

# 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 generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

## Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og begrænsninger

## Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

# Typisk opbygning af kloak ledning

## Agenda

Group 1030

2

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

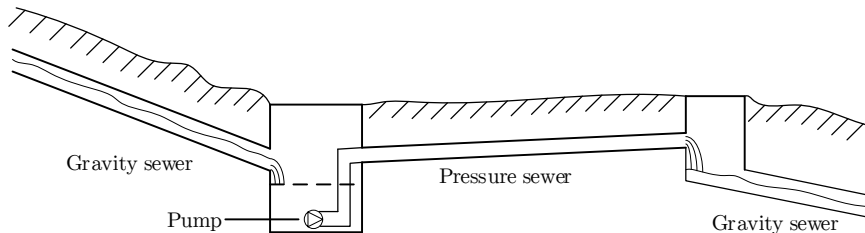
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Aerob  $\rightarrow O_2 \rightarrow H_2O$

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3



## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Aerob  $\rightarrow O_2 \rightarrow H_2O$
- ▶ Anaerob  $\rightarrow SO_4^{-2} \rightarrow H_2S$
- ▶ Anoxisk  $\rightarrow NO_3^- \rightarrow N_2$



# Udfordringer ved spildevands rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

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

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

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





# Udfordringer ved spildevands rensning

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

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 generelt

Problem formulering

5

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

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 generelt
- Problem formulering

#### System beskrivelse

- Løsninger og begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

- Struktur
- Preissmann
- Implementering
- Initialisering
- Simulering
- Display

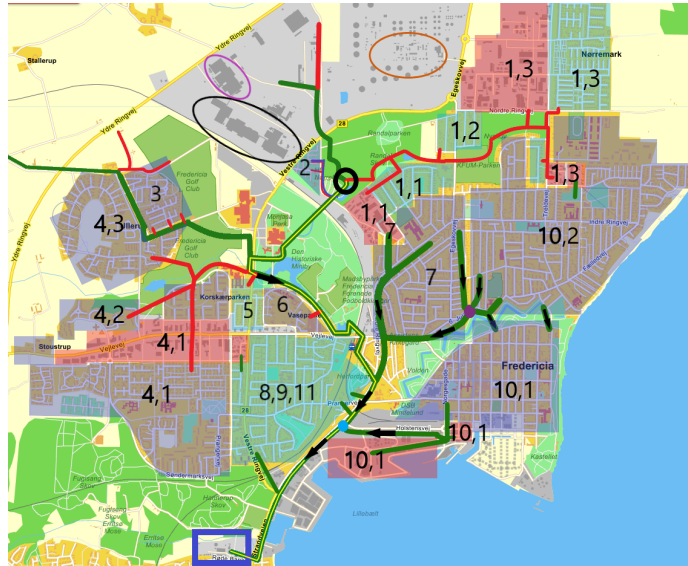
#### Kontrol

- Linearisering
- MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

6



# Udgangspunkt i et virkeligt setup

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

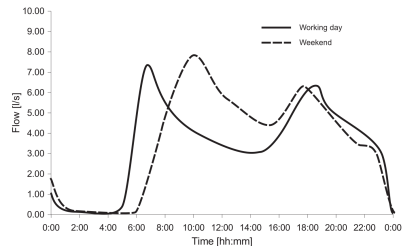
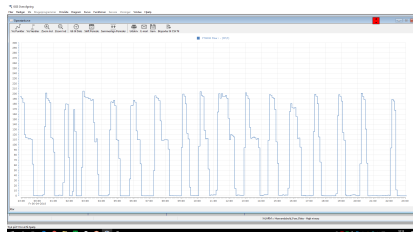
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

7

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



## Agenda

### Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

8

► Indsættelse af tank.

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

8

- ▶ Indsættelse af tank.
- ▶ Afgrænse simulering til enkelt kemisk component.

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### 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 generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

9

- ▶ Kloak ledning.
- ▶ Transport af koncentrat i kloak ledning.
- ▶ Sammenkobling af kloakledninger.
- ▶ Tank.

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

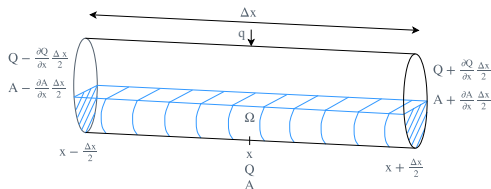
Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

10

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



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

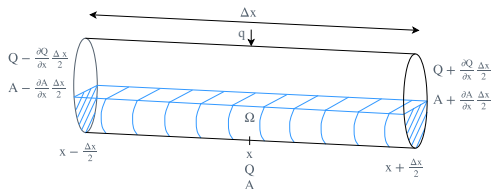
#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

10

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

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



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

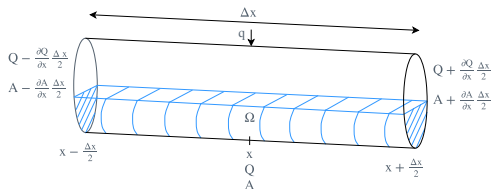
#### Diskussion/Konklusion

10

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

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

- Approksimationer af momentum ligningen.



