

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

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg generelt
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

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

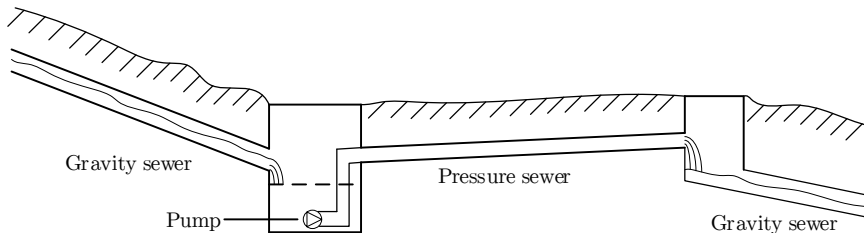
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

2



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

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

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

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

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 generelt

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



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

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 generelt

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 generelt
- Problem formulering

System beskrivelse

- Løsninger og begrænsninger

Modellering

Simulering

- Struktur
- Preissmann
- Implementering

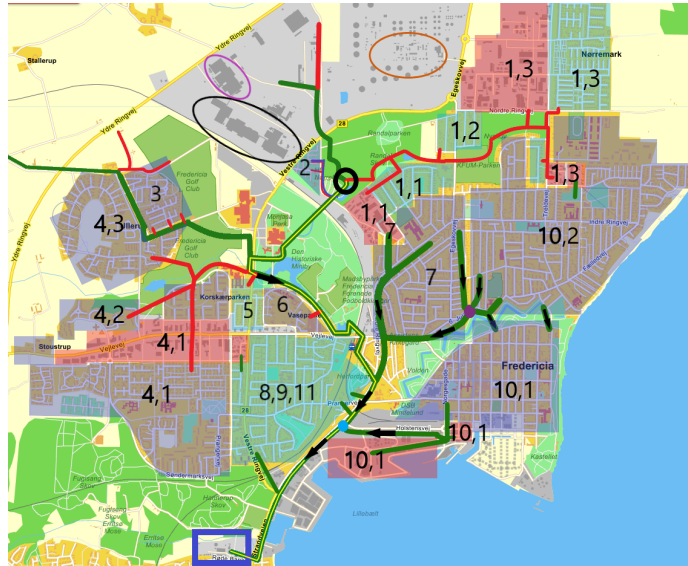
Kontrol

- Linearisering
- MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

6



Udgangspunkt i et virkeligt setup

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

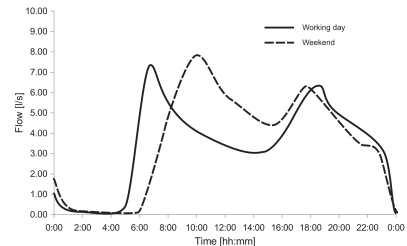
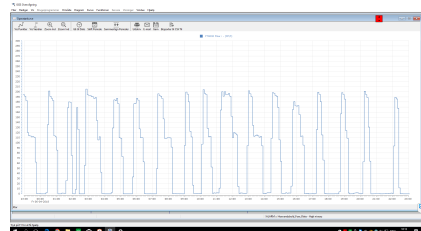
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

7

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
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 generelt
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 generelt
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 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

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

Kontrol

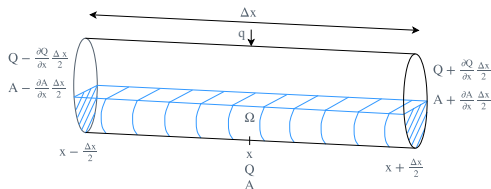
Linearisering
MPC

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

Kontrol

Linearisering
MPC

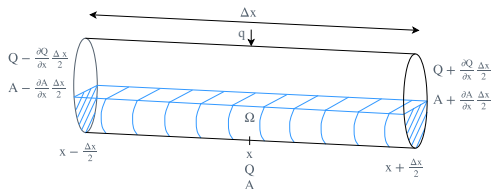
Resultat

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

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

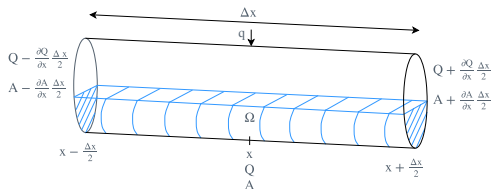
Diskussion/Konklusion

10

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

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

- \triangleright Approksimationer af momentum ligningen.



