

# Model Predictive Control of a Sewer System

June 14, 2018

Group 1030

Jacob Naundrup Pedersen

Thomas Holm Pilgaard

Department of Electronic Systems

Aalborg University

Denmark



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

## System beskrivelse

Løsninger og afgrænsninger

## Modeller

## Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

## Kontrol

Linearisering

MPC

## Resultat

## Diskussion/Konklusion

# Rensning af spildevand

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

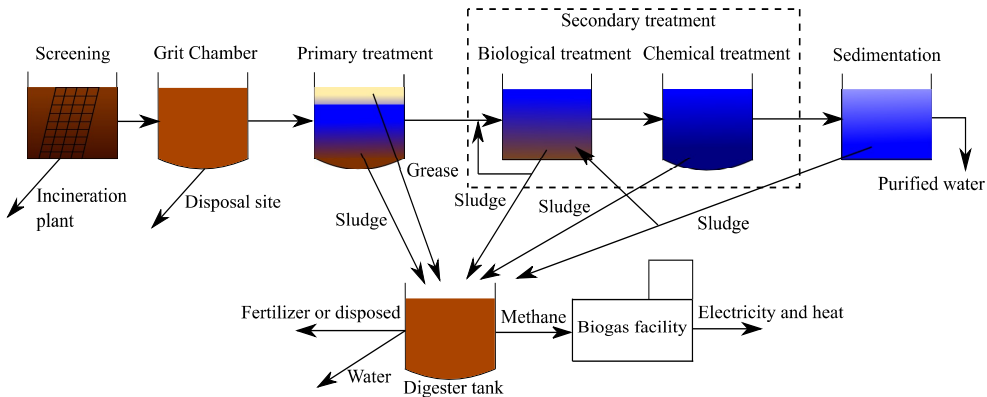
Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

2





# Udfordringer ved spildevandsrensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Virksomhedsbesøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Virksomhedsbesøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
  - ▶ Større udledninger uden varsel

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Virksomhedsbesøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
  - ▶ Større udledninger uden varsel
  - ▶ Problemer for aerobe bakterier



# Udfordringer ved spildevandsrensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Virksomhedsbesøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
  - ▶ Større udledninger uden varsel
  - ▶ Problemer for aerobe bakterier
  - ▶ Andre forstyrrelser

## Agenda

### Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

4

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

How can a simulation environment be constructed, which mimic the behavior of a real sewer system, where MPC is utilized as the control scheme to obtain stable sewage output such that optimal performance can be obtained from a WWTP.



# Udgangspunkt i et virkeligt setup

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

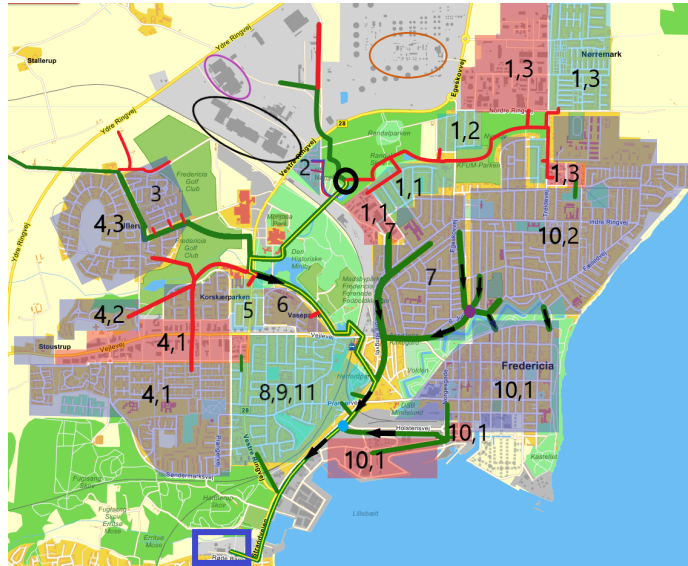
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