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

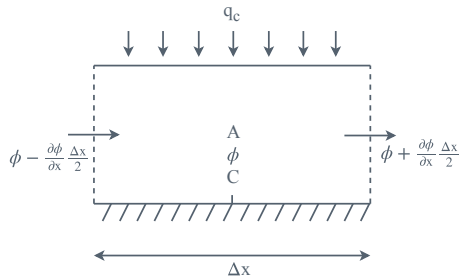
Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

11

$$\triangleright A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + Q \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

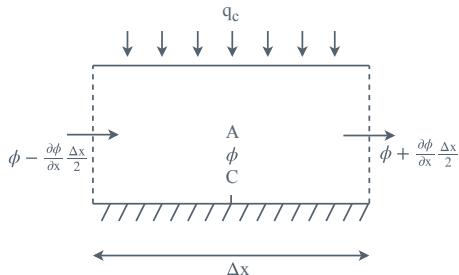
#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

11

$$\triangleright A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + Q \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

$\triangleright$  Afhænger af kendt  $A$  og  $Q$ .



# Sammenkobling af kloak ledninger

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

12

$$\blacktriangleright Q_3 = Q_1 + Q_2$$

### Simulering

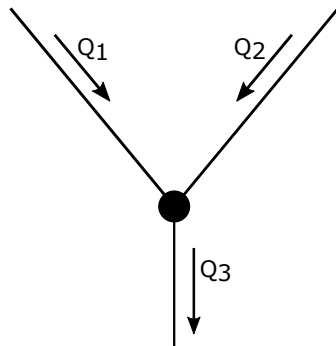
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



# Sammenkobling af kloak ledninger

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

12

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

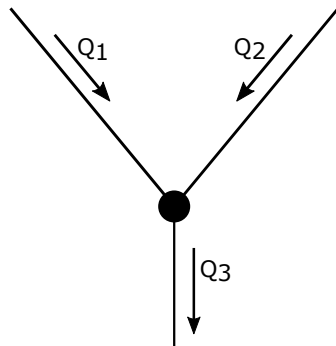
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

$$\blacktriangleright Q_3 = Q_1 + Q_2$$

$$\blacktriangleright C_3 = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_1 + Q_2}$$



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

13

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

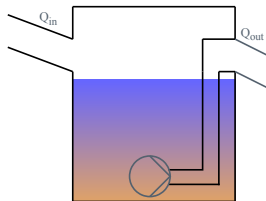
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

$$\blacktriangleright \frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in}(t) - u(t) \cdot \bar{Q})$$





## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

13

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

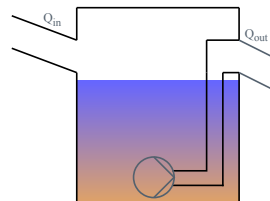
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

$$\blacktriangleright \frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} \left( Q_{in}(t) - u(t) \cdot \bar{Q} \right)$$

$$\blacktriangleright \frac{dC_{tank}(t)}{dt} = \frac{1}{A} \left( C_{in}(t) \cdot \frac{Q_{in}(t)}{h(t)} - C_{tank}(t) \cdot \frac{Q_{out}(t)}{h(t)} \right)$$





# Tre dele

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

#### Struktur

Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- **Intialisering**
- Opsætning af komponenter.

14

52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

#### Struktur

Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- **Intialisering**
- Opsætning af komponenter.
- System i steady state.

14

52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- **Intialisering**
- Opsætning af komponenter.
- System i steady state.
- **Simulering**

14

52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

**Struktur**  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**
- ▶ Iterativ beregning af komponenterne

14

52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

**Struktur**  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**
- ▶ Iterativ beregning af komponenterne
- ▶ **Gennemgang af resultat**

14

52

# Playback funktion

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

#### Struktur

Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

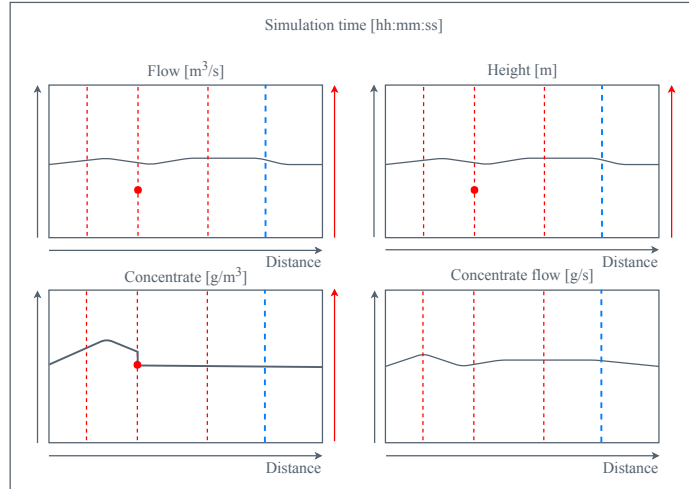
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

15





# Preissmann basic

## Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Kinematisk bølge aproksimering.
- Fyldningsgrad kurve for rør.