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

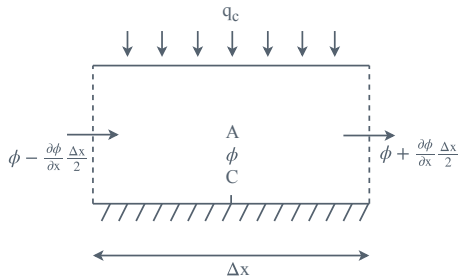
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

11

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

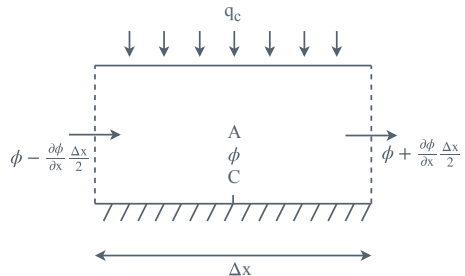
Resultat

Diskussion/Konklusion

11

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

\blacktriangleright 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

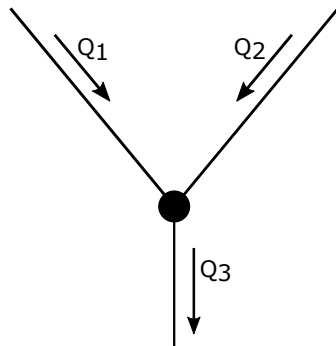
Struktur
Preissmann
Implementering

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

Kontrol

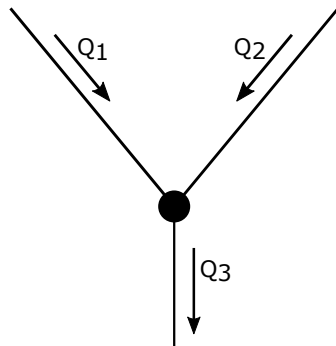
Linearisering
MPC

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

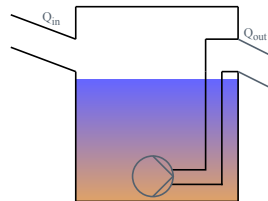
Kontrol

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

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

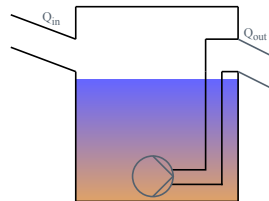
Resultat

Diskussion/Konklusion

13

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

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- **Intialisering**
- Opsætning af komponenter.

14

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
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.

14

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
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**

14

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
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

14

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
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**

14

52

Playback funktion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

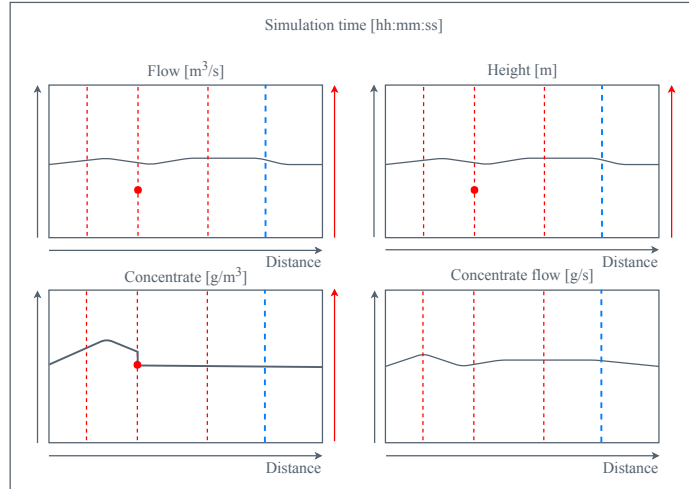
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

15



52



Preissmann basic

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Kinematisk bølge aproksimering.
- Fyldningsgrad kurve for rør.

