

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

2

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

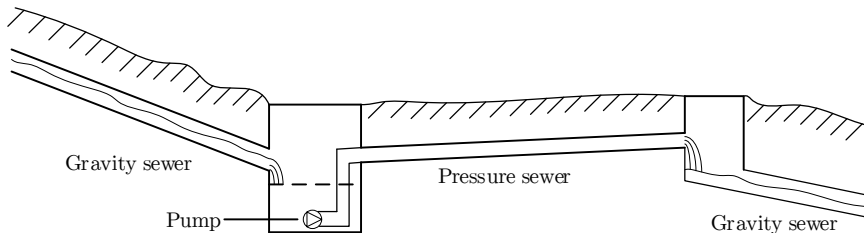
Struktur
Preissmann
Implementering

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

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





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

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

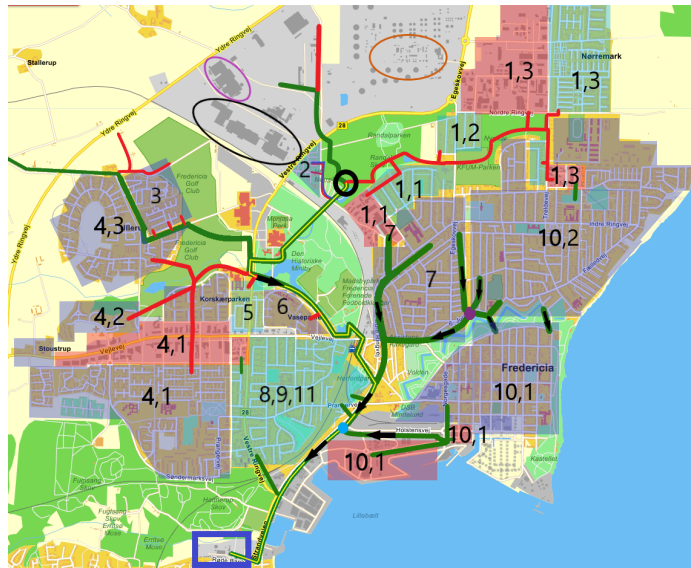
Kontrol

- 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

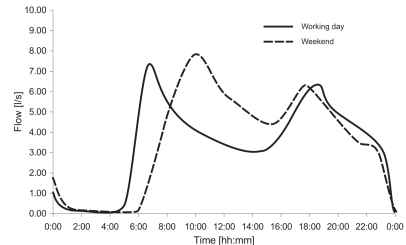
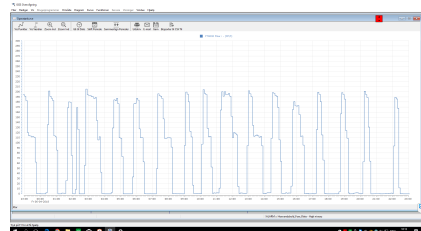
Linearisering
MPC

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

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

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

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

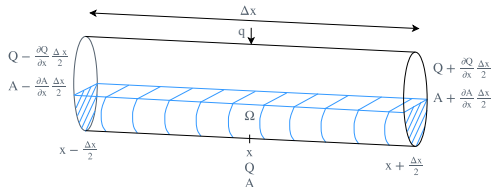
Resultat

Diskussion/Konklusion

10

► Kontinuitets ligning:

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

10

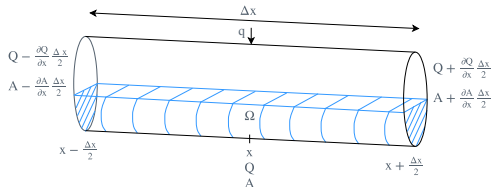
► Kontinuitets ligning:

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

► Impuls ligning:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) +$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$



51

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

10

► Kontinuitets ligning:

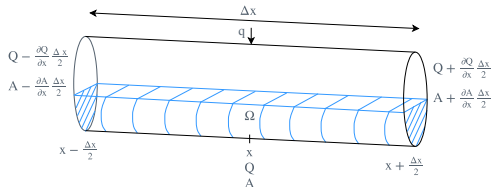
$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$

► Impuls ligning:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) +$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Approksimationer af momentum ligningen.