5



# Udgangspunkt i et virkeligt setup

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

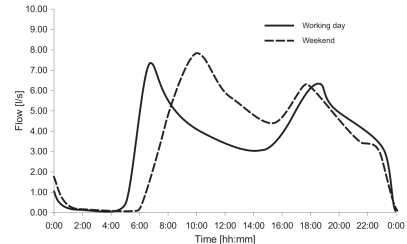
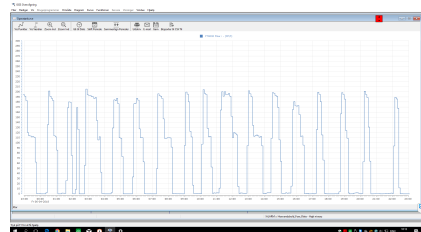
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

6

- ▶ Data fra industri
- ▶ Flow profiler af beboelse og mindre industri





# Løsninger og afgrænsninger

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

7

## ► Indsættelse af tank



# Løsninger og afgrænsninger

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

7

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Indsættelse af tank
- Enkelt kemisk komponent



# Løsninger og afgrænsninger

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

7

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Indsættelse af tank
- Enkelt kemisk komponent
- Runde kloakrør

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

► Kloakledning

► Transport af koncentrat i kloakledning

► Sammenkobling af kloakledninger

► Tank

8

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

8

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Kloakledning

► Saint-Venant

► Kontinuitet:

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

► Impuls:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Antagelser

## ► Transport af koncentrat i kloakledning

## ► Sammenkobling af kloakledninger

## ► Tank

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

## ► Kloakledning

- Saint-Venant
- Kontinuitet:
- Impuls:
- Antagelser

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

## ► Transport af koncentrat i kloakledning

- Afhænger af flow i kloakledning
- Antagelser

## ► Sammenkobling af kloakledninger

## ► Tank



# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

8

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Kloakledning

► Saint-Venant

► Kontinuitet:

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

► Impuls:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Antagelser

## ► Transport af koncentrat i kloakledning

► Afhænger af flow i kloakledning

► Antagelser

## ► Sammenkobling af kloakledninger

► Summering af flow og koncentrat

► Antagelser

## ► Tank

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

## ► Kloakledning

► Saint-Venant

► Kontinuitet:

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

► Impuls:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Antagelser

## ► Transport af koncentrat i kloakledning

► Afhænger af flow i kloakledning

► Antagelser

## ► Sammenkobling af kloakledninger

► Summering af flow og koncentrat

► Antagelser

## ► Tank

► Ændring i højde og koncentrat

► Antagelser

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

**Struktur**

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Intialisering

9

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

**Struktur**

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Initialisering

### ► Opsætning af komponenter

9

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

### Struktur

Preissmann  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

## ► Initialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

9

35

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

**Struktur**

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Initialisering

► Opsætning af komponenter

► System i steady state

## ► Simulering

9

35

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

**Struktur**

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

## ► Intialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

## ► Simulering

- Iterativ beregning af komponenterne

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

## ► Initialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

## ► Simulering

- Iterativ beregning af komponenterne

## ► Gennemgang af resultat



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

#### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

## ► Kinematisk bølge approksimation

►  $S_b = S_f$

## ► Fyldningsgrads kurve for rør

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

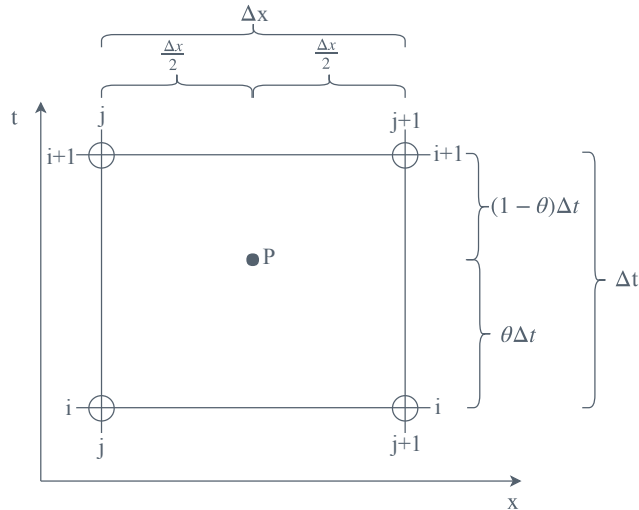
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