16

52

Preissmann basic

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

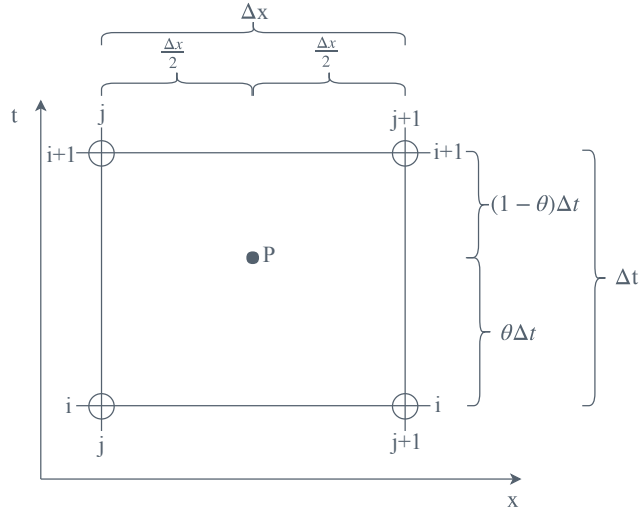
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

17



52

Preissmann iteration

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

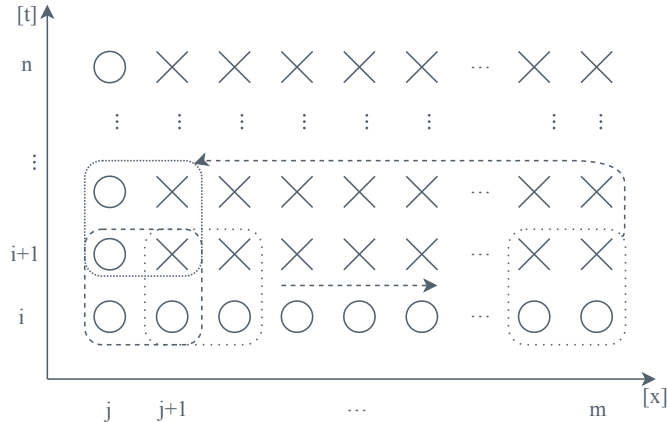
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

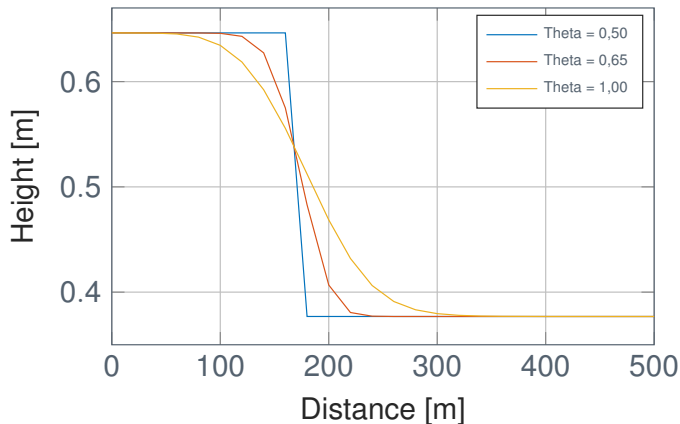
Linearisering
MPC

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

20

► Indikation af præcision

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
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 generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