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

11

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

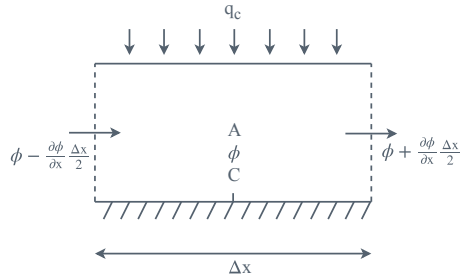
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

11

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

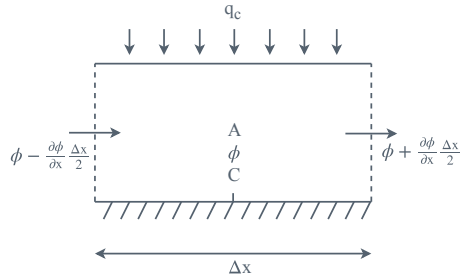
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

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

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

11

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

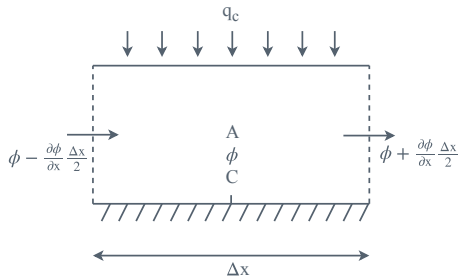
Resultat

Diskussion/Konklusion

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

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

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

11

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

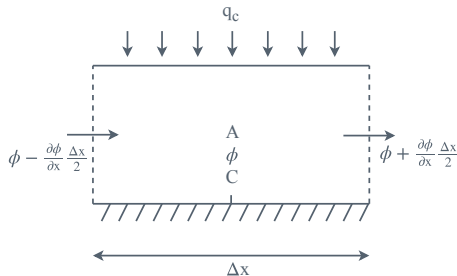
Diskussion/Konklusion

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

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

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

\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

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

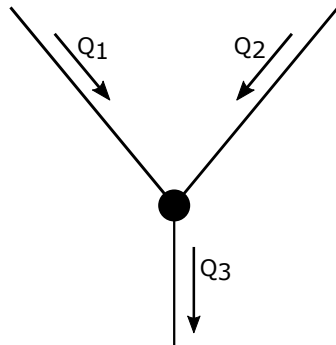
Resultat

Diskussion/Konklusion

12

► Flow:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$



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

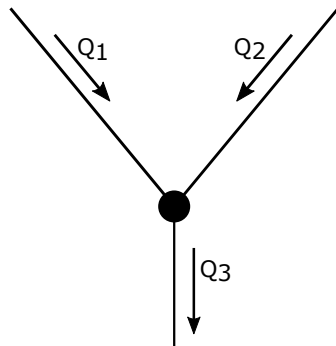
Diskussion/Konklusion

► Flow:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

► Koncentrat:

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



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

13

► Højde:

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

Simulering

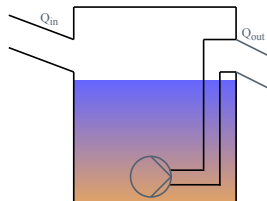
Struktur
Preissmann
Implementering

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

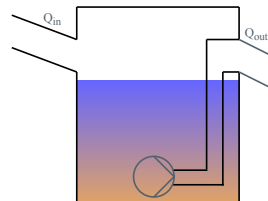
13

► Højde:

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

► Koncentrat:

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





Tre dele

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Initialisering

14

51

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

51

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

51

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

51

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

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

51

Playback funktion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

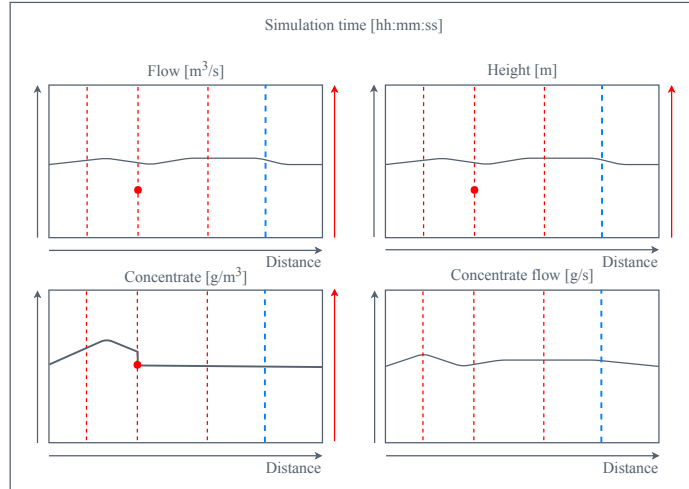
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