11



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

### Kontrol

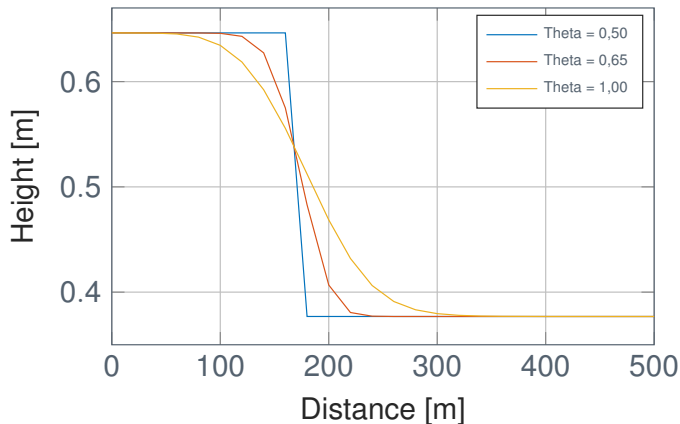
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

12

## ► Ubetinget stabilitet



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

#### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

► Indikation af præcision

► 
$$C_r = \frac{\sqrt{g \cdot \bar{H} \cdot \Delta t}}{\Delta x}$$

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

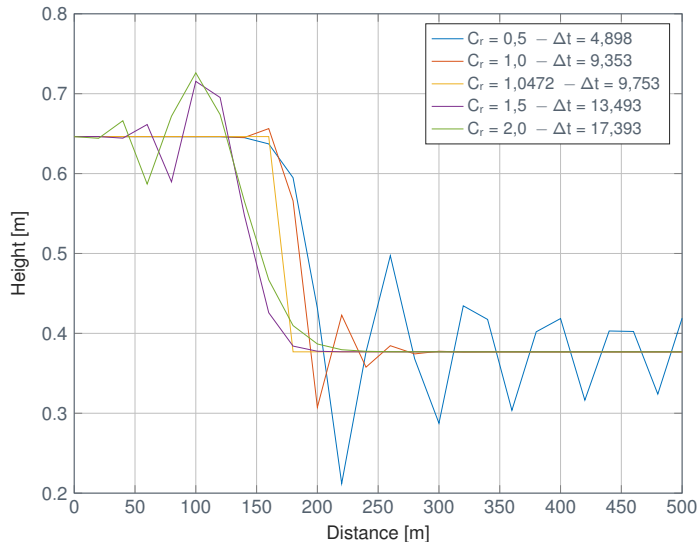
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

14



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

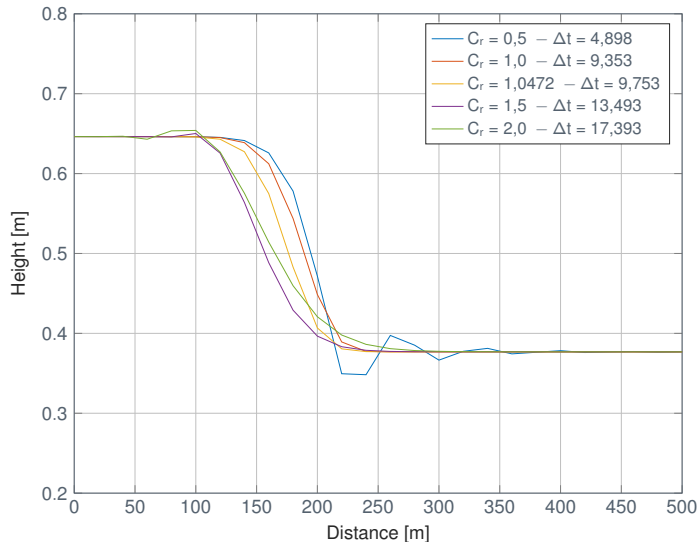
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