# Preissmann basic

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

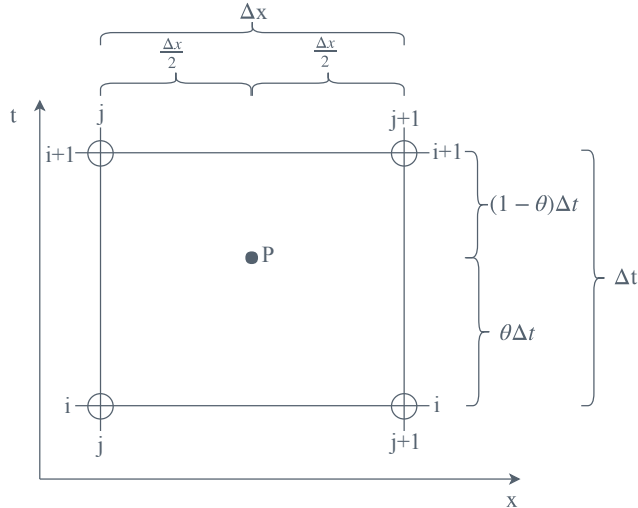
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

17



# Preissmann iteration

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering

Initialisering

Simulering

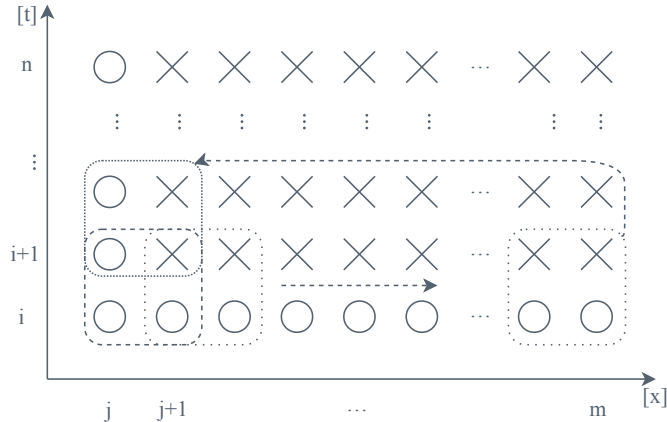
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

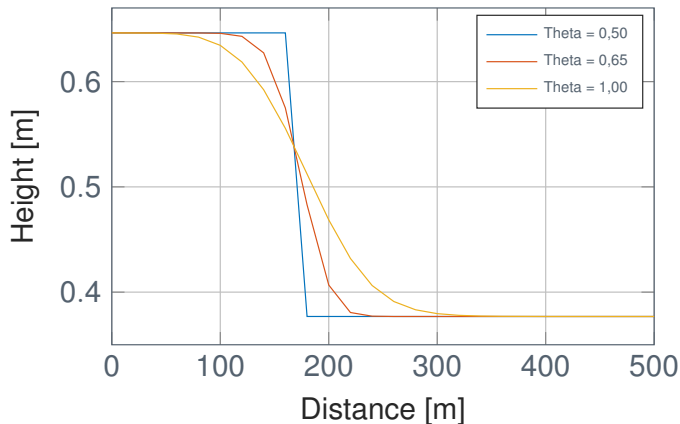
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

19

## ► Ubetinget stabilitet





# Courant's tal

## Agenda

### Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

► Indikation af præcision

20

52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### 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 generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

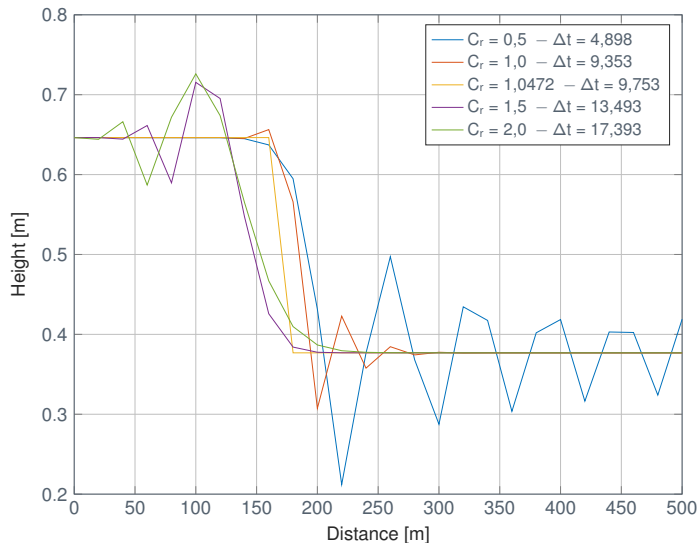
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

21



52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
**Preissmann**  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