15



51

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.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

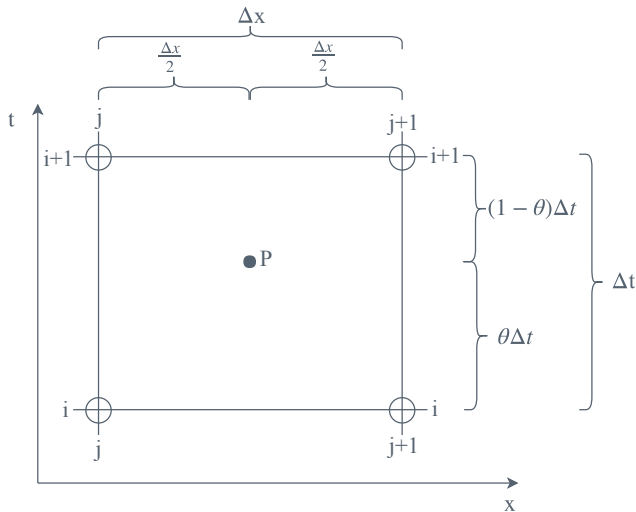
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

17



Preissmann iteration

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

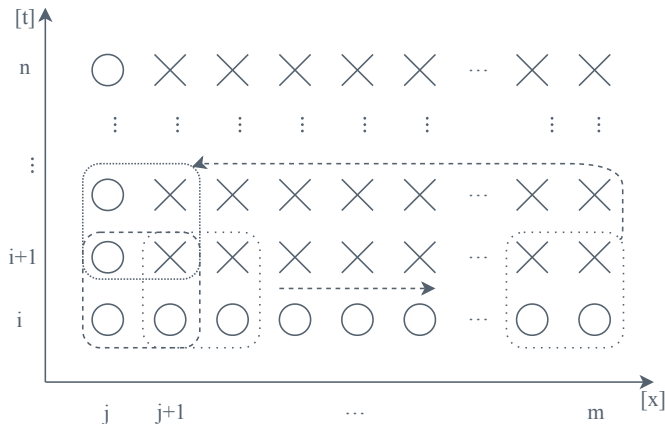
Struktur
Preissmann
Implementering

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

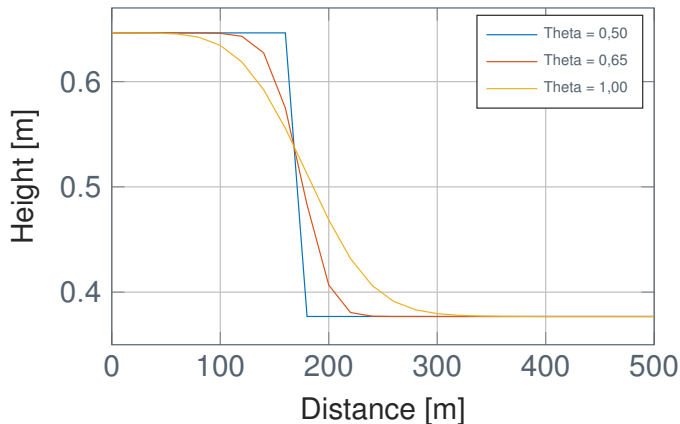
Linearisering
MPC

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

51

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

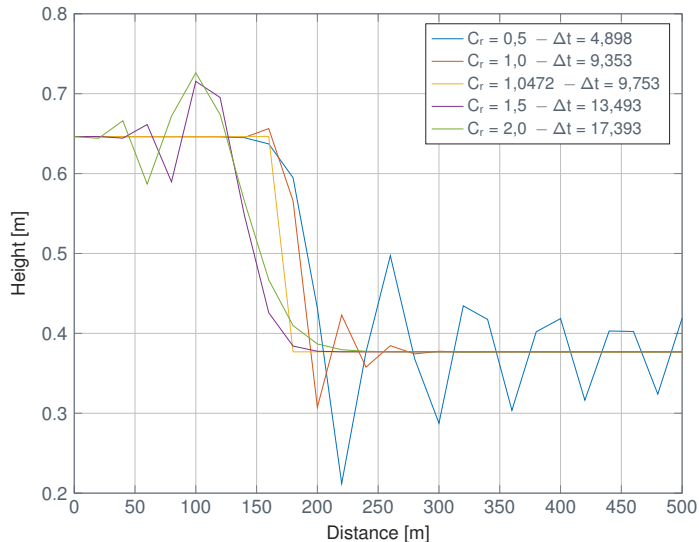
Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

21



51

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

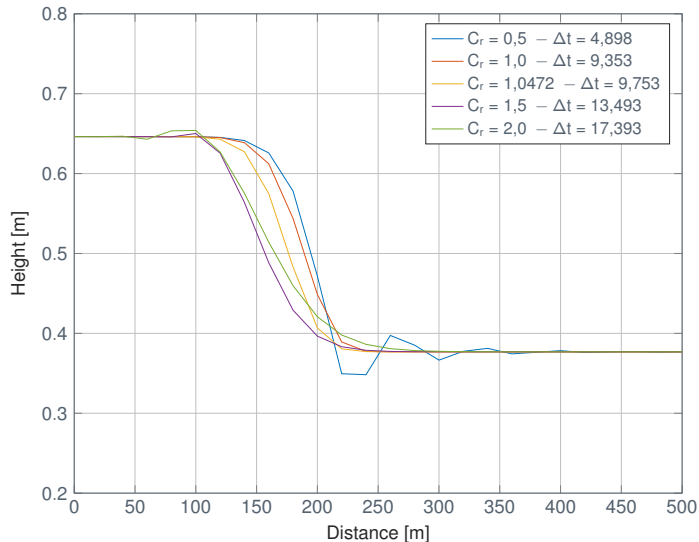
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





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