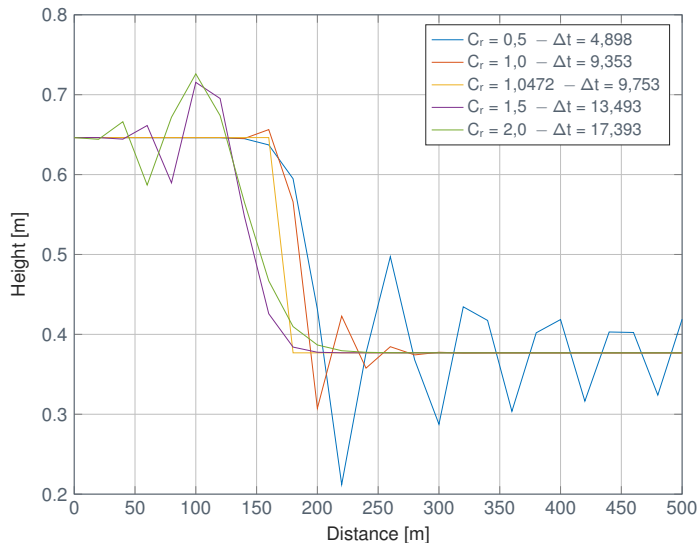
Linearisering

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

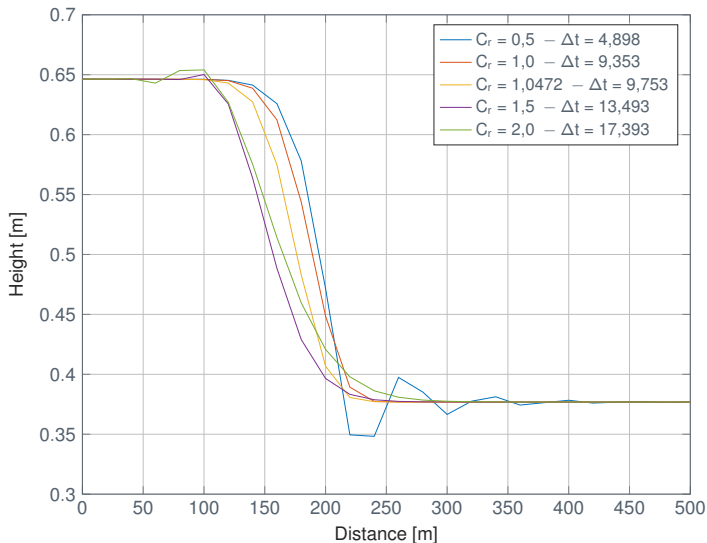
Kontrol

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

23

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Implementation
- Kontrol
- Resultater
- Diskussion
- Konklusion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

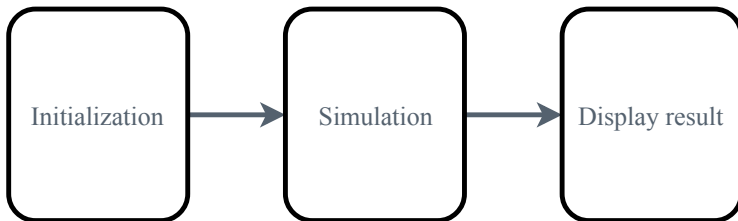
24

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

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 [m³/s]
- ▶ Side/lateral inflow present
- ▶ Section location in data

2. Tank

- ▶ Size [m³]
- ▶ Height [m]
- ▶ Area = Size / Height [m²]
- ▶ Maximum outflow [m³/s]
- ▶ Section location in data

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

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

27

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

28




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

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

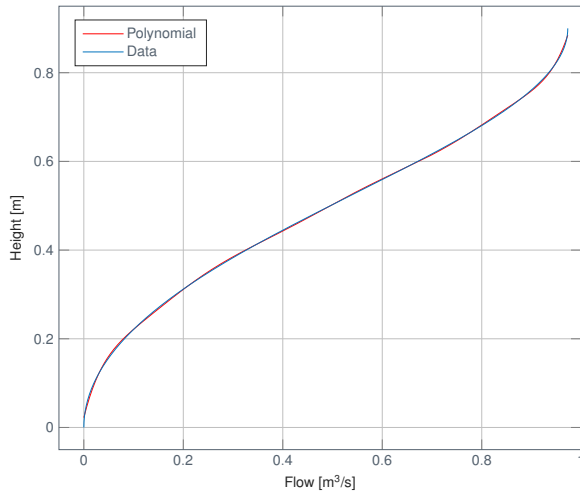
29

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

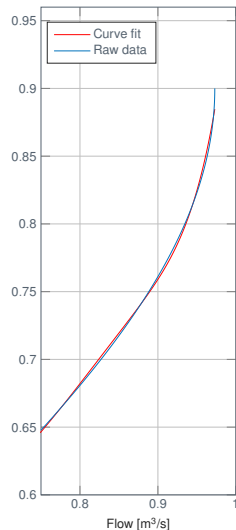
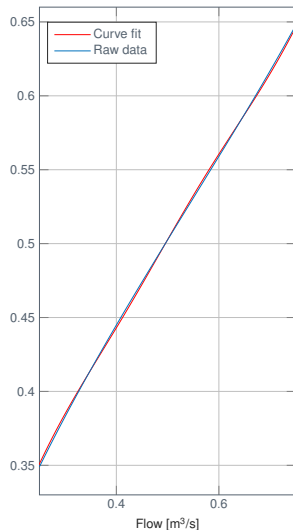
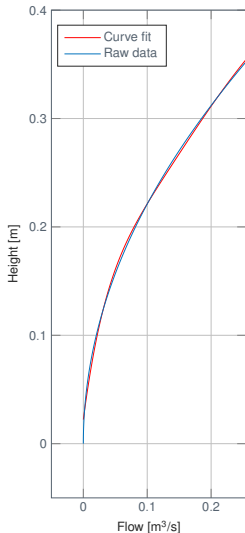
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