15



35



# Indhold

Jacob Naundrup Pedersen

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- ▶ Implementering
- ▶ Kontrol
- ▶ Resultater
- ▶ Diskussion/Konklusion

16

35

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

17

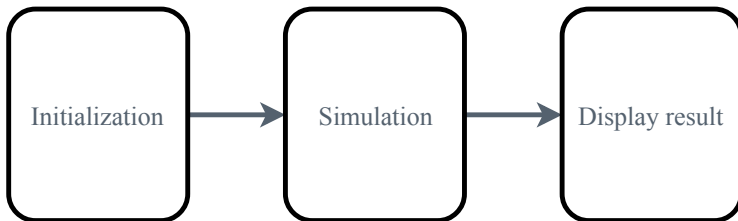
### Kontrol

Linearisering

MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion





### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

## 1. Rør

- ▶ Længde [m]
- ▶ Sektioner
- ▶  $S_b$  (Hældning) [‰]
- ▶  $\Delta x = \text{Længde/Sektioner}$  [m]
- ▶ Diameter [m]
- ▶ Theta
- ▶  $Q_f$  [m<sup>3</sup>/s]
- ▶ Side inflow
- ▶ Placering i data

## 2. Tank

- ▶ Størrelse [m<sup>3</sup>]
- ▶ Højde [m]
- ▶ Areal = Størrelse / Højde [m<sup>2</sup>]
- ▶ Maksimum outflow [m<sup>3</sup>/s]
- ▶ Placering i data

18

35

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol




Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

19

- Steady state
- System opsætning

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	35
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	17	207
4	'Tank'	1	1
5	'Pipe'	1	38
6	'Total'	21	282

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

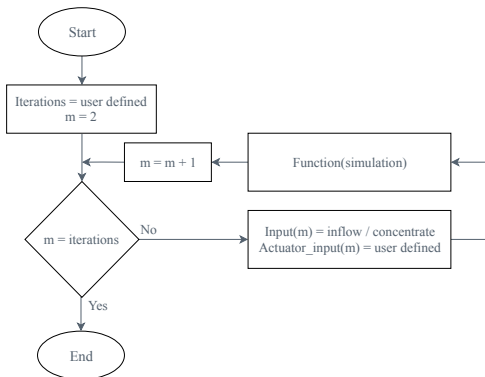
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

20

## ► Beregner parameter for hvert tidsskridt



# Implementering Display

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

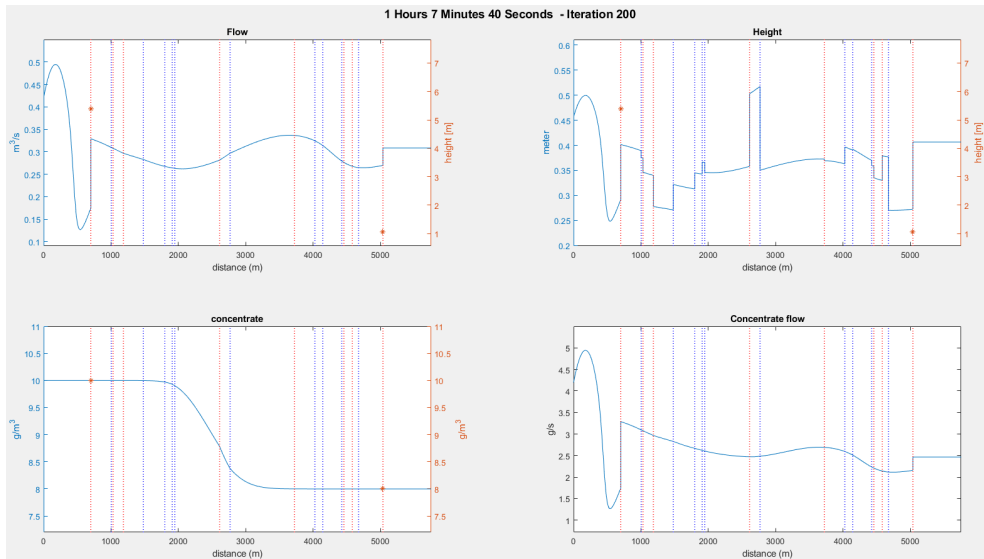
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

