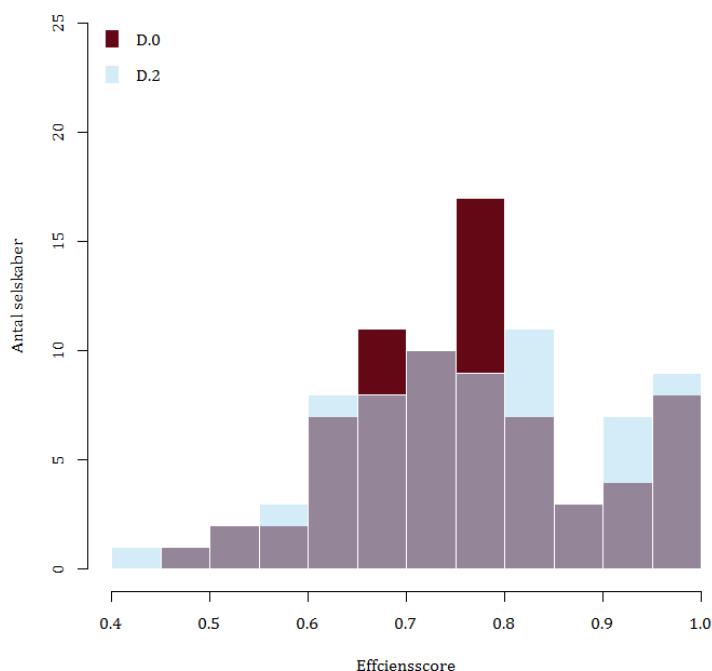
**Anm.:** Tabellen viser oversigt over benchmarkingresultater, dvs. efficiensscorer. Modellerne er nærmere beskrevet i tabel 5.4. Bemærk, at maksimum ikke er angivet, da den altid vil være 1 i en DEA-model.

Kilde: Egen tilvirkning.

Modellen med de samfundsøkonomiske omkostninger (D.2) giver resultater, som er mere spredt end basismodellen (D.0). Dette er afspejlet ved at minimum af efficiensscorerne og 1. kvartil er lavere, samt at 3. kvartil er højere i modellen med de samfundsøkonomiske omkostninger end i basismodellen. Denne spredning er visualiseret i histogrammet i Figur 6.2, hvor det ses, at resultaterne for den samfundsøkonomiske model er mindre centreret end resultaterne for basismodellen, om end fordelingen i store træk er ens.

De overordnede resultater for modellen lever op til ønsket om, at forsyningssikkerheden skal have en betydning for selskabernes effektiviseringskrav, dog uden at det producerer ekstreme resultater.

**Figur 6.2 Histogram over resultater fra benchmarkingmodel med samfundsøkonomiske omkostninger**



**Anm.:** Histogrammet viser fordelingen af efficiensscorerne i henholdsvis basismodellen (D.0) (rød søjle), og en model ved brug af samfundsøkonomiske omkostninger (D.2) (lyseblå søjler). De lystskraverede røde søjler indikerer der hvor der et overløb mellem resultaterne fra basismodellen og modellen med samfundsøkonomiske omkostninger. Resultaterne er udarbejdet på baggrund af data for 2019.

Kilde: Egen tilvirkning

Forskellen mellem de to modeller for de enkelte selskabers efficiensscorer er illustreret i Figur 6.3.

Størstedelen af selskaberne (44 af 72) vil opnå en højere efficiensscore i modellen med de samfundsøkonomiske omkostninger til forsyningssikkerhed, sammenholdt med basismodellen.

De selskaber, som opnår en højere score i modellen med forsyningssikkerhed, opnår en score som i gennemsnit er 0,030 højere end basismodellen. For de selskaber, hvor scoren i modellen med forsyningssikkerhed er lavere end i basismodellen, vil scoren i gennemsnit være 0,054 lavere. Dvs. at modellen med forsyningssikkerhed i gennemsnit vil straffe selskaberne med relativt dårlig forsyningssikkerhed mere, end den vil belønne de, som har relativt højere forsyningssikkerhed.

Der er en svag sammenhæng mellem de selskaber, som opnåede en relativt lav score i basismodellen, og de selskaber der får en lavere score når forsyningssikkerhed inkluderes, jf. Figur 6.3. Det ses ved, at de største fald er centreret omkring de selskaber, der opnåede den laveste score i basismodellen (selskaberne nederst i figuren). Der er en svag positiv korrelation mel-

---

lem scoren i basismodellen, og den forskel der er til den score som selskabet opnår, når forsyningssikkerhed inkluderes.<sup>13</sup> Sammenhængen kan indikere, at det er de selskaber, der er økonomisk mindst effektive, som også har den relativt dårligste forsyningssikkerhed. Der er dog ingen statistisk signifikant sammenhæng mellem score i basismodellen, og selskabets relative omkostninger til svigt i forsyningssikkerheden<sup>14</sup>.

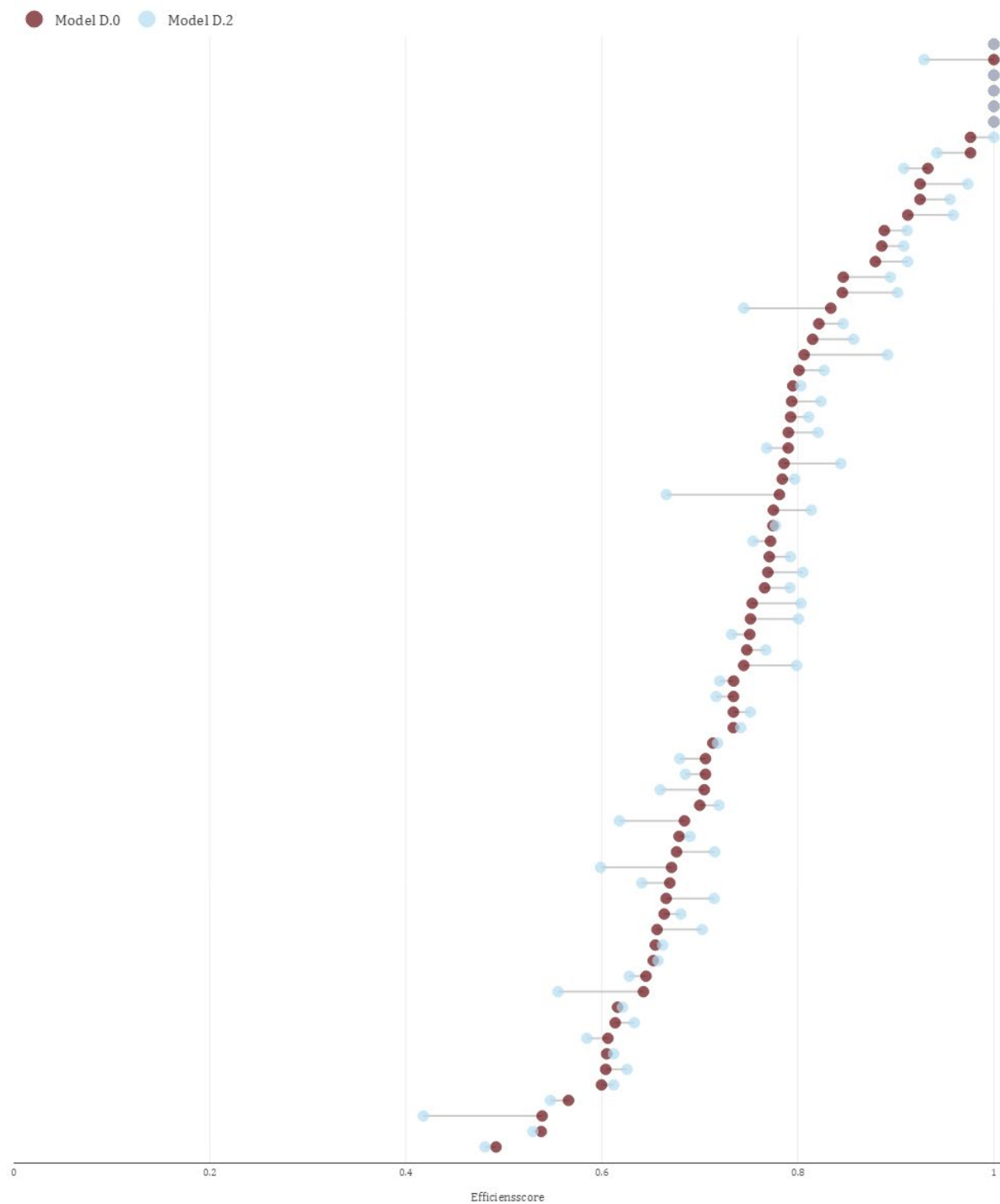
---

<sup>13</sup> Spearman korrelation på 0,23 (p-værdi=0,05).

<sup>14</sup> Spearman korrelation på -0,17 (p-værdi=0,15).

---

Figur 6.3 Resultater af benchmarking



**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. For de selskaber hvor kun scoren fra modellen med forsyningssikkerhed fremgår, er scorerne identiske i de to modeller.

Kilde: Egen tilvirkning.

Det ændrer ikke betydeligt på fronten, når forsyningssikkerhed inkluderes i modellen med samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerhed. 5 ud af 6 frontelskaber går igen i begge modeller, jf. Figur 6.3. Omkostninger til manglende forsyningssikkerhed udgør i gennemsnit 11,5 pct. af de samlede omkostninger for frontelskaberne i modellen med forsyningssikkerhed. For alle selskaber udgør omkostninger til manglende forsyningssikkerhed i gennemsnit 9,5 pct. Frontelskaberne klarer sig altså dårligere på forsyningssikkerhed end et gennemsnitligt selskab. Det kan diskuteres, hvorvidt det er hensigtsmæssigt, at fronten klarer sig dårligere, hvad angår forsyningssikkerhed, end selskaberne i gennemsnit gør. Det må dog betragtes som et robusthedstegn, at fronten ikke forskydes betydeligt, da det indikerer, at forsyningssikkerhed ikke i høj grad er afgørende for fronten og rangeringen af selskaberne i benchmarkingmodellen.

Resultaterne viser altså, at modellen medfører, at de selskaber som pålægger forbrugerne lave samfundsøkonomiske omkostninger ved manglende forsyningssikkerhed får en bedre efficiensscore. Vice versa vil de selskaber, som pålægger deres forbrugere en stor omkostning ved manglende forsyningssikkerhed, få en lavere score.

#### 6.4 Diskussion af model med samfundsøkonomiske omkostninger

I denne model inddrages forsyningssikkerhed på en forholdsvis simpel måde i benchmarkingen. De samfundsøkonomiske omkostninger til forsyningssikkerhed lægges blot til selskabets faktiske omkostninger. I modellen sikres det, at selskaberne får et incitament til at vælge det samfundsøkonomisk optimale niveau af forsyningssikkerhed.

Når de samfundsøkonomiske omkostninger til svigt i forsyningssikkerhed 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.

Den empiriske model skaber generelt konsistente resultater, som ikke afviger stort fra de resultater, basismodellen skaber. Det betyder, at forsyningssikkerhed har en påvirkning i benchmarkingen, men ikke på et niveau, hvor det fjerner incitamentet til at omkostningseffektivisere.

Som nævnt kræver denne model, at de samfundsøkonomiske omkostninger er korrekt estimeret. Disse er for udvalgte parametre analyseret i *Forbrugernes betalingsvilje for forbedringer i vandsektoren* (Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, 2020a).

Modellen er dog overordnet afhængig af, at de samfundsøkonomiske omkostninger for svigt i forsyningssikkerheden er retvisende for de forsyningssikkerhedsparametre, der potentielt kan implementeres i den økonomiske benchmarking. 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. Men er betalingsvilligheden estimeret retvisende, giver modellen selskaberne stærke og retvisende incitamenter til at optimere forsyningssikkerhed og økonomi.

Det gælder herudover generelt for denne model, at hvis vi kender de samfundsøkonomiske omkostninger ved svigt i forsyningssikkerhed, er det relativt enkelt at inddrage flere parametre. Der opstår ved brug af denne model ikke et dimensionsproblem, da de samfundsøkonomiske omkostninger ved yderligere parametre ligeledes kan inkluderes i de samlede omkostninger.

## Kapitel 7

# Benchmarkingmodeller med vægtrestriktioner for forsyningssikkerhed

---

I dette kapitel præsenterer vi to forskellige modeller for vægtrestriktioner, som implementerer forsyningssikkerhed i den økonomiske benchmarking af vandselskaberne.

En vægtrestriktion sætter en begrænsning for, hvor stor en betydning en enkelt variabel må have i beregningen af efficiensscorene. Der kan sættes vægtrestriktioner for flere parametre i samme benchmarkingmodel. Vægtrestriktioner kan derfor begrænse indflydelsen af forsyningssikkerhedsparametrene for selskabernes efficiensscore. Vægtrestriktioner kan dermed afværge dimensionsproblemet, der med standardmodellen (D.1) gav en urealistisk stor stigning i efficiensscorene.

Samtidig er der en fleksibilitet i vægtrestriktioner, der giver mulighed for at definere de overordnede rammer for, hvor stor indflydelse forsyningssikkerhed må have, men stadig giver mulighed for individuel vægtning af parametrene selskaberne imellem. For en nærmere beskrivelse af, hvordan vægte optræder i et DEA-optimeringsproblem se Appendix 2.