30



52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

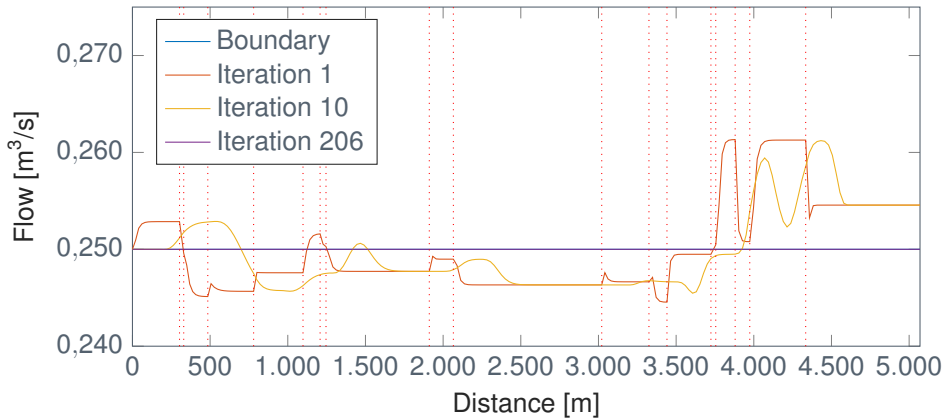
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

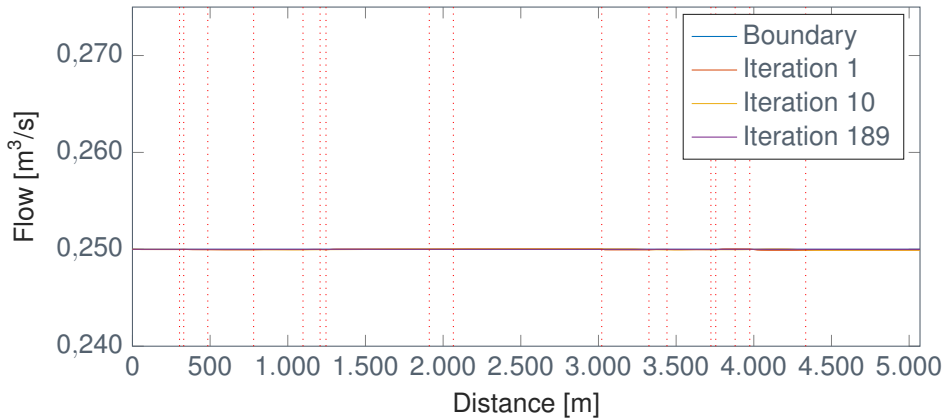
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

