# 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





Group 1030

Diskussion/Konklusion

# Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg Problem formulering

# System beskrivelse

Løsninger og begrænsninger

## Modellering

# Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

# Kontrol

Linearisering

**MPC** 

Resultat

Diskussion/Konklusion

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark 51



# Typisk opbygning af kloak ledning

Agenda

Group 1030

Introduktio

rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivel

0,01011110001111101

begrænsning

Modellering

Simulering

Struktur

Preisemani

Implemente

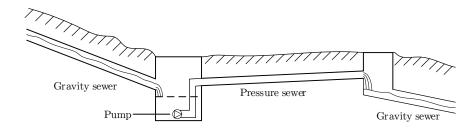
Kontrol

Lineariserin

MPC

nesultai

Diskussion/Konklusion





Agenda

Group 1030

### ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formularing

System beskrivelse

#### System beskinds

Løsninger og hegrænsning

....

## Modellering

#### Simularina

Struktur

Projeemann

Implementerin

### Kontro

Lineariserin

Resultat

Diakunnian/Kankhunia

► Mekanisk rensning.



Agenda

Group 1030

Kloakker og rensningsanlæg

### System beskrivelse

## Modellering

Resultat

- ► Mekanisk rensning.
- Sandfang.



Agenda

Group 1030

#### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og

#### begrænsninger

### Modellering

#### 1110000110111

Simulerii

Struktur

1 1010011101111

### Implementen

Lineariserin

MPC

Resulta

- ► Mekanisk rensning.
- Sandfang.
- Primær rensning.



Agenda

Group 1030

Kloakker og rensningsanlæg

### System beskrivelse

- Mekanisk rensning.
- Sandfang.
- Primær rensning.
- Sekundær rensning.



Agenda

Group 1030

#### Introduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og

#### begrænsninger

#### Modellering

#### Simuleri

Struktu

Preissmann

impiementering

### .....

MPC

Resulta

Diskussion/Konklusio

- Mekanisk rensning.
- Sandfang.
- Primær rensning.
- Sekundær rensning.
- Kemisk rensning.



Agenda

Group 1030

#### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

#### System beskrivels

Løsninger og

#### begrænsninger

### Modellerin

#### \_\_\_\_\_

Simulei

Droinomon

Implementerin

## Implementerin

## Kontrol

Linearisering

Resulta

Diskussion/Konklusion

Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.



Agenda

Group 1030

#### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

#### System beskrivels

Løsninger og

#### begrænsninger

Modellerin

0.....

Preissmann

Implementeri

## Implementen

Lineariserir

Resulta

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



Agenda

Group 1030

#### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

#### System beskrivels

Løsninger og

### begrænsninge

Modellering

#### Modellerin

Simulering

Struktur

Preissmani

Implementer

### Kontro

Lineariserin

Daniella

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



Agenda

Group 1030

#### Introduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

#### System beskrivels

Løsninger og

### begrænsninge

Modellerin

#### WIOGCIICITI

#### Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

### Kontro

Linearisering

MPC

nesulta

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



# Problem formulering

Agenda

Group 1030

Problem formulering

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

### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og

## Modellering

#### ....

Simulering

- ·

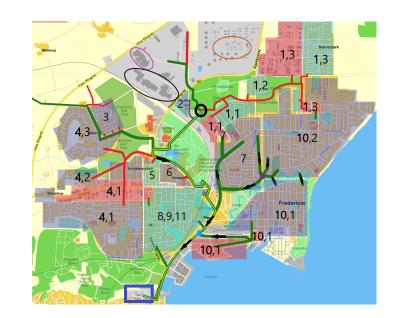
Preissman

Implementerin

### Kontrol

Lineariserin

Resultat





# Udgangspunkt i et virkeligt setup

## Agenda

Group 1030

#### troduktio

Kloakker og rensningsanlæg

### System beskrivelse

Løsninger og

### Modellerina

Modellerin

#### Cimularia

Struktur

Implementerin

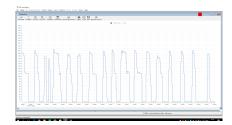
.

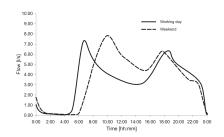
### ......

MPC

Resulta

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







Group 1030

### System beskrivelse

Løsninger og

begrænsninger

Modellering

Simulering

## Kontrol

Resultat

► Indsættelse af tank.