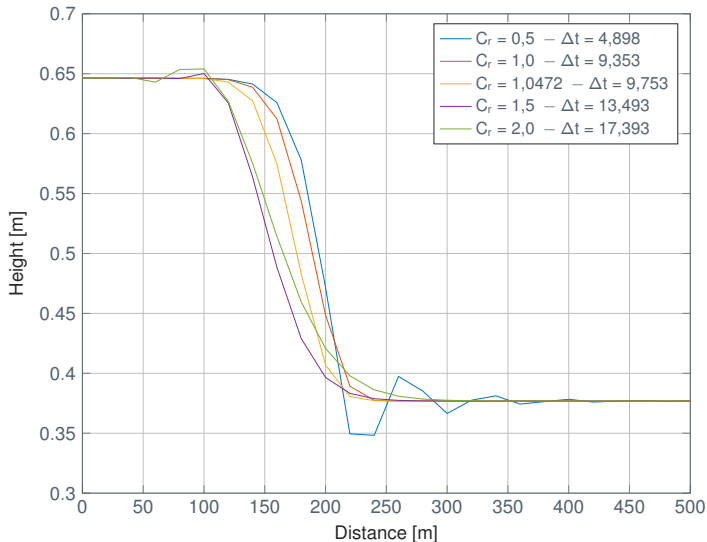
### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

22



52



# Overview

Jacob Naundrup Pedersen

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
**Implementering**

Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- Implementation
- Kontrol
- Resultater
- Diskussion
- Konklusion

23



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
**Implementering**

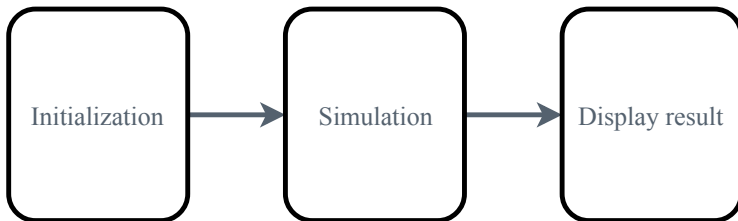
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



24

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
**Initialisering**  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

## 1. Pipe

- ▶ Length [m]
- ▶ Sections (Number of sections the pipe should be split in to)
- ▶  $S_b$  (Slope) [%]
- ▶  $\Delta x = \text{Length}/\text{Sections}$  [m]
- ▶ Diameter [meter]
- ▶ Theta (parameter used in Preissmann scheme)
- ▶  $Q_f$  [m<sup>3</sup>/s]
- ▶ Side/lateral inflow present
- ▶ Section location in data

## 2. Tank

- ▶ Size [m<sup>3</sup>]
- ▶ Height [m]
- ▶ Area = Size / Height [m<sup>2</sup>]
- ▶ Maximum outflow [m<sup>3</sup>/s]
- ▶ Section location in data

25

52

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Initialisering

Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

### ► Rør specifikationer

Fields	length	sections	Dx	Sb	d	Theta	Qf	side_inflow	data_location
1	700	35	20	0.0030	0.9000	0.6500	0.9730	0	1
2	303	15	20.2000	0.0030	0.9000	0.6500	0.9730	0	3
3	27	2	13.5000	0.0030	1	0.6500	1.2843	1	4
4	155	8	19.3750	0.0041	1	0.6500	1.5014	0	5
5	295	14	21.0714	0.0122	0.8000	0.6500	1.4386	0	6
6	318	15	21.2000	0.0053	0.9000	0.6500	1.2932	1	7
7	110	5	22	0.0036	0.9000	0.6500	1.0658	1	8
8	38	2	19	0.0024	1	0.6500	1.1487	1	9
9	665	30	22.1667	0.0030	1	0.6500	1.2843	1	10
10	155	7	22.1429	8.0000e-04	1	0.6500	0.6632	0	11
11	955	47	20.3191	0.0029	1.2000	0.6500	2.0415	1	12
12	304	15	20.2667	0.0030	1.2000	0.6500	2.0764	0	13
13	116	5	23.2000	0.0021	1.2000	0.6500	1.7373	1	14
14	283	12	23.5833	0.0017	1.4000	0.6500	2.3463	1	15
15	31	2	15.5000	0.0019	1.4000	0.6500	2.4805	1	16
16	125	6	20.8333	0.0021	1.6000	0.6500	3.7075	0	17
17	94	4	23.5000	0.0013	1.5000	0.6500	2.4609	0	18
18	360	18	20	0.0046	1.6000	0.6500	5.4872	1	19
19	736	38	19.3684	0.0012	1.6000	0.6500	2.8026	0	20

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Initialisering

Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

### ► Tank specifikationer

Field ▲	Value
size	90
height	10
area	9
Q_out_max	0.9730
data_location	2

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Initialisering

Simulering  
Display




#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

## ► System specifikationer

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	35
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	18	245
4	'Total'	20	281

28

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

#### Initialisering

Simulering  
Display

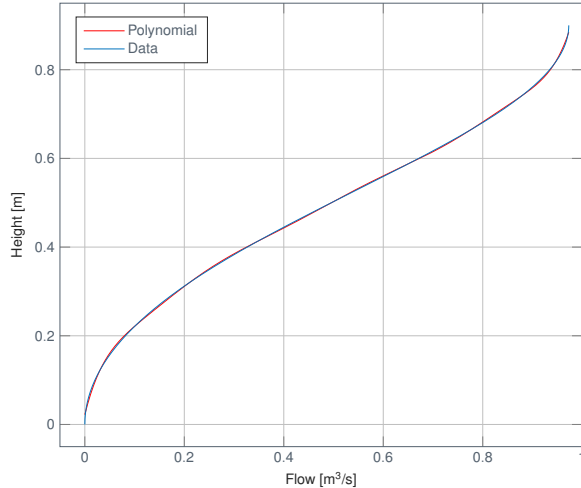
#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

