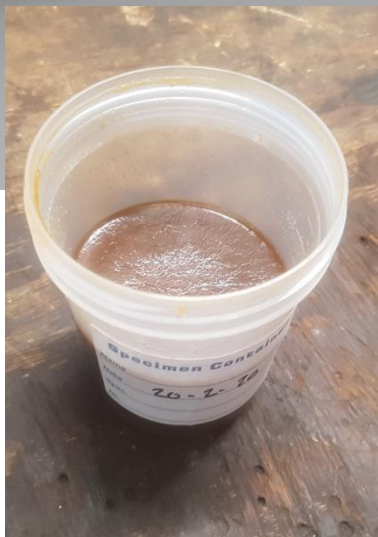
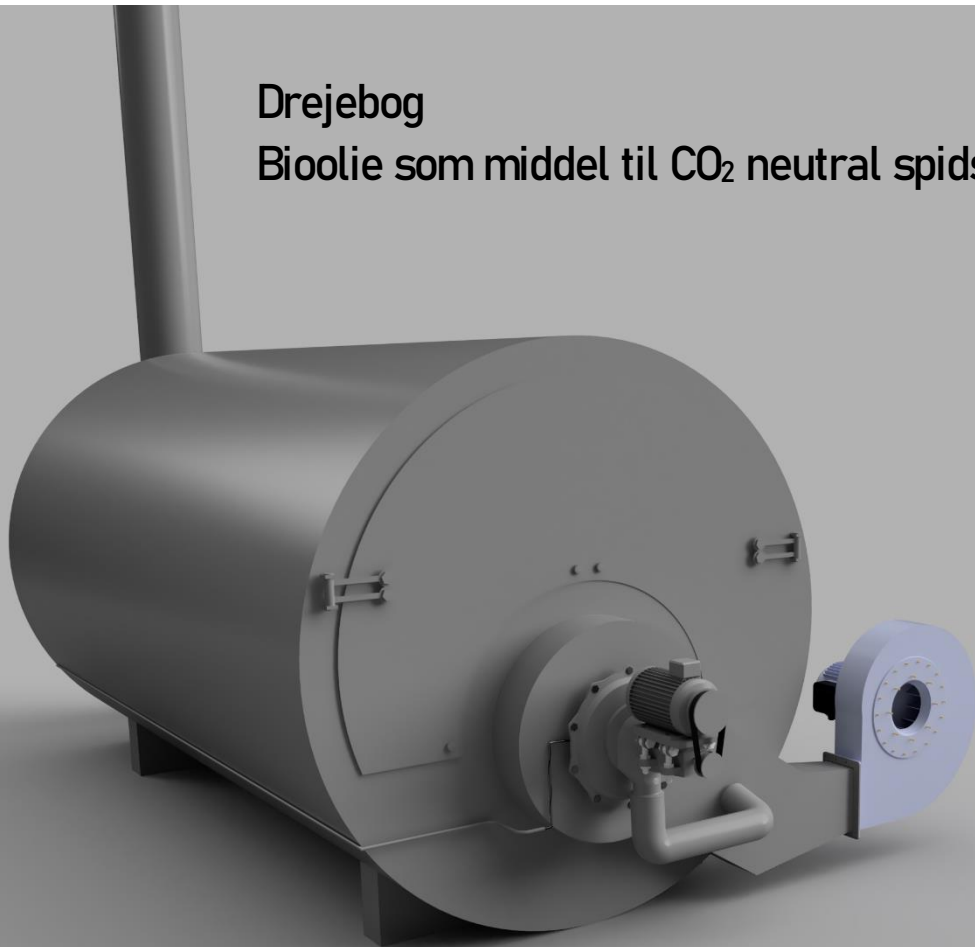


Oktober 2020

Drejebog

Bioolie som middel til CO<sub>2</sub> neutral spids- og reservelast



---

**Udarbejdet for:** Dansk Fjernvarmes F&U konto

**F&U rapport nummer:** 2020-03

**Udarbejdet af:** DIN Forsyning, VEKS, Vestforbrænding og Løngreen Energisystemer

**Dato:** 01-10-2020

**Kontakt:**

Løngreen Energisystemer ApS

Asger Listoft Løngreen

all@lesystemer.dk

Tlf. +45 31253707

---

---

## Indhold

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1. Indledning .....                                        | 1  |
| 2. Sammenfatning .....                                     | 1  |
| 3. Definitioner og certifikater .....                      | 3  |
| 3.1. Bioolie begreber defineret .....                      | 3  |
| 3.2. Certifikater og bæredygtighedskrav til bioolien ..... | 4  |
| 4. Bioolietyper, emulsion brændsler og fossilolier .....   | 5  |
| 4.1. Fossilolie .....                                      | 5  |
| 4.1.1. Fossile affaldsolier .....                          | 5  |
| 4.2. Konventionel bioolie til fjernvarme. ....             | 6  |
| 4.2.1. Konventionel bioolies kemi og specifikation .....   | 7  |
| 4.2.2. Konventionel bioolie pris og afgifter .....         | 7  |
| 4.2.3. Forsyningssikkerhed og volumen i marked .....       | 8  |
| 4.3. Flydende biomasse .....                               | 9  |
| 4.3.1. Flydende biomasse - Harbøre .....                   | 9  |
| 4.4. Emulsionsbrændsler og andre blandinger. ....          | 10 |
| 4.5. HVO biodiesel .....                                   | 10 |
| 4.6. Olieoversigt og opsamling .....                       | 11 |
| 5. Bekendtgørelser for kedelanlæg .....                    | 11 |
| 6. Projektbekendtgørelsen .....                            | 13 |
| 7. Miljøgodkendelse .....                                  | 13 |
| 8. Anden lovgivning .....                                  | 13 |
| 8.1. Varmeforsyningsloven .....                            | 13 |
| 8.2. VVM-screening .....                                   | 14 |
| 8.3. BAT .....                                             | 14 |
| 9. Kedlens bestanddele .....                               | 15 |
| 9.1. Brænder og Ilttilførsel .....                         | 15 |
| 9.1.1. Sekundærluft .....                                  | 17 |
| 9.2. Olierør til at føde brænderen .....                   | 17 |
| 9.3. Oliefiltre .....                                      | 18 |
| 9.4. Oliepumpe til kedel .....                             | 18 |
| 9.5. Kedlens udformning .....                              | 19 |
| 9.6. Pakninger .....                                       | 22 |

---

---

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.7. Rengøring efter brug af bioolie .....                                        | 22 |
| 9.8. Lagerløsning samt opvarmning af bioolien .....                               | 22 |
| 9.9. Andre emissioner (CO, svovl og partikler) .....                              | 23 |
| 10. Forbrænding og NOx .....                                                      | 23 |
| 10.1. Termisk NOx.....                                                            | 24 |
| 10.1.1. Termisk NOx mitigerende tiltag - vandholdigt brændsel.....                | 24 |
| 10.1.2. Termisk NOx mitigerende tiltag - vandindsprøjtning og befugtning.....     | 24 |
| 10.1.3. Termisk NOx mitigerende tiltag - røggas cirkulering.....                  | 25 |
| 10.2. Brændsels NOx .....                                                         | 25 |
| 10.2.1. Brændsels NOx mitigerende tiltag - større animalsk bioolie fraktion ..... | 25 |
| 10.3. Prompt NOx.....                                                             | 26 |
| 10.3.1. Prompt NOx mitigerende tiltag - øget luftoverskud .....                   | 26 |
| 10.3.2. Prompt NOx mitigerende tiltag - forvarme bioolien før brænderen.....      | 26 |
| 10.3.3. Prompt NOx mitigerende tiltag - muring af flammerøret .....               | 26 |
| 10.4. Andre NOx mitigerende tiltag .....                                          | 26 |
| 10.4.1. Ændring af kedlens belastning. ....                                       | 27 |
| 10.4.2. Low NOx brænder .....                                                     | 27 |
| 10.4.3. Katalysator løsning – SCR, SNCR og absorbenter .....                      | 27 |
| 11. Omkostninger ved konvertering til konventionel bioolie. ....                  | 28 |

Bilag 1 – konventionel bioolie billeder

Bilag 2 – Eksempel på konventionel bioolie teknisk specifikation

Bilag 3 – Oliefilter billede

---

---

## 1. Indledning

Drejebogen henvender sig til fjernvarmeforsyninger, som overvejer at bruge bioolie til CO<sub>2</sub> neutral spids- og reservelast (S&R). Drejebogen indeholder informationer, som belyser de vigtigste problemstillinger ved overgangen til bioolie, her kan nævnes: afgifter, miljølovgivning, bekendtgørelser, kedlens bestanddele, emissioner, potentielle faldgruber, samt omkostninger forbundet med konverteringen til bioolie.

Drejebogen er udarbejdet i regi af Dansk Fjernvarmes F&U konto og har DIN Forsyning A/S, VEKS, Vestforbrænding I/S, samt firmaet Løngreen Energisystemer ApS som projektdeltagere. Drejebogen har afsæt i projektdeltagernes praktiske erfaringer suppleret med informationer fra andre relevante fjernvarmeværker.

De i drejebogen omtalte kedelkapaciteter er udtrykt ved nominel indfyret effekt.

Alle priser i drejebogen er ekskl. moms.

## 2. Sammenfatning

Det er fundet at ældre oliebaseret S&R kedler, som har anvendt maritimt brændsel så som heavy fuel, vil være den anlægstype som vil have lettest ved at overgå til konventionel bioolie, set ud fra en økonomisk betragtning på anlægsinvesteringen. Det hænger sammen med, at den konventionelle bioolie skal holdes varm lige som heavy fuel og at begge brændsler kræver en rotationsbrænder, samt heattracing til olierørene. Rotationsbrænderen har de bedste forudsætninger for at håndtere tungeolier eller ikke standardiseret olier af svingende kvalitet. NOx emissioner er det springende punkt for en fremtidssikring af anlægget. Drejebogen kan pege på, at der er set en tendens til at konventionelle bioolier med en høj fraktion af animalske olier, giver nedsat NOx emission. Denne tendens er set ud fra enkelte målinger og viser derfor ikke noget endegyldigt.

NOx emissioner kan begrænses på mange måder ved at renovere det eksisterende kedelanlæg. Forsyningerne har derfor store frihedsgrader til at vælge den tekniske løsning, som bedst tilpasses deres behov. Fortsat stigende krav til mere miljøvenlig forbrænding kan betyde at eksisterende oliekedler af nyere dato skal fremtidssikres. Her vil der være mulighed for at indtænke den konventionelle bioolie til anlægget. Den konventionelle bioolie anbefales dog ikke som sekundært brændsel til en kombibrænder løsning, da den konventionelle bioolie ikke er lagerstabil.

Der er begrebsforvirring omkring bioolien og i drejebogen er bioolien opdelt i følgende grupper:

1. Konventionel bioolie
2. HVO biodiesel
3. Flydende biomasse

---

Den konventionelle bioolie har været anvendt i over 30 år, og er karakteriseret ved at være en ikke standardiseret affaldsolie som er pålagt et minimum af afgifter.