Vi præsenterer i dette kapitel to empiriske modeller med vægtrestriktioner. I disse modeller tilføjer vi alle parametrene for forsyningssikkerhed som separate variable til den nuværende DEA-model, på samme måde som ved standardmodellen. Forsyningssikkerhedsparametrene bliver i modellerne herudover underlagt vægtrestriktioner for at løse det problem, at flere parametre per automatik øger efficiensscorene og antallet af frontselskaber (dimensionsproblemet).

De specifikke typer af vægtrestriktioner vi benytter i de empiriske modeller er:

- Relative vægtrestriktioner
- Relative virtuelle vægtrestriktioner

I modellen med de *relative vægtrestriktioner* begrænser vi forholdet mellem vægtningen af forsyningssikkerhedsparametrene og selskabernes omkostninger (FATO). Med den type vægtrestriktioner begrænser vi direkte, hvor meget selskabernes omkostninger må stige, når forsyningssikkerhedsparametrene falder (dvs. når forsyningssikkerheden stiger). Vægtrestriktionen kan dermed fortolkes som en begrænsning på, hvor meget det må koste selskaberne at levere forsyningssikkerhed. De relative vægtrestriktioner er implementeret i den empiriske model D.3.1.

Med *relative virtuelle vægtrestriktioner* begrænser vi den samlede betydning af forsyningssikkerhedsparametrene (selskabernes uønskede outputs) i forhold til den samlede betydning af netvolumenmålene (dvs. selskabernes ønskede outputs). Med modellen definerer vi, hvor meget mere selskaberne minimum skal producere af deres ønskede outputs for at opveje produktionen af deres uønskede outputs. De relative virtuelle vægtrestriktioner er præsenteret i den empiriske model D.3.2.

I de to modeller med vægtrestriktioner vil selskaberne altid opnå den samme eller en højere efficiensscore sammenlignet med basismodellen uden forsyningssikkerhed. Med de to modeller sætter vi nemlig udelukkende en *øvre* grænse på, hvor meget forsyningssikkerhed må

---

vægte i modellen. Selskaberne har altså stadig mulighed for minimum at opnå samme score som i en model uden forsyningssikkerhed – det vil ske i det tilfælde, hvor modellen vægter forsyningssikkerhedsparametrene nul.

### 7.1 Hvad betyder vægtrestriktioner?

Vi kan betragte DEA grafisk som også tidligere vist i Kapitel 4. Figur 7.1 viser en standard DEA-model med to outputs og ét input. I figuren omkranser fronten (den sorte linje) produktionsmulighedsområdet, der definerer alle de mulige kombinationer af input og output.

I DEA vægtes hvert enkelt input og output individuelt for hvert selskab på en sådan måde, at selskabet fremstår bedst muligt. Grafisk er de relative vægte mellem to variable lig med hældningen på fronten. Hældningen definerer dermed det *trade off*, der er mellem to variable – altså hvor meget et selskab må opgive af den ene variabel for at opnå en stigning i den anden. På den måde kan vægte i DEA betragtes som skyggepriser på inputs og outputs. En nærmere beskrivelse af, hvordan vægte matematisk defineres i et DEA-optimeringsproblem, kan findes i Appendix 2.

I yderområderne – den vertikale og horisontale del af fronten – har modellen svært ved at estimere den egentlige hældning. Modellen antager den mindst restriktive hældning, hvilket resulterer i, at på det horisontale linjestykke vægtes output 1 med nul, og på det vertikale stykke vægtes output 2 nul.

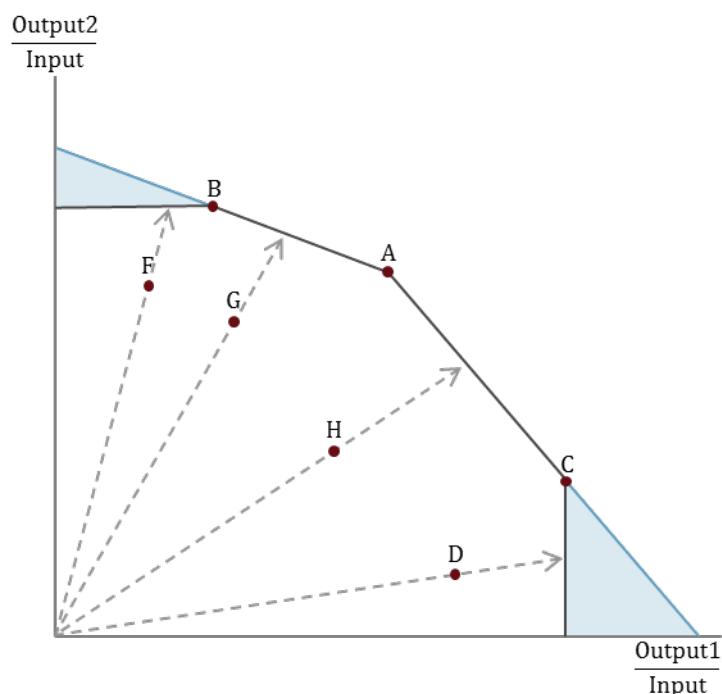
Problemstillingen er illustreret i Figur 7.1. Modellen har problemer med at estimere de horisontale og vertikale linjestykker fra selskab B til y-aksen og selskab C til x-aksen. Som standard lader DEA tvivlen komme selskaberne til gode ved at stille dem bedst muligt svarende til disse linjestykker. I virkeligheden vil vi antage, at linjestykkerne ligger et sted i det orange område. Bemærk, at det originale linjestykke er det mest konservative skøn i dette område, hvorimod det mindst konservative er at forsætte linjestykket fra selskab A til selskab B<sup>15</sup>.

Ved at indføre vægtrestriktioner i en model, ændrer vi det *trade off*, der er mellem to variable og ændrer dermed hældningen på fronten. På den måde udvides produktionsmulighedsområdet, og selskab F og selskab D vil derfor få et højere effektiviseringskrav, da de ligger længere væk fra den modificerede front. Hvis vægtrestriktionerne bliver sat korrekt, vil effektiviseringskravene blive mere retvisende. Det er dog ikke en trivial opgave. Det er derfor vigtigt, at vægtrestriktioner ikke sættes for restriktivt, da det kan give nogle selskaber urimelig høje effektiviseringskrav.

<sup>15</sup> Vægtrestriktioner er ikke begrænset til dette eksempel, da de teoretisk kan udvide og ændre hældningen på alle linjestykker. Linjestykket mellem selskab A og selskab B kunne således også være stejlere således at selskab B ikke længere er effektiv.



Figur 7.1 DEA produktionsmulighedsområde med vægtrestriktioner



**Anm.:** Figuren illustrerer et DEA-benchmarking med to output. Den sorte rand illustrer fronten i en model uden vægtrestriktioner. Området "indenfor" fronten er selskabernes produktionsområde. I det tilfælde vil fronten være vandret i linjestykket mellem 2. akse og selskab B. I linjestykket mellem selskab C og 1. akse er fronten lodret. Dette giver den mindst restriktive model. De blå linjestykker illustrerer et eksempel, hvor output pålægges vægtrestriktioner. Herved udvides fronten, så produktionsområdet stiger med det lyseblå område. Herved falder efficiensscoren for selskab F og D.

Kilde: Egen tilvirkning.

Ved at indføre vægtrestriktioner kan vi altså udvide produktionsmulighedsområdet – vi ændrer vægtene for parametrene i modellen og dermed hældningen på fronten. Ved at udvide området sætter vi større effektiviseringskrav til selskaberne, som kan opveje for de kunstigt lave effektiviseringskrav, der kommer som følge af at tilføje parametre for forsyningssikkerhed. Vægtrestriktioner kan bruges til at udvide alle områder i produktionsmulighedsområdet men er oftest mest nødvendigt i yderområderne, hvor DEA-estimationer er mindre præcise.

## 7.2 Præsentation af model med relative vægtrestriktioner

I dette afsnit præsenterer vi en model med restriktioner på vægtningen mellem selskabernes omkostninger og forsyningssikkerhedsparemetrene i bestemmelsen af selskabernes efficiensscore. I denne model (D.3.1) begrænser vi dermed, hvor meget selskabernes performance på forsyningssikkerhedsparemetrene må have af betydning i forhold til selskabernes omkostningsniveau.

I modellen tager de relative vægtrestriktioner udgangspunkt i forbrugernes betalingsvillighed for at undgå mikrobiologiske overskridelser og afbrydelsesminutter samt afgiften for vandtab. Denne model kan grundlæggende ses som en måde at inkludere selskabernes omkostninger til at levere forsyningssikkerhed i modellen, men uden at omkostningerne til forsyningssikkerhed må overstige, hvad forbrugerne er villige til at betale for det. Modellen minder derfor om

den model, hvor de samfundsøkonomiske omkostninger til svigt i forsyningssikkerhed blev inkluderet i omkostningerne (D.2).

Konkret håndteres de relative vægtrestriktioner ved at opstille en begrænsning i modellen, som siger, at selskaberne ikke bør betale en pris for at reducere hhv. mikrobiologiske overskridelser, afbrydelsesminutter og vandtab, som er højere end betalingsvilligheden/afgiften hertil. Hvis et selskab alligevel gør det, vil det alt andet lige føre til en dårligere efficiensscore. Ved at definere vægten som en øvre grænse frem for en fast pris (som var tilfældet i D.2), giver det et forsigtighedshensyn til selskaberne, som imødekommer eventuelle usikkerheder ved de samfundsøkonomiske omkostninger.

Tabel 7.1 viser modellerne, der præsenteres i dette afsnit.

Tabel 7.1 **Oversigt over model med relative vægtrestriktioner og sammenligningsmodeller**

| Model                                      | Beskrivelse                                                                                                                        | Input                                                                | Output <sup>1</sup>         |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| D.0 Basismodel                             | Basismodel uden forsyningssikkerhed, tilsvarende den model der bruges i dag.                                                       | FATO                                                                 | OPEX og CAPEX netvolumenmål |
| D.1 Standardmodel <sup>16</sup>            | Model med separate variable for forsyningssikkerhed uden vægtrestriktioner.                                                        | FATO, mikrobiologiske overskridelser, afbrydelsesminutter og vandtab | OPEX og CAPEX netvolumenmål |
| D.3.1 Model med relative vægtrestriktioner | Model med separate variable for forsyningssikkerhed med relative vægtrestriktioner mellem forsyningssikkerhedsparametrene og FATO. | FATO, mikrobiologiske overskridelser, afbrydelsesminutter og vandtab | OPEX og CAPEX netvolumenmål |

**Note 1:** Netvolumenmål i begge modeller er korrigeret for tæthed og alder i overensstemmelse med den benchmarkingmodel, der bruges i dag.

**Note 2:** Forsyningssikkerhedsparametrene indgår alle som non-discretionary inputs.

**Anm.:** Baggrunden for D.1 er beskrevet i kapitel 5, bemærk dog, at i denne model er inkluderet mikrobiologiske overskridelser, som ikke indgår i model D.3.1 beskriver modellen med relative vægtrestriktioner.

Kilde: Egen tilvirkning.

I modellen tilføjes relative vægtrestriktioner mellem forsyningssikkerhedsparametrene og selskabernes faktiske omkostninger (FATO). Vægtrestriktionerne begrænser det selskabsspecifikke *trade off* mellem omkostninger og niveauet af forsyningssikkerhed.

Baseret på de estimerede betalingsvilligheder for de tre forsyningssikkerhedsparametre, vil de relative vægtrestriktioner i model D.3.1 derfor være:<sup>17</sup>

$$\frac{u_{\text{Mikrobiologiske overskridelse}}}{u_{\text{FATO}}} \leq 70,3$$

<sup>16</sup> Modellen for standardmetoden er ændret marginalt fra modellen der anvendes i kapitel 5. I denne model er variablen for mikrobiologiske overskridelser omregnet til overskridelser pr. 1.000 prøver. Ændringen har kun en marginal effekt for modellens resultater.

<sup>17</sup> De relative vægtrestriktioner tilføjes som bibetingelser til formuleringen af DEA modellen i multipler space. Se Appendix 1 for en uddybende forklaring af den matematiske formulering af optimeringsproblemet i multipler space.

$$\frac{u_{Afbrydelsesminutter}}{u_{FATO}} \leq 4,3$$
$$\frac{u_{Vandtab}}{u_{FATO}} \leq 6,18$$

hvor u angiver den selskabsspecifikke vægt for den specifikke variabel.

7.3 Resultater for model med relative vægtrestriktioner

Tabel 7.2 viser den gennemsnitlige efficiensscore og fordelingen af scorerne i modellen med de relative vægtrestriktioner (D.3.1) i sammenligning med basismodellen uden forsyningssikkerhed (D.0) og standardmodellen uden vægtrestriktioner for forsyningssikkerhedsparemetrene (D.1). Den gennemsnitlige efficiensscore stiger fra 0,76 til 0,83 ved at tilføje de tre forsyningssikkerhedsparemetre til basismodellen uden at indføre vægtrestriktioner. For nederste kvartil er stigningen dog relativt beskeden. Det ses derimod, at grænsen for 3. kvartil er 1, hvilket indikerer, at minimum 25 % af selskaberne er efficiente i Model D.1 med forsynings-sikkerhed, men uden vægtrestriktioner.