29



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
**Initialisering**  
Simulering  
Display

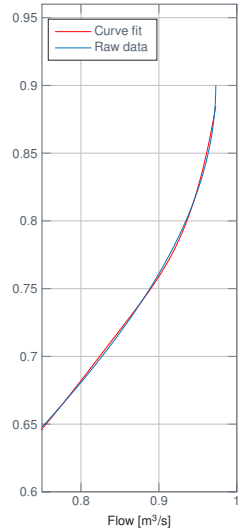
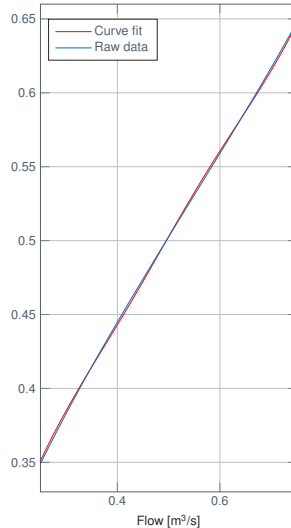
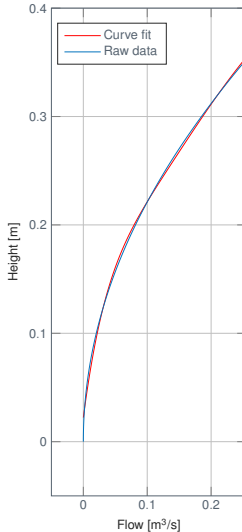
#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

30



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
**Initialisering**  
Simulering  
Display

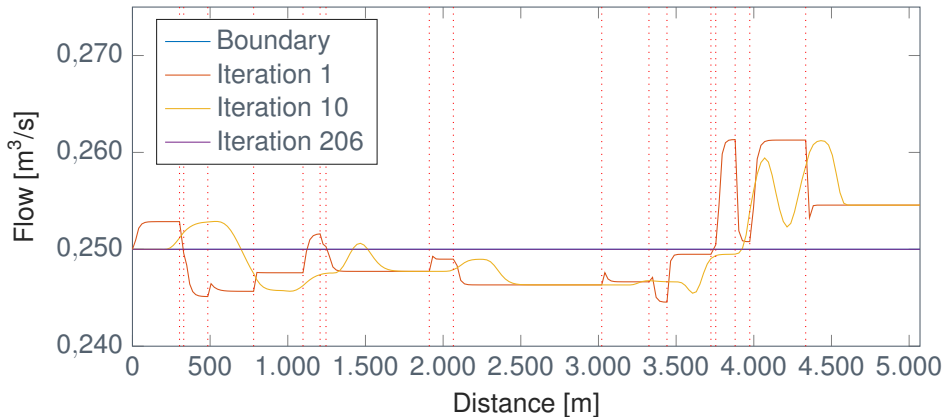
#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

31





### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
**Initialisering**  
Simulering  
Display

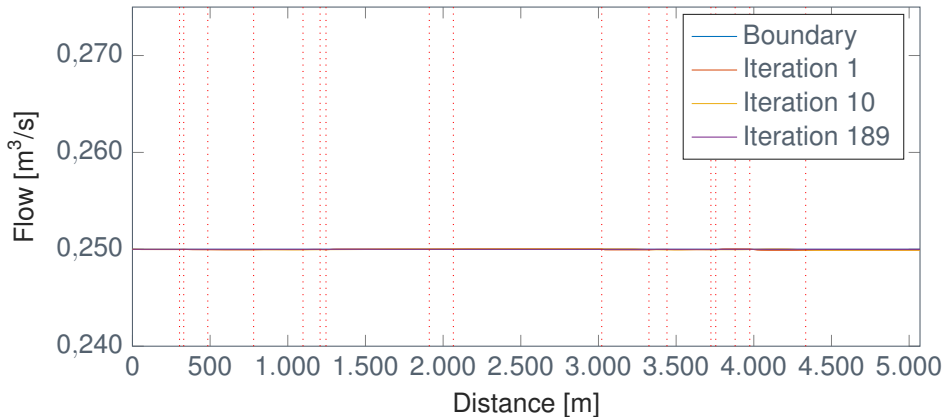
#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

32



### Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

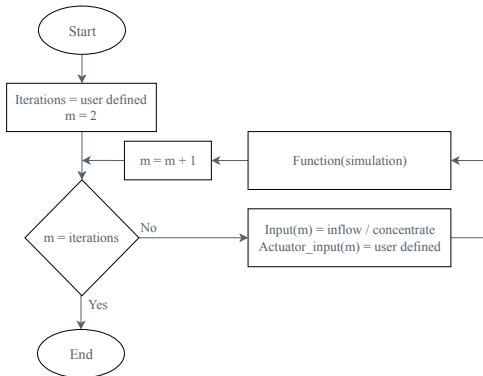
Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