HVO biodiesel er udviklet til transportsektoren og kan betegnes som et "drop in fuel" på linje med fossil- benzin og diesel. HVO er belagt med afgifter og har derfor ikke fundet samme anvendelse, som den konventionelle bioolie der er et økonomisk optimeret brændsel.

Flydende biomasse er kort beskrevet i drejebogen, da det på nuværende tidspunkt er et eksotisk produkt, som udvikles til det maritime erhverv, hvor flere danske virksomheder bistår denne udvikling. S&R har historisk været tæt beslægtet med maritime brændsler, så som heavy fuel, og flere S&R anlæg vil potentielt set kunne overgå til dette brændsel på sigt.

Konventionel bioolie stiller krav til driftsorganisationen, da kedelanlæg skal rengøres og tilses oftere end hvad tilfældet er med den fossile olie eller en mere raffineret bioolie så som HVO. En fjernvarmeforsyning, som ønsker minimal bemanning og fjernstyring af mange kedler, vil blive udfordret. Der bør indregnes et indkøringsforløb og driftsorganisationen skal være forberedt på dette. Ved at følge indholdet i drejebogen kan en forsyning sikre tiltag som kan lette overgangen til konventionel bioolie.

Udover udfordringer med NOx emissioner, samt drift, er der identificeret potentielle flaskehalse i biooliet marked, som kan have indvirkning på forsyningssikkerheden. DIN Forsyning har oplevet, at deres leverandør af konventionel bioolie, har varslet begrænsninger på leverancer ved kontinuerlig drift i længere perioder. Det skal bemærkes at DIN Forsyning er i besiddelse af en 2000 m<sup>3</sup> bioolietank, som forsyner 2\*50MW biooliekedel. Anlægget er unikt, grundet sin store kapacitet. Mindre forsyninger vil formentlig ikke have samme udfordringer ved normal drift. Udsagn fra flere bioolieleverandører er, at man forventer fortsat leverancer af konventionel bioolie fra de internationale markeder i takt med at biodiesel og andre bioolier til transport bliver mere udbredt. Herved vil der fortsat være affaldsolier som kan anvendes til S&R. Det samme gør sig gældende for konventionel bioolie fra spild processer fra levnedsmiddel og anden industri.

Der er identificeret følgende tiltag til at reducere NOx udledningen fra eksisterende S&R anlæg:

### **Lette tiltag**

Indregulering, drift ved lavere belastning af S&R kedler, dispensation fra miljøkrav, højere temperatur ved forvarmning af bioolien, større animalsk oliefraktion i den konventionelle bioolie.

### **Retrofit og tekniske indgreb**

Opmuring af flammerøret, ny brænder, røggascirkulering evt. røggaskondensering.

---

### Katalysator og absorbent løsning

SCR (selective catalytic reduction), SNCR (selective noncatalytic reduction) og absorbenter.

DIN Forsyning har sat en række mitigerende tiltag i gang for at nedsætte NO<sub>x</sub> emissionerne fra de større 50MW tårnkedler. Resultaterne af dette arbejde er desværre ikke kommet med i drejebogen grundet COVID-19.

Projektgruppen har i sin anlægsportefølje anlæg med NO<sub>x</sub> reducerende tiltag. Det er vist med målinger at røggascirkulering med fossil fyringsolie kan tæt på halvere NO<sub>x</sub> emissionen.

Den konventionelle bioolie passer ind i EU protokoller for bæredygtigt brændsel og er også genkendt af SKAT.

## 3. Definitioner og certifikater

I det følgende defineres de egenskaber, som ønskes af en god bioolie, samt hvilke certifikater, der sikrer, at bioolien kan betegnes som CO<sub>2</sub> neutral og bæredygtig.

### 3.1. Bioolie begreber defineret

Den fossile fyringsolie er valgt som reference og den ideelle bioolie skal derfor have samme egenskaber. I det følgende defineres der 7 punkter, som bioolien skal opfylde for at matche den fossile fyringsolie. I afsnit 4.6 er der opsamling på bioolien og de 7 punkter, som er medvirkende til en gnidningsfri konvertering.

#### 1. Lagerstabil forstås som at olien:

- a.** Har ubegrænset holdbarhed, oliens integritet bibeholdes over tid.
- b.** Ikke skiller sig i en olie vand fase, men er en homogen masse til hver en tid.
- c.** Kræver ikke omrøring.
- d.** Det er ikke nødvendigt at holde olietanke opvarmet.
- e.** Olien nedbrydes ikke af bakterier.

#### 2. Rengøring

Kravet til rengøring af fyringsolie er stærkt begrænset, det samme skal gøre sig gældende for bioolien.

#### 3. Tilgængelighed

Fyringsolie kan erhverves af mange leverandører og i stort set ubegrænset mængde. Det samme skal gøre sig gældende for bioolien.

---

4. *Combi brænder option*

*En combi brænder sikrer større fleksibilitet af brændsel, da naturgas/biogas kan anvendes hvor en gastilslutning er mulig. Den samme fleksibilitet forventes fra bioolie brænderen.*

5. *Emissioner*

*Den fossile fyringsolie indeholder traceelementer af svovl og nitrogen, som ikke bidrager til at emissionsgrænserne overskrides. NO<sub>x</sub> fra forbrændingen er også under grænseværdierne, hvilket også forventes af bioolien.*

6. *Pris og afgifter*

*Den fossile fyringsolie er dyrere end naturgas, men bioolien må ikke være dyrere end fyringsolien.*

7. *Kemisksammensætning og håndtering*

*Fyringsolien er ikke aggressiv kemi, dog kan røggaskondensering give udfordringer grundet lav pH-værdier på kondensatet. Bioolien skal have de samme kemiske egenskaber.*

### 3.2. Certifikater og bæredygtighedskrav til bioolien

EU-kommissionen har vedtaget en række krav som skal sikre at bioolien kan betegnes som CO<sub>2</sub> neutral og bæredygtig. Det er EU, som sætter de juridiske rammer. Enkelte firmaer beskæftiger sig med at udstede certifikater, som efterlever de juridiske rammer sat af EU. Her kan nævnes:

a. Redcert (<https://redcert.org/en/>)

b. Sure (<https://sure-system.org/en/>)

Begge firmaer efterlever RED II – "Directive on the promotion of the use of energy from renewable sources (2018/2001/EU)".

Firmaerne har ordninger, som leverandører af biobrændsler kan ansøge om at blive en del af. Ordningerne fører til certifikater, som opnås ved at følge en proces med op til 6 trin, hvor inspektører fra Redcert eller Sure besigtiger kilden/"point of origins". Det vil være et krav, at bioolien skal være en affaldsolie. Her er affaldskoden på bioolien udslagsgivende for om der kan opnås et certifikat.

Læseren skal være opmærksom på at Redcert hovedsaglig beskæftiger sig med biobrændsler til transport, og Sure har fokus på kraftværker, køling og varme.

Som større sikkerhed for at bioolien opfylder RED II, kan fjernvarmeforsyningen kræve at leverandøren oplyser affaldskoden på bioolien og trykprøver denne hos Redcert eller Sure.



---

## 4. Bioolietyper, emulsion brændsler og fossilolier.

Bioolie navnet betoner oliens animalske eller vegetabiliske oprindelse og har potentiale til at være CO<sub>2</sub> neutral. Det er vigtigt at understrege, at drejebogen har fokus på 2. generations biobrændsler, som fremkommer fra affaldsprodukter fra industrien, så som slagteriaffald, gammel fritureolie og andet vegetabilsk affald. Efterspørgslen på bioolier er stigende, da særligt transportsektoren og det maritime erhverv efterspørger bioolie som CO<sub>2</sub> neutralt brændstof. Følgende afsnit søger at behandle den begrebsforvirring, som er opstået som følge af de mange bioolie typer, samt eksisterende fossile olieprodukter.

### 4.1. Fossilolie

Den fossile olie har sin oprindelse fra organisk liv, som over millioner af år er omdannet til en væske bestående primært af karbon og brint, samt trace elementer af svovl, oxygen og nitrogen.

I sin oprindelige form, er den fossileråolie en inhomogen masse af kulbrintekæder af forskellige længder. Det er kulbrintekædens længde, som er udslagsgivende for kogepunktet, og denne egenskab sikrer, at oliaffinaderierne kan separere råolien til lettere og tungere olier. Ved opvarmning fordamper de letteste olier til benzin, kerosin og diesel. Råolien udsættes successivt for højere temperatur for til sidst kun at bestå af tung bunkerolie, som anvendes til transport, primært inden for det maritime erhverv. De resterende olier er så tunge, at de anvendes som smøreolie, samt paraffinvoks og asfalt.

Det er muligt at afkorte de lange karbonkæder i en proces som betegnes "cracking" dette kan f.eks. gøres ved at tilsætte brint til den tunge olie. Herved kan tunge olier omdannes til lettere olier og indgå til persontransport.

Tilsætning af brint sker også i forbindelse med raffinering af bioolie til HVO biodiesel, hvilket giver bioolien gode egenskaber så som en større grad af lagerstabilitet.

Drejebogen beskæftiger sig ikke med forbrænding og håndtering af den fossile fyringsolie.

#### 4.1.1. Fossile affaldsolier

Der eksisterer et marked for fossile affaldsolier, som primært anvendes til energiproduktion. Affaldsolierne er olier, som har ændret sine egenskaber ved at være udsat for termiske eller mekaniske belastninger. Et eksempel kunne være motorsmøreolie, som udsættes for kontinuerlig belastning fra motorens forbrænding samt friktion mellem stempel og væg. Olien degraderes over tid til en inhomogen blanding af karbonkæder med forskellige længder.

Virksomheder, som beskæftiger sig med fossile affaldsolier, søger at

---

raffinere olien igen. Der er dog altid en fraktion, som ikke kan genanvendes og som kun har værdi i form af sin brændværdi.

Danske firmaer som beskæftiger sig med denne type olie kan nævnes:

- AVISTA OIL Danmark A/S

Drejebogen er ikke gået i dybden med den fossile affaldsolie, og egenskaberne for olien kendes derfor ikke.

Det skal understreges at man historisk på nogle fjernvarmeværker udelukkende har anvendt fossile affaldsolier, og kedelbrænderen kan derfor allerede nu være konfigureret til bioolie. Resten af anlægget vil forholdsvis gnidningsfrit kunne overgå til konventionel bioolie, hvis der ses bort fra emissioner.

