

# 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

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg  
Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og begrænsninger

## Modellering

## Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

## Kontrol

Linearisering  
MPC

## Resultat

## Diskussion/Konklusion

# Typisk opbygning af kloak ledning

## Agenda

Group 1030

2

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

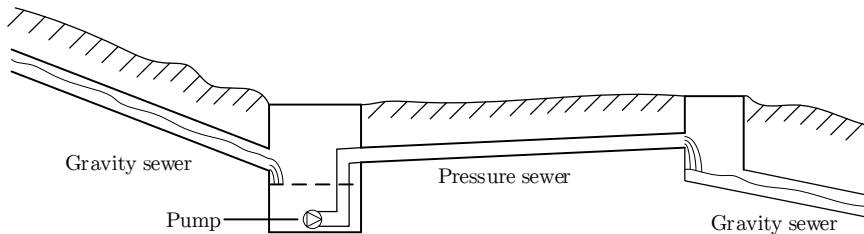
Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





# Resning af spildevand

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

## ► Mekanisk rensning



# Resning af spildevand

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Mekanisk rensning

► Sandfang



# Resning af spildevand

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Mekanisk rensning

► Sandfang

► Primær rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning
- ▶ Sandfang
- ▶ Primær rensning
- ▶ Sekundær rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning
- ▶ Sandfang
- ▶ Primær rensning
- ▶ Sekundær rensning
- ▶ Kemisk rensning





# Udfordringer ved spildevands rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.



# Udfordringer ved spildevands rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

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



# Udfordringer ved spildevands rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

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

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

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

# Problem formulering

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

5

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

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

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

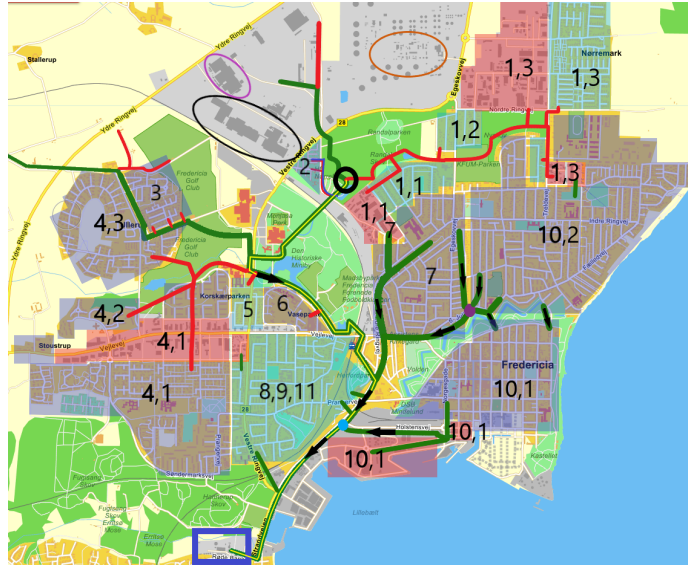
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

6



# Udgangspunkt i et virkeligt setup

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

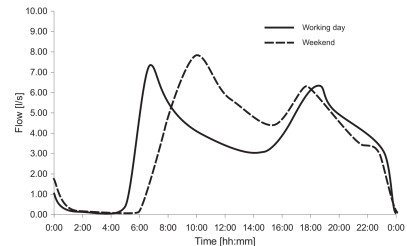
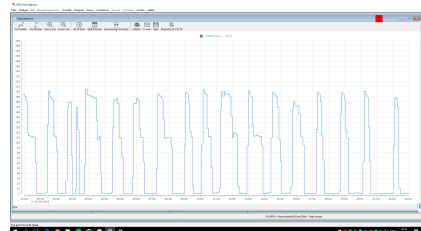
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

7

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





# Løsninger og begrænsninger

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

► Indsættelse af tank



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

- Indsættelse af tank
- Afgrænse simulering til enkelt kemisk component

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

- Indsættelse af tank
- Afgrænse simulering til enkelt kemisk component
- Runde kloak rør