I modellen med de relative vægtrestriktioner (D.3.1) ender den gennemsnitlige score på 0,78, hvilket er relativt tæt på udgangspunktet i basismodellen. Også her er det særligt de øvre kvartiler, der driver ændringen i scorerne. Det indikerer dermed, at det er selskaber, der allerede klarer sig relativt godt i benchmarkingen i dag, der oplever en stigning i efficiensscoren ved at indføre forsyningssikkerhedsparemetrene til modellen, med eller uden vægtrestriktioner.

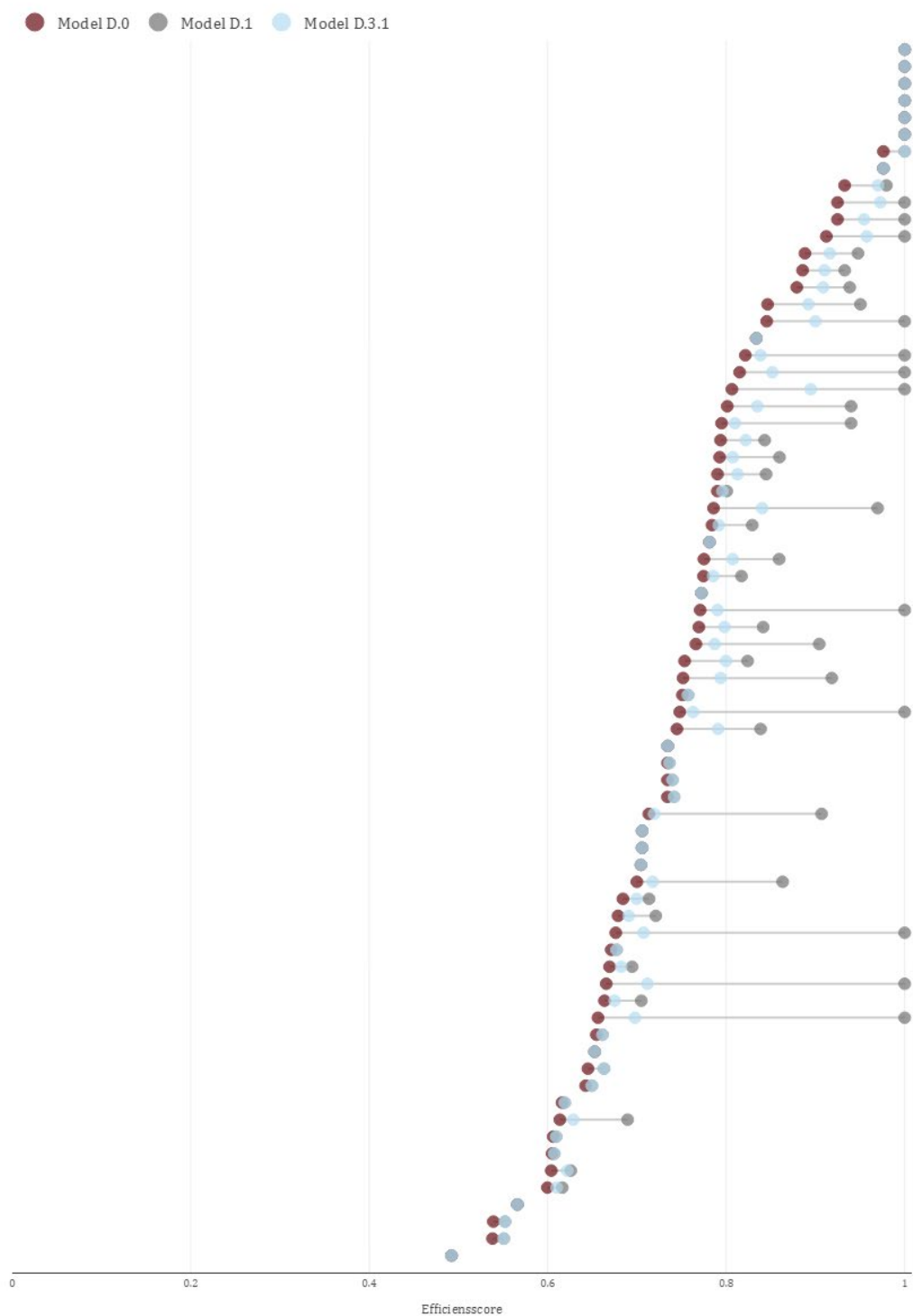
Tabel 7.2 Resultater af benchmarking med og uden relative vægtrestriktioner for betalingsvillighed

| Model                       | Min  | 1. kvartil | Median | Gennemsnit | 3. kvartil | Frontselskaber |
|-----------------------------|------|------------|--------|------------|------------|----------------|
| D.0 Basismodel              | 0,49 | 0,67       | 0,76   | 0,76       | 0,82       | 6              |
| D.1 Uden vægtrestriktioner  | 0,49 | 0,71       | 0,84   | 0,83       | 1          | 19             |
| D.3.1 Med vægtrestriktioner | 0,49 | 0,70       | 0,79   | 0,78       | 0,86       | 7              |

**Anm.:** Tabellen viser oversigt over benchmarkingresultater, dvs. efficiensscorer. Modellerne er nærmere beskrevet i Tabel 7.1. Bemærk, at maksimum ikke er angivet, da den altid vil være 1 i en DEA-model.  
Kilde: Egen tilvirkning.

Figur 7.2 viser de selskabsspecifikke ændringer i efficiensscoren ved at gå fra basismodellen uden forsyningssikkerhed (D.0) til modellen med de tre forsyningssikkerhedsparemetre uden vægtrestriktioner (D.1) og til sidst i modellen med relative vægtrestriktioner for forsynings-sikkerhed (D.3.1).

Figur 7.2 Resultater af benchmarking



**Anm.:** Figuren viser forskellen mellem efficiensscoren, et selskab vil opnå i basismodellen (D.0) (rød), i standardmodellen (D.1) (mørkegrå), og modellen med relative vægtrestriktioner (D.3.1) (lyseblå). De selskaber hvor kun den lyseblå score fremgår, indikerer, at scoren er ens i de tre modeller. De selskaber hvor kun en rød og lyseblå score fremgår, er scoren for model D.1 og D.3.1 ens (lyseblå og grå). Scorene bygger på 2019-data.

Kilde: Egen tilvirkning

Ligesom det kunne aflæses i Tabel 7.2, ser vi, at selskabernes efficiensscorer stiger relativt meget ved at inkludere forsyningssikkerhedsparemetrene. Vi ser også, at antallet af frontelskaber stiger relativt meget fra 6 frontelskaber i basismodel D.0 til 19 i model D.1. Grunden til denne stigning er netop, at selskaberne nu har langt flere parametre, de kan være effektive på, fordi de nu kan vægte de nye parametre og se bort fra deres omkostninger. Ved at indføre vægtrestriktioner (D.3.1) sænkes selskabernes score så igen, men ned til et niveau der er højere end i basismodellen uden forsyningssikkerhed. Dette er netop formålet med vægtrestriktionerne i denne model: Vi begrænser den stigning i efficiensscoren, der opstår ved at implementere flere variable (dimensionsproblemet).

I gennemsnit opnår selskaberne en relativt lille stigning i efficiensscoren på 0,2 pct. point ved at sammenligne basismodellen med modellen med de relative vægtrestriktioner på forsyningssikkerhed jf. Tabel 7.2. Ved at se på Figur 7.2 kan vi dog se, at enkelte selskaber oplever en noget større stigning i scoren, men at stigningen er relativt begrænset netop på grund af vægtrestriktionerne.

Da der er vægtrestriktioner for alle tre forsyningssikkerhedsparemetre, kan selskaber blive begrænset i beregningen af deres efficiensscore ved tre forskellige vægtrestriktioner. Tabel 7.3 viser, hvor mange selskaber der er begrænset af vægtrestriktionen for de forskellige parametre.

**Tabel 7.3 Selskaber der begrænses af de relative vægtrestriktioner i model D.3.1**

| Begrænset af restriktion på:   | Antal selskaber |
|--------------------------------|-----------------|
| Mikrobiologiske overskridelser | 4               |
| Afbrydelsesminutter            | 33              |
| Vandtab                        | 28              |
| Alle tre parametre             | 4               |

**Anm.:** Tabellen viser, hvor mange selskaber der begrænses af de enkelte vægtrestriktioner. Det vil fx sige, at fire selskabers efficiensscore begrænses af vægtrestriktionen på mikrobiologiske overskridelser.

*Kilde: Egen tilvirkning*

Vægtrestriktionerne for parametrene afbrydelsesminutter og vandtab er de begrænsninger, der påvirker flest selskaber, hvor vægtrestriktionen for mikrobiologiske overskridelser kun er en begrænsende restriktion for fire selskaber jf. Tabel 7.3.

Hertil skal det dog bemærkes, at vægten for mikrobiologiske overskridelser er irrelevant for selskaber, der ikke har mikrobiologiske overskridelser. Da der kun er 23 ud af 72 selskaber, der har mikrobiologiske overskridelser, er der derfor relativt få selskaber, der reelt kan blive begrænset af vægtrestriktionen for denne variabel.

#### 7.4 Præsentation af model med virtuelle vægtrestriktioner

Begrænsninger på de selskabsspecifikke virtuelle vægtrestriktioner angiver direkte, hvor stor påvirkning en enkel variabel må have på et selskabs efficiensscore.

Værdien af variablene i DEA gange deres vægte kaldes for virtuelle vægtrestriktioner. Kort sagt angiver virtuelle vægtrestriktioner den samlede betydning, de enkelte variable har for selskabernes efficiensscore. Jo højere virtuel vægtrestriktion et selskab har for en variabel, desto større betydning har den variabel for selskabets samlede efficiensscore.

Med virtuelle vægtrestriktioner kan vi angive et minimum og et maksimum for, hvor meget de enkelte parametre må påvirke efficiensscoren. Som udgangspunkt må efficiensscoren påvirkes 100 pct. af en enkelt parameter, hvis der ikke er angivet andet i DEA. Det betyder, at alle andre parametre bliver ignoreret, og at et selskab dermed kun bliver vurderet ud fra et enkelt output. Virtuelle vægtrestriktioner er yderligere beskrevet i Boks 7.1.

### Boks 7.1 Hvad er virtuelle vægtrestriktioner?

Virtuelle vægtrestriktioner omtales i litteraturen som "virtuals". Virtuals er betegnelsen for værdien af et input eller output ganget vægten for variabelen.

Virtuals er selskabsspecifikke, og kan for hvert selskab fortolkes som variabelens betydning for selskabets efficiensscore.

Ved en input-orienteret model med to outputs,  $y_1$  og  $y_2$ , vil de to output-virtuals være defineret ved hhv.  $y_1 \cdot v_1$  og  $y_2 \cdot v_2$ . Summen af de to output virtuals vil udgøre efficiensscoren. På den måde kan vi betragte hvert output-virtual som et bidrag til efficiensscoren. Jo højere virtual for et output, desto større betydning tillægges det enkelte output dermed i bestemmelsen af et selskabs efficiensscore.

Forsyningsparametrene er såkaldte uønskede outputs, og en stigning i virtuals på forsynings-sikkerhedsparametrene påvirker selskabernes efficiensscore negativt. OPEX og CAPEX er derimod ønskede outputs, og en stigning i virtuals for de parametre påvirker efficiensscoren positivt.

I dette afsnit viser vi en model, hvor vi sætter relative virtuelle vægtrestriktioner på, hvor meget forsynings-sikkerhedsparametrene som "uønskede outputs" må påvirke efficiensscoren relativt til de "ønskede outputs", netvolumenmålene.

Modellen, hvor der sættes relative virtuelle vægtrestriktioner på forholdet mellem forsynings-sikkerhedsparametrene og OPEX og CAPEX, sammenholdes med basismodellen (D.0) og en model, hvor forsynings-sikkerhed inkluderes uden vægtrestriktioner (D.1), jf. Tabel 7.4.

Tabel 7.4 **Oversigt over model med relative virtuelle vægtrestriktioner og sammenligningsmodeller**

| Model                                                | Beskrivelse                                                                                                                                             | Discretionary input                                                  | Output <sup>1</sup>         |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| D.0 Basismodel                                       | Basismodel uden forsynings-sikkerhed, tilsvarende den model der bruges i dag.                                                                           | FATO                                                                 | OPEX og CAPEX netvolumenmål |
| D.1 Standardmodel                                    | Model med separate variable for forsynings-sikkerhed uden vægtrestriktioner.                                                                            | FATO, mikrobiologiske overskridelser, afbrydelsesminutter og vandtab | OPEX og CAPEX netvolumenmål |
| D.3.2 Model med relative virtuelle vægtrestriktioner | Model med separate variable for forsynings-sikkerhed med relative virtuelle vægtrestriktioner mellem forsynings-sikkerhedsparametrene og OPEX og CAPEX. | FATO, mikrobiologiske overskridelser, afbrydelsesminutter og vandtab | OPEX og CAPEX netvolumenmål |

**Note 1:** Netvolumenmål i begge modeller er korrigeret for tæthed og alder i overensstemmelse med den benchmarkingmodel, der bruges i dag.