Group 1030

### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivelse

Løsninger og

## begrænsninger

Modellering

#### ....

011110101

Droinomon

Preissmann

Implementer

#### Kontro

Lineariserir

Resultat

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



Group 1030

#### troduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivelse

Løsninger og

## begrænsninger

Modellering

#### ....

Simularin

Struktur

Preissmann

Implementer

## ...

Lineariserir

Resultat

Diskussion/Konklusio

Indsættelse af tank.

- ► Afgrænse simulering til enkelt kemisk component.
- ► Runde kloak rør.



# 4 modeller

## Agenda

Group 1030

### ntroduktio

rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivelse

Løsninger og

#### begrænsninger

### Modellering

#### .....

Struktur

Preissmann

Fielssillallii

### mpiomonion

Lineariserin

Regulta

Diskussion/Konklusio

Kloak ledning.

- Transport af concentrat i kloak ledning.
- ► Sammenkobling af kloakledninger.
- ► Tank.



Group 1030

### tradulation

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivel

Løsninger og

### bogiconomingor

## Modellering

Simulerin

Struktur

Preissman

Implemente

## Kontrol

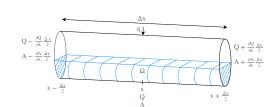
Lineariserin

----

Diekussion/Konklusia

# ► Kontinuitets ligning:

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





Group 1030

### ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formuler

## System beskrivel

Løsninger og

### Modellering

### Modellerin

Struktur

Droinomonn

Preissmann

Implemente

### KOHITOI

Lineariseri

Resultat

Diskussion/Konklusion

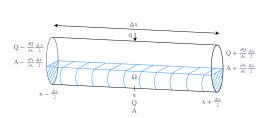
# ► Kontinuitets ligning:

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

# ► Impuls ligning:

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

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





Group 1030

### ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivel

Løsninger og

## begrænsninger

# Modellering

### Simulering

Projesmann

Preissmann

Implementer

### Kontro

Lineariserir

Resultat

Diskussion/Konklusion

# ► Kontinuitets ligning:

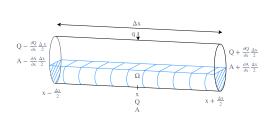
$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

► 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.





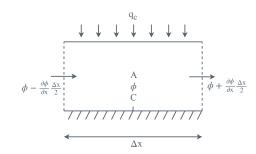
## Agenda

Group 1030

### System beskrivelse

## Modellering

### Kontrol





## Agenda

Group 1030

### ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

#### System beskrivels

Løsninger og

#### begrænsninger

## Modellering

Otendates

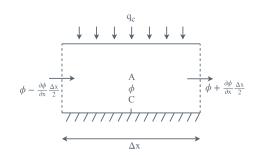
- .

rieissilidilli

#### 12. . . . . . .

Lineariserin

Diekussien/Kenkl





## Agenda

Group 1030

### atroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

#### System beskrivels

Løsninger og

#### begrænsninger

## Modellering

#### Simulering

Struktur

Preissmann

Implementer

#### Kontrol

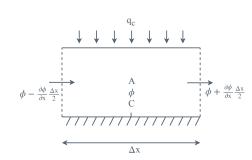
Lineariserin

Deside

Diskussion/Konklusion

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

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





## Agenda

Group 1030

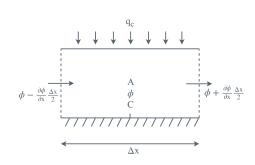
## Modellerina

Diskussion/Konklusion

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

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

► Afhænger af kendt A og Q.





# Sammenkobling af kloak ledninger

## Agenda

Group 1030

## System beskrivelse

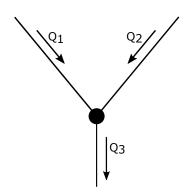
# Modellering

## Simulering

Resultat

# ► Flow:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$





# Sammenkobling af kloak ledninger

## Agenda

Group 1030

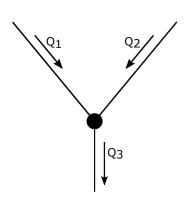
# Modellering

► Flow:

$$Q_3=Q_1+Q_2$$

Koncentrat:

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





Group 1030

## System beskrivelse

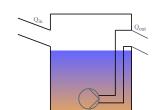
# Modellering

## Kontrol

Resultat

# ► Højde:

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





Group 1030

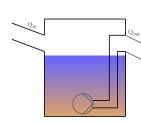
# Modellerina

Højde:

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

Koncentrat:

$$\frac{\textit{dC}_{\textit{tank}}(t)}{\textit{dt}} = \frac{1}{\textit{A}} \left( \textit{C}_{\textit{in}}(t) \cdot \frac{\textit{Q}_{\textit{in}}(t)}{\textit{h}(t)} - \textit{C}_{\textit{tank}}(t) \cdot \frac{\textit{Q}_{\textit{out}}(t)}{\textit{h}(t)} \right)$$



Group 1030

### System beskrivelse

Modellering

## Simulering

Struktur

## Kontrol

Resultat



Group 1030

### ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivelse

Løsninger og

Modellering

## Simulering

### Struktur

Preissmann

Implementerin

### ...,

Lineariseri

Resultat

Diskussion/Konklusion

# ► Intialisering

► Opsætning af komponenter.