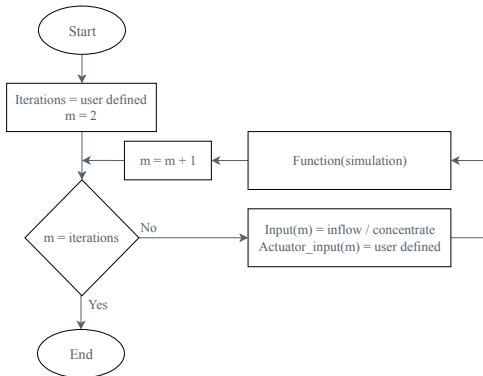
Linearisering
MPC

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

Kontrol

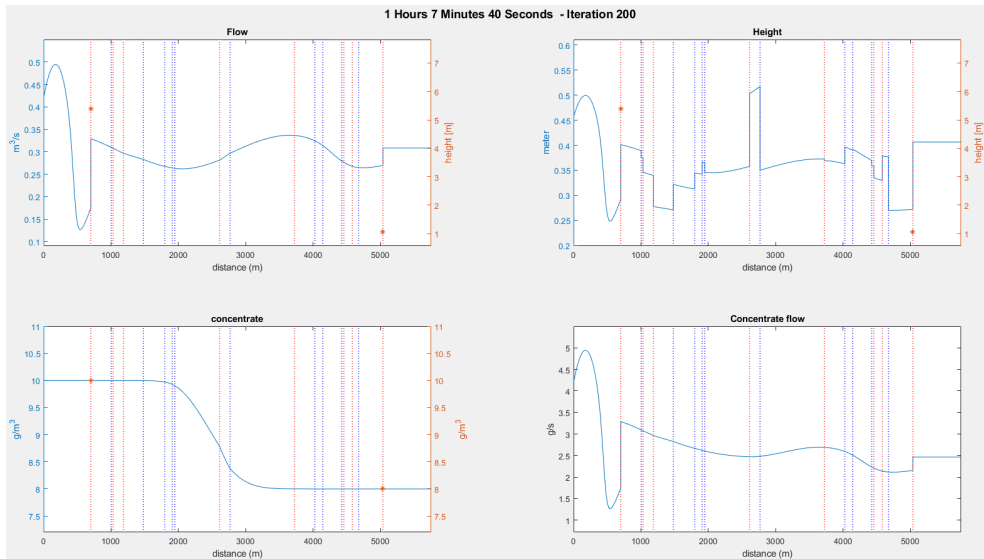
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

34

52



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ 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

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

36

- Priessmann scheme
- Opsat på matrix og vektor form

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

Agenda

Group 1030

- Introduktion
- Kloakker og rensningsanlæg generelt
- Problem formulering
- System beskrivelse
- Løsninger og begrænsninger
- Modellering
- Simulering
- Struktur
- Preissmann
- Implementering
- Kontrol
- Linearisering
- MPC
- Resultat
- Diskussion/Konklusion

37

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

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

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

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

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

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

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

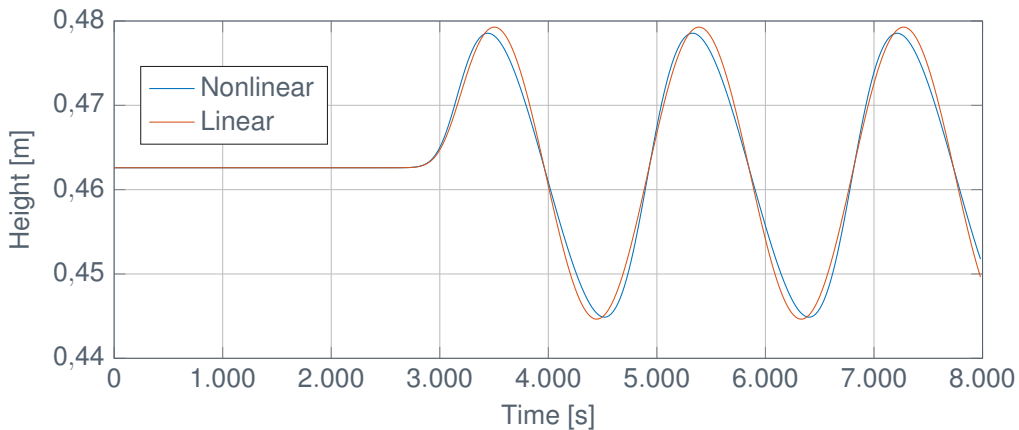
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