**Note 2:** Forsynings-sikkerhedsparametrene indgår alle som non-discretionary inputs.

**Anm.:** Baggrunden for D.1 er beskrevet i kapitel 5. Bemærk dog, at i denne model er inkluderet mikrobiologiske overskridelser, som ikke indgår i modelen i kapitel 5.

Kilde: Egen tilvirkning.

I modellen med relative virtuelle vægtrestriktioner sætter vi begrænsningen ud fra, hvordan forsyningssikkerhedsparametrene vægtes i forhold til de øvrige outputs, når alle parametre kan vægtes frit.

I standardmodellen er medianen for forholdet mellem summen af virtuelle vægtrestriktioner på forsyningssikkerhed og summen af virtuelle vægtrestriktioner for netvolumenmålene 20. Det vil sige, at for halvdelen af selskaberne betyder netvolumenmålene mindre end 20 gange så meget som forsyningssikkerhedsparametrene, når disse implementeres uden yderligere begrænsninger i standardmodellen.

Vi bruger medianvægtningen, mellem forsyningssikkerhed og netvolumenmålene, fra standardmodellen til at fastsætte den virtuelle vægtrestriktion til den empiriske model (D.3.2). På den måde bliver den halvdel, der vægter forsyningssikkerhed højest relativt til OPEX og CAPEX i standardmodellen, begrænset af den virtuelle vægtrestriktion.

Dette er en relativt arbitrær vægtning og skal betragtes som et eksempel på, hvordan en virtuel vægtrestriktion kan defineres. Det er muligt at vælge en hvilken som helst virtuel vægtrestriktion for forsyningssikkerhedsparametrene. Jo mindre betydning forsyningssikkerhed må have for selskabernes efficiensscore, desto mere restriktiv skal vægtrestriktionen fastsættes.

Vi fastsætter dermed den relative virtuelle vægtrestriktion sådan, at en stigning for forsyningssikkerhed som minimum skal være forbundet med en 20 gange så stor stigning i OPEX og CAPEX. Påvirkningen på efficiensscoren, fra OPEX og CAPEX tilsammen, skal altså være 20 gange så stor som påvirkningen fra forsyningssikkerhedsparametrene.<sup>18</sup>

## 7.5 Resultater for model med relative virtuelle vægtrestriktioner

Tabel 7.5 viser de overordnede resultater for modellen med virtuelle vægtrestriktioner (D.3.2). I tabellen sammenlignes resultaterne med basismodellen uden forsyningssikkerhed (D.0) og modellen med forsyningssikkerhedsparametrene, men uden vægtrestriktioner i standardmodellen (D.1).

Ligesom med relative vægtrestriktioner trækker virtuelle vægtrestriktioner den gennemsnitlige score ned, sammenlignet med en model med forsyningssikkerhed uden vægtrestriktioner (D.1). Som det var tilfældet med modellen med relative vægtrestriktioner (D.3.1), er det især i de øvre kvartiler, at selskaber opnår en højere score i modellen med virtuelle vægtrestriktioner, sammenlignet med basismodellen (D.0). Det tyder på, at det er selskaber med relativt høj økonomisk performance, der generelt også performer relativt godt på forsyningssikkerhedsparametrene og derfor opnår bedre scorere i en model, hvor de også har mulighed for at blive bedømt på deres performance inden for forsyningssikkerhed.

<sup>18</sup> Følgende restriktion tilføjes derfor til den matematiske formulering i multiplifier space i Model D.3.2:

$$(v_{OPEX} \cdot OPEX + v_{CAPEX} \cdot CAPEX) / (u_{Mikro} \cdot Mikro + u_{Afb} \cdot Afb + u_{Vandtab} \cdot Vandtab) \geq 20$$

, hvor "Mikro" er mikrobiologiske overskridelser og "Afb" er afbrydelsesminutter. For en nærmere beskrivelse af DEA optimeringsproblemet i multiplifier space se Appendix 2.

Tabel 7.5 Resultater af benchmarking med og uden relative virtuelle vægtrestriktioner for betalingsvillighed

| Model                                 | Min  | 1. kvartil | Median | Gennemsnit | 3. kvartil | Frontselskaber |
|---------------------------------------|------|------------|--------|------------|------------|----------------|
| D.0 Basismodel                        | 0,49 | 0,67       | 0,76   | 0,76       | 0,82       | 6              |
| D.1 Uden vægtrestriktioner            | 0,49 | 0,71       | 0,84   | 0,83       | 1          | 19             |
| D.3.2 Med virtuelle vægtrestriktioner | 0,49 | 0,71       | 0,81   | 0,81       | 0,92       | 9              |

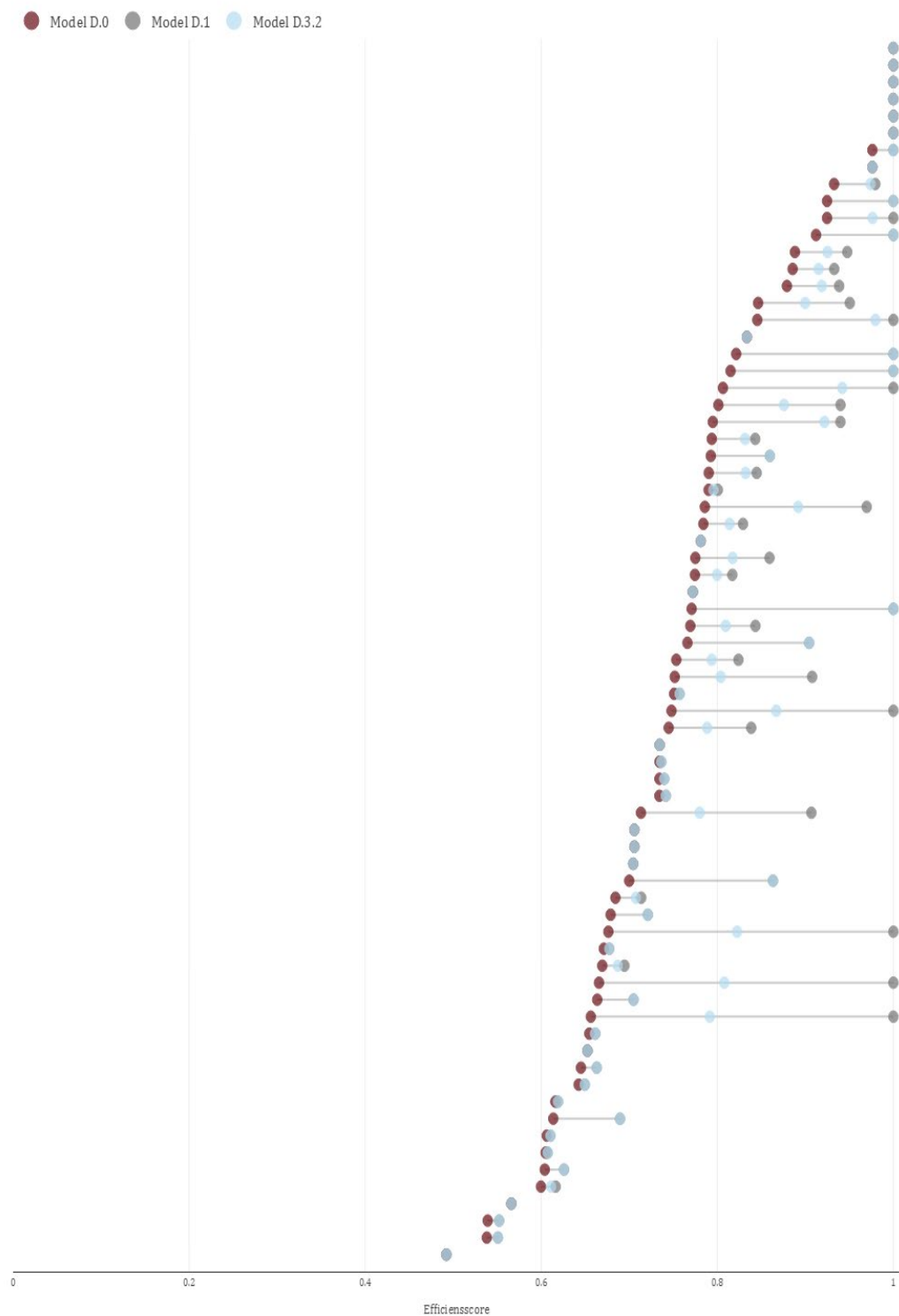
**Anm.:** Tabellen viser oversigt over benchmarkingresultater, dvs. efficiensscorer. Modellerne er nærmere beskrevet i Tabel 7.4. Bemærk, at maksimum ikke er angivet, da den altid vil være 1 i en DEA-model

Kilde: Egen tilvirkning.

Figur 7.3 viser en oversigt over de selskabsspecifikke ændringer i scoren for de tre modeller (D.0, D.1 og D.3.2). Vi ser samme tendenser som med modellen for de relative vægtrestriktioner, nemlig at efficiensscorerne stiger sammenlignet med basismodellen. Modellen med forsyningssikkerhed med virtuelle vægtrestriktioner (D.3.2.), begrænser dog stadig stigningen relativt meget sammenlignet med en model med forsyningssikkerhed men uden vægtrestriktioner (D.1). Ved at gå fra en model uden forsyningssikkerhed (D.0) til modellen med virtuelle vægtrestriktioner (D.3.2), stiger antallet af frontselskaber fra seks til ni. Det er dog stadig mindre end de 19 frontselskaber, vi ser i en tilsvarende model uden vægtrestriktioner (D.1).



Figur 7.3 Resultater af benchmarking



**Anm.:** Figuren viser forskellen mellem efficiensscoren, et selskab vil opnå i basismodellen (D.0) (rød), i standardmodellen (D.1) (grå), og modellen med relative virtuelle vægtrestriktioner (D.3.2) (lyseblå). De selskaber hvor kun den grå score fremgår, indikerer at scoren er ens i de tre modeller. De selskaber hvor kun en rød og grå score fremgår, er scoren for standardmodellen (D.1) og modellen med relative virtuelle vægtrestriktioner (D.3.2) ens.

Kilde: Egen tilvirkning

## 7.6 Mulige variationer over modeller med vægtrestriktioner

Model D.3.1 repræsenterer en model med en maksimal begrænsning på vægtningen mellem forsyningssikkerhed og selskabernes omkostninger. Modellen inkluderer alle tre forsyningssikkerhedsparametre for drikkevandsselskaberne, og den relative vægtrestriktion er defineret som en maksimal vægtning af forsyningssikkerhedsparametrene relativt til FATO. I modellen er vægtrestriktionen desuden sat på baggrund af den estimerede betalingsvillighed for mikrobiologiske overskridelser og afbrydelsesminutter samt afgiften for vandtab.

På samme måde repræsenterer Model D.3.2 en model, hvor der kun sættes en maksimal begrænsning på vægten for forsyningssikkerhedsparametrene relativt til selskabernes øvrige output i modellen.

Det er dog muligt at variere modellerne med vægtrestriktioner. Variationerne kan kombineres på kryds og tværs, hvilket giver mange mulige modeller med både absolutte og relative vægtrestriktioner. Heraf kan nævnes en model, hvor der implementeres både en øvre og nedre grænse for vægtrestriktionen. På den måde defineres et bånd for den relative vægtning mellem forsyningssikkerhed og selskabernes omkostninger. Boks 7.2 giver et overblik over de mest oplagte variationer over modellen.

### Boks 7.2 Mulige variationer af vægtrestriktioner

#### *Anden maks-grænse for vægtrestriktionen*

I Model D.3.1 angives, hvor meget det maksimalt bør koste selskaberne at levere forsyningssikkerhed. I modellen tages der udgangspunkt i den estimerede betalingsvillighed. Den maksimale grænse for den relative vægtrestriktion kan dog udvides som et yderligere forsigtighedshensyn for selskaberne. Dette kan eksempelvis gøres, hvis estimerterne for de estimerede betalingsvilligheder er behæftet med usikkerhed, og vi ønsker at lade denne usikkerhed komme selskaberne yderligere til gode.

#### *Bånd omkring vægtrestriktionen*

I både Model D.3.1 og D.3.2 implementeres udelukkende en *maksimal* grænse for de relative vægte på forsyningssikkerhed. Det er i stedet muligt at definere både en øvre og nedre grænse for den relative vægtning.

Med udgangspunkt i Model D.3.1, vil fortolkningen af en sådan model være, at alle selskaber tillægges omkostninger til forsyningssikkerhed svarende til eksempelvis  $\pm 20\%$  af betalingsvilligheden for variablene. Denne type vægtrestriktion er mere restriktiv, da den medfører, at selskaberne nu også skal tillægge forsyningssikkerhedsparametrene en minimumsvægt. Det vil betyde, at selskaber også kan opnå en *lavere* score i denne model sammenlignet med basismodellen uden forsyningssikkerhedsparametrene.

Ulempen ved denne model er dog, at der ved relativt restriktive vægtrestriktioner som denne, opstår en risiko for, at modellen ikke kan finde en løsning for enkelte selskaber.

#### *Andet end betalingsvillighed som udgangspunkt for vægtrestriktionen*

Vægtrestriktioner kan eksempelvis sættes på baggrund af ekspertudsagn eller regressionsanalyser, der kan være med til at bestemme omkostningerne til forsyningssikkerhed. Det har dog ikke været muligt at identificere de specifikke omkostninger til forsyningssikkerhed.