21

35



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

► Lineær model til MPC

► Linearisering af kontinuitets ligningen

► Højde states

► Preissmann scheme

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial A(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} = 0$$

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

► Opstilles på state space form

$$\begin{bmatrix} \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_a & \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_j^{i+1} \\ h_{j+1}^{i+1} \end{bmatrix} =$$

$$- \begin{bmatrix} \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_c & \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_j^i \\ h_{j+1}^i \end{bmatrix}$$

23

35

# Kontrol

Opsætning på state space

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

24

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & b_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_1 & b_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{m-1} & b_m \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ h_1^{i+1} \\ h_2^{i+1} \\ \vdots \\ h_m^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_0 & d_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_1 & d_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_{m-1} & d_m \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^i \\ h_1^i \\ h_2^i \\ \vdots \\ h_m^i \end{bmatrix}}_{x(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ -a_0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_B h_0^{i+1} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dh}{dQ} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_d} d_0^{i+1}$$

35

### Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

25

- e - Forøgelse af højde i tank(inflow)
- f - Reducering af højde i tank(Outflow)
- g - Inflow i efterfølgende rør

$$\underbrace{\begin{bmatrix} b_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a_{2,1} & b_{2,2} \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^{i+1} \\ h_{tank}^{i+1} \\ h_{2,0}^{i+1} \\ h_{2,1}^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} \\
 = \underbrace{\begin{bmatrix} d_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ e & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{2,0} & d_{2,1} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^i \\ h_{tank}^i \\ h_{2,0}^i \\ h_{2,1}^i \end{bmatrix}}_{x(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -f \\ 0 & g \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_B \begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ u_{tank} \end{bmatrix}$$



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- ▶ Samligning af ulineær og lineær model for små forstyrrelser
- ▶ System setup
- ▶ Sinus input

Type	Components	Sections
Pipe	1	35
Tank	1	1
Pipe	18	227
Total	20	263

26

35

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

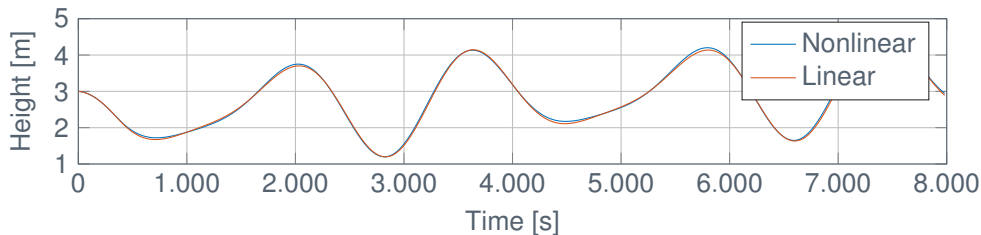
Resultat

Diskussion/Konklusion

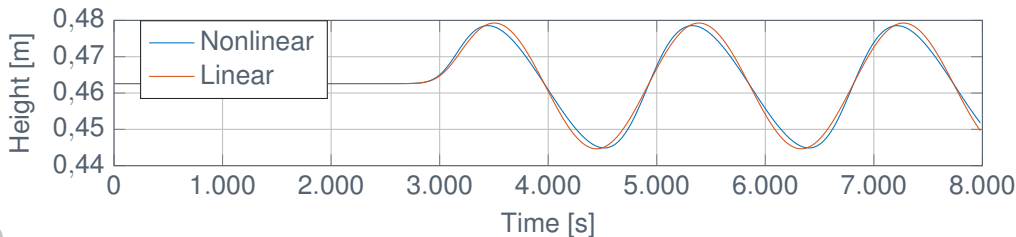
27

35

### Tank højde



### Output af sidste rør



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- ▶ Cost funktion
  - ▶ Afgrænset til at minimiere flow variationer
- ▶ Constraints
  - ▶ Højde
  - ▶ Kontrol input
- ▶ Prediktions model