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

## ► Kloak ledning

- 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 kloak ledning

## ► Sammenkobling af kloakledninger

## ► Tank.

38

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

## ► Kloak ledning

- 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 kloak ledning

- Afhænger af flow i kloak ledning
- Antagelser

## ► Sammenkobling af kloakledninger

## ► Tank.

38

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

9

## ► Kloak ledning

- 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 kloak ledning

- Afhænger af flow i kloak ledning
- Antagelser

## ► Sammenkobling af kloakledninger

- Summering af flow og koncentrat
- Antagelser

## ► Tank.

38

# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

## ► Kloak ledning

- 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 kloak ledning

- Afhænger af flow i kloak ledning
- Antagelser

## ► Sammenkobling af kloakledninger

- Summering af flow og koncentrat
- Antagelser

## ► Tank.

- Ændring i højde og koncentrat
- Antagelser



# Struktur af simulering

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

**Struktur**

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Intialisering

10

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

**Struktur**

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Initialisering

### ► Opsætning af komponenter

10



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

**Struktur**

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Initialisering

► Opsætning af komponenter

► System i steady state

10

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Intialisering

► Opsætning af komponenter

► System i steady state

## ► Simulering

10

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

10

## ► Intialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

## ► Simulering

- Iterativ beregning af komponenterne

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

**Struktur**

Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## ► Intialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

## ► Simulering

- Iterativ beregning af komponenterne

## ► Gennemgang af resultat

10

38

# Playback funktion

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

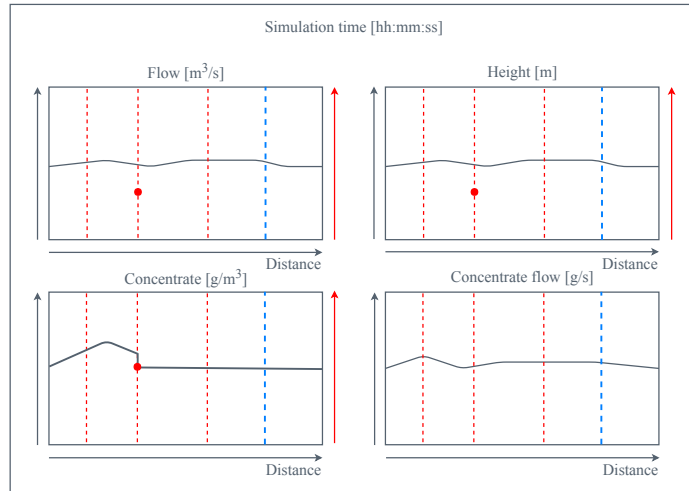
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

11



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

**Preissmann**

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

12

► Kinematisk bølge aproksimering

►  $S_b = S_f$

► Fyldningsgrad kurve for rør

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

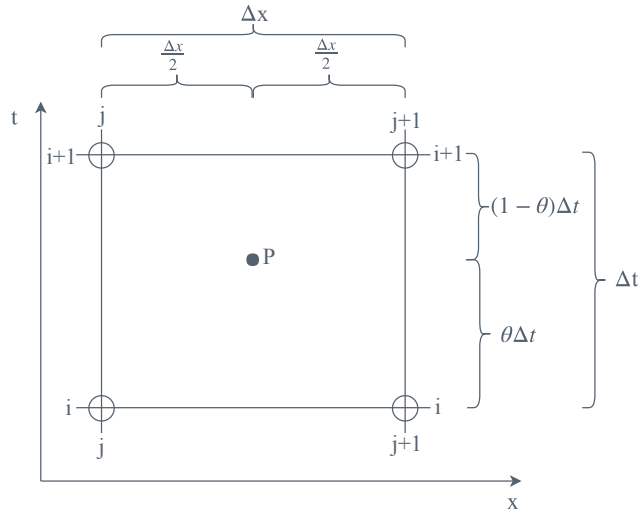
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

13



38

# Preissmann iteration

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

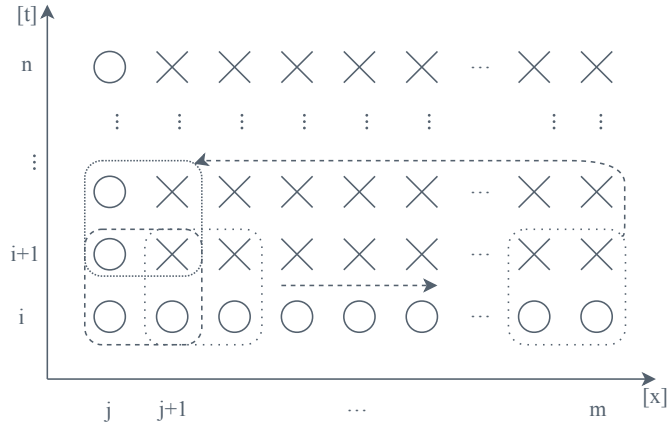
Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion





## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

**Preissmann**  
Implementering

Kontrol

Linearisering

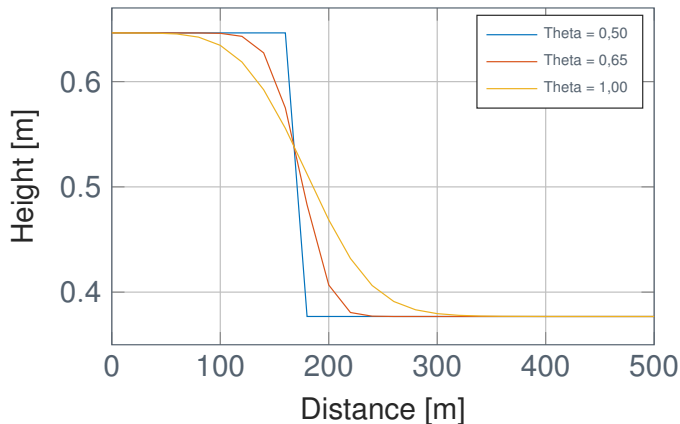
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

15

► Ubetinget  
stabilitet



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

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

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

**Preissmann**  
Implementering

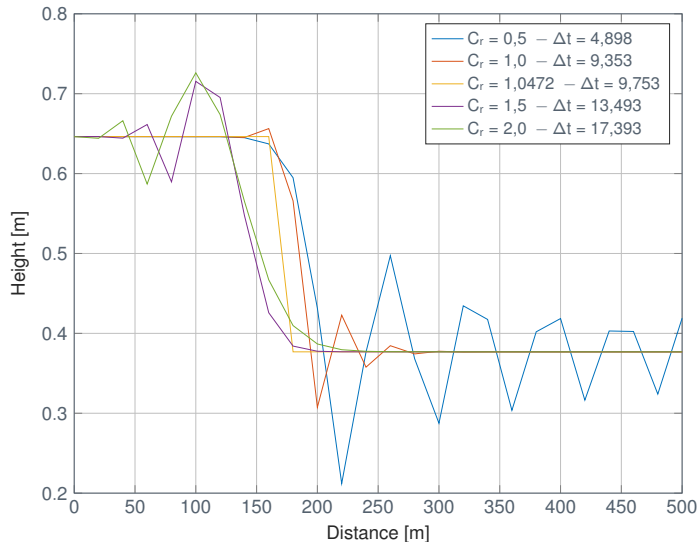
Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

17



38

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

**Preissmann**  
Implementering

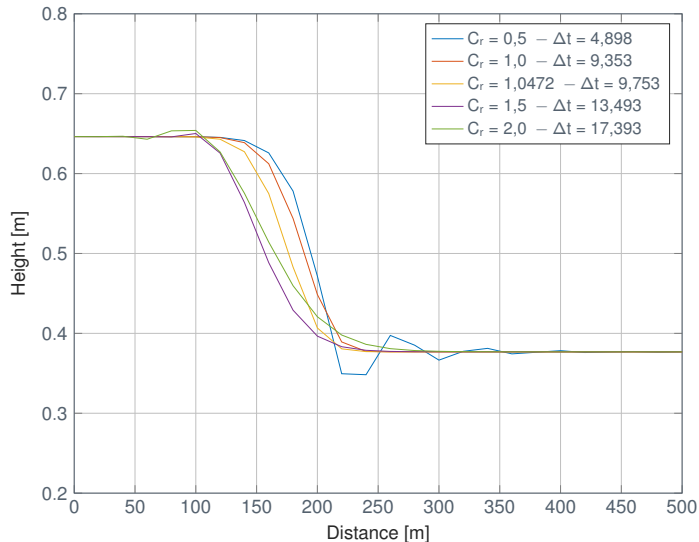
Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