På nuværende tidspunkt, er betalingsvilligheden derfor vores bedste udgangspunkt for en vægtrestriktion mellem forsyningssikkerhed og omkostninger, da vi dermed sikrer, at selskaber ikke har for høje omkostninger til forsyningssikkerhed.

#### *Mulige parametre i modellen*

Som med de øvrige modeller præsenteret i denne analyse, er det muligt at gennemføre modellen med flere eller færre forsyningssikkerhedsparametre. Fordi vægtrestriktioner begrænser stigningen i efficiensscoren, der opstår, når flere parametre tilføjes modellen, kan flere forsyningssikkerhedsparametre føjes til modellen, uden at vi nødvendigvis vil opleve meget store stigninger i scorerne.

## 7.7 Diskussion af modeller med vægtrestriktioner

Vægtrestriktioner kan overordnet afhjælpe, at efficiensscoren for en række selskaber vil stige betydeligt, blot fordi antallet af parametre stiger, som vi så i standardmodellen (D.1).

I dette kapitel har vi præsenteret to mulige modeller for vægtrestriktioner.

Med de relative vægtrestriktioner (D.3.1) lagde vi en begrænsning på betydningen af forsyningssikkerhed, så selskaberne ikke kan vælge at se bort fra deres omkostningsniveau. Efter som selskaberne i modellen ikke må fremstå effektive ved at have højere omkostninger til forsyningssikkerhed, end forbrugerne er villige til at betale, bruger vi vores viden om forbrugernes betalingsvillighed, men tilføjer en fleksibilitet i måden selskabernes performance på parametrene vægtes i modellen. Denne model kan derfor bruge eventuelle estimerede samfundsøkonomiske omkostninger ved svigt i forsyningssikkerhed, selvom disse ikke nødvendigvis er estimeret præcist. Fleksibiliteten i vægtrestriktionerne kommer selskaberne til gode i denne model, sådan at eventuel usikkerhed i den estimerede betalingsvillighed ikke medfører lavere efficiensscore for selskaberne sammenlignet med en basismodel uden forsyningssikkerhed.

Med modellen med relative virtuelle vægtrestriktioner (D.3.2) vægtes betydningen af forsyningssikkerhedparametrene mod betydningen af de øvrige outputs. Det er dog svært at fastlægge den egentlige vægtning i denne model, da det vil kræve en subjektiv vurdering, af hvilken betydning forsyningssikkerhed må have relativt til selskabernes øvrige outputs.

I de empiriske modeller præsenteret under vægtrestriktioner (D.3.1 og D.3.2) sætter vi udelukkende en maksimal grænse for, hvor meget forsyningssikkerhedparametrene må vægte i modellen. Efficiensscorerne vil derfor, med disse modelspecifikationer, altid stige eller som minimum være uændret, sammenlignet med basismodellen uden forsyningssikkerhed. Dog er stigningen i efficiensscorer relativt lille sammenlignet med standardmodellen (D.1), hvor forsyningssikkerhed implementeres som separate parametre uden vægtrestriktioner. Scorerne stiger derfor generelt ikke meget i de empiriske modeller med vægtrestriktioner sammenlignet med basismodellen. Begge modeller med vægtrestriktioner producerer derfor relativt konsistente resultater, hvor særligt fronten ikke ændres betydeligt sammenlignet med basismodellen.

Udfordringen ved at anvende vægtrestriktioner i DEA er at fastsætte selve restriktionen. Denne fastsættelse kræver eksempelvis information om trade off'et mellem to parametre eller de underliggende produktionsomkostninger. Disse informationer behøver dog ikke at kunne estimeres præcist, da vægtrestriktioner netop ikke sætter en entydig vægt for parametrene men derimod et interval, hvori modellen selv kan estimere vægtene.

## Kapitel 8

# Benchmarkingmodeller med sammenligningsgrundlag sammensat efter forsyningssikkerhed

---

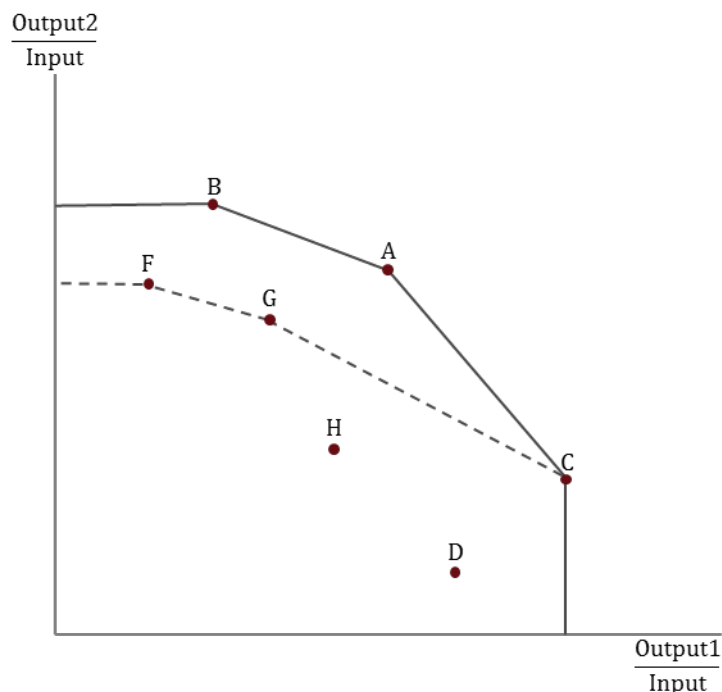
Med denne tilgang anvender vi forsyningssikkerhed til at vurdere, hvilke selskaber der kan sammenlignes med hinanden; selskabernes niveau af forsyningssikkerhed er med til at definere sammenligningsgrundlaget for hvert enkelt selskab.

Ved at bruge forsyningssikkerhed som udgangspunkt for selskabernes sammenligningsgrundlag modellerer vi ikke forsyningssikkerhed direkte i benchmarkingmodellen. Vi anvender i stedet selskabernes niveau af forsyningssikkerhed som en kontrolvariabel for, hvilke selskaber der kan sammenlignes med hinanden. På den måde reduceres antallet af selskaber, som hvert selskab sammenlignes med i benchmarkingen. Herefter anvender vi den nuværende økonomiske benchmarkingmodel (tilsvarende basismodel D.0) på det reducerede sammenligningsgrundlag.

Grundprincippet i en model med ændret sammenligningsgrundlag er, at selskaber med *høj* forsyningssikkerhed ikke sammenlignes med selskaber, der har en *lav* forsyningssikkerhed. Vi antager, at det er omkostningsfuldt at have et højt niveau af forsyningssikkerhed, og at selskaber med høj forsyningssikkerhed – og dermed høje omkostninger – i udgangspunktet ikke skal sammenlignes med selskaber med lav forsyningssikkerhed og tilsvarende lave omkostninger.

Figur 8.1 viser et eksempel, hvor selskab H's efficiensscore skal udregnes. Hvis selskab H har en bedre forsyningssikkerhed end selskab A og B, skal selskabet ikke sammenlignes med en front, der består af A og B. Selskaberne F, G og C har derimod et forsyningssikkerhedsniveau, der er på højde med, eller højere end selskab H's niveau. Produktionsmulighedsområdet for H vil derfor blive indskrænket som angivet med den striplede linje. På den måde kommer selskabet tættere på fronten på grund af sit høje niveau af forsyningssikkerhed, hvilket alt andet lige får selskabet til at fremstå mere effektivt. Når efficiensscoren efterfølgende skal udregnes for selskab D, vil produktionsmulighedsområdet for det selskab afhænge af deres niveau for forsyningssikkerhed relativt til de andre selskaber i benchmarkingen.

Figur 8.1 Illustration af benchmarking med ændret sammenligningsgrundlag



**Anm.:** Figuren illustrer, hvordan fronten rykkes for det enkelte selskab, på baggrund af sammenligningsgrundlaget. I eksemplet skal efficiensscoren for selskab H udregnes. Selskab H har en bedre forsyningssikkerhed end selskaberne A og B, men ikke bedre end selskaberne F, G og C. Derfor rykkes fronten ind til den stiplede linje, når efficiensscoren for selskab H beregnes. Bemærk, at når efficiensscoren for selskab D beregnes, vil frontens placering afhænge af dennes niveau for forsyningssikkerhed sammenholdt med de resterende selskaber.

Kilde: Egen tilvirkning

### 8.1 Præsentation af modeller med ændring i sammenligningsgrundlag

Vi præsenterer i alt tre modeller, hvor forsyningssikkerhed håndteres i benchmarkingen ved at ændre på sammenligningsgrundlaget.

**Model 1: Simpel rangering med tre forsyningssikkerhedsparametre (D.4.1):** I denne model kan selskaber kun sammenlignes med selskaber, der har bedre forsyningssikkerhed på alle tre forsyningssikkerhedsparametre. Selskaberne bliver rangeret fra lavest til højest for hver parameter. Selskaberne kan herefter kun sammenlignes med andre selskaber, som har en højere rangering for alle forsyningssikkerhedsparametrene.

Ved at ændre sammenligningsgrundlaget for selskaberne på baggrund af deres niveau af forsyningssikkerhed, vil selskaber med høj forsyningssikkerhed på bare én parameter som udgangspunkt ikke kunne sammenlignes med selskaber med relativt lavere værdier på denne parameter. Dette gælder for hver enkelt forsyningssikkerhedsparameter. Når antallet af forsyningssikkerhedsparametre stiger, er der en stigende sandsynlighed for, at et selskab klarer sig godt på minimum én af parametrene i forhold til andre selskaber. Denne model giver derfor færre sammenligningsmuligheder, jo flere forsyningssikkerhedsparametre der bruges. Modellen medfører, at selskaberne har incitament til at forbedre en enkelt parameter for at reducere sit sammenligningsgrundlag så meget som muligt.

Det er muligt at justere ovenstående problem. Vi præsenterer nedenfor to modeller, som gør dette. Begge tager udgangspunkt i at sammenveje de separate forsyningssikkerhedsparametre til et fælles mål for selskabernes niveau af forsyningssikkerhed. I stedet for at fastlægge sammenligningsgrundlaget ud fra samtlige forsyningssikkerhedsparametre, mindsker vi derfor antallet af parametre, der er med til at fastlægge sammenligningsgrundlaget.

**Model 2: Et fælles indeks (D.4.2):** I denne model laver vi et fælles indeks for forsyningssikkerhed, som selskaberne herefter sammenlignes på. Vi beregner indekset for forsyningssikkerhed ved at tage et simpelt gennemsnit af de normaliserede parametre. Parametrene normaliseres på følgende måde:

$$z_{m,k} = \frac{x_{m,k} - x_{m,min}}{x_{m,max} - x_{m,min}}, \quad \forall m, k$$

hvor  $x_{m,k}$  er den enkelte forsyningssikkerhedsparameter for selskab  $k$ , og  $z_{m,k}$  er den normaliserede parameter for selskab  $k$ . Dernæst tager vi et almindeligt gennemsnit af de tre normaliserede parametre for at få et samlet indeks:

$$I_k = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M z_{m,k}, \quad \forall k$$

hvor  $M$  er antallet af forsyningssikkerhedsparametre.

En af udfordringerne ved denne model er, at vi ikke har nok information til at vægte parametrene. Derfor antager vi, at de tre forsyningssikkerhedsparametre skal vægtes ligeligt. Det er problematisk, da vi dermed antager, at omkostningerne forbundet med et normaliseret afbrydelsesminut er de samme som omkostningerne forbundet med eks. en mikrobiologisk overskridelse i normaliseret form.

**Model 3: Principal Component Analysis (PCA) (D.4.3):** I ovenstående model reducerede vi antallet af forsyningssikkerhedsparametre fra 3 til 1, ved at konstruere et simpelt fælles indeks for forsyningssikkerhed. Modellen med et simpelt indeks reducerer antallet af forsyningssikkerhedsparametre men uden at tage højde for, hvorvidt vi taber for meget information fra data. Ved hjælp af PCA har vi undersøgt, om det er muligt at reducere antallet af parametre og samtidig bibeholde mest mulig information om forsyningssikkerhedsparametrene.

PCA konstruerer nye variable (principalkomponenter) på baggrund af det givne datasæt.<sup>19</sup> PCA reducerer antallet af variable ved lineær transformation af de originale variable og danner nye variable: principalkomponenter. Teorien bag PCA samt resultaterne af vores PCA-analyse bliver gennemgået i Appendix 2.

Vores analyse har vist, at det er muligt at reducere forsyningssikkerhedsparametrene til 2 principalkomponenter og samtidig beholde 76 pct. af informationen i data<sup>20</sup>.

En ulempe ved at bruge principalkomponenter som nye variable i analysen er fortolkningen af dem. Dette problem formindskes dog af, at vi blot skal bruge principalkomponenterne som en metode til at vurdere, hvilke selskaber der kan sammenlignes med hvilke. Fortolkningen af

<sup>19</sup> Forsyningssikkerhedsparametrene kan opgøres som volumenmål eller ratiomål. Da selskabernes absolutte niveau af forsyningssikkerhed er afhængig af selskabets størrelse, opgør vi forsyningssikkerhed som ratiomål i PCA.

<sup>20</sup> Det skal hertil bemærkes, at der ikke findes en fast cut-off grænse for hvor meget af variansen i data, principalkomponenterne skal beskrive.

principalkomponenterne er fortsat, at det er dårligt at have en høj værdi af én af de to principalkomponenter, ligesom for de originale forsyningssikkerhedsparametre.

Boks 8.1  
**Minimum antal sammenligningsmuligheder**

For at sikre at alle selskaber har mulighed for at blive sammenlignet med andre, angiver vi, at et givet antal (X) af de nærmeste selskaber med en dårligere forsyningssikkerhed også kan indgå i sammenligningsgrundlaget. Det vil sige, at det selskab, der har den højeste forsyningssikkerhed, kan blive sammenlignet med de X selskaber, der har de næsthøjeste niveauer af forsyningssikkerhed. Her kan X fx sættes til 10.

På den måde vil alle selskaber altid have et sammenligningsgrundlag, og vi bløder grundprincippet op ved at antage, at det fortsat er rimeligt at sammenligne selskaber, hvor forsyningssikkerheden er i nogenlunde samme niveau.

**8.2 Resultater for modeller med ændret sammenligningsgrundlag**

Der er dermed udarbejdet tre modeller med baggrund i at danne et nyt sammenligningsgrundlag. I alle modeller indgår der mindst 10 selskaber i sammenligningsgrundlaget for alle selskaber<sup>21</sup>. Ligesom i forrige kapitler sammenlignes modellerne løbende med vores basismodel (D.0).

Tabel 8.1 giver et overblik over fordelingen af efficiensscorerne for de tre modeller og basismodellen. De tre modeller med sammenligningsgrundlag tager udgangspunkt i samme inputs og outputs som i basismodellen, men sammenligningsgrundlaget er ændret på baggrund af selskabernes forsyningssikkerhed, jf. afsnit 8.1.

Tabel 8.1 Resultater af benchmarking

| Model                  | Min  | 1. kvartil | Median | Gennemsnit | 3. kvartil | Frontselskaber |
|------------------------|------|------------|--------|------------|------------|----------------|
| D.0 Basismodel         | 0,49 | 0,67       | 0,75   | 0,76       | 0,83       | 6              |
| D.4.1 Sempel rangering | 0,51 | 0,71       | 0,83   | 0,83       | 0,98       | 14             |
| D.4.2 Fællesindeks     | 0,50 | 0,69       | 0,78   | 0,79       | 0,92       | 8              |
| D.4.3 PCA              | 0,50 | 0,70       | 0,79   | 0,81       | 0,94       | 11             |

**Anm.:** Tabellen viser oversigt over benchmarkingresultater, dvs. efficiensscorer. Modellerne er nærmere beskrevet i afsnit 8.1 Bemærk, at maksimum ikke er angivet, da den altid vil være 1 i en DEA-model.

Kilde: Egen tilvirkning.

<sup>21</sup> Se Boks 8.1. Det er muligt at justere antallet af selskaber i sammenligningsgrundlaget.

---

Basismodellen har de laveste efficiensscore. Det skyldes, at vi ikke har justeret sammenligningsgrundlaget på baggrund af selskabernes forsyningssikkerhed i denne model. På den måde kan alle selskaberne sammenlignes. For de resterende modeller vil sammenligningsgrundlaget for de enkelte selskaber udelukkende mindskes, eller forblive det samme som i basismodellen. Derfor vil efficiensscorene i de modeller for alle selskaber enten stige eller forblive det samme for.

Den simple rangeringsmodel (D.4.1) har, som forventeligt, et højt antal selskaber med en efficiensscore på 1. Det skyldes, at mange selskaber kun kan sammenlignes med sig selv eller meget få selskaber, da selskaberne blot skal klare sig godt på én forsyningssikkerhedsparameter. Den gennemsnitlige efficiensscore er i denne model 0,83, hvilket er en væsentlig ændring fra basismodellen, hvor den gennemsnitlige efficiensscore er 0,76.

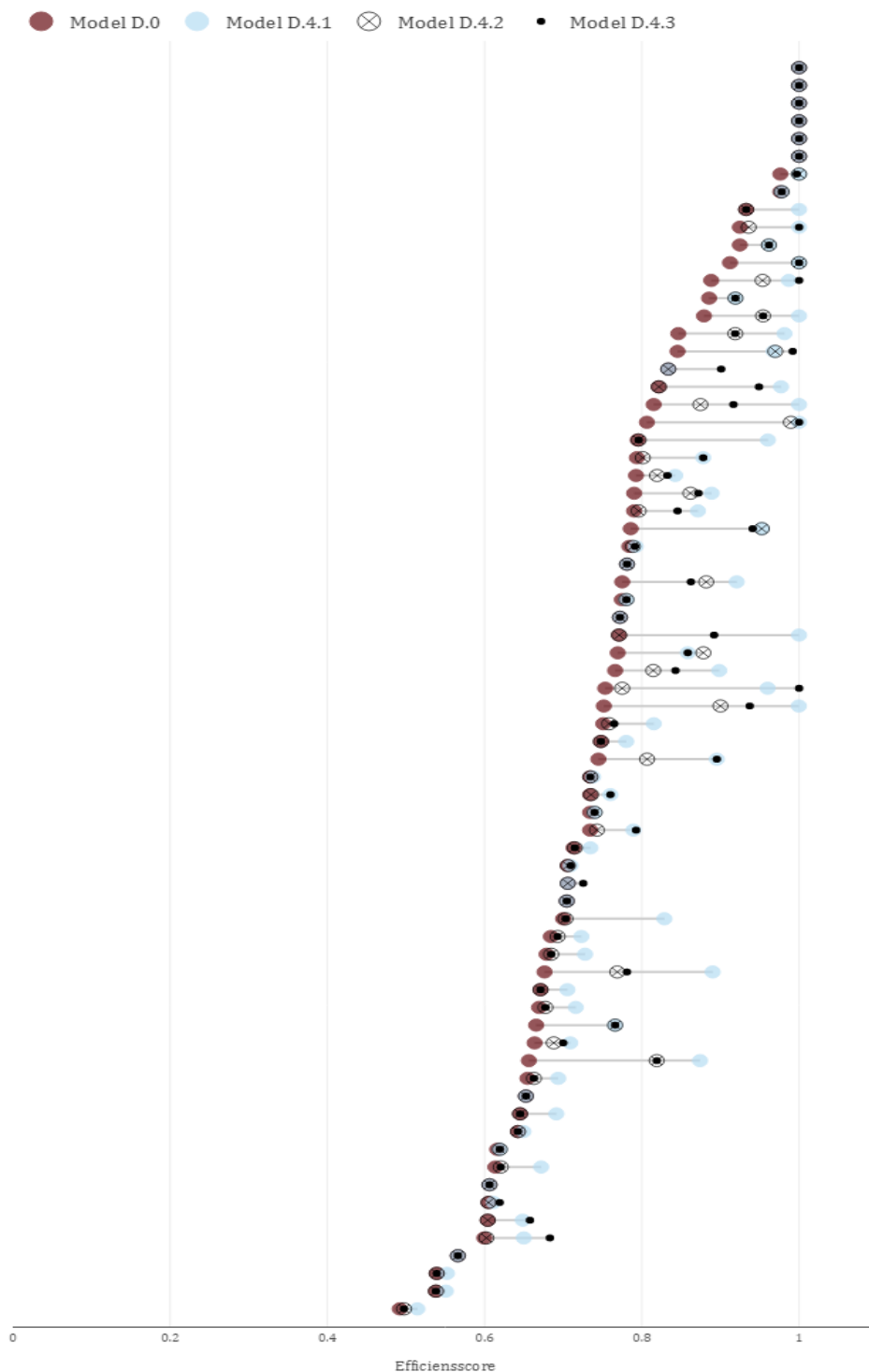
Både indeksmodellen (D.4.2) og PCA-modellen (D.4.3) har lavere gennemsnitlig efficiensscore end modellen med simpel rangering (D.4.1). For begge modeller er sammenligningsgrundlaget mere restriktivt end for modellen med den simple rangering. Det betyder, at selskaberne har færre muligheder for at fremstå efficiente i de to modeller, da færre variable bestemmer sammenligningsgrundlaget. I gennemsnit er efficiensscorene en anelse lavere ved brug af indeksmodellen end PCA-modellen.

I Figur 8.2 har vi illustreret efficiensscorene for de fire modeller på selskabsniveau.

---



Figur 8.2 Benchmarkingresultater



**Anm.:** Figuren viser forskellen mellem efficiensscoren, et selskab vil opnå i basismodellen (D.0) (rød), i modellen med en simpel rangering (D.4.1) (lyseblå), modellen bygget på et fælles indeks for forsyningssikkerhed (D.4.2) (kryds) og modellen hvor PCA er brugt til at danne sammenligningsgrundlaget (D.4.3.) (sort). Scorerne bygger på 2019-data.

Kilde: Egen tilvirkning

I Figur 8.2 er efficiensscoren for basismodellen D(0) angivet med rød for de enkelte selskaber. Efficiensscoren i denne model vil, som nævnt, altid være den laveste af de fire modeller. Figuren er rangeret efter efficiensscoren for basismodellen (D.0), så selskabet med den laveste efficiensscore står nederst, og selskaberne med de højeste efficiensscore står øverst. I denne model er der seks frontelskaber.

Efficiensscorene for modellen med simpel rangering er angivet med en lyseblå plet (D.4.1). Som vi kunne se af Tabel 8.1, er den gennemsnitlige efficiensscore høj, og der er mange frontelskaber i modellen (14).

Efficiensscorene for indeksmodellen (D.4.2) er angivet med et kryds. I modellen er der enkelte selskaber, der får en væsentlig højere scorer sammenlignet med basismodellen. De fleste hop sker for selskaber, der i forvejen har en høj efficiensscore. Der er lidt flere frontelskaber i denne model sammenlignet med basismodellen (otte frontelskaber).

I den sidste model, hvor vi bruger PCA til at definere sammenligningsgrundlaget (D.4.3), er efficiensscorene illustreret med en sort plet. Der er en del selskaber, der får en væsentligt højere scorer sammenlignet med baselinemodellen. De store hop forekommer, i lighed med de andre modeller, for de selskaber der har en høj efficiensscore i basismodellen. I denne model er der 11 frontelskaber.

Gennemgående for alle tre modeller, sammenlignet med basismodellen, er, at efficiensscorene bliver højere for selskaber, der allerede har en høj efficiensscore i basismodellen. Selskaber, der får en lav efficiensscore i basismodellen, bliver fortsat sammenlignet med relativt mange selskaber. Selskaber, der har en høj efficiensscore i basismodellen, har relativt set et lavere sammenligningsgrundlag. De selskaber der får en væsentligt højere efficiensscore i en model med ændret sammenligningsgrundlag, har derfor også en relativt høj efficiensscore i basismodellen.

Efficiensscorene for de fire modeller er relativt højt korrelerede jf. Tabel 8.2. Især er PCA-modellen (D.4.3) stærkt korreleret med hhv. modellen med den simple rangering (D.4.1) og indeksmodellen (D.4.2). Vi ser en høj korrelation mellem disse tre modeller, da den gennemsnitlige efficiensscore for PCA-modellen ligger mellem scorerne fra indeksmodellen og modellen med den simple rangering.

Tabel 8.2 **Korrelationsmatrix**

|                        | D.0 Basismodel | D.4.1 Simpel rangering | D.4.2 Fællesindeks | D.4.3 PCA |
|------------------------|----------------|------------------------|--------------------|-----------|
| D.0 Basismodel         | 1              | 0,88                   | 0,94               | 0,91      |
| D.4.1 Simpel rangering | 0,88           | 1                      | 0,94               | 0,97      |
| D.4.2 Fællesindeks     | 0,94           | 0,94                   | 1                  | 0,96      |
| D.4.3 PCA              | 0,91           | 0,97                   | 0,96               | 1         |

**Anm.:** Matrixen viser korrelationen mellem efficiensscorene opnået i de empiriske modeller.

Kilde: Egen tilvirkning

---

### 8.3 Diskussion af ændret sammenligningsgrundlag

Den overordnede tilgang med ændret sammenligningsgrundlaget, som de tre modeller bygger på, kan overordnet betragtes som et forsigtighedshensyn, der kommer selskaberne til gode. Ved at ændre sammenligningsgrundlaget i modellerne vil en del selskaber blive vurderet mod en relativt dårligere front end i basismodellen. Selskaber vil derfor altid opnå den samme eller højere score i disse modeller sammenholdt med basismodellen.

I de tre modeller modellerer vi ikke direkte forsyningssikkerhed. Det betyder, at modellerne er teoretisk mindre stærke end de øvrige modeller gennemgået i analysearbejdet. Herudover er det udelukkende et selskabs niveau af forsyningssikkerhed, der bestemmer, hvilke selskaber det kan sammenlignes med. Det er dog ikke nødvendigvis forsyningssikkerhed, der overordnet er drivende for et selskabs samlede omkostningsniveau. En række andre faktorer såsom geografiske forhold, kundesammensætning etc. kunne i ligeså høj grad være afgørende for det egentlige sammenligningsgrundlag.

Modellerne med ændret sammenligningsgrundlag giver, ligesom de øvrige modeller, stadig et generelt incitament til et lavt omkostningsniveau og høj forsyningssikkerhed. Incitamentet for høj forsyningssikkerhed adskiller sig dog væsentligt i disse modeller sammenlignet med de øvrige modeller, da selskaber får et incitament til høj forsyningssikkerhed gennem et bedre sammenligningsgrundlag. Jo bedre forsyningssikkerhed et selskab har, jo færre selskaber kan det sammenlignes med og desto højere efficiensscore vil selskabet i sidste ende opnå. Der er dermed ikke incitament til at forbedre forsyningssikkerheden, hvis ikke forsyningssikkerheden forbedres tilstrækkeligt til at ændre, hvilke selskaber det enkelte selskab benchmarkes mod.

Det kan for selskaberne derfor også være sværere at gennemskue resultaterne fra modellerne med ændret sammenligningsgrundlag, da en forbedring i forsyningssikkerheden kun påvirker selskabernes efficiensscorer, hvis forbedringen medfører, at selskabet ikke længere bliver sammenlignet med et selskab, som det ellers ville blive sammenlignet med. Efficiensscoren vil derfor ikke stige kontinuert, når forsyningssikkerheden stiger, men derimod i ryk hver gang selskabets forsyningssikkerhed overstiger et frontelskabs forsyningssikkerhed.

---

## Kapitel 9

# Sammenfatning af modellerne

---

Vi har nu beskrevet en række mulige modeller til integration af forsyningssikkerhed i økonomisk benchmarking ved brug af DEA-metoden. Modellerne skal give retvisende incitamenter til forsyningssikkerhed uden at gå på kompromis med incitamenter til økonomisk effektivitet, så forbrugerne fortsat får høj forsyningssikkerhed til priser, der ikke er unødigt høje.

Alle modellerne har styrker og svagheder. Analysen viser dog, at en helt simpel standardmodel ikke er tilstrækkelig, hvorfor det er nødvendigt at håndtere forsyningssikkerhed i benchmarkingen ved at bruge andre mere komplicerede modeller. Disse har hver især fordele og ulemper, og deres brugbarhed afhænger i høj grad af, hvilket og hvor god data der er. De forskellige modeller kan kombineres i en endelig samlet model.

### 9.1 Kriterier for en god model

Vi opstiller en række kriterier til samlet vurdering og sammenligning af modellerne. Kriterierne kan ikke rangordnes, da sammenspillet med de forskellige kriteriers egenskaber er afgørende for en models samlede egenskaber. Kriterierne giver dog et godt udgangspunkt for diskussion af modellerne. For de modeller, hvor der undersøgt flere forskellige typer af modeller (vægtrestriktion og sammenligningsgrundlag), vurderes modellen overordnet på baggrund af resultaterne af de forskellige typer af modellen.

Der er opstillet fem kriterier:

- » Konsistente resultater
- » Opfyldelse af teoretiske antagelser
- » Økonomisk incitament
- » Forsyningssikkerhedsincitament

Konsistente resultater: Resultaterne skal i overvejende grad være konsistente mellem modeller og særligt i forhold til baseline-modellen (den nuværende benchmarkingmodel). Efficiensscorene bør ikke falde eller stige drastisk, da det kan være et tegn på estimationsfejl. Yderligere er det et kriterium i DEA, at antallet af selskaber, som udgør fronten, er konsistent med basismodellen<sup>22</sup>.

Opfyldelse af teoretiske antagelser: De underliggende teoretiske antagelser for hver model kan være opfyldt i forskellig grad. Hvis en models teoretiske antagelser i praksis er tvivlsomme, kan det resultere i, at modellens resultater er usikre. Én antagelse er, at modellerne estimerer de underliggende produktionsfunktioner for forsyningssikkerhed. Denne antagelse går igen i alle modellerne og er central i spørgsmålet om en models anvendelsesmuligheder, da den sikrer sammenhæng mellem resultater i benchmarkingen og selskabernes faktiske produktionsbeslutninger.

---

<sup>22</sup> SFA har ikke deciderede frontelskaber, hvorfor det kun er relevant for DEA.

**Økonomisk incitament:** Modellen skal fortsat give stærkt incitament til effektive omkostninger.

**Forsyningssikkerhedsincitament:** Modellen skal give incitament til et fortsat højt niveau af forsyningssikkerhed.

De enkelte modeller er vurderet efter kriterierne på en skala fra 1-5 (1 er lavest). Resultaterne fremgår af Tabel 9.1.

Tabel 9.1 **Vurdering af modellerne**

| Model                               | Konsistente resultater | Opfyldelse af teoretiske antagelser | Økonomisk incitament | Forsyningssikkerhedsincitament |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| <b>DEA</b>                          |                        |                                     |                      |                                |
| D.1 Standardmodel                   | 1                      | 3                                   | 3                    | 2                              |
| D.2 Samfundsøkonomiske omkostninger | 4                      | 5                                   | 4                    | 4                              |
| D.3 Vægtrestriktioner               | 4                      | 3                                   | 4                    | 4                              |
| D.4 Sammenligningsgrundlag          | 3                      | 2                                   | 4                    | 3                              |

**Anm.:** Tabellen viser en oversigt over, hvordan de forskellige modeller vurderes på en skala 1-5 ud fra kriterierne beskrevet i afsnit 9.1. Bemærk, at vurderingen ikke kan sammenlignes på tværs af kriterier.

Kilde: Egen tilvirkning

### 9.1.1 Resumé af modelresultater

**D.1 – Standardmodel:** Denne model scorer lavt på alle kriterier i Tabel 9.1 og kan derfor ikke anbefales til at implementere forsyningssikkerhed i den økonomiske regulering. Resultaterne peger således på nødvendigheden af at anvende en mere avanceret model.

Den største udfordring ved denne model er, at den er for lempelig og dermed giver inkonsistente resultater. Det skyldes især, at der er stor usikkerhed i de estimerede produktionsfunktioner. Samtidigt kan et selskab fremstå som effektivt ved blot at være det bedst præsterende på én parameter, mens det samtidigt er dårligst på de resterende parametre. Det er ikke hensigten med integrationen at give skæve incitamenter mellem økonomi og forsyningssikkerhed. Resultaterne af den empiriske model viser, at netop dette vil blive et stort problem i standardmodellen.

**D.2 – Samfundsøkonomiske omkostninger:** Denne model er den eneste, som giver selskaberne samfundsøkonomisk optimale incitamenter, fordi de samfundsøkonomiske omkostninger indarbejdes på lige fod med selskabets driftsmæssige omkostninger. Ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv er den derfor teoretisk overlegen i forhold til de resterende modeller. Den giver herudover konsistente resultater.

Udfordringen ved denne model er, at den er afhængig af, at priserne, der ligger til grund for de samfundsøkonomiske omkostninger (dvs. betalingsvilligheder og afgifter), er retvisende for forsyningssikkerheden. Herudover er det for nogle parametre i praksis ikke muligt at finde retvisende priser, fordi der ikke foreligger et tilstrækkeligt datagrundlag.

---

D.3 – Vægtrestriktioner: Som et godt alternativ til modellen med samfundsøkonomiske omkostninger er det muligt at anvende en DEA-model med vægtrestriktioner. Denne model bygger på mange af de samme principper som den samfundsøkonomiske model, men er mindre afhængig af en præcis estimering af de samfundsøkonomiske omkostninger. Yderligere er det muligt at formulere modellen uden at kende den samfundsøkonomiske omkostning. Vægtrestriktionerne sikrer, at et selskab ikke kan blive fuldt effektivt uden at fokusere på økonomisk effektivitet – såfremt altså vægtrestriktionerne er sat korrekt. Modellen vil eksempelvis være for lempelig, hvis de samfundsøkonomiske omkostninger er korrekt estimeret.

Modellen med vægtrestriktioner er den teoretisk mest avancerede af de præsenterede modeller. Det kan derfor være svært at følge den intuitive sammenhæng mellem benchmarkingresultaterne og de faktiske niveauer for forsyningssikkerhed og økonomi.

D.4 – Sammenligningsgrundlag: Denne model adskiller sig fra de andre modeller ved, at den ikke modellerer forsyningssikkerhed direkte. Det betyder, at den teoretisk ikke er lige så god som modellen med samfundsøkonomiske omkostninger (D.2) og modellen med vægtrestriktioner (D.3). Til gengæld er den administrativt lettere, og den er ikke afhængig af præcise estimater af samfundsøkonomiske omkostninger og vægtrestriktioner. Modellen kan derfor relativt nemt implementeres for alle forsyningssikkerhedsparametre.

# Litteraturliste

---

Bogetoft, P. og Otto, L (2010): Benchmarking with DEA, SFA and R. Springer.

Heesche, E., og Asmild, M. (2020). Incorporating quality in economic regulatory benchmarking. Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen. IFRO Working Paper, No. 2020/13

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/>

Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen (2019): Benchmarking og forsyningssikkerhed i forsyningssektoren. Oktober 2019.

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

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

Scheel, Holger (2001): Undesirable outputs in efficiency valuations. *European Journal of Operational Research*, Volume 132 (2), pp. 400-410

---

# Appendix 1

## DEA i envelopment og multiplier space

DEA-problemet kan formuleres på to forskellige måder; i *envelopment space* og i *multiplier space*. De to formuleringer af problemet har hver sin fortolkning og egner sig derfor til forskellige formål. Med de forskellige modeller vi præsenterer i denne analyse, vil det derfor være forskelligt, hvilken formulering der egner sig bedst til at beskrive de specifikke modeller.

Envelopment space kan illustreres grafisk, og herfra kan vi få information om, hvilke selskaber der sammenlignes med hvem i benchmarkingen. I Multiplier space kan vi få information om, hvilke områder selskaberne klarer sig relativt godt eller mindre godt på.

I appendix 1 gennemgår vi matematikken bag både envelopment og multipler space. Teorien er gennemgående baseret på Bogetoft & Otto (2010).

### 10.1 DEA i envelopment space

Den grafiske præsentation af benchmarkingmodellen i Figur 4.2 kaldes typisk "envelopment space". I denne formulering af optimeringsproblemet dannes netop en front af de bedst performende selskaber. Fronten omkranser ("enveloper") produktionsmulighedsområdet, hvor de resterende selskaber er beliggende. Selskaberne, der udgør fronten, er som nævnt de efficiente selskaber, der opnår en score på én. Selskaber beliggende i produktionsmulighedsområdet *under* fronten er inefficiente. Jo tættere et selskab ligger på fronten, desto mere effektivt vil selskabet være.

For selskabet under observation ( $k^0$ ), der bruger  $M$  inputs til at producere  $N$  outputs, definerer  $X^{k^0} = (x_1^{k^0}, \dots, x_M^{k^0}) \in \mathbb{R}_+^M$  inputvektoren og  $Y^{k^0} = (y_1^{k^0}, \dots, y_N^{k^0}) \in \mathbb{R}_+^N$  definerer outputvektoren. For  $k = (1, \dots, K)$  selskaber, vil den matematiske formulering af optimeringsproblemet i envelopment space for selskab  $k^0$  beskrives som vist i ligning 1. Optimeringsproblemet er defineret som en input-orienteret DEA-model med antagelse af konstant skalaafkast.

$$\begin{aligned}
 & \min \phi \\
 & \lambda^1, \dots, \lambda^K, \phi \\
 & s. t. \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda^k \cdot x_m^k \leq \phi \cdot x_m^{k^0}, \quad m = 1, \dots, M \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda^k \cdot y_n^k \geq y_n^{k^0}, \quad n = 1, \dots, N \\
 & \lambda^k \geq 0, \quad k = 1, \dots, K
 \end{aligned} \tag{1}$$

Hvor  $\phi$  definerer efficiensscoren, og  $\lambda^k$  definerer intensitetsvariablen for selskab  $k$ .



I ligning 1 beregnes efficiensscoren ( $\phi$ ) for selskab  $k^0$  under en række bibetingelser. Optimeringsproblemet løses individuelt for hvert selskab.  $\lambda^k$  angiver de såkaldte "intensitetsvariable", og dermed den specifikke konvekse kombination af selskaber som selskab  $k'$  sammenlignes med.

Den første bi betingelse ( $\sum_{k=1}^K \lambda^k \cdot x_m^k \leq \phi \cdot x_m^{k^0}$ ) angiver, at efficiensscoren minimeres, men begrænses af, at produktet af input og efficiensscoren for selskab  $k'$  begrænses af en konveks kombination af alle selskabers inputniveau. Det svarer til, at et selskabs inputs minimeres ned til den konvekse kombination af selskaber, der udgør det sted på fronten, selskabet spejles ud i på fronten.

Anden bibetingelse ( $\sum_{k=1}^K \lambda^k \cdot y_n^k \geq y_n^{k^0}$ ) angiver, at outputniveauet for selskab  $k$  ikke må oversige den konvekse kombination af output for de selskaber, det sammenlignes med.

Tredje bibetingelse ( $\lambda^k \geq 0$ ) angiver konstant skalaafkast (CRS).  $\lambda^k$  angiver derfor konkret den skalering af selskab  $k$ , som selskab  $k^0$  sammenlignes med.

## 10.2 DEA i multiplier space

I multiplier space maksimeres selskabernes produktivitetsratio, givet ved den vægtede sum af outputs over den vægtede sum af inputs. Vægte kaldes også multipliers, heraf navnet "multiplier space". Et selskabs produktivitetsratio kan derfor beskrives som vist i ligning 2.

$$\frac{\sum_{m=1}^M v_m \cdot y_m^{k^0}}{\sum_{n=1}^N u_n \cdot x_n^{k^0}} \quad 2$$

I ligning 2 definerer  $v_m$  outputvægten for output  $y_m$  og  $u_n$  definerer inputvægten for input  $x_n$ . Vægtene kan betragtes som priser på inputs og outputs. Hvis vi kender alle reelle input- og outputpriser, vil disse være naturlige vægte for variablene. I DEA antager vi dog, at priserne (vægtene) ikke er kendte. Gennem modellen vælges de specifikke vægte, der får det enkelte selskab til at fremstå med den størst mulige produktivitetsratio.

I en input-orienteret DEA-model med konstant skalaafkast beskrives optimeringsproblemet i multiplier space som vist i ligning 3.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{m=1}^M v_m \cdot y_m^{k^0} \\ & u_n, v_m \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{n=1}^N u_n \cdot x_n^{k^0} \leq 1 \\ & \sum_{m=1}^M v_m \cdot y_m^k - \sum_{n=1}^N u_n \cdot y_m^{k^0} \leq 0, \quad k = 1, \dots, K \\ & u_n, v_m \geq 0 \end{aligned} \quad 3$$

---

Hvor  $u_n$  definere inputvægten for input  $x_n$ , og  $v_m$  definerer outputvægten for  $y_m$ .

Ligesom i envelopment space, løses optimeringsproblemet individuelt for alle selskaber. I løsningen for hvert selskab vælges en vægt for hvert input og output, der bruges på alle selskaber i bibetingelserne til optimeringsproblemet.

I ligning 3 maksimeres produktivitetsratioen for selskab  $k^0$  ved at normalisere selskabets vægtede sum af inputs (første bibetingelse:  $\sum_{n=1}^N u_n \cdot x_n^{k^0} \leq 1$ ) og maksimere den vægtede sum af outputs (objektfunktionen:  $\sum_{m=1}^M v_m \cdot y_m^{k^0}$ ). Den vægtede sum af outputs udgør derfor efficiensscoren for selskab  $k^0$  i multiplier space.

For at undgå at et selskab lægger uendelig stor vægt på et eller flere outputs, maksimeres produktivitetsratioen for hvert selskab under bi betingelse af, at ingen selskabers produktivitetsratio må overstige én. Dette kan også fortolkes som, at med de vægte der vælges for selskab  $k^0$ , må ingen selskaber kunne opnå en positiv profit (anden bibetingelse:  $\sum_{m=1}^M v_m \cdot y_m^k - \sum_{n=1}^N u_n \cdot x_n^{k^0} \leq 0$ ). Selskaber, hvor input og outputvægte kan vælges sådan, at deres produktivitetsratio er lig én, er dermed de efficiente selskaber.

---

## Appendix 2

### DEA-vægte

Dette appendix uddyber teorien bag brugen af vægtrestriktioner i DEA.

Vægte – og dermed vægtrestriktioner – er noget, der i første omgang optræder i formuleringen af DEA-modellen i multiplifier space jf. Appendix 1. Uden yderligere begrænsninger til multiplifier space præsenteret i ligning 3, er det muligt for modellen at vægte enkelte inputs eller outputs nul for et selskab. Dermed ser selskabet bort for sin performance på netop det område.

Det kan eksempelvis være tilfældet, når vi tilføjer forsyningssikkerhedsparametrene til vores basismodel for vandselskaberne. Ved at tilføje forsyningssikkerhedsparametrene som inputs til modellen, er det dermed muligt for selskaberne kun at vægte forsyningssikkerhedsparametrene og se helt bort fra deres økonomiske performance. Selskaber kan altså potentielt vægte FATO med 0, og selskabernes omkostninger vil derfor reelt set ikke indgå i beregningen af efficiensscoren for disse selskaber.<sup>23</sup>

Ved at implementere vægtrestriktioner i modellen er det muligt at opsætte yderligere begrænsninger for, hvordan modellen kan vægte inputs og outputs for det enkelte selskab. En mulig vægtrestriktion kan eksempelvis være, at output 1 skal vægte højere end output 2, sådan at  $\frac{v_1}{v_2} > 1$ . Dette vil være en relativ vægtrestriktion. Denne specifikke relative vægtrestriktion begrænser forholdet mellem vægten for output 1 og output 2 ved at definere, at skyggeprisen (vægten) på output 1 skal være større end vægten på output 2. Konkret vil vægtrestriktionen tilføjes som en ekstra bibetingelse til problemet i multiplifier space præsenteret i ligning 3

Vægte optræder altså i multiplifier space, og vægtrestriktioner implementeres derfor i denne formulering af problemet. Betydningen af vægtrestriktioner kan dog ligeledes ses i envelopment space, da de to formuleringer er hinandens duale. I envelopment space vil vægtrestriktioner kunne betragtes som en ændring af hældningen på fronten – altså en ændring i trade-offet mellem to variable.

---

<sup>23</sup> Med forsyningssikkerhedsparametrene som non-discretionary inputs indgår FATO som eneste discretionary input i modellen. I en sådan model vil det derfor ikke i praksis være muligt at vægte FATO 0.

## Appendix 3

# Principalkomponenter (PCA)

Dette appendix vedrører teorien bag brugen af principalkomponenter (PCA).

Principalkomponenter er ukorrelerede lineære kombinationer, der er rangeret efter varians, hvor den første principalkomponent forklarer mest af datas varians og den sidste mindst. Det originale datasæt indeholder  $M$  originale variable. Den første lineære funktion, der indeholder den maksimale varians, er defineret ved  $\mathbf{a}_1 y$ , hvor  $\mathbf{a}_1$  er en egenvektor. Den lineære funktion opstilles nedenfor.

$$PC_1 = \mathbf{a}_1 y = \sum_{m=1}^M a_{1m} x_m$$

Da vores datasæt indeholder variable med værdier, der har forskellige enheder, bruger vi korrelationsmatricen til at udlede principalkomponenterne. Korrelationsmatricen er defineret som  $R$ . Vi skal finde den lineære funktion  $\mathbf{a}_k y$ , der maksimerer variansen af  $\mathbf{a}_k y R \mathbf{a}_k$ . Det betyder eksempelvis, at den første vektor  $\mathbf{a}_1 y$  skal maksimere  $\text{Var}(\mathbf{a}_1 y) = \mathbf{a}_1 y R \mathbf{a}_1$ . Ved hjælp af lagrange multipliers  $\mathbf{a}_1 R \mathbf{a}_1 - \lambda(\mathbf{a}_1 y \mathbf{a}_1 - 1)$ , kan det vises, at  $\lambda$  er en egenvektor for korrelationsmatricen  $R$ . Da vi gerne vil maksimere variansen for  $\mathbf{a}_1 y$ , skal  $\lambda$  maksimeres, hvilket svarer til den største egenværdi for  $R$ . De resterende  $k$  komponenter findes på samme vis ved at finde den anden største egenværdi for  $R$  og så fremdeles.

### PCA – resultater

Ovenstående betyder, at det originale datasæt i nogen grad skal være korrelerede for, at vi kan konstruere lineære kombinationer, der reducerer antallet af parametre. Korrelationsmatricen for forsyningssikkerhedsparametrene kan ses af Tabel 12.1:

Tabel 12.1 **Korrelationsmatrix**

|                                | Vandtab | Mikrobiologiske<br>overskridelser | Afbrydelses-<br>minutter |
|--------------------------------|---------|-----------------------------------|--------------------------|
| Vandtab                        | 1       | 0,110                             | 0,280                    |
| Mikrobiologiske overskridelser | 0,110   | 1                                 | 0,061                    |
| Afbrydelsesminutter            | 0,280   | 0,061                             | 1                        |

**Anm.:** Korrelation mellem forsyningssikkerhedsparametre.

Kilde: Egen tilvirkning

Ved hjælp af PCA reducerer vi antallet af forsyningssikkerhedsparametre på drikkevand fra tre til to. De tre forsyningssikkerhedsparametre; afbrydelsesminutter, mikrobiologiske overskridelser og vandtab, kan erstattes med to nye principalkomponenter. De to nye principalkomponenter beskriver hver især og tilsammen mest mulig varians i data fra de tre oprindelige forsyningssikkerhedsparametre.

I beregningen af principalkomponenterne centrerer data omkring 0, og data skales, så de forskellige enheder, data er målt i, kan sammenlignes i beregningen af principalkomponenterne. Beregningen af principalkomponenterne kan ses af Tabel 12.2.

**Tabel 12.2 Beregning af principalkomponenterne**

|                                     | PC1   | PC2   | PC3   |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| Egenværdier                         | 1,325 | 0,959 | 0,715 |
| Standardafvigelse                   | 1,151 | 0,979 | 0,846 |
| Forklaring af varians (akkumuleret) | 0,442 | 0,762 | 1,000 |

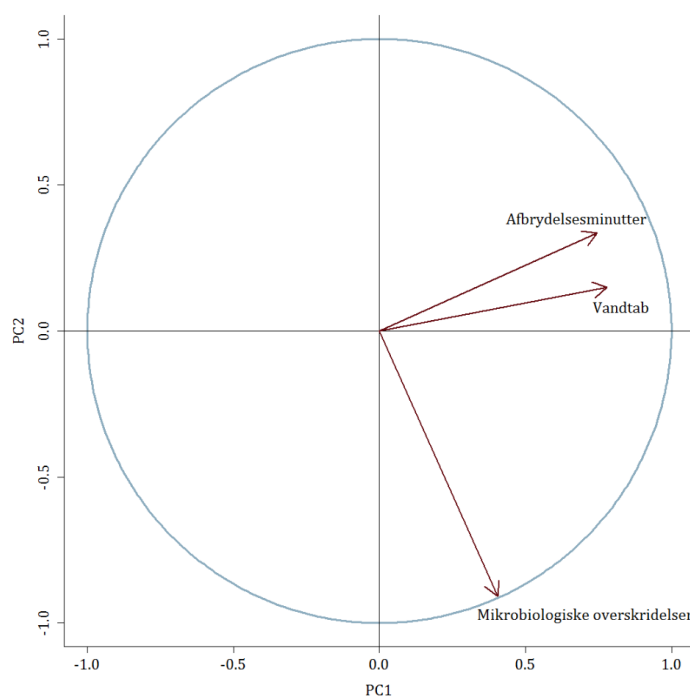
**Anm.:** Tabellen viser resultaterne af beregningen af principalkomponenterne.

*Kilde: Egen tilvirkning*

Af Tabel 12.2 kan vi se, at de to første principalkomponenter forklarer 76 pct. af variansen i data. Der er ingen klare regler for, hvor meget principalkomponenterne skal forklare af data. Da vi kun har tre forsyningssikkerhedsparametre, er det ikke forventeligt, at vi kan reducere antallet af parametre uden at miste en relativt stor forklaring fra data.

I Tabel 12.2 er de tre forsyningssikkerhedsparametre plottet. Figuren viser principalkomponenternes korrelation med de originale forsyningssikkerhedsparametre. Plottet forestiller en enhedscirkel, hvor x-aksen er forsyningssikkerhedsparametrenes korrelation med principalkomponent 1 (PC1), og y-aksen er forsyningssikkerhedsparametrenes korrelation med principalkomponent 2 (PC2). Vi har også en tredje principalkomponent (PC3), men den er ikke medtaget her, da det først og fremmest er PC1 og PC2, der er relevante for analysen. Af figuren kan vi se, at afbrydelsesminutter og vandtab i høj grad er positivt korreleret med PC1. Mikrobiologiske overskridelser er i høj grad negativt korreleret med PC2. Det kan dog ikke beskrives så entydigt, da alle tre forsyningssikkerhedsparametre er korreleret med hhv. PC1 og PC2.

**Figur 12.1 Forsyningssikkerhedsparametrenes korrelation med PC1 og PC2**



**Anm.:** Figuren viser principalkomponenternes korrelation med de originale forsyningssikkerhedsparametre

*Kilde: Egen tilvirkning*

På baggrund af ovenstående beregninger og figur bruger vi de to nye principalkomponenter PC1 og PC2 i vores model. Det er vores vurdering, at de to principalkomponenter beskriver en stor del af variansen i data. Den store ulempe ved at bruge de to principalkomponenter er, at vi ikke forklarer al variansen i data. Det kan diskuteres, om det er tilstrækkeligt kun at tage højde for 76 pct. af variansen i data.

Forsyningssikkerhedsparametrene kan opgøres som volumenmål eller ratiomål. Da selskabernes absolutte niveau af forsyningssikkerhed er afhængig af selskabets størrelse, opgør vi forsyningssikkerhed som ratiomål i PCA. Det er muligt at reducere forsyningssikkerhedsparametrene som ratiomål til to principalkomponenter og samtidig beholde 76 pct. af informationen i data. Det skal hertil bemærkes, at der ikke findes en fast cut off-grænse for, hvor meget af variansen i data principalkomponenterne skal beskrive. 76 pct. kan umiddelbart synes som en lav grænse, da vi dermed har fjernet 24 pct. af information fra data.