33

- Itererer igennem rør og tank for hvert tidsskridt



# Implementering Display

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Initialisering  
Simulering

### Display

### Kontrol

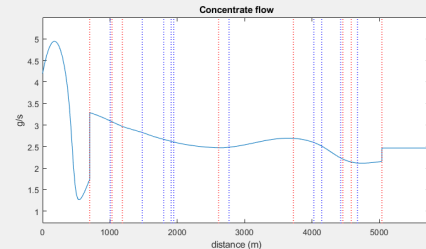
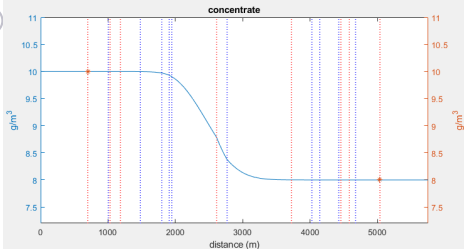
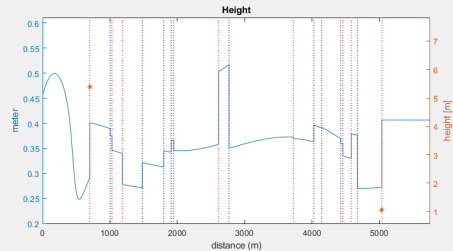
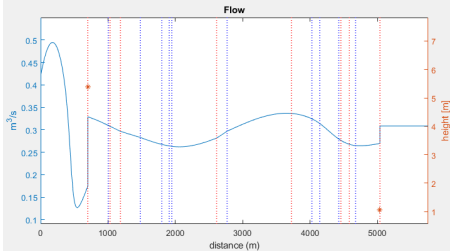
Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

34

1 Hours 7 Minutes 40 Seconds - Iteration 200



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

35

- ▶ Linearisering af ulinear model
- ▶ Opstilles på state space form

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Priessmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- Priessmann scheme
- Opsat på matrix og vektor form

$$\begin{aligned} & \left[ \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_a \quad \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_b \right] \begin{bmatrix} h_j^{i+1} \\ h_{j+1}^{i+1} \end{bmatrix} = \\ & - \left[ \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_c \quad \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_d \right] \begin{bmatrix} h_j^i \\ h_{j+1}^i \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

### Agenda

Group 1030

Introduktion  
Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

Kontrol

Linearisering  
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

37

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & b_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_1 & b_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{m-1} & b_m \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ h_1^{i+1} \\ h_2^{i+1} \\ \vdots \\ h_m^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_0 & d_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_1 & d_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_{m-1} & d_m \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^i \\ h_1^i \\ h_2^i \\ \vdots \\ h_m^i \end{bmatrix}}_{x(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ -a_0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_B h_0^{i+1} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dh}{dQ} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_d} d_0^{i+1} \quad (4)$$

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering

Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- e - Inflow
- f - Reducering af højden i tank
- g - Højden i det efterfølge rør

$$\underbrace{\begin{bmatrix} b_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a_{2,1} & b_{2,2} \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^{i+1} \\ h_{tank}^{i+1} \\ h_{2,0}^{i+1} \\ h_{2,1}^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} \\
 = \underbrace{\begin{bmatrix} d_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ e & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{2,0} & d_{2,1} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^i \\ h_{tank}^i \\ h_{2,0}^i \\ h_{2,1}^i \end{bmatrix}}_{x(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -f \\ 0 & g \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_B \begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ u_{tank} \end{bmatrix} \quad (5)$$

38

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

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

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

39



### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

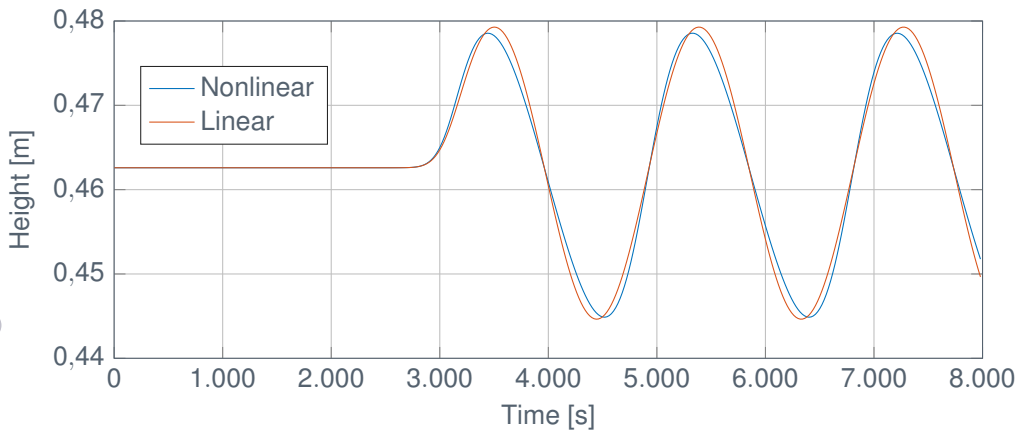
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion



40

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- ▶ Cost function
  - ▶ Begrænset til minimiere af output
- ▶ Constraints
  - ▶ Højde
  - ▶ Kontrol input
- ▶ Linear model

41

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display




### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion

- ▶ Bestemmelse af Prediction horizon
  - ▶ Flow profiler
  - ▶ Industri
- ▶ Begrænsning af Prediction horizon
- ▶ System setup
- ▶ Forstyrrelse 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 generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

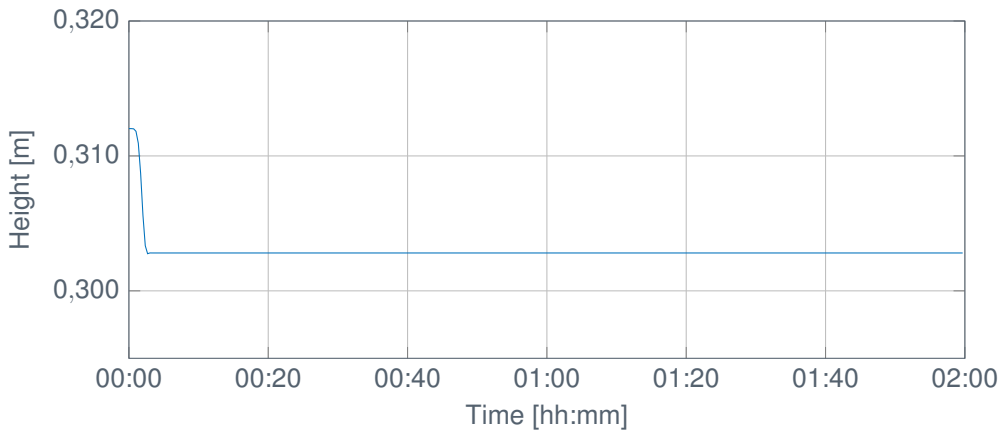
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



43

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

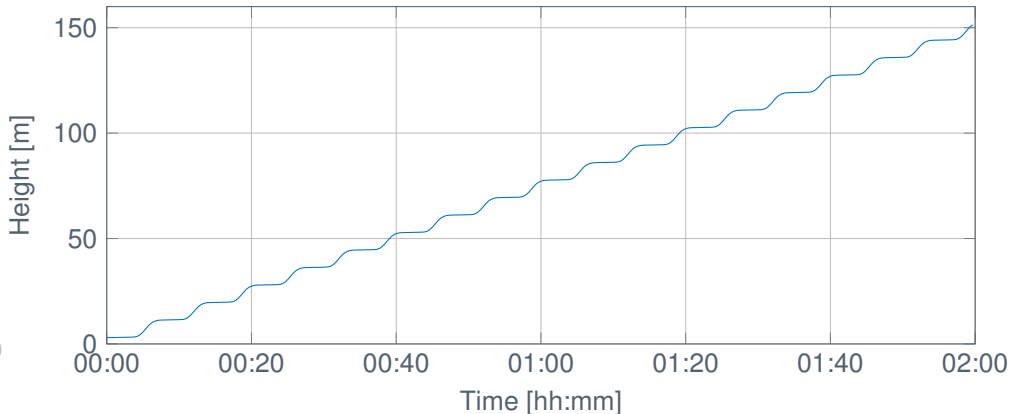
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



44

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

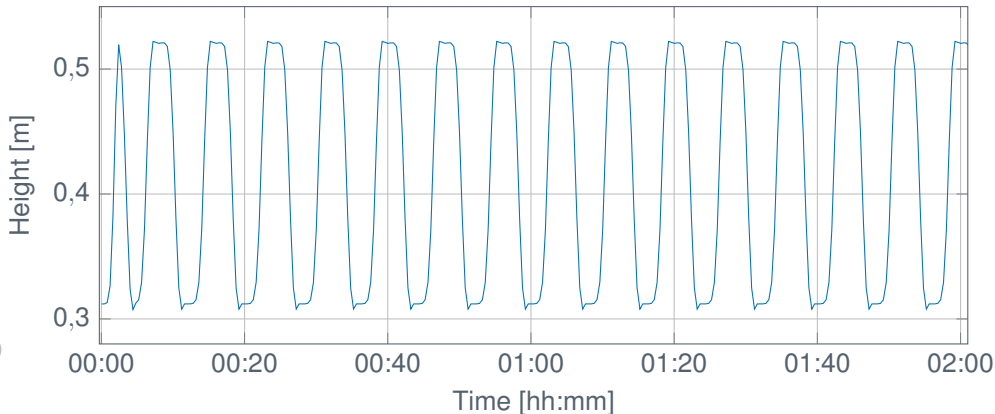
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



45

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- System setup
- Flow profiler