40

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

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

41

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering




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

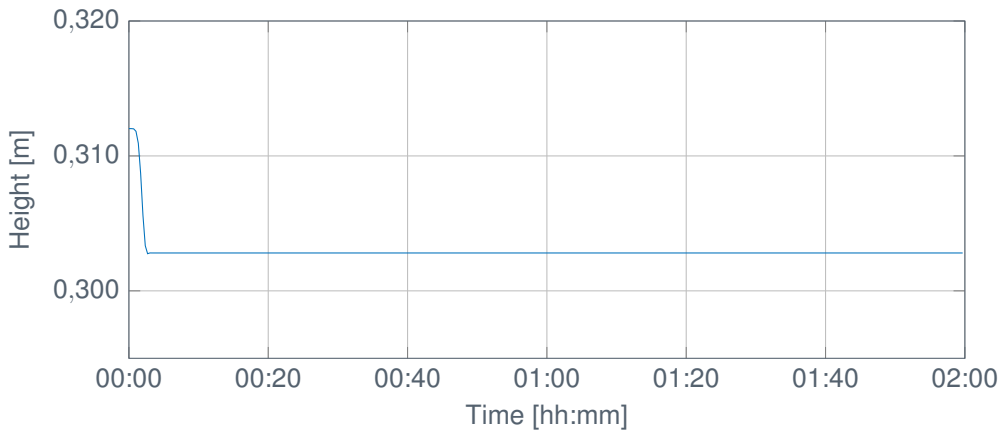
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



43

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

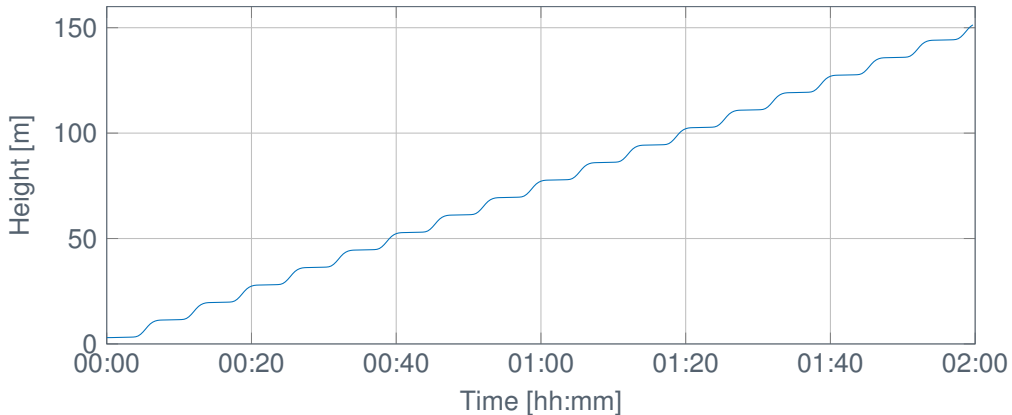
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

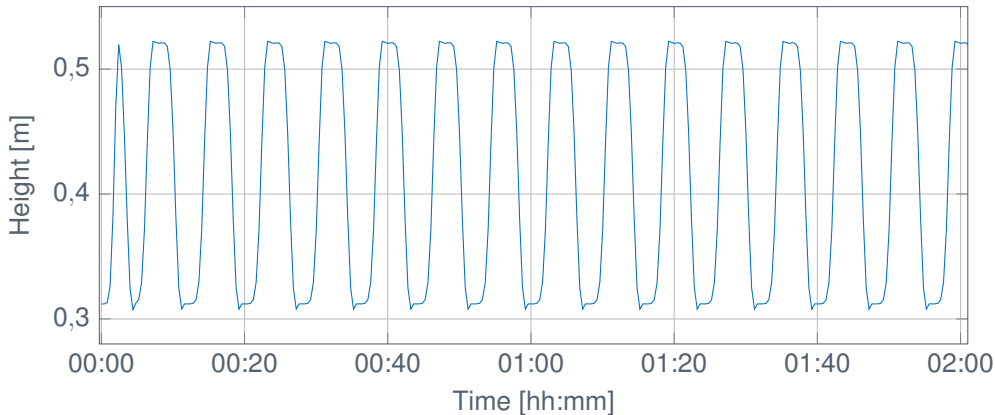
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