#### 4.2. Konventionel bioolie til fjernvarme.

Historikken på den konventionelle bioolie går mere end 30 år tilbage. I løbet af den periode, er der sket ændringer til biooliens oprindelse og leverandører. Hvad der ikke har ændret sig, er at den konventionelle bioolie til fjernvarme, er en affaldsolie, som har sin oprindelse inden for levnedsmiddeller og i højere grad restolierne fra anden bioolie produktion. Kvaliteten af den konventionelle bioolie er svingende, og er gået fra at være en hovedsaglig homogen olie og en lokal resurse som fiskeri- og landbrugsaffald, til nu at være et blandingsprodukt, som er prisoptimeret ud fra de aktuelle udbydere og omstændigheder. Bioolien handles i dag på internationale markeder og leverandørerne har egne terminaler og ikke nødvendigvis et fokus på affaldsbioolie fra Danmark, men fra udlandet. Den primære årsag til at denne type bioolie er relevant, skal ses i lyset af et minimum af afgifter.

Det er vigtigt at understrege, at samtlige forsyningsvirksomheder melder, at det er NOx emissioner, som udfordrer den videre drift grundet nye emissionskrav. Hvordan den konventionelle bioolie håndteres, er nærmere beskrevet i drejebogens kedelafsnit.

De typiske leverandører af konventionel bioolie er:

- NLM Vantinge
- CILAJ Energi
- Øko olie
- ADM (tysk bioolie leverandør)
- Emmelev
- WIBAX (svensk bioolie leverandør)

Bioolien kan betegnes som 2.generation bioolie, da den består af slagteriaffald, samt andre bioaffaldsolier og kan betragtes som en teknisk olie, som kun har værdi i kraft af sin brændværdi.

---

#### 4.2.1. Konventionel bioolies kemi og specifikation

Den konventionelle bioolies kemiske sammensætning har givet anledning til en række problemer og erfaringer fra flere forsyninger har vist, at den konventionelle bioolie:

1. Ikke er lagerstabil.
2. Kan tære metal og angriber gummipakninger.
3. Kræver konstant cirkulation og heat tracing af olierør.
4. Tilstopper oliefiltre oftere end den fossile fyringsolie.
5. Kræver hyppigere rengøring af kedlen sammenholdt med den fossile olie.
6. Kræver opvarmet bioolietanke. Den omrøring der sker ved naturlig konvektion, er nok til at sikre at olien ikke lagdeler.

Overstående er karakteristisk for konventionel bioolie uafhængig af leverandør. Da den konventionelle bioolie ikke er standardiseret, kan bioolien i nogle tilfælde være flydende ved stuetemperatur, særligt når bioolien har en høj andel af vegetabilsk olie.

Ligesom for den fossile fyringsolie er der trace elementer af svovl, nitrogen og oxygen.

Oxygenniveauet i bioolien bør holdes nede da oxygen er reaktivt, og kan over tid ændre biooliens viskositet og angribe materialer.

I bilag 1 er vist en række bioolie prøver, som ved stuetemperatur er fast eller flydende afhængig af om der er tale om en hovedsalig animalsk eller vegetabilsk fraktion i bioolien.

I bilag 2 er vist et eksempel på en bioolie specifikation.

Det anbefales at tage prøver af bioolien (som vist i bilag 1). Skulle der opstå problemer med den aktuelle sending bioolie, da kan man efterfølgende foretage de nødvendige laboratoriemålinger.

En helgardering vil være at lave laboratorie test af alle leverancer.

#### 4.2.2. Konventionel bioolie pris og afgifter

Konventionelle bioolier til fjernvarme ligger udenfor KN-kode 1507-1518 eller 38249099 og er fritaget fra energiafgift så længe den konventionelle bioolie ikke bruges i motoranlæg. KN-koden er et udtryk for den Kombinerede Nomenklatur, EU's klassifikation for toldtariffer og udenrigshandelsstatistik, som består af ca. 10.000 varekoder på 8 cifre.

Når den konventionelle bioolie erhverves, er det leverandørens ansvar at stille med følgende 3 certifikater:

1. *Erklæring om at bioolien ligger udenfor KN-kode 1507-1518 eller 38249099.*
2. *Bæredygtigheds certifikat fra eksempelvis Redcert.*
3. *Biooliens tekniske specifikation.*

Nedenfor er vist en oversigt over brændselspriser på referenceolien – fossil fyringsolie og et prisspænd på den konventionelle bioolie, som har afsæt i aktuelle indkøbspriser fra enkelte fjernvarmeforsyninger.

| Enhed   | Fyringsolie  | Kon. Bioolie lav | Kon. Bioolie høj | Type                    |
|---------|--------------|------------------|------------------|-------------------------|
| DKK/GJ  | 93,4         | 111,1            | 162,0            | Brændselspriser an værk |
| DKK/GJ  | 56,2         | 0,0              | 0,0              | Energiafgift            |
| DKK/GJ  | 13,0         | 0,0              | 0,0              | CO <sub>2</sub> afgift  |
| DKK/GJ  | 0,0          | 0,0              | 0,0              | Metan afgift            |
| DKK/GJ  | 0,3          | 0,3              | 0,3              | NOx afgift              |
| DKK/GJ  | 0,3          | 0,3              | 0,3              | Svovl afgift            |
| DKK/GJ  | <b>163,0</b> | <b>111,6</b>     | <b>162,6</b>     | <b>Total</b>            |
| DKK/MWh | <b>586,9</b> | <b>401,9</b>     | <b>585,2</b>     | <b>Total</b>            |

Tabel 1 - Oversigt over oliepriser, bioolie lav og høj er udtryk for et interval

Bemærk at ved køb af fossil olie skal forsyningsvirksomheden også kvantificere CO<sub>2</sub> udledningen og købe CO<sub>2</sub> kvoter. I 2021 starter en ny handelsperiode for CO<sub>2</sub> kvoter, det forventes at antallet af gratis kvoter er begrænset sammenlignet med den nuværende handelsperiode. Gratis kvoter har historisk været anvendt til S&R. Derfor er de ikke medregnet i prisen på den fossile fyringsolie i tabel 1.

#### 4.2.3. Forsyningssikkerhed og volumen i marked

Som beskrevet, er den konventionelle bioolie et produkt af affaldsstrømme fra anden industri. Der er allerede nu en række leverandører, men der er risiko for, at man tømmer lageret hos den enkelte leverandør ved et højtforbrug over længere tid. Dette måtte særligt DIN Forsyning sande, da de ønskede større kontinuerlige leverancer til deres 2000 m<sup>3</sup> store bioolietank.

For at sikre sig mod en flaskehals, kan det være nødvendigt at igangsætte en dialog med andre leverandører, købe ekstra lagerkapacitet evt. ved bioolieterminalen med konventionel bioolie, eller aftage en dyrere bioolie som eksempelvis biodiesel i perioder. Det skal dog påpeges, at forsyninger som har fået tilbudt konventionel bioolie af høj kvalitet, har oplevet øget emissioner. Dette skyldes, at ventiler og andet udstyr på kedelanlægget har været indstillet til en konventionel bioolie af dårlig kvalitet.

Udsagn fra flere bioolieleverandører er, at man forventer fortsat leverancer af konventionel bioolie fra de internationale markeder i takt med, at biodiesel og andre bioolier til transport bliver mere udbredt. Herved vil der fortsat være affaldsolier, som kan anvendes til S&R. Det samme gør sig gældende for konventionel bioolie fra spild processer fra levnedsmiddel og anden industri.

---

### 4.3. Flydende biomasse

Flydende biomasse skal forstås som konverteringen af fast træstof til flydende brændsel og kan sammenlignes med 1930'ernes forsøg på at konvertere kul til flydende brændsel.

Det er særligt det maritime erhverv, der ser muligheder i denne proces, da bioolien er lagerstabil og kan anvendes i konventionelle motoranlæg. Det maritime erhverv anvender allerede i dag, tung bunkerolie, og motoranlæggene forventes derfor at kunne anvende bioolien direkte.

Bioolien er derfor en økonomisk optimeret løsning, da raffinering ikke er påkrævet. Det forventes, at flydende biomasse i fremtiden vil indgå som en bio-crude råvare til raffineringsanlæg der raffinerer lettere olier til gods- og persontransport.

Flere danske såvel som udenlandske virksomheder arbejder med pyrolyse og solvolyse processer, som anvender højt tryk og temperatur i en reaktor til at omdanne fast træstof til flydende brændsel.

Danske virksomheder som beskæftiger sig med dette kan nævnes:

- Kvasir Technologies
- Steeper Energy
- Bio2oil

Det skal understreges at bioolie, som er et produkt af pyrolyseprocessen, ikke er undersøgt til bunds i drejebogen. Brugen af denne type bioolie skal derfor være opmærksom på, at der kan være risiko for at olien ikke nedbrydes til vand fraktion, men en polymer som størkner. En fast polymer vil være betydeligt sværere at håndtere end vand, som er en væske ved normale temperaturforhold.

Ved at anvende spildprodukter fra industrien er forhåbningen at flydende biomasse er fritaget for energiafgift.

#### 4.3.1. Flydende biomasse - Harbøre

Til dato er der set et eksempel på en fjernvarmeforsyning, som benytter flydende biomasse til spids- og reservelast.

Harbøre Varmeværk anvender flis som primær energikilde til sit forgasningsanlæg som udover gas til kraftvarmeproduktion også producerer træbjærrer. Træbjærrer udkondenseres fra rå gassen og de ikke-kondenserbare gasser ( $H_2$ ,  $CH_4$  og  $CO$ ) tilgår forbrændingsmotoren som producerer varme og el. Træbjærrer brændes af i spids- og reservelastkedlen i vintermånederne.

Her er altså tale om et anlæg, som kan dække hele varighedskurven med biomasse ved at anvende primært træbjærrer til spids- og reservelast, suppleret med konventionel bioolie.

Træbjærrer kræver opvarmning af lagertanken.

---

#### 4.4. Emulsionsbrændsler og andre blandinger.

Emulsioner er en blanding af to væsker, hvoraf den ene er fordelt som fine, ofte mikroskopiske dråber i den anden. Emulsioner kendes også fra fødevarer så som mælk, hvor mælkefedt er blandet i vand. Da overfladespændingen fra væskekerne er medvirkende til at blandingen skiller, er der altid en emulgator til stede som stabiliserer emulsionen. Herved kan man betragte en emulsion som en 3 komponent substans.

Drejebogen behandler ikke dette tema, da det ikke er et brændsel som projektgruppen har anvendt. Emulsionsbrændsler kan være interessante i relation til nedsat NO<sub>x</sub> udledning, da en højere vandfraktion i brændslet har medvirket til nedsat NO<sub>x</sub> emission fra motoranlæg<sup>1</sup>

#### 4.5. HVO biodiesel

HVO står for: "Hydrotreated vegetable oils" og som navnet antyder, er bioolien behandlet med brint. HVO omtales oftest som biodiesel, da det kan erstatte diesel direkte i en dieselmotor uden ændringer til motorens indstilling. HVO er optimeret til transportsektoren og er et brændsel, som er belagt med energiafgift.