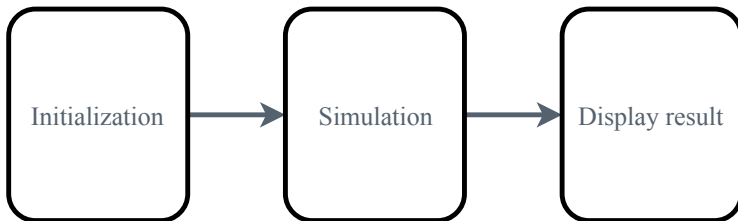
24

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

- ▶ længde [m]
- ▶ sektioner
- ▶ S_b (Hældning) [%]
- ▶ $\Delta x = \text{Længde/Sektioner}$ [m]
- ▶ Diameter [m]
- ▶ Theta
- ▶ Q_f [m³/s]
- ▶ Side inflow
- ▶ Placering i data

2. Tank

- ▶ Størrelse [m³]
- ▶ Højde [m]
- ▶ Areal = Size / Height [m²]
- ▶ Maximum outflow [m³/s]
- ▶ Placering i data

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

► 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	8

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

Fields	 size	 height	 area	 Q_out_max	 data_location
1	90	10	9	0.9730	2
2	90	10	9	1.2932	7

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 specifikationer

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	35
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	4	39
4	'Tank'	1	1
5	'Pipe'	14	206
6	'Total'	21	282