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

46

# Resultat

## Første test

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

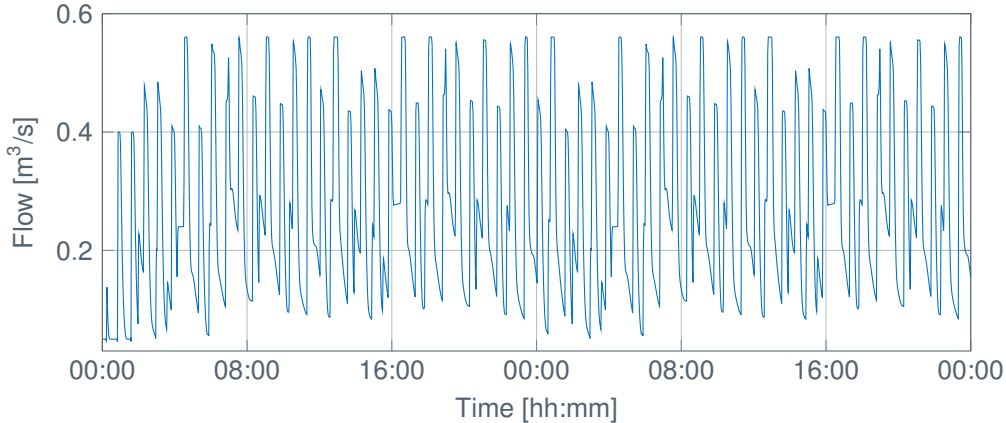
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion



47

52



## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

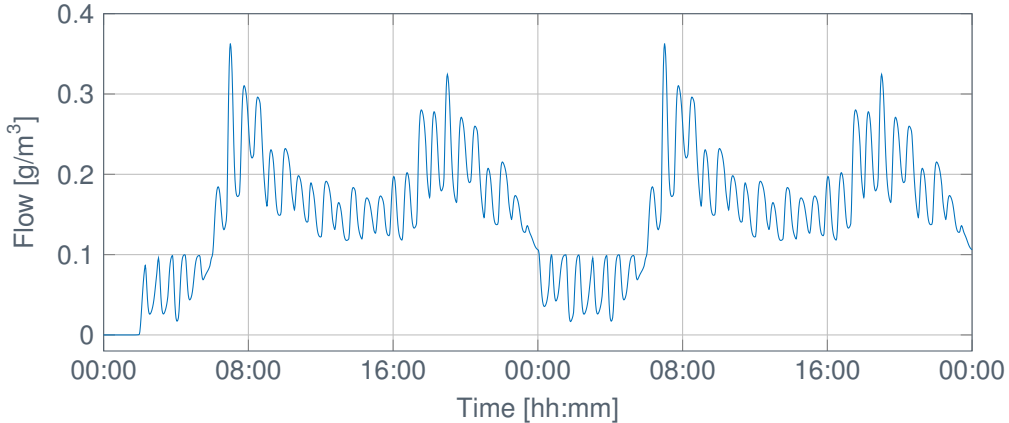
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



48



# Resultat

## Anden test

### Agenda

Group 1030

#### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

#### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

#### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

- Over dimensioneret tank
- Konstant output af tank

49

52

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

### Simulering

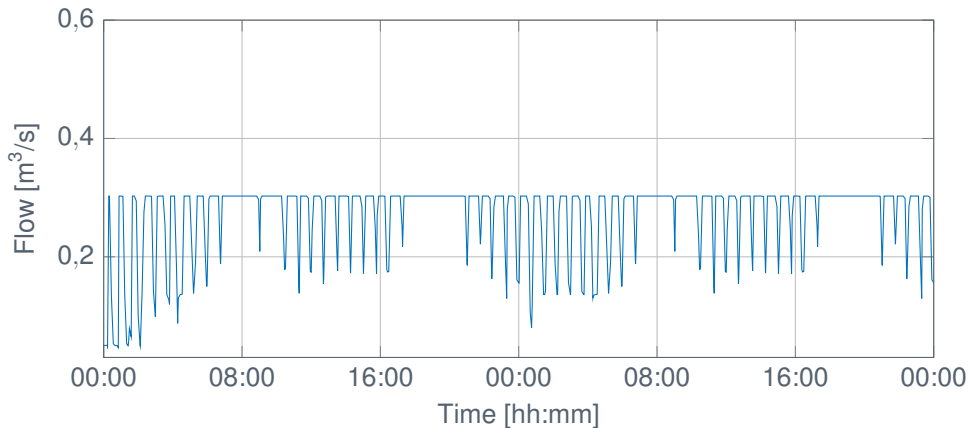
Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

### Kontrol

Linearisering  
MPC

### Resultat

### Diskussion/Konklusion



50

52



# Diskussion

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

51

- ▶ Courant's number
- ▶ Model reduction

52



# Konklusion

## Agenda

Group 1030

### Introduktion

Kloakker og  
rensningsanlæg generelt  
Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og  
begrænsninger

### Modellering

#### Simulering

Struktur  
Preissmann  
Implementering  
Initialisering  
Simulering  
Display

#### Kontrol

Linearisering  
MPC

#### Resultat

#### Diskussion/Konklusion

52

- ▶ Simulering
- ▶ MPC