HVO er interessant ud fra den betragtning, at det kan være CO<sub>2</sub> neutralt, så længe et bæredygtighedscertifikat kommer med olien. Forhandlerne af HVO vil oftest være større olieselskaber som søger at positionere sig i markedet med bæredygtige alternativer til eksisterende fossileolier så som benzin og diesel. Efterspørgslen er stigende og volumen af HVO i markedet er derfor også stort, hvilket påvirker dynamikken mellem leverandør og aftager af HVO. Markedet minder i høj grad om markedet for fossile brændsler, hvor man har høj sikkerhed for kvaliteten af brændslet, da de store olieselskaber fungerer, som et effektivt filter, som sikrer kvaliteten og ensartetheden af brændslet.

HVO vil være en lavt hængende frugt for en fjernvarmeforsyning, som ønsker at overgå fra fossil fyringsolie til et CO<sub>2</sub> neutralt alternativ, som ikke kræver opvarmning af olietankene og deler mange af de samme egenskaber som den fossile fyringsolie. Det anbefales dog, at HVO maksimalt lagres i 1 år.

Det er muligt at aftage store mængder fra mange leverandører og herved er der sikkerhed for at man kan erhverve HVO også selvom behovet er stort i længere perioder.

Den største barriere for implementeringen af HVO er prisen som med afgifter er omkring 1,5 gang dyrere end den fossile fyringsolie. Det anbefales at man kontakter sin brænderleverandør, ønsker man at overgå til HVO, da gummislanger og pakninger potentielt set kan blive angrebet af dette brændsel.

---

<sup>1</sup> Anvendelse af alkoholer som dieselbrændstof i blandinger og emulsioner - Troels Dyhr Pedersen Teknologisk Institut

#### 4.6. Olieoversigt og opsamling

I oversigten er valgt kun at belyse aktuelle bioolier, som kan erhverves mod referencen - fyringsolien.

Tilgængelighed af den konventionelle bioolie er markeret med gult. Det skal forstås som, at der er rigeligt med konventionel bioolie i markedet, men der kan dog opstå problemer med leverancen, skulle der være et øget behov i en længere periode.

Oversigten søger at give et overblik, der henvises til de enkelte afsnit for en højere detaljeringsgrad.

|                         | Fyringsolie | HVO  | Kon. Bioolie |
|-------------------------|-------------|------|--------------|
| Lagerstabil             |             | *    |              |
| Kræver opvarmning       | Nej         | Nej  | Ja           |
| Tilgængelighed          |             |      |              |
| Rengøring af kedel      |             |      |              |
| Energiafgift            | Ja          | Ja   | Nej          |
| Dyrere end fyringsolie  | N/A         | Ja   | Nej          |
| Combi brænder option    | Ja          | Ja   | Ja           |
| Overholder emissioner   |             | ?    |              |
| Aggressiv kemi          |             |      |              |
| CO <sub>2</sub> neutral | Nej         | Ja** | Ja**         |

Tabel 2 – Oversigt over olier som brændsel til spids- og reservelast

Grøn = Ingen bemærkninger af betydning

Gul = Kræver særlig opmærksomhed for at undgå problemer

Rød = Potentiel showstopper

N/A = Ikke relevant

? = Svar kendes ikke

\* Anbefaler lagring af HVO i maksimum 1 år

\*\* Kræver certifikater, vær særlig opmærksom på HVO, da palmeolie anvendes til dette produkt.

#### 5. Bekendtgørelser for kedelanlæg

Kedelanlæg behandles i 2 særskilte bekendtgørelser, som skiller ved mindst 50MW nominel indfyret termisk effekt tilsluttet 1 skorsten. I bekendtgørelsen om miljøkrav for mellemstore fyringsanlæg er det bestemt at tilsynsmyndigheden er medvirkende til at definere skorstenen. Et anlæg bestående af mindre kedler så som 2\*25MW kan derfor betragtes som et stort 50MW anlæg, hvis der under hensyn til tekniske og økonomiske forhold kan udledes gennem en fælles skorsten, også selvom der er 2\*25MW kedler med 2 skorstene. Det er vigtigt at inddrage tilsynsmyndigheden tidligt i projektet for at sikre klar kommunikation og enighed om, hvilken bekendtgørelse projektet falder under.

De to bekendtgørelser er hhv.

- 
- a. Bekendtgørelse om miljøkrav for mellemstore fyringsanlæg - BEK nr 1535 af 09/12/2019
  - b. Bekendtgørelse om begrænsning af visse luftforurenende emissioner fra store fyringsanlæg - BEK nr 513 af 22/05/2016

Bekendtgørelserne har en holistisk tilgang til kedelanlæggene og omfatter alt fra støj til emissioner.

Det bemærkes at bekendtgørelsen - BEK nr 1535 af 09/12/2019 for mellemstore fyringsanlæg sætter skæringsdatoen for overholdes af opdateret miljøkrav til 1. januar 2025 for kedelanlæg større end 5MW og 1. januar 2030 for kedelanlæg mindre end 5MW. Det er denne bekendtgørelse som drejebogen omtaler som "nye emissionskrav", da denne bekendtgørelse blev opdateret d. 9. december 2019.

For mellemstore fyringsanlæg finder man de aktuelle emissionskrav i bilag 4 for bestående kedelanlæg som anvendes til spids- og reservelast, emissionerne måles i mg/normal m<sup>3</sup>:

| Brændsel  | Størrelse   | Reference ilt % | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | Støv | CO  |
|-----------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|-----|
| Veg. Olie | ≥1 og ≤5 MW | 3%              | 350             | 180             | -    | 165 |
| Veg. Olie | >5 MW       | 3%              | 350             | 180             | 50   | 165 |

Da skillelinjen går ved skorstenen, har miljøstyrelsen indført en skorstensregel som definerer rammerne for en skorsten. Regel kan findes på miljøstyrelsen hjemmeside under:

mst.dk > Forside > Luft & støj > Luft > Luftforurening fra virksomheder > Vejledende udtalelser om mellemstore fyringsanlæg > 1. Anvendelsesområde.

Skorstensreglen er gældende for nye anlæg taget i drift i 2018, men der er flere eksempler på at der også er taget bestående kedelanlæg med i betragtningen.

For store fyringsanlæg gælder der forskellige krav afhængig af om der er tale om paragraf 4 og 5 anlæg. Det er kravene fra bilag 2 anlæg, som består af skærpet krav og som er gengivet i nedenstående tabel, der er kun vist for 50-100 MW, emissionerne måles i mg/normal m<sup>3</sup>:

| Brændsel          | Størrelse    | Reference ilt % | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | Støv | CO  |
|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|-----|
| Flydende brændsel | 50 til 100MW | 3%              | 350             | 300             | 20   | 300 |

Sod og askebestand ved forbrænding udgør det primære bidrag til partikler som omtales støv.

Som det ses, er det de mindre fyringsanlæg, som har skærpet emissionskrav.

Det skal bemærkes at i "Bekendtgørelse om miljøkrav for mellemstore fyringsanlæg" er der i tabellen i bilag 2 nævnt "andet flydende brændsel", hvor man tillader 300 mg/normal m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>. Hvis der anvendes animalsk



---

olie, tillader tilsynsmyndigheden muligvis højere NO<sub>x</sub> emissioner. En dialog omkring dette med tilsynsmyndigheden kan anbefales.

## 6. Projektbekendtgørelsen

Projektbekendtgørelsen bør inddrages i processen. Ud fra en indledende dialog med tilsynsmyndigheden ved mindre ændringer til kedelanlægget, kan en opdatering af miljøgodkendelsen sandsynligvis være dækkende. Alternativt, kan en større ændring af kedelanlægget være udslagsgivende for at tilsynsmyndigheden vil have udarbejdet et projektforslag. Til projektforslaget hører altid selskabs- og samfundsøkonomiske beregninger, som projektbekendtgørelsen foreskriver (BEK nr 1792 kap 4 paragraf 24).

## 7. Miljøgodkendelse

Som fjernvarmeselskab er det kommunen, som er den lokale tilsynsmyndighed og som udsteder miljøgodkendelser, der skal fornyes hver 8. år.

For affaldsforbrændingsselskaber gælder andre forhold, og her vil det som hovedregel være miljøstyrelsen som er tilsynsmyndighed - også selvom der er tale om bioolie kedler til S&R.

Miljøgodkendelsen vedrører alene virksomhedens forhold til Miljøbeskyttelseslovens bestemmelser og fritager derfor ikke virksomheden for at indhente eventuelle nødvendige tilladelser efter anden lovgivning.

Miljøgodkendelserne vil i høj grad være præget af den enkeltes kommunes krav, sagsbehandling og arbejdsgang. Det er derfor forventeligt, at der kan forekomme stor spredning på hvilke krav den enkelte kommune har til et bioolie konverteringsprojekt. Kan man over for tilsynsmyndigheden dokumentere bioolie specifikationer og en handlingsplan for overholdelse af emissioner, er det forventeligt at man kan opnå en ny miljøgodkendelse.

Det anbefales at indgå en dialog med tilsynsmyndigheden som det første, hvis man ønsker at overgå til bioolie.

## 8. Anden lovgivning

I Det følgende afsnit belyses anden lovgivning kort.

### 8.1. Varmeforsyningsloven

Der er ikke noget til hinder for at overgå til bioolie. Varmeforsyningsloven fordrer dog at man vælger det brændsel samt drift som giver den laveste varmepris.

---

## 8.2. VVM-screening

VVM står for - Vurdering af Virkninger på Miljøet og anvendes primært, når en bygherre udfører et nyt anlægsprojekt over en vis størrelse. Det forventes ikke at det er nødvendigt at udarbejde en VVM-screening ved et konverteringsprojekt. I sidste ende er det op til tilsynsmyndigheden.

## 8.3. BAT

BAT står for Best Available Techniques og er EU besluttet miljøkrav. BAT er først aktuelt ved fyringsanlæg på mindst 50MW indfyret nominel effekt. Der er sammenfald med dansk lovgivning fra drejebogens afsnit 5.

## 9. Kedlens bestanddele

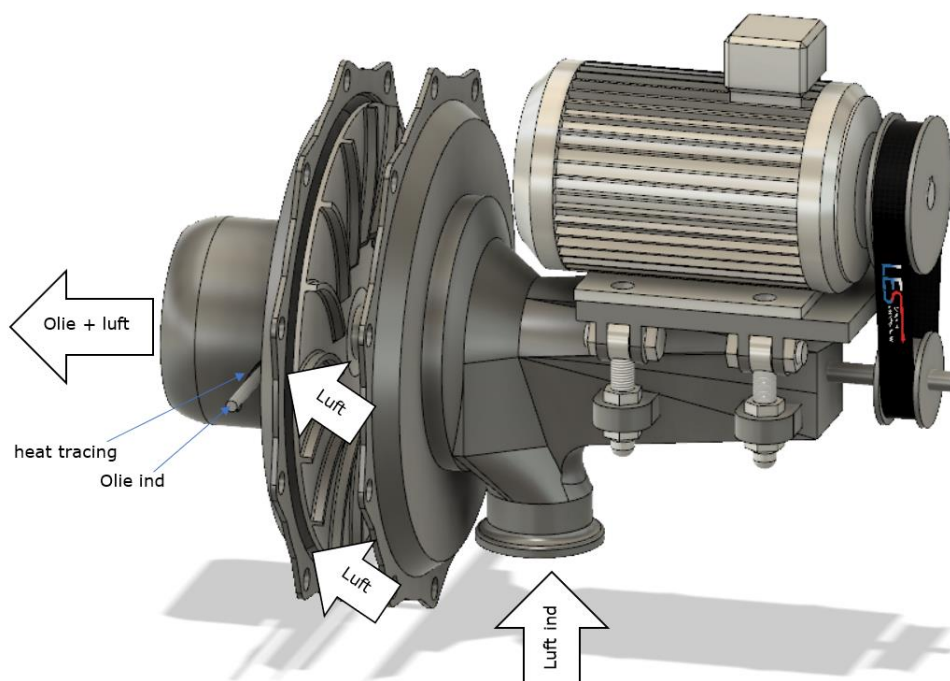
I følgende afsnit behandles centrale komponenter særskilt i hvert sit afsnit.