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

52

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

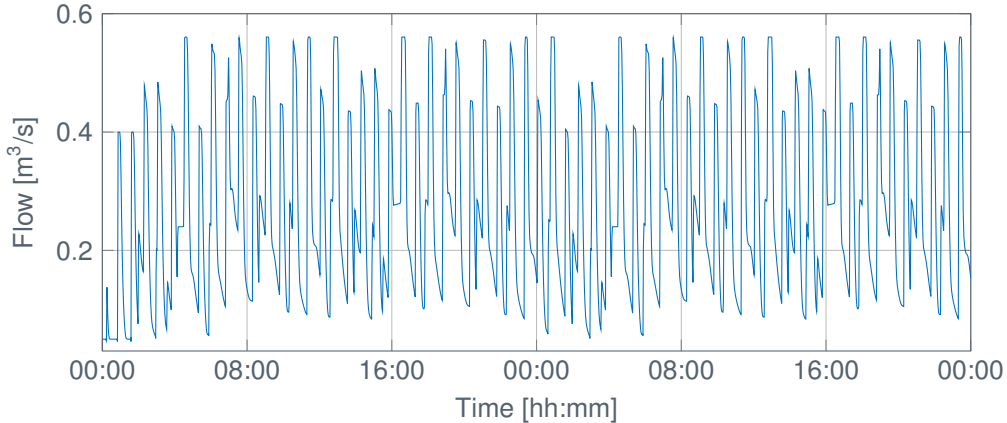
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

47



Resultat

Første test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

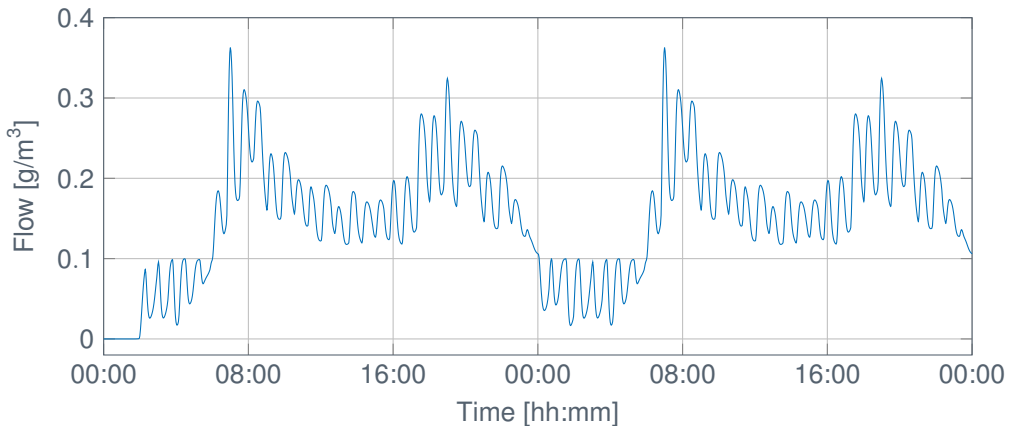
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



48

52



Resultat

Anden test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Over dimensioneret tank
- Konstant output af tank

49

52

Resultat

Anden test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

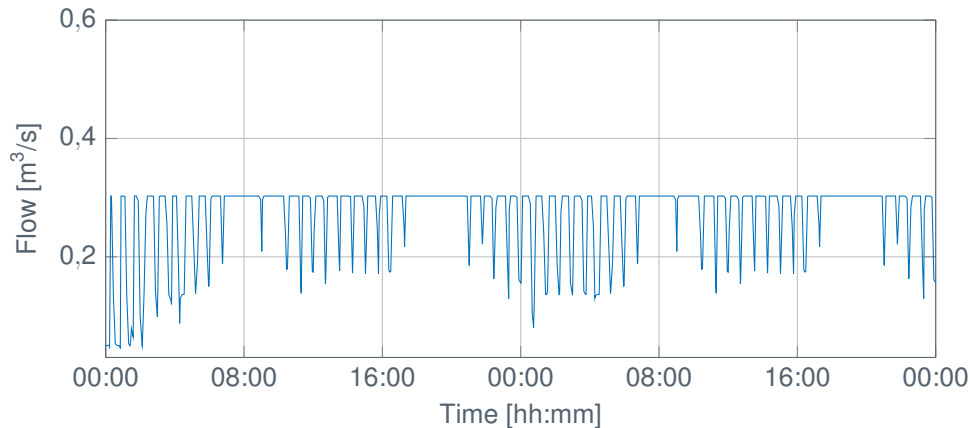
Kontrol

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

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

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

52

- ▶ Simulering
- ▶ MPC

52