28

35

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

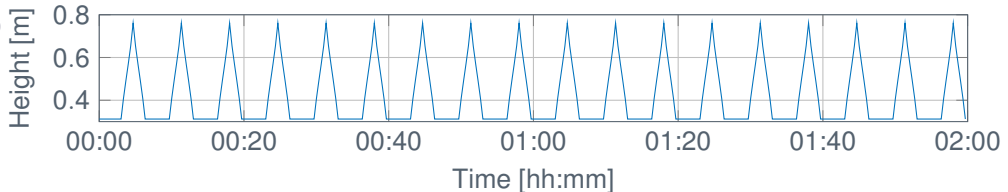
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- Begrænset i længde af prediktions horisont
- System setup
- Forstyrrelses input

Fields	ch type	component	sections
1	'Pipe'	1	5
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	1	5
4	'Total'	3	11



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og

afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

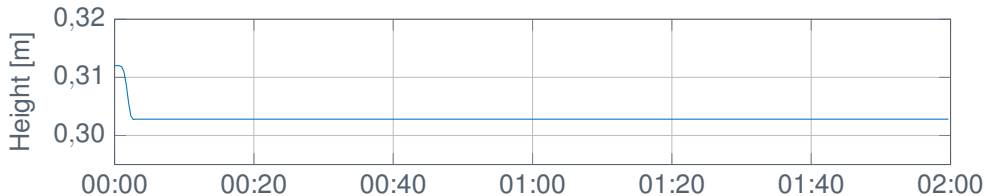
MPC

Resultat

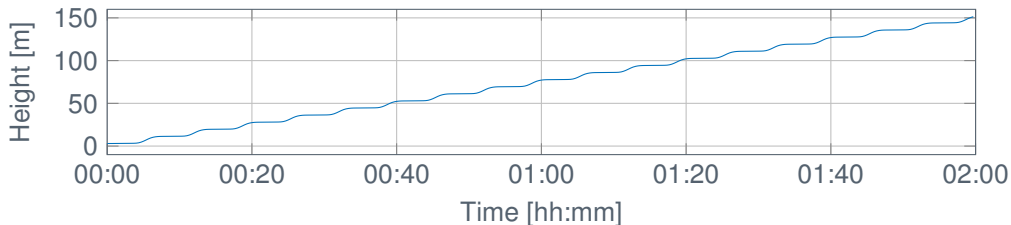
Diskussion/Konklusion

30

### Input højde i rør efter tank



### Tank højde



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

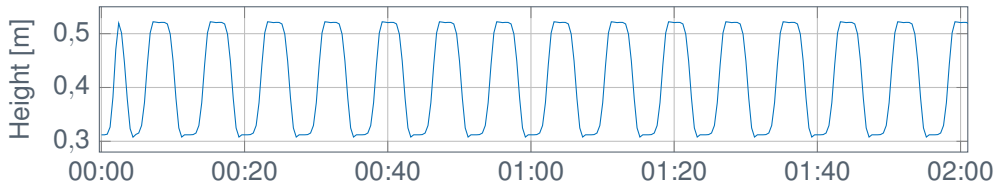
Resultat

Diskussion/Konklusion

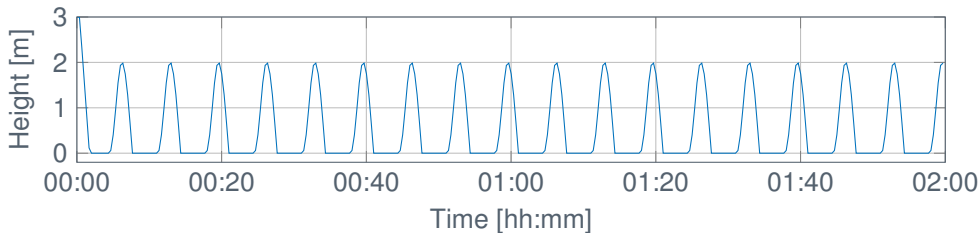
31

35

### Input højde i rør efter tank



### Tank højde



### Agenda

#### Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- ▶ System setup, efterligning af Fredericia
- ▶ Flow profiler