Drejebogen beskæftiger sig hovedsagelig med kedler med et vandret brændkammer, og i mindre grad tårnkedler. Din Forsyning har tilsammen 150 MW kedel effekt fordelt på 3 kedler på en central. Den høje effekt pr kedel har betydet, at det har været nødvendigt at anskaffe sig tårnkedler, hvor brændkammeret står lodret og hvor brænderen sender flammen med retning mod jorden.

### 9.1. Brænder og Iltilførsel

I en kedel, som anvender olie som brændsel, anvendes der rotationsbrændere. Rotationsbrænderen benævnes også "spinning cup oil burners", da olien sprøjtes ind i brændkammeret fra en "kop" som roterer med høj hastighed. Som vist på nedenstående figur, driver en elektrisk motor en akse via en rem, hvor et skovlhjul og brænder-koppen er monteret. Begge dele roterer med omkring 3000 RPM. Primærluft som anvendes til at forstøve olien, tilgår skovlhjulet fra luftindtaget i bunden af brænderen, og via centrifugalkraften accelereres luften til høj hastighed, som tilgår spalten, som dannes i mellemrummet mellem den roterende kop og den faste del af brænder konstruktionen. Her blandes luft og olie inden det antændes i brændkammeret.

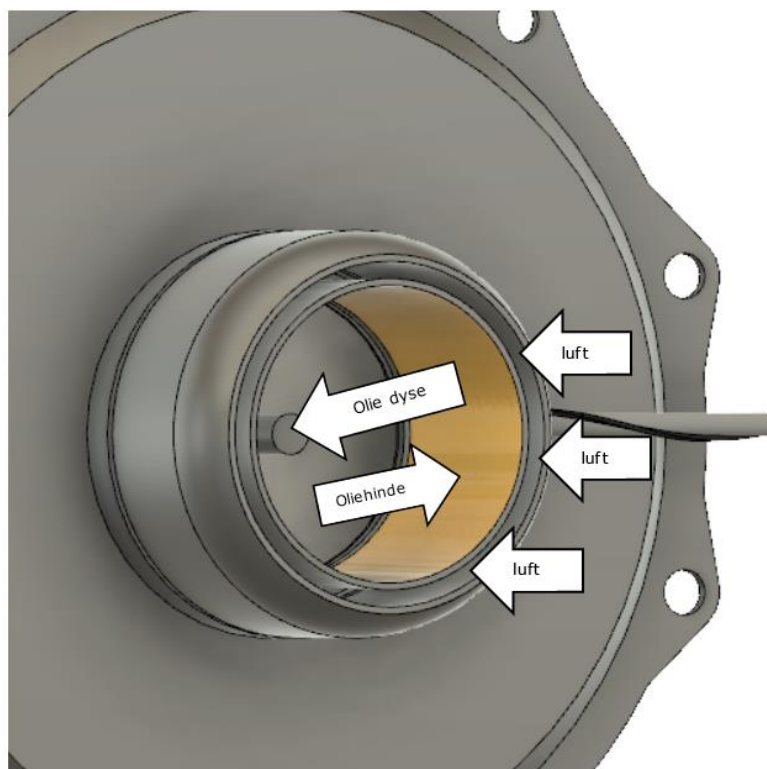
BEMÆRK – Modellerne i drejebogen er udarbejdet for at give en visualisering af kedlens bestanddele og kan derfor variere fra faktiske forhold.



Figur 1 – Rotationsbrænderen set fra siden.



*Figur 2 - Rotationsbrænderen set fra fronten.*



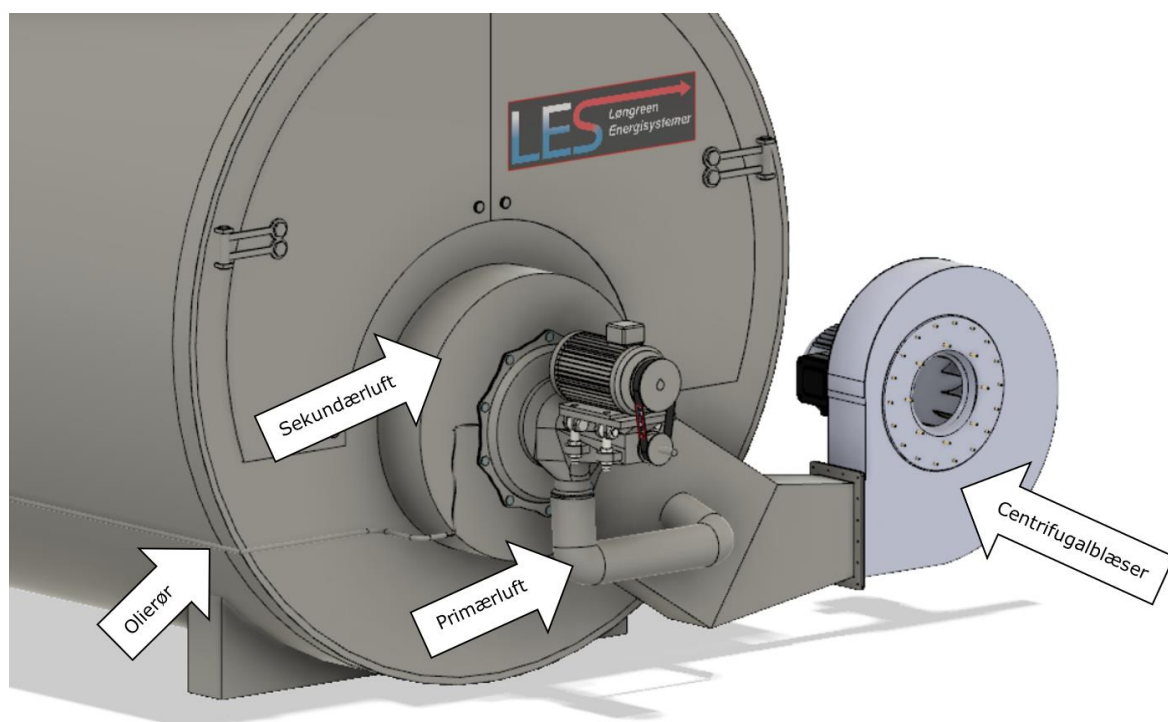
*Figur 3 - Olie og luft mødes ved overgangen markeret med "luft" pilene*

---

Som det ses på overstående figur, strømmer primærluften fra den lille overgang over olie koppen. Når olien spinner af koppen vil den møde primærluftstrømmen og atomisere. Herved overgår olien til partikler, som strømmer til brændkammeret, hvor olien antændes.

#### 9.1.1. Sekundærluft

Vindboksen tilføjer ekstra forbrændingsluft, som sikrer en ren forbrænding. Vindboksen omslutter brænderen og er fikseret på kedlen. Centrifugalblæseren forsyner brænderen og vindboksen med forbrændingsluft, hvor omkring 90% af luften tilgår vindboksen i form af sekundærluft. De resterende 10% af den totale luftstrøm fra centrifugalblæseren tilgår brænderen i form af primærluft.



Figur 4 – Lufttilførslen til en kedel med rotationsbrænder

#### 9.2. Olierør til at føde brænderen

Erfaringer har vist at bioolien risikerer at størkne, når kedlen har længere perioder med stilstand, og bioolien derved kommer til at stå i længere tid i olierørene.

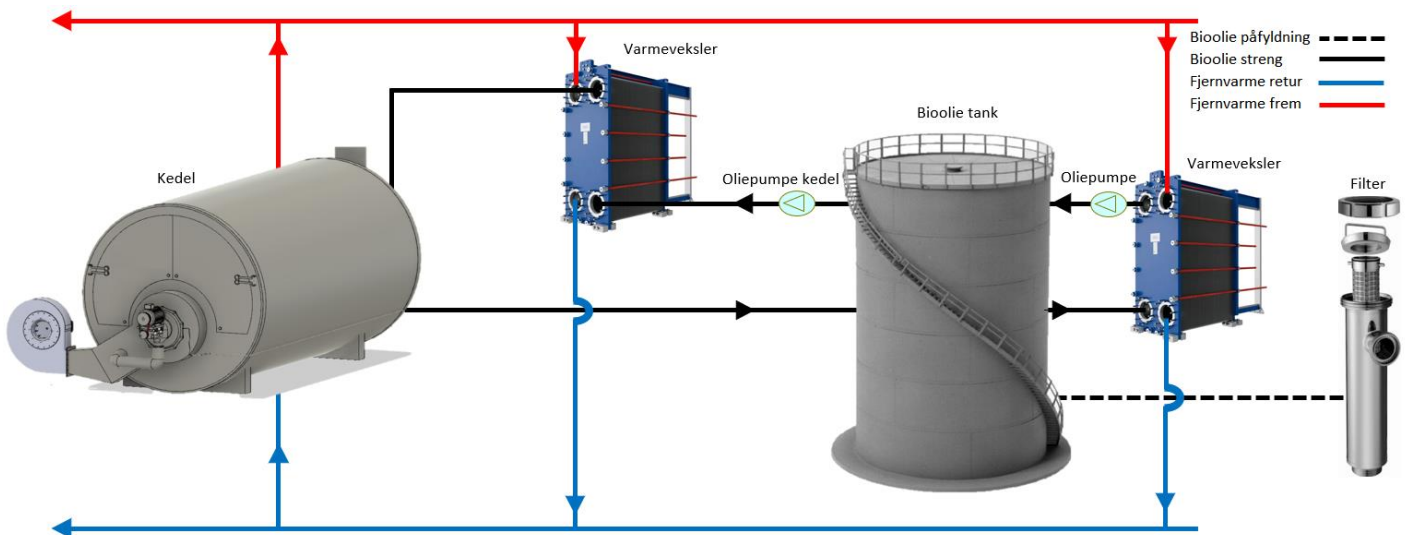
For at imødekomme dette problem, er der følgende 2 løsningsmuligheder:

##### 1. Påfylde fossilolie på olierørene

Dette kræver at der implementeres en nedlukningsprocedure, hvor der i en kort periode inden nedlukningen anvendes fossilfyringsolie. Herved sikre man at olierørene er fyldt med fossilolie. DIN Forsyning gør brug af denne metode, og har derfor en 30 m<sup>3</sup> fyringsolietank tilknyttet deres anlæg udover bioolie tanken på 2000 m<sup>3</sup>.