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

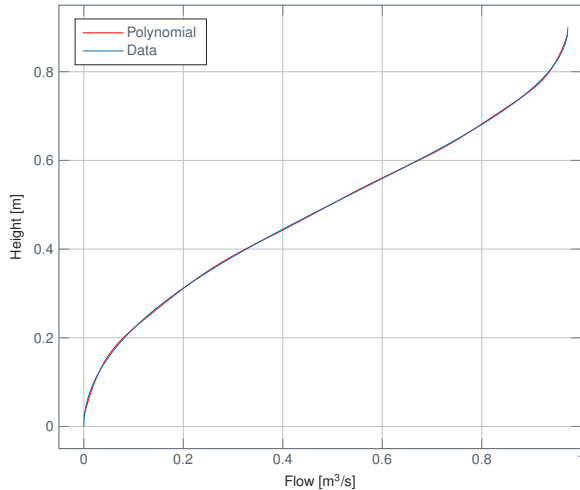
29

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

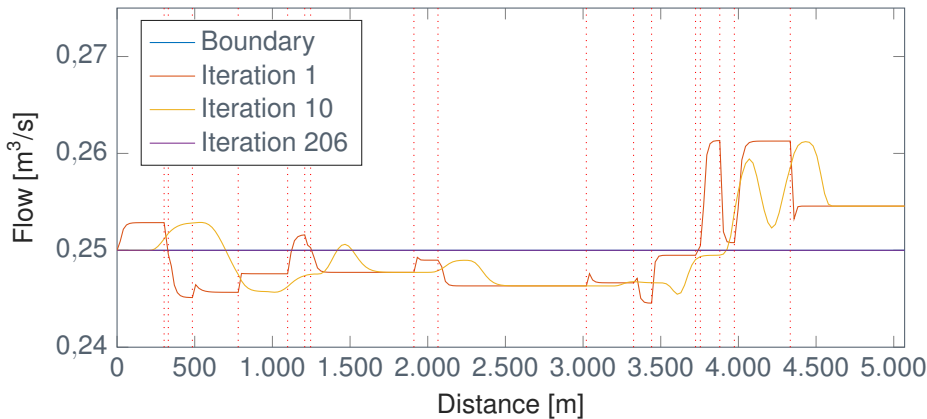
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

30



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

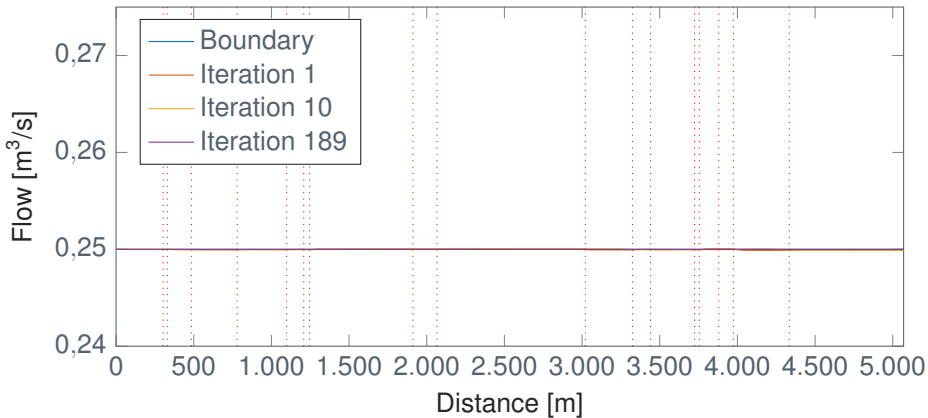
Struktur
Preissmann
Implementering

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

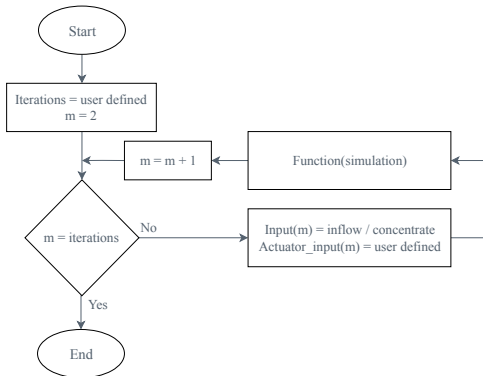
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