18



38



# Indhold

Jacob Naundrup Pedersen

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

19

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Implementering
- Kontrol
- Resultater
- Diskussion/Konklusion

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

20

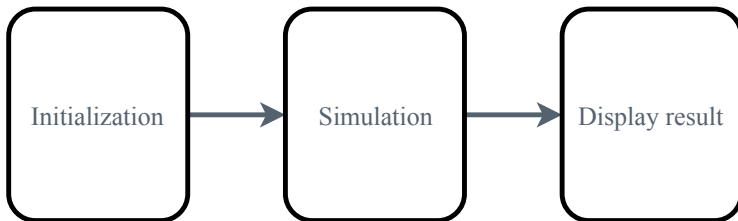
Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

21

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

## 1. Pipe

- ▶ 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>]
- ▶ Maximum outflow [m<sup>3</sup>/s]
- ▶ Placering i data

### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

22

Kontrol




Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- 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

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

23

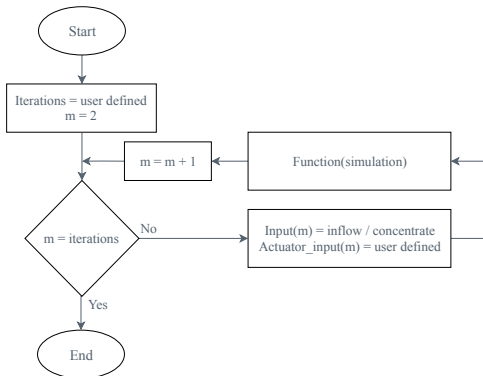
#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- Iterere igennem rør og tank for hvert tidsskridt



# Implementering Display

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

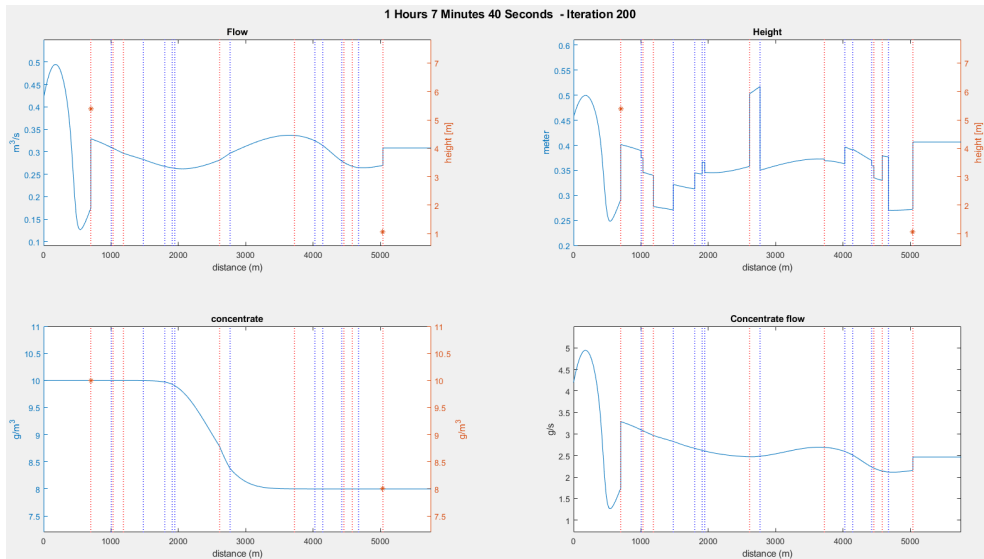
Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

24

38



### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Linear model til MPC

► Linearisering af kontinuitets ligningen

► Højde states

► Priessmann 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

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Opsat på matrix og vektor form
- Opstilles på state space form

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

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

# Kontrol

Opsætning på state space

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

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

27

38

### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- 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

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Samligning af ulineær og linear model
- System setup
- Sinus input