Group 1030

#### Introduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivelse

Løsninger og

#### bogitoriaring

Modellering

## Simulering

## Struktur

rieissilialili

Implementerin

### impiementerin

Lineariserin

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Opsætning af komponenter.
- ► System i steady state.



Group 1030

### ntroduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivelse

Løsninger og

#### bogiconoming

## Modellering

## Simulering

### Struktur

### roicemann

Implementering

Implementering

## Kontrol

Lineariserin

Resulta

Diskussion/Konklusion

- Opsætning af komponenter.
- ► System i steady state.
- Simulering



Group 1030

### Introduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

#### Madellada

Modellerin

### Simulering

### Struktur

reissmann

Implementerin

IIIpieilieilieili

#### Kontrol

Lineariserin

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ► Opsætning af komponenter.
- ► System i steady state.
- Simulering
- ► Iterativ beregning af komponenterne



Group 1030

### Introduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivelse

Løsninger og

Modellerin

#### 1110000110111

## Struktur

### Struktur

Implementari

Implementerii

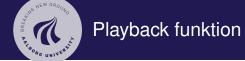
### Kontrol

Linearisering MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Opsætning af komponenter.
- ► System i steady state.
- Simulering
- ► Iterativ beregning af komponenterne
- Gennemgang af resultat



Group 1030

## ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og

## Modellering

## \_\_\_\_\_

## Struktur

Drojoomoon

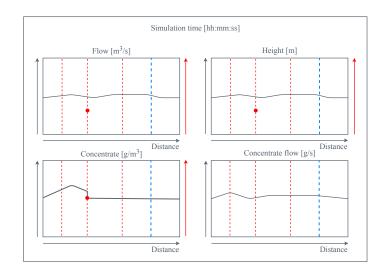
1 1010011101111

## implomenteri.

Lineariserin

Resultat

Diakussian/Kanklusian





Group 1030

## ntroduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

### bogiconoming

Modellering

0. . .

Preissmann

Implementor

Implementeri

Linearisering

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Kinematisk bølge aproksimering.

► Fyldningsgrad kurve for rør.



Group 1030

## atroduktion

Kloakker og

Problem formularing

## System beskrivelse

Løsninger og

### ....

## Modellering

simuleri

Preissmann

### Implemente

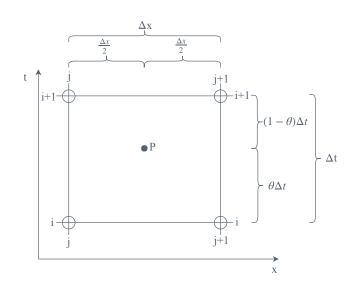
### Implementer

## Kontrol Lineariserir

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





## Preissmann iteration

## Agenda

Group 1030

## ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrive

Løsninger og

## Modellering

Cincillania

Struktur

### Preissmann

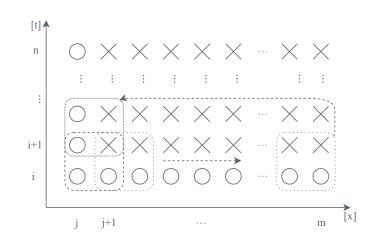
## Implementer

## Kontrol

Lineariserin

Resultat

Diskussion/Konklusion





## Preissmann stabilitet

Agenda

Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

### System beskrivels

Løsninger og

## Modellering

Modellerin

Simulem

Preissmann

Implementeri

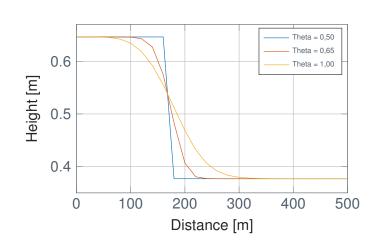
## Implementen

Lineariserin

Resultat

Diskussion/Konklusion

Ubetinget stabilitet





Group 1030

System beskrivelse

Modellering

Preissmann

Kontrol

Resultat

► Indikation af præcision

# Courant's tal

Agenda

Group 1030

## Introduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

## Modellering

## Simulering

Struktur

Preissmann

Implementeri

Lineariserin

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Indikation af præcision

$$C_r = \frac{\sqrt{g \cdot \overline{\mathsf{H}} \cdot \Delta t}}{\Delta x}$$



Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og

Problem formulering

### System beskrivel

Løsninger og

### begrænsninger

## Modellering

Simulerin

Preissmann

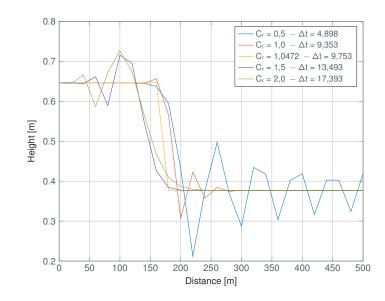
Implementer

### IIIIpieiiieiitei

Kontrol Lineariseri

Resultat

Diskussion/Konklusion





Group 1030

Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formuler

System beskrivel

Løsninger og

begrænsning

Modellering

Otendatore

Preissmann

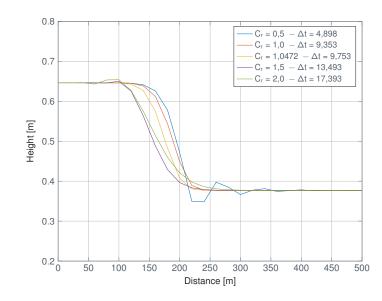
impiemente

Kontrol

Lineariseri

Resultat

Diskussion/Konklusion





Group 1030

## System beskrivelse

## Modellering

Implementering

Resultat

- Implementation
- Kontrol
- Resultater
- Diskussion
- ► Konklusion



Group 1030

## ntroduktion

rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

\_øsninger og

## Modellering

### .

Simulerin

Outun

Preissmann

Implementering

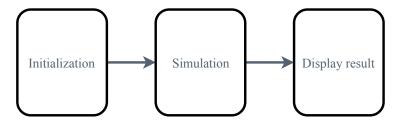
## Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





Group 1030

Implementering

Diskussion/Konklusion

## 1. Pipe

- længde [m]
- sektioner
- S<sub>b</sub> (Hældning) [‰]
- $\triangle x = \text{Længde/Sektioner [m]}$
- Diameter [m]
- ► Theta
- $ightharpoonup Q_f[m^3/s]$
- Side inflow
- Placering i data

## 2. Tank

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



Group 1030

## Introduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

## Modellering

Simulering

Preissmann

Implementering

## Implementeri

Kontrol

Lineariser MPC

Resultat

Diskussion/Konklusio

## Rør specifikationer

Fields	length	= sections	<b>⊞</b> Dx	<b>⊞</b> Sb	<b>⊞</b> d	H 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



Group 1030

## System beskrivelse

Modellering

## Implementering

Resultat

## ► Tank specifikationer

Fields	size	height	area	Q_out_max	data_location
1	9	0 10	9	0.9730	2
2	9	0 10	9	1.2932	7



Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og

## Modellering

### . . .

Charleton

Preissmann

FIEISSIIIdIIII

## Implementering

## Kontrol

Lineariserin

Resultat

Diskussion/Konklusio

## ► System specifikationer

Fields	type type	$\coprod$ component	sections     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



Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og

begrænsninger

## Modellering

### . . . .

Otendeton

Preisemann

## Implementering

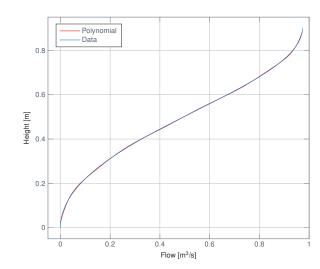
## Kontrol

## KOHITOI

Lineariouri

Resultat

Diskussion/Konklusion





Group 1030

## ntroduktio

rensningsanlæg

## System heskrivels

Løsninger og

### begrænsninger

Modellering

Oteraletane

Droinomor

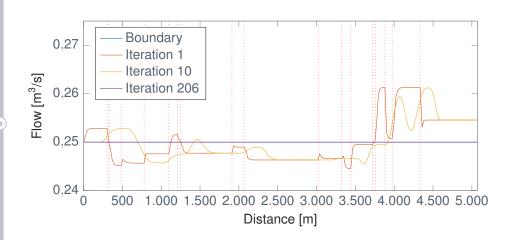
## Implementering

## Kontrol

Lineariseri

## Dogulto

Diskussion/Konklusion





Group 1030

## ntroduktio

rensningsanlæg

## System heskrivels

Løsninger og

## begrænsninger

Modellering

## Simularin

Struktur

Preissmann

Implementering

## implementen

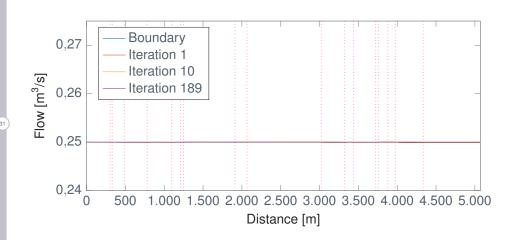
. . . .

## Kontrol

Lineariseri

Dogulto

Dickussion/Konklusion





Group 1030

## Introduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivels

Løsninger og

### .....

## Modellering

### Simulering

Struktur

Preissmann

## Implementering

## implementaring

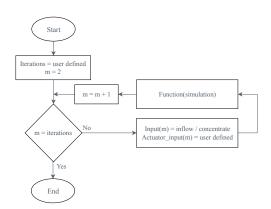
## .....

Linearisering

Resulta

Diskussion/Konklusion

► Itererer igennem rør og tank for hvert tidsskridt





## Group 1030

### ntroduktio

rensningsanlæg

Problem formuleri

## System beskrivels

Løsninger og

## begrænsninger

## Modellering

Simulemin

Preissmann

Implementering

## Kontrol

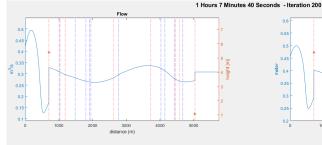
Lineariseri

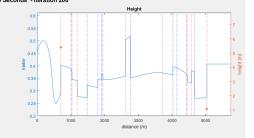
Resultat

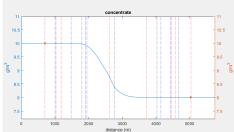
Diskussion/Konklusio

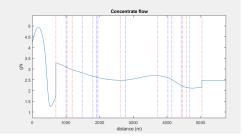
33

51









Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark



Group 1030

## ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivels

Løsninger og

### Modellerin

### ....

011110101

- .

Preissmann

Implementer

### Kontro

## Linearisering

MPG

Resulta

Diskussion/Konklusion

Linearisering af ulineær model

► Opstilles på state space form

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

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



Group 1030

## Modellerina

Linearisering

Diskussion/Konklusion

## Priessmann scheme

Opsat på matrix og vektor form

$$\left[\underbrace{\frac{1}{2\Delta t}\frac{\partial A}{\partial h} - \frac{\theta}{\Delta x}\frac{\partial Q}{\partial h}}_{a} \underbrace{\frac{1}{2\Delta t}\frac{\partial A}{\partial h} + \frac{\theta}{\Delta x}\frac{\partial Q}{\partial h}}_{b}\right] \begin{bmatrix} h_{j+1}^{i+1} \\ h_{j+1}^{i+1} \end{bmatrix} =$$

$$- \left[\underbrace{\frac{-1}{2\Delta t}\frac{\partial A}{\partial h} - \frac{(1-\theta)}{\Delta x}\frac{\partial Q}{\partial h}}_{c} \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t}\frac{\partial A}{\partial h} + \frac{(1-\theta)}{\Delta x}\frac{\partial Q}{\partial h}}_{d} \right] \begin{bmatrix} h_{j+1}^{i} \\ h_{j+1}^{i} \end{bmatrix} =$$



Group 1030

## ntroduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

### System beskrivels

Løsninger og

### begrænsninger

## Modellering

### Cinnellania

Struktur

Preissmann

Implementer

## Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

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

 $-a_0$ 

 $\overline{dQ}$ 

 $B_d$ 



Group 1030

## Introduktio

- Kloakker og rensningsanlæg
- Problem formuler

## System beskrivel

Løsninger og

### begrænsninger

Modellering

### . . . .

Otendetore

Preissmann

Implemente

IIIIpioiiioiitoi

## KOHITOI

Linearisering

## Resulta

Diskussion/Konklusion

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

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



Group 1030

## System beskrivelse

## Modellering

## Kontrol

## Linearisering

Resultat

► 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





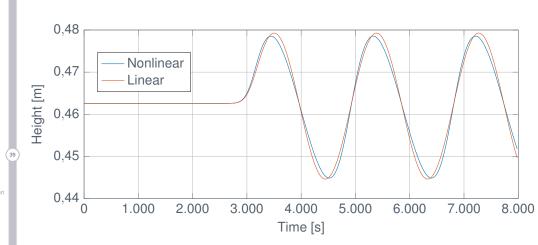
Group 1030

## Modellering

## Kontrol

Linearisering

Resultat





Group 1030

## System beskrivelse

Modellering

MPC

## Cost function

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



Group 1030

## Modellering

MPC

Bestemmelse af Prediction horizon

- Flow profiler
- ► Industri
- Begrænsning af Prediction horizon
- System setup
- ► Forstyrrelses input

Fields	type type	component	<b>⊞</b> sections
1	'Pipe'	1	5
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	1	5
4	'Total'	3	11





Group 1030

### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formuleri

## System beskrivelse

Løsninger og

## begrænsninger

## Modellering

### Simularina

Preissmann

Implemente

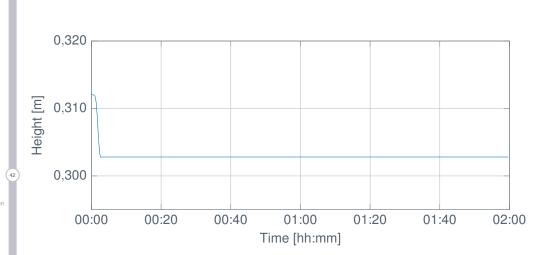
## Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusio



Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark





Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og

### begrænsninger

Modellering

### Simulering

Struktur

Preissmann

Implementer

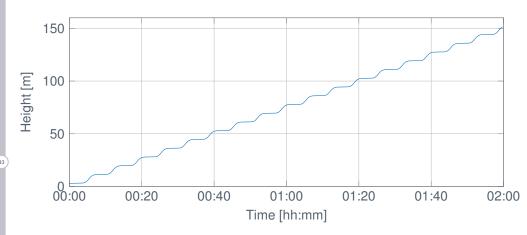
## Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





Group 1030

### ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og

### hearsensninger

Modellering

### Simulerin

Struktur

Preissmar

Implementeri

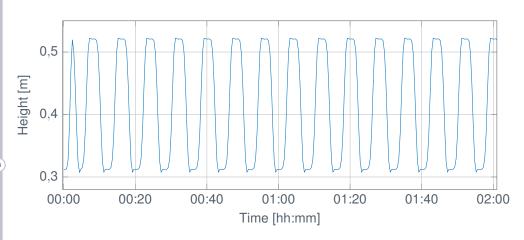
## Kontrol

Lineariserin

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusio





Group 1030

### ntroduktio

rensningsanlæg

Problem formulering

## System beskrivelse

Løsninger og

## begrænsninge

## Modellering

### Modellerii

Simulering

Oli uktui

Preissmann

Implementeri

### Kontro

Linearisering

## Resultat

Diskussion/Konklusio

 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





Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formuleri

## System beskrivelse

Løsninger og

## begrænsninger

## Modellering

### Cimularina

Struktur

1 1010011101111

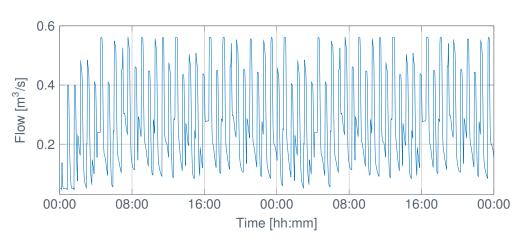
Implementen

## Kontrol

Lineariserin

## Resultat

Diskussion/Konklusion



Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark





Group 1030

### troduktion

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

### Løsninger og

## Modellering

### Simulering

Desirence

1 1010011101111

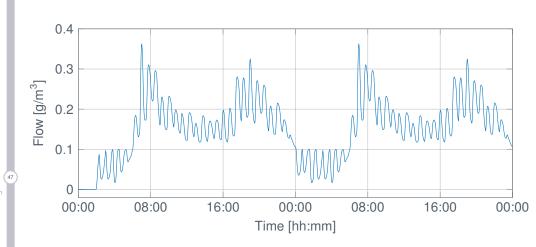
Implementen

## Kontrol

Lineariserir

## Resultat

Diskussion/Konklusion



Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark



Group 1030

## System beskrivelse

## Modellering

## Simulering

## Kontrol

Resultat

▶ Over dimensioneret tank

► Konstant output af tank