32

► 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

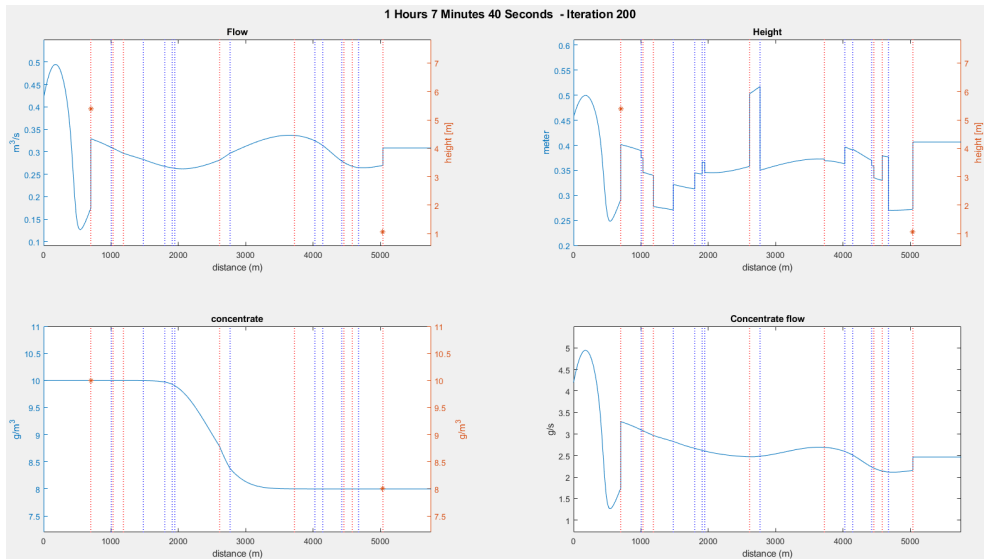
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

33

51



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 ulineær model

► Opstilles på state space form

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

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

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Priessmann scheme
- Opsat på matrix og vektor form

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

Kontrol

Opsætning på state space

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

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

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ -a_0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_B h_0^{i+1} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dh}{dQ} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_d} d_0^{i+1}$$

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

- 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 generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
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

38

51

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

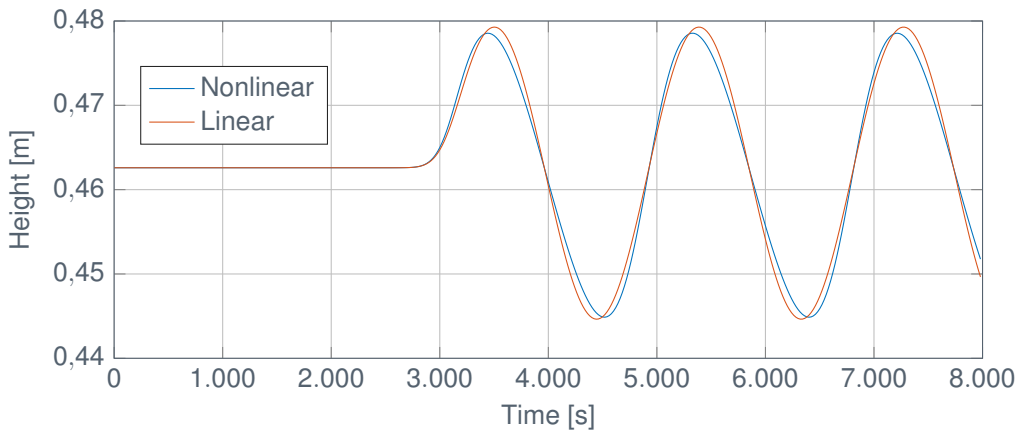
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



39

51

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
 - ▶ Afgrænset til at minimiere output variationer
- ▶ Constraints
 - ▶ Højde
 - ▶ Kontrol input
- ▶ Prediction model

40

51

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
- ▶ 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 generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