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

29

38

### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

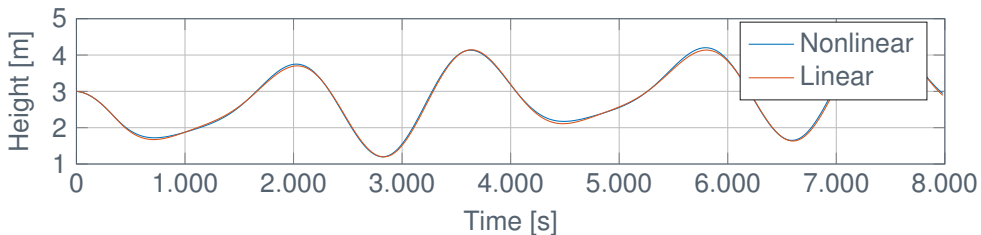
Resultat

Diskussion/Konklusion

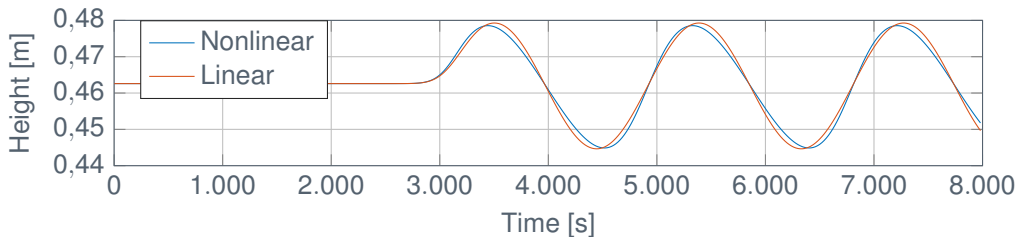
30

38

### Tank højde



### Output af sidste rør





### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Cost function
  - ▶ Afgrænset til at minimiere flow variationer
- ▶ Constraints
  - ▶ Højde
  - ▶ Kontrol input
- ▶ Prediction model

31

38

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering




### Kontrol

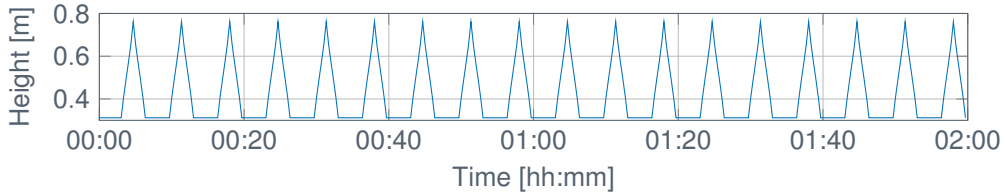
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- Begrænsning af Prediction horizon
- System setup
- Forstyrrelses input