Type	Component	Sections
Pipe	1	35
Tank	1	1
Pipe	17	207
Tank	1	1
Pipe	1	38
Total	21	282

### Agenda

Group 1030

Introduktion

Rensning af spildevand

Problemformulering

System beskrivelse

Løsninger og afgrænsninger

Modeller

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

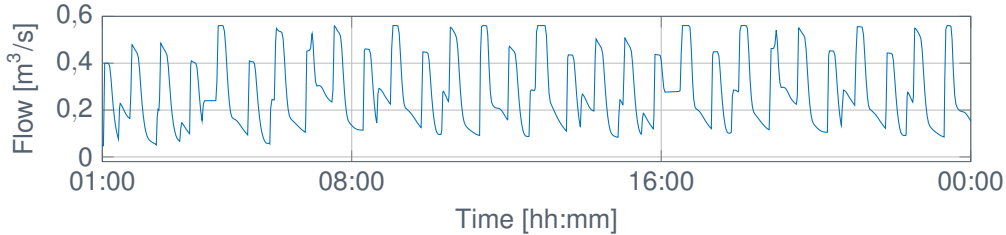
**Resultat**

Diskussion/Konklusion

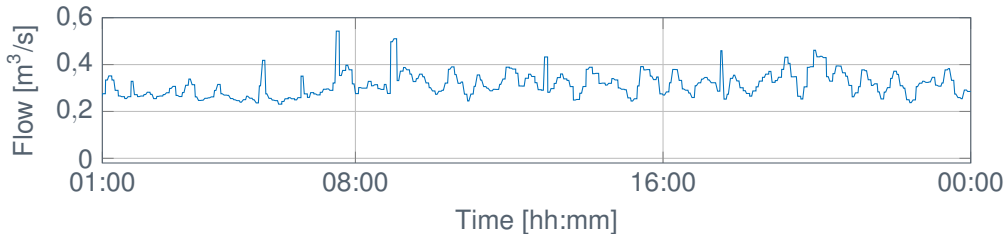
33

35

### Output flow



### Data fra Fredericia





### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

#### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

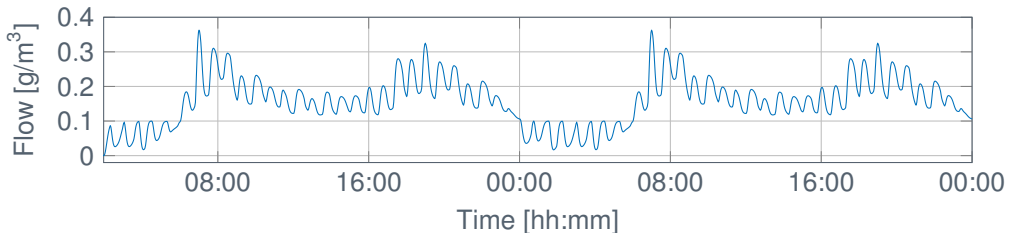
Linearisering  
MPC

#### Resultat

Diskussion/Konklusion

34

### Output koncentration



35



# Diskussion/Konklusion

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Rensning af spildevand  
Problemformulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
afgrænsninger

### Modeller

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

35

- ▶ Courant's tal
- ▶ Model reduktion
- ▶ Simulering
- ▶ MPC

35