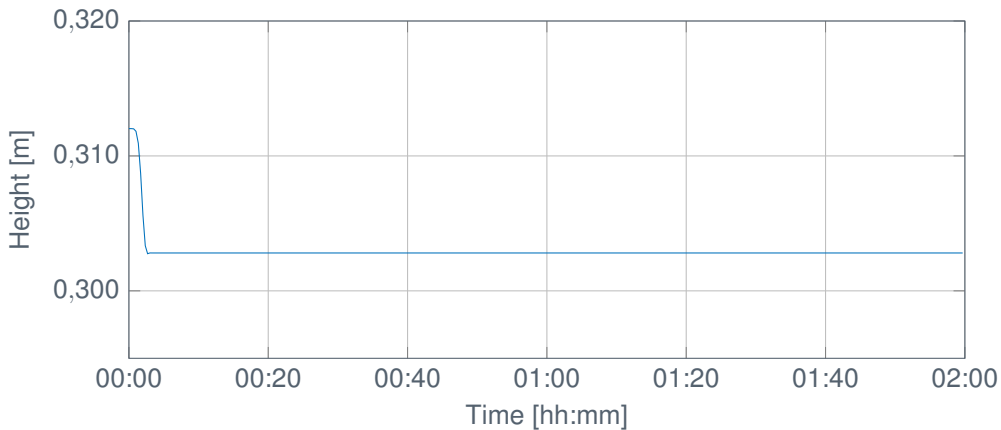
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

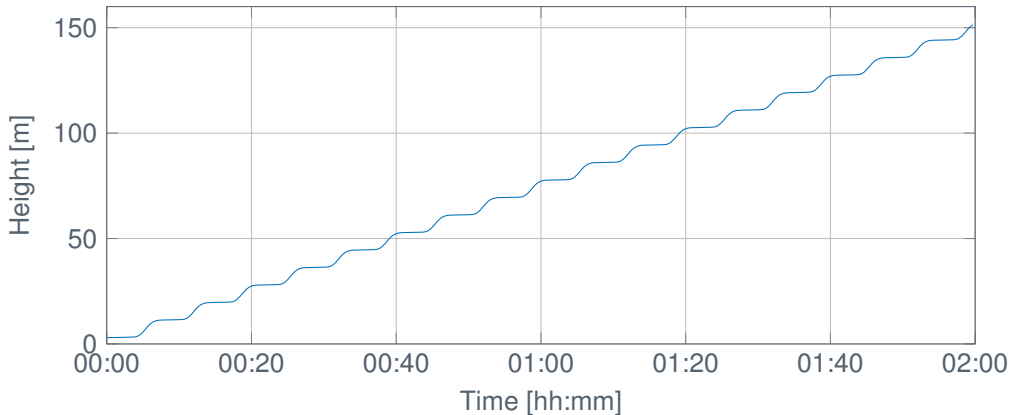
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

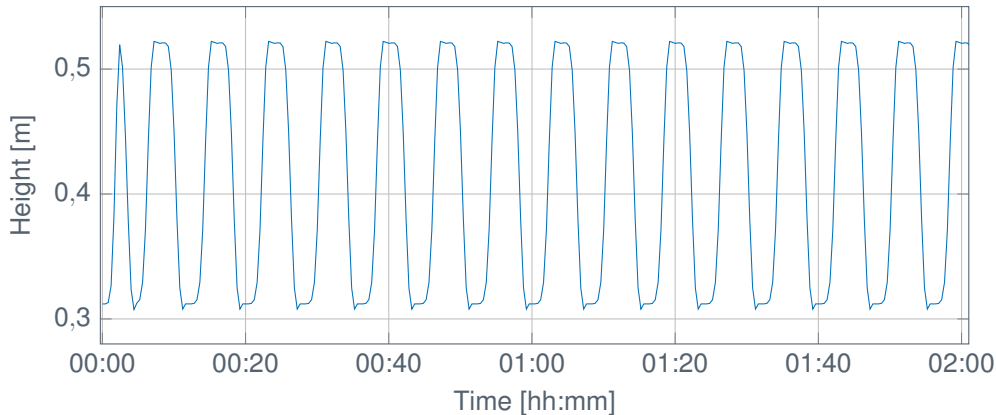
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



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, 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