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



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

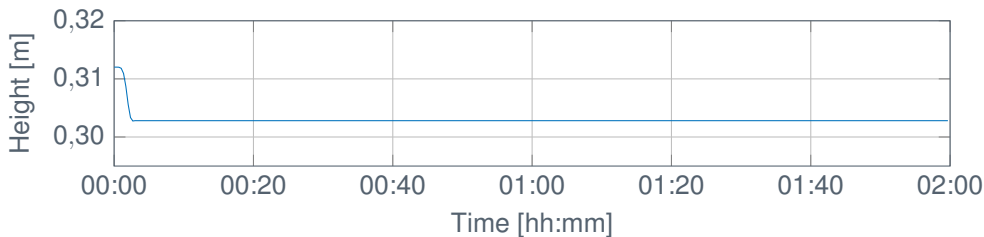
Resultat

Diskussion/Konklusion

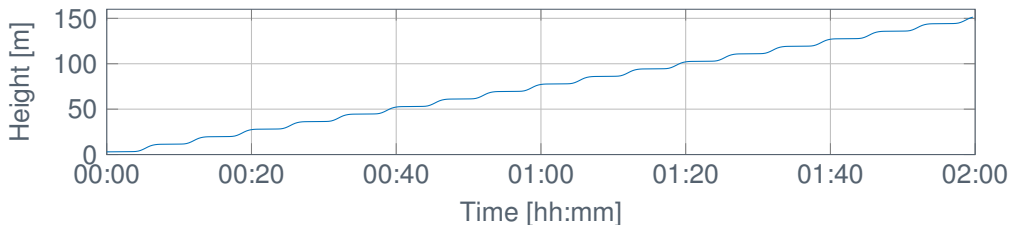
33

38

### Output højde af tank



### Tank højde



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Kontrol

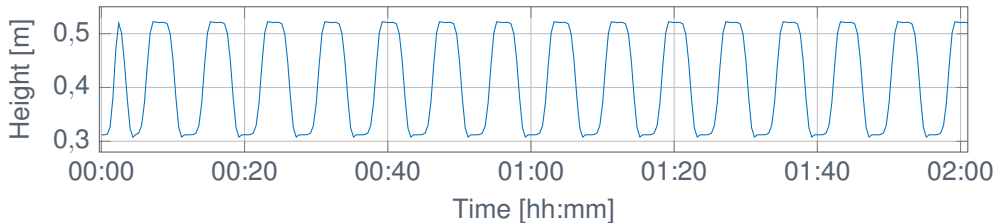
Linearisering  
MPC

Resultat

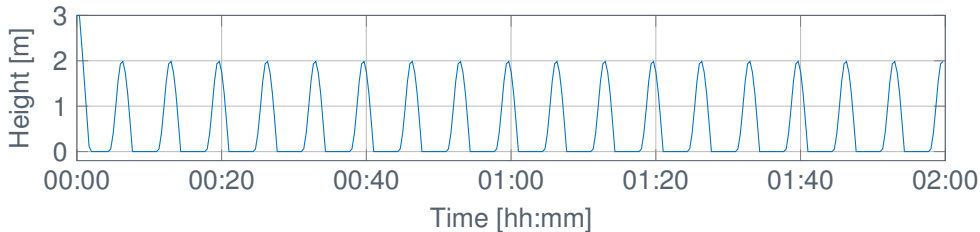
Diskussion/Konklusion

34

### Output højde af tank



### Tank højde



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### 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

35

38

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

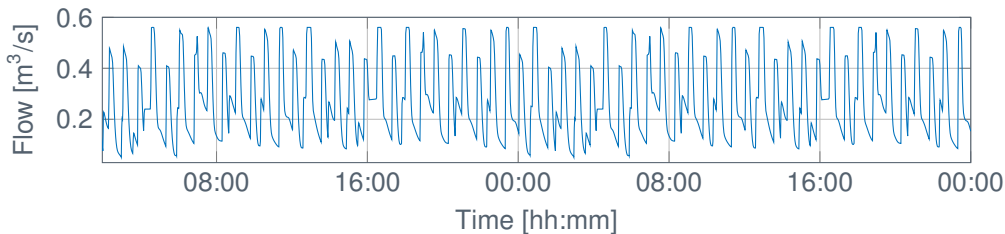
Linearisering

MPC

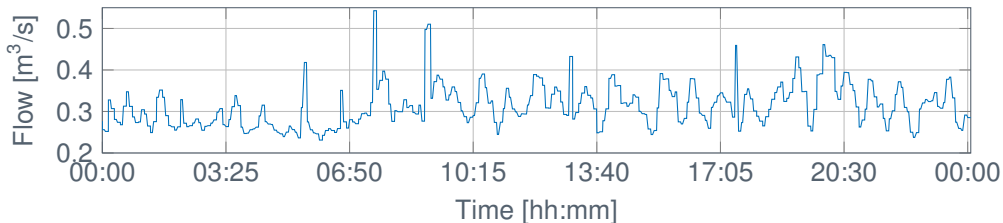
**Resultat**

Diskussion/Konklusion

### Output flow



### Data fra Fredericia



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Kontrol

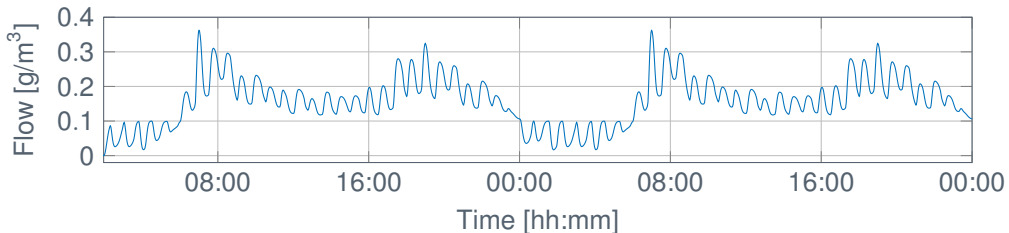
Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

37

### Output koncentration



38



# Diskussion/Konklusion

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

38

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

38