## 2. Konstant cirkulation af bioolie kombineret med heat tracing

Dette er en metode som finder bred anvendelse, men medfører en ekstra udgift grundet større varmetab, systemet er skitseret neden for. Bemærk de 2 veksler kredse der sørger for at holde bioolie tanken og bioolie rørene varme.



Figur 5 -Systemskitse over et biooliekredsløb

### 9.3. Oliefiltre

Oliefiltre er en nødvendighed såfremt man ønsker at anvende den konventionelle bioolie. Et 500 µm patronfilter monteres foran tilslutningsstudsene til bioolietanken. Filteret kan tages ud af sin holder og rengøres ved lejlighed. Der er set eksempler på store partikler, samt plastikrester, som er fanget af filteret.

Filteret tjener også som en kvalitetskontrol: for skulle sendingen stoppe filteret til, mens vognmanden er på pladsen, kan man passende sende leveringen tilbage.

Det anbefales også at have et finere filter før brænderen, for at beskytte anlægget yderligere.

### 9.4. Oliepumpe til kedel

Oliepumpen er et særligt fokusområde, da der er set eksempler på, at denne komponent er havareret. Det gængse valg falder oftest på tandhjul- samt centrifugalpumper afhængig af om der er tale om nedgravet olietank eller fritstående tank.

Tandhjulspumpen kan være en fordel ved nedgravet olietank, da tandhjulspumpen er selvansugende dvs. at pumpen er i stand til at lave et vakuum på sugesiden, som kan evakuere luft i olierøret.

Centrifugalpumpen er også anvendt som oliepumpe, og passer bedst ind i et system, hvor olietanken er på overfladen.

---

Fælles for begge pumper er, at det vil være hensigtsmæssigt at have reservedele på lager, da levetider på mindre end 3 år kan forekomme. Særligt vigtigt er det, at oliepumpen konstrueres af rustfri og syrefaste materialer.

## 9.5. Kedlens udformning

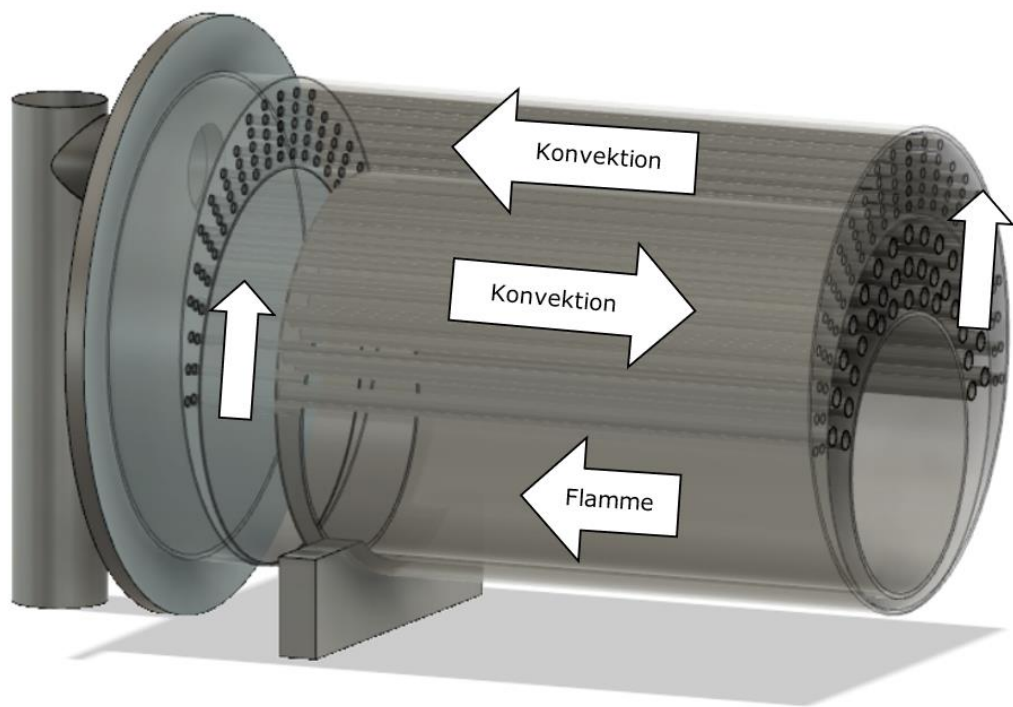
S&R kedler kommer i en større mængde af konstruktioner og vil blive omtalt som kedler med horisontalt brændkammer og lodrette brændkammer.

Kedler med horisontale brændkamre er oftest mindre kedler (<50MW) som kan være kanal-røgrørskedler, fyrbokskedler eller vandrørskedler, som er kendetegnet ved deres cylindriske form. Denne type af kedler udgør mاریoteten af S&R kedler og er vist neden for:



*Figur 6 – Visualisering af en typisk cylinderformet kedel til S&R*



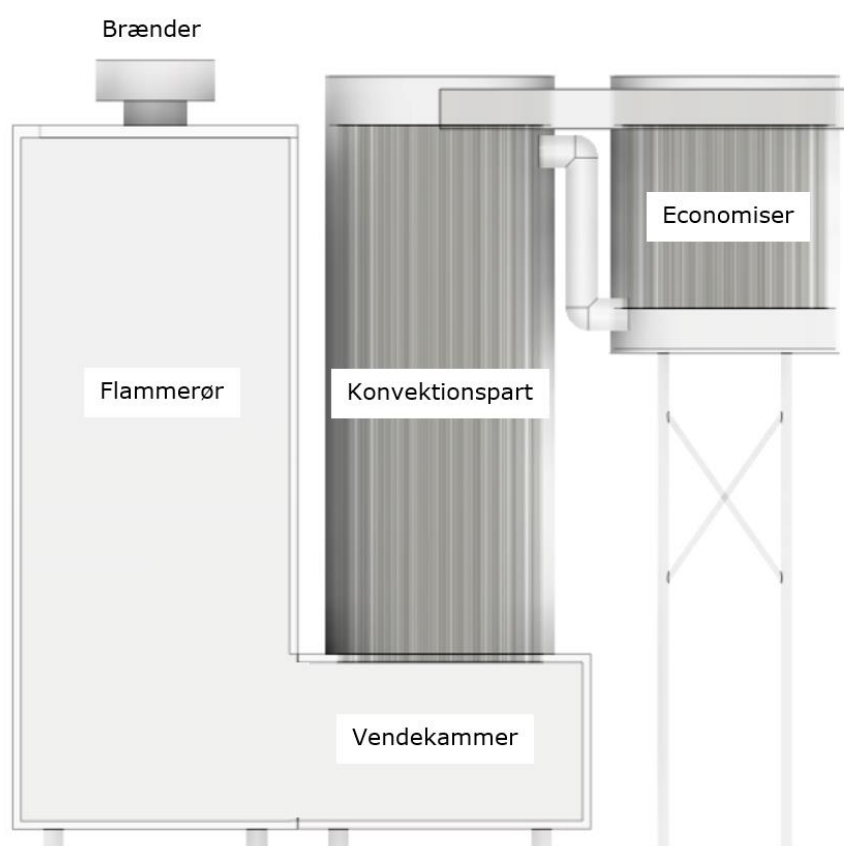
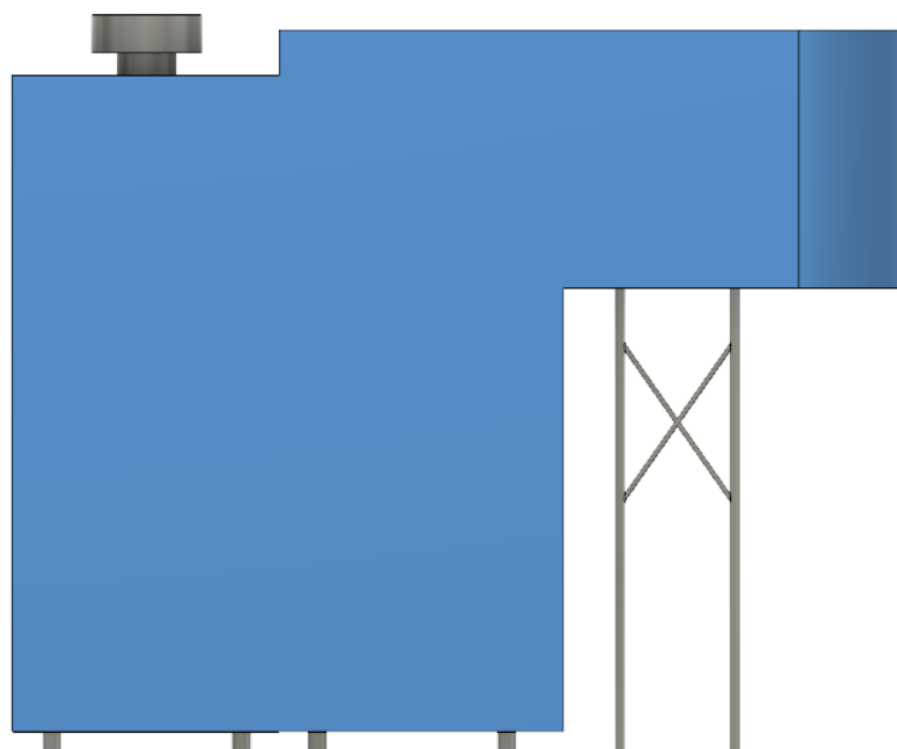


*Figur 7 – Tværsnit af fyrboksen med vandret flammerør og konvektionsrør. Røggassen vender 2 gange inden den går til skorstenen.*

Om kedlen har et horisontalt eller lodret brændkammer med dertilhørende konvektionskedler, er vigtig i forhold til rengøringen. Vender flammerøret og konvektionskedlen lodret, er der bedre mulighed for at rengøre kedlen med vand, da tyngdekraften sikrer, at vandet efter rengøringen samler sig i bunden af kedlen, hvor det kan tappes af via en ventil.

De store tårnkedler hos DIN Forsyning er de eneste i landet med indbygget sprinkler system, som sikrer en let rengøring efter brug. Nedenfor er vist 2 simple tegninger som viser kedelgeometrien for tårnkedlerne uden tilslutninger.





*Figur 8 – Tårnkedel skitseret uden tilslutninger.*

---

## 9.6. Pakninger

I kedlen fungerer pakninger som tætninger mellem flanger. Der er set eksempler på, at bioolien har opløst pakninger af gummi. Det er derfor nødvendigt at sikre sig at pakninger består af et materiale, som er bioolie bestandigt. Et eksempel kunne være pakninger bestående af teflon.

## 9.7. Rengøring efter brug af bioolie

Urenheder i brændslet vil over tid danne grundlag for belægninger i kedlen. Dette vil have indvirkning på kedlens evne til at optage varmen, med det resultat at røggastemperaturen stiger og kedel virkningsgraden falder. DIN Forsyninger arbejder typisk med røggastemperatur ved skorstensafkastet på 120C, er temperaturen over dette rengøres kedlerne.

Rengøringen kan deles op i vandbaseret rengøring eller mekaniske rengøring med børster.

De store tårnkedler har monteret dyser i toppen af kedlen til rengøring, og kedlerne rengøres derfor efter hver kørsel. I bunden af kedlen opsamles rengøringsvandet og en driftstekniker tapper vandet af kedlen via en ventil, for at sende det til behandling inden det udledes. De mindre vandrette kedler rengøres manuelt med stålbørster (kan betragtes som en stor piberenser) hvilket tager 1 dag at rense en kedel efter 6 timers drift. Det er muligt at automatisere denne proces, og enkelte forsyninger har fastmonteret stålbørster, som kan aktiveres elektronisk over SRO-systemet efter behov.

## 9.8. Lagerløsning samt opvarmning af bioolien

Den konventionelle bioolie stiller særlige krav til lagerløsningen, da tanken skal være isoleret, såvel som opvarmet. Ud fra 3 konkrete fjernvarmeverker, har det været muligt at estimere energiomkostningerne ved at holde bioolien varm.

1 m<sup>3</sup> bioolie indeholder omkring 9 MWh (nedre brændværdi)

| Case | Energiindhold tank MWh | Vol. tank m <sup>3</sup> | Tab MWh | Tab i % |
|------|------------------------|--------------------------|---------|---------|
| 1    | 18.000                 | 2000                     | 90      | 0,5     |
| 2    | 1.800                  | 200                      | 40      | 2,2     |
| 3    | 360                    | 40                       | 30      | 8,3     |

*Tabel 3 – oversigt over varmetab ved at holde bioolien varm*

I tabet indgår der også energi til at holde olien varm i kedlens olierør.

Det skal bemærkes at der er mulighed for at konvertere en eksisterende oiletank til konventionel bioolie ved at indlægge varme og isolering. Det kræver en konkret vurdering for at kunne prissætte dette arbejde.



*Figur 9 – DIN Forsynings 2000 m3 lager tank*

### 9.9. Andre emissioner (CO, svovl og partikler)

Det er NO<sub>x</sub> som er den primære udfordring, samtlige målinger fra projektgruppen og andre fjernvarmeforsyninger har vist lave emissioner af CO, SO<sub>2</sub> og støv/partikler, som alle er langt under grænseværdierne.

## 10. Forbrænding og NO<sub>x</sub>

Drejebogen har en praktisk tilgang til dette emne, og berører kort de forskellige dynamikker, som kan bidrage til øget NO<sub>x</sub> emission. Ønsker læseren en mere gennemgribende behandling af emnet henvises til anden litteratur.

NO<sub>x</sub> er en fællesbetegnelse for NO (Nitrogenoxid) og NO<sub>2</sub> Nitrogendioxid og er et biprodukt fra forbrændingen, da nitrogen fra brændslet eller atmosfæren reagerer med oxygen. Det er særligt NO som er et frit radikale som er problematisk, da NO har en uparret elektron, der gør molekylet meget reaktivt, og kan derved angribe materialer og har også negative konsekvenser for helbredet, skulle en person eksponeres for dette.

NO<sub>x</sub> opdeles i 3 kategorier og har sin egne unikke dannelsesmekanismer:

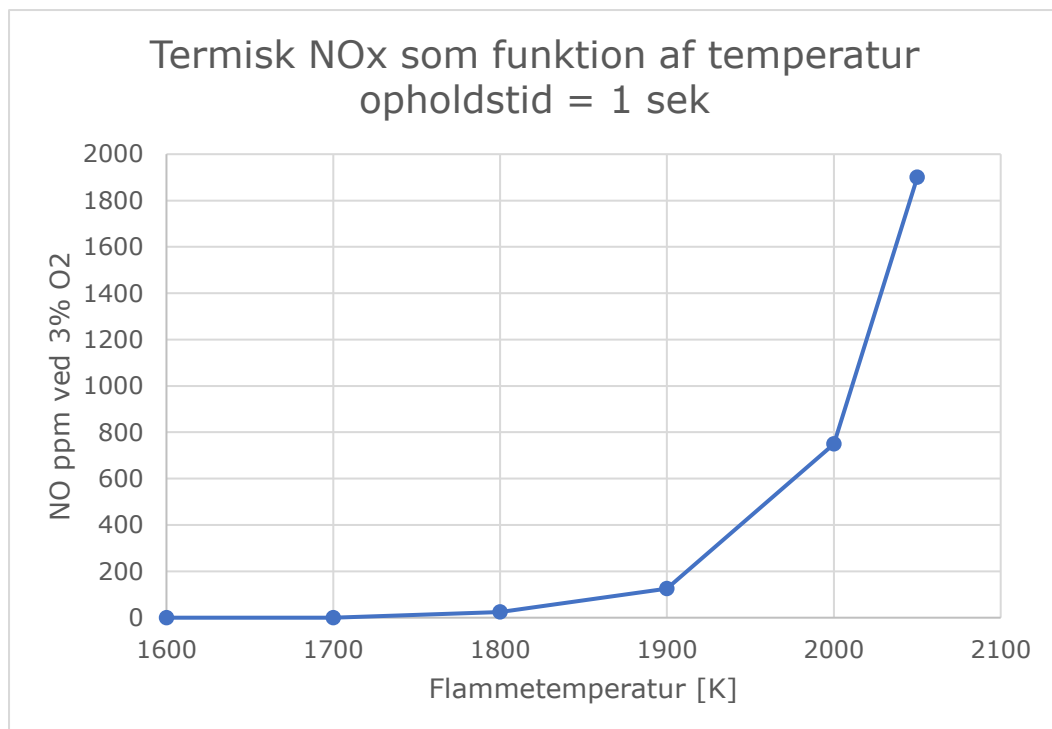
1. Termisk NO<sub>x</sub>
2. Brændsels NO<sub>x</sub>
3. Prompt NO<sub>x</sub>

---

Termisk NO<sub>x</sub> kan ved høj flammentemperatur udgøre det største bidrag til de totale NO<sub>x</sub> emissioner.

## 10.1. Termisk NO<sub>x</sub>

Flammentemperaturen og opholdstiden i brændkammerets højtemperatur zoner er udslagsgivende for termisk NO<sub>x</sub>. Termisk NO<sub>x</sub> følger en eksponential kurve, som er funktion af flammentemperaturen. Der kommer så at sige et "knæk" på kurven, hvor dannelsen af termisk NO<sub>x</sub> stiger betydeligt.



Figur 10 – Termisk NO<sub>x</sub> udledningen som funktion af temperaturen baseret på zeldovich matematiske fortolkning.

### 10.1.1. Termisk NO<sub>x</sub> mitigerende tiltag - vandholdigt brændsel

Indeholder biooli en større vand fraktion vil dette bidrage til en nedsat flamme temperatur, grundet et større energibidrag til fordampning af vandet. Resultatet er nedsat flammentemperatur, men på bekostning af effektiviteten. Projektgruppen har ikke selv forøget vandfraktionen i brændslet, og kender ikke effekterne af dette tiltag.

### 10.1.2. Termisk NO<sub>x</sub> mitigerende tiltag - vandindsprøjtning og befugtning

Projektgruppen har ikke injiceret vand i forbrændingskammeret, eller anvendt befugtning og kender derfor ikke værdien af dette tiltag. Ud fra faglitteraturen er det fundet, at der er danske anlæg på gas, som har forsøgt sig med dette tiltag. Hvis man tilsætter 1 mol vand for hvert mol gas (svarende til 0,807 kg vand for hver normal m<sup>3</sup> gas), og med 3%

---

iltoverskud i røggassen vil dugpunktet stige fra 56C til 64C. Kan man ud kondensere den tilsatte vandmængde, da er kedelvirkningsgraden konstant.

Danske<sup>2</sup> erfaringer har vist at det er muligt at nedbringe NOx emissionerne med op til 72% gennem denne teknik med naturgas som brændsel.

Røggaskondensering på konventionel bioolie vil være problematisk, da erfaringer fra fossil fyringsolie har vist et større korrosionspotentiale, som den konventionelle bioolie formentlig vil forværre, da det ikke er en standardiseret olie. Der er set eksempler med scrubber anlæg på oliekedler, men det vil være en markant investering, som vil være svær at forrente og dermed et dyrt middel til at nedbringe NOx. Alternativt må man acceptere energitabet ved ikke at røggaskondensere for at overholde NOx emissionerne.

#### 10.1.3. Termisk NOx mitigerende tiltag - røggas cirkulering

Hvis forbrændingsluften tilsættes en kold gas, som ikke reagerer under forbrændingen, så som røggassen, er det muligt at sænke flammentemperaturen. Projektgruppen har et enkelt anlæg af denne type, men det vurderes ikke at være en lavthængende frugt til at nedsætte NOx. Det pågældende anlæg med røggascirkulering anvender fossil fyringsolie. Sammenlignes dette med et tilsvarende anlæg uden røggascirkulering, er NOx emissionen reduceret med op til 50% afhængig af belastning. Det røggascirkulerende anlæg lader til at have de laveste NOx emissioner ved 100% belastning.

### 10.2. Brændsels NOx

Brændslet kan også indeholde nitrogen, som er kemisk bundet og vil give anledning til NOx emissioner. Brændsels NOx kan minimeres ved at anvende en raffineret bioolie, som har et lavt indhold af nitrogen. Da konventionel bioolie ikke er en standardiseret olie, kan nitrogenindholdet variere fra hver leverance.

Ud fra bioolie specifikationer er det fundet, at nitrogenindholdet kan variere fra mellem 0,5 til 0,1 nitrogen af masseprocenten.

#### 10.2.1. Brændsels NOx mitigerende tiltag - større animalsk bioolie fraktion

På baggrund af emissionsmålinger fra et aktuelt anlæg med konventionel bioolie som brændsel, er der set en tendens til, at en større animalsk bioolie fraktion i den konventionelle bioolie, giver mindre NOx emission. Dette kan hænge sammen med at den vegetabiliske olie indeholder gødningsrester så som ammoniak NH<sub>4</sub>, hvilket giver anledning til opkoncentrering af nitrogen i den konventionelle bioolie.

---

<sup>2</sup> Reduktion af NOx-emission fra naturgasfyrede industriedler Dansk Gasteknik Center A/S

---

### 10.3. Prompt NOx

Når nitrogen reagerer med kulbrinte radikaler CH, dannes der prompt NOx. Det er særligt i de brændselsrige zoner, at denne type NOx opstår. Derfor kan man modvirke prompt NOx ved at øge luftoverskudet og ved god opblanding af brændsel og luft inden forbrændingen.

#### 10.3.1. Prompt NOx mitigerende tiltag - øget luftoverskud

Et højere luftoverskudstal øger sandsynligheden for en fuldstændig forbrænding og køler også flammen. Dette vil resultere i mindre sod, CO og NOx. Den øget mængde oxygen fra forbrændingsluften vil dog også bidrage til øget NOx (grundet N<sub>2</sub> indholdet i atmosfæren). Derfor kræver det god indsigt i sit anlæg, for at finde det optimale forhold mellem en ren støkiometrisk forbrænding (Luft overskud = 1) og et luftoverskud, som bidrager til en køligere flamme. For stort luftoverskud kan føre til glanssod, som er en ufuldstændigforbrænding af olien, grundet at flammen blæses ud. Vanddamp og sod kan også overgå til svovlsyre som kan resultere i alvorlig kedeltæring.

#### 10.3.2. Prompt NOx mitigerende tiltag - forvarme bioolien før brænderen

Da det er zoner med mange frie CO radikaler, som er medvirkende til prompt NOx, vil en bedre opblanding af brændsel og forbrændingsluft være medvirkende til lavere NOx emission. DIN Forsyninger arbejder med et konkret tiltag, hvor den konventionelle bioolie opvarmes til 110C for at sænke viskositeten, og dermed sikre en bedre spray af olie. Dette skulle gerne betyde en bedre opblanding af forbrændingsluft og olie, med det resultat at sænke den prompte NOx.

DIN Forsyning forvarmer allerede den konventionelle bioolie, men man søger nu at højne temperaturen ved at gå fra at opvarme med fjernvarmen 70C til el opvarmning 110C. Resultatet af dette tiltag kendes først ved afslutningen af året, da COVID-19 har rykket tidsplanen.

#### 10.3.3. Prompt NOx mitigerende tiltag - muring af flammerøret

DIN Forsyning søger at forbedre forbrændingen ved at mure flammerøret, som er den første del af kedlen, hvor brænderen sender sin flamme igennem. Dette tiltag skal sikre en bedre forbrænding og nedbringe CO som kan give anledning til prompt NOx. Det forventes også at sod nedbringes med dette indgreb.

Resultatet af dette tiltag vil blive verificeret med en test, som forventes påbegyndt i slutningen af 2020.

### 10.4. Andre NOx mitigerende tiltag

Andre nævneværdige tiltag til reduceret NOx er listet neden for

---

#### 10.4.1. Ændring af kedlens belastning.

Ved at gå ned i last kan det ændre flammeprofilen på brænderen. I litteraturen er der set eksempler på, at dette har haft en NO<sub>x</sub> reducerende effekt (op til 40% på en gaskedel)<sup>3</sup>. For at udnytte denne mekanisme er det nødvendigt at kende NO<sub>x</sub>- emissionskarakteristikken for den pågældende kedel. Hvis fjernvarmeforsyningen også har en varmeakkumuleringstank, er der frihedsgrader til at sikre en længere afladningsperiode, som kan opveje kedlens lavere effekt til nettet.

#### 10.4.2. Low NO<sub>x</sub> brænder

Low NO<sub>x</sub> brændere er ikke entydigt defineret. Brænderne udnytter de dynamikker som er beskrevet i afsnit 10.1, 10.2 og 10.3. Fokus er på: flammekøling, røggascirkulering, befugtning og vand indsprøjtning. Når røggascirkulering nævnes, så er det nødvendigvis ikke ved at slutte en del af røggas afkastet til brænderen. Der er set eksempler på brændere, der sikrer en flowdynamik i brændkammeret, der cirkulerer en del af røggassen tilbage til flammen.

#### 10.4.3. Katalysator løsning – SCR, SNCR og absorbenter

SCR – Selective Catalytic reduction og SNCR – Selective non-catalytic er begge processer til at reducere NO<sub>x</sub> ved brug af ammoniakvand, som sprøjtes ind i forbrændingskammeret i kombination med en katalysator, som røggassen strømmer igennem. Processen sikre at NO radikaler kombineres til stabile molekyler så som H<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>. Gennem en dialog med Umicore N.V., som er teknologileverandør til det maritime erhverv, er det fundet, at særligt SCR ikke kan anbefales. Dette hænger sammen med, at den konventionelle bioolie ikke er en standardiseret olie og trace elementer af uønskede elementer kan forekomme. Dette kan potentielt set skade katalysatoren.

SNCR kræver ikke en katalysator, men et retrofit på en eksisterende kedel skal betragtes som et sidste forsøge på at overholde NO<sub>x</sub> emissioner, da teknologien er bedst til grundlast og dyr sammenlignet med andre tiltag, som eksempelvis en ny low NO<sub>x</sub> brænder. Det skal bemærkes at ved 50 MW anlægseffekt kan BAT krav skærpe emissionerne, hvilket kan føre til at SNCR bliver aktuelt, skulle andre retrofit løsninger ikke være tilstrækkelig. Det skal bemærkes at projektgruppen kender til en forsyningsvirksomhed som har praktiske erfaringer med et SNCR anlæg til S&R. Her er meldingen at den pågældende forsyning kunne overholde emissionskravene, men udfordringer med den konventionelle bioolie har gjort at forsyningen er overgået til fossil fyringsolie.

En lavpraktisk løsning som alternativ til en katalysator vil være bruge af absorbenter. Dette tiltag kendes fra større forbrændingsanlæg, hvor

---

<sup>3</sup> Reduktion af NO<sub>x</sub>-emission fra naturgasfyrede industriedler Dansk Gasteknik Center A/S

---

røggassen tilsættes kalk for at neutralisere skadelig kemi. Drejebogen går ikke nærmere ind i dette tiltaget.

## 11. Omkostninger ved konvertering til konventionel bioolie.

Gennem samtaler med driftspersonalet samt besigtigelser er der set følgende 3 anlægstyper:

| Type         | Ældre heavy fuel anlæg | Nyere fyringsolie anlæg | Naturgas anlæg |
|--------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| Olietank     | Opvarmet               | Ikke opvarmet           |                |
| Brænder      | Rotationsbrænder       | Rotationsbrænder        | Dyse           |
| Kombibrænder | Ja                     | Ja                      | Ja             |

*Tabel 4 – Oversigt over de mest almindelige anlægstyper til S&R*

Som det fremgår af tabellen, er det de ældre fyringsanlæg, som vil kunne overgå til den konventionelle bioolie forholdsvis gnidningsfrit. Medtages nye emissions krav og fremtidssikring af anlægget vil her med stor sandsynlighed være et behov for et implementere mitigerende tiltag for at nedbringe emissioner. I drejebogen er der peget en række tiltag som alle er svære at kvantificere, da konverteringsomkostningerne er afhængige af det konkrete kedelanlæg.

Historisk har der i fjernvarmen været tradition for at optimere på brændselspriser. Dette har været udslagsgivende for, at de ældre S&R anlæg har anvendt heavy fuel eller andre affaldsolier. Hvis en fjernvarmeforsyning har været i nærheden af lokale kilder til spild/affaldsolier, er der også set en tendens til at denne type olie er brugt. Dette kan være affaldsolier fra raffinaderier eller fiskeindustrien. Ved at bruge disse ikke standardiseret olier har det stillet særlige krav til anlægskonfigurationen, som derved bedre kan håndtere dette produkt. Nyere oliekedler har ikke haft de samme frihedsgrader til at prisoptimere brændslet, grundet nye miljøkrav. Det er særligt olietanken, som skiller sig ud, ved ikke at være opvarmet. Brænderen vil i de fleste tilfælde stadig være en rotationsbrænder, som har en lang historik og gode forudsætninger til at håndtere den konventionelle bioolie. Rotationsbrænderen kan også påmonteres med en dyse, der gør den i stand til også at anvende naturgas. Dette skift kan gøres på stedet uden særligt værktøj og på dagen. Herved sikres der fleksibilitet i forhold til brændselsvalget.

Naturgasanlæg anvender primært trykforstøvning, og risikoen for at dyser stopper til er for stor til at den konventionelle bioolie kan anvendes. Der kan være tilfælde, hvor den tilstødende olietank ikke er opvarmet. Det vil alt andet lige medføre en meromkostning at overgå til konventionel bioolie, da brænderen skal skiftes og olietanken opvarmes.

Afhængig af anlægstype kan man ud fra nedenstående tabel se forventet omkostninger ved en konvertering. Priserne er estimerede og tager ikke



---

højde for faktiske forhold. Priserne skal derfor betragtes som "leveret til kantstenen".

| Type                               | Pris                | Valuta |
|------------------------------------|---------------------|--------|
| *Olietank (40-200 m <sup>3</sup> ) | 500.000 - 1.000.000 | DKK    |
| Brænder (6-20MW)                   | 600.000 - 1.000.000 | DKK    |
| Oliepumpe                          | 20.000              | DKK    |

*Tabel 5 – Grovkornet omkostninger ved en konvertering til konventionel bioolie*

Alle priser er ekskl. moms.

Forvent også udgifter til heat tracing samt filtre.

\* Olietanken er inkl. fundament, isoleret, opvarmet og i rustfrit stål.

---

## Bilag 1 – konventionel bioolie billeder



*Resterne af en batch med vegetabilsk olie i form af soja og raps som har efterladt slam/bundfald i bioolie tanken.*



*Batch med fiskeolie og kyllingefedt som stadig er flydende ved stuetemperatur.*



*Batch med fiskeolie som er størknet ved stuetemperatur.*

---

---

Bilag 2 – Eksempel på konventionel bioolie teknisk specifikation



**Data Sheet**  
**Biooil type: PRIMEOL**

| Parameter           | Value  | Unit               | Method      |
|---------------------|--------|--------------------|-------------|
| Heat of Comb. Gross | 38,9   | MJ/kg              | ASTM D 240  |
| Heat of Comb. Net   | 36,4   | MJ/kg              | ASTM D 240  |
| Flash Point         | > 160  | C                  | ASTM D93/A  |
| Ash                 | < 0,05 | % mass             | ASTM D 482  |
| Water KF            | < 0,8  | % mass             | ASTM D 1744 |
| Free Fatty Acids    | < 20   | % mass             | DGF C-III 4 |
| Sulfur              | < 0,07 | % mass             | ASTM D 4294 |
| Carbon              | 75,8   | % mass             | ASTM D 5291 |
| Hydrogen            | 11,4   | % mass             | ASTM D 5291 |
| Nitrogen            | < 0,1  | % mass             | ASTM D 5291 |
| Pour Point          | < 15   | C                  | ASTM D 97   |
| Density             | 0,89   | Kg/liter           | ASTM D 792  |
| Viscosity (60 C)    | 20-30  | mm <sup>2</sup> /s | ASTM D 445  |

---

Bilag 3 – Oliefilter billede



*Oliefilter ved tilslutningsstuds til bioolietank*

---