45

51

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

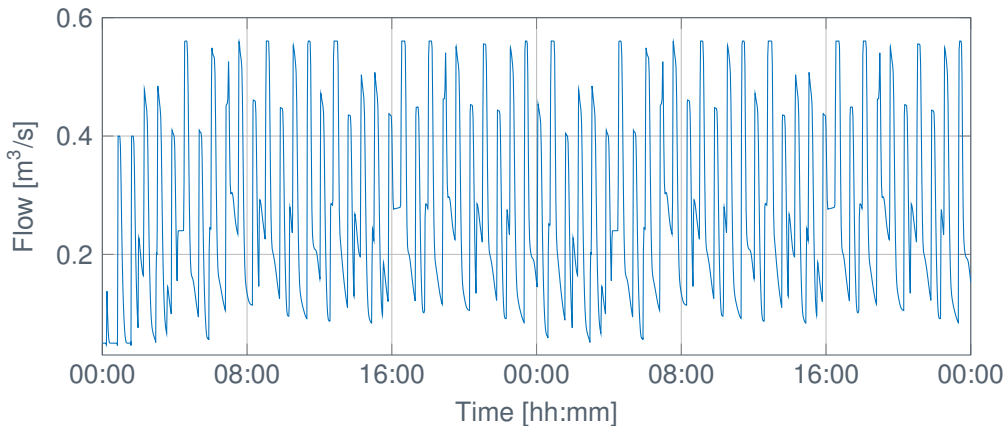
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



46

Resultat

Første test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

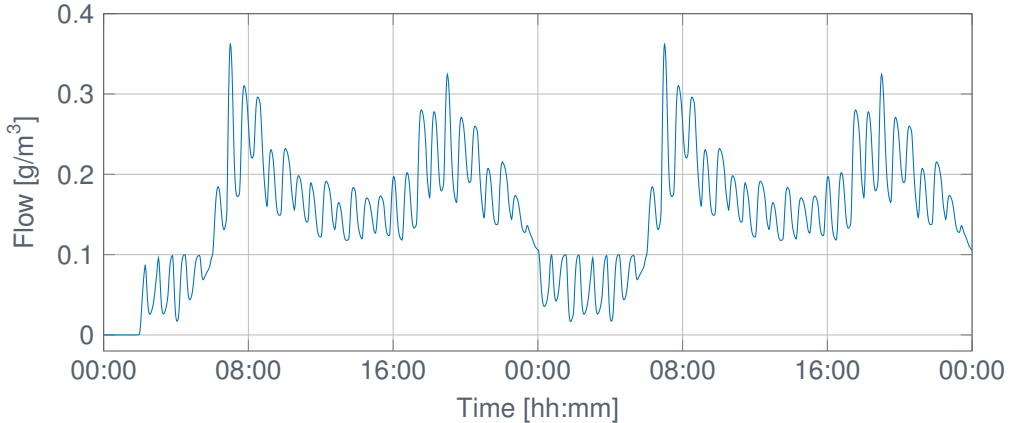
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



47

51



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

48

51

Resultat

Anden test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

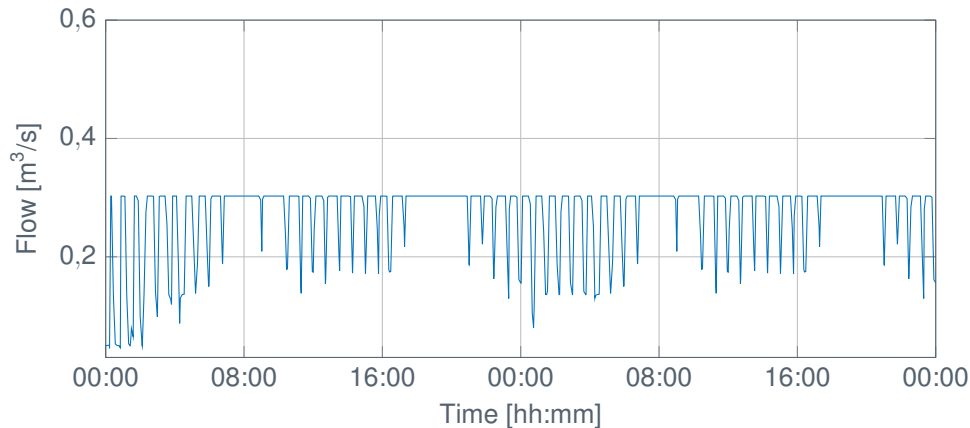
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

49



51

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

- ▶ Courant's tal
- ▶ Model reduction
- ▶ Wastewater of Aerobic/Anaerobic Transformations in Sewers (WATS)



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

51

- Simulering
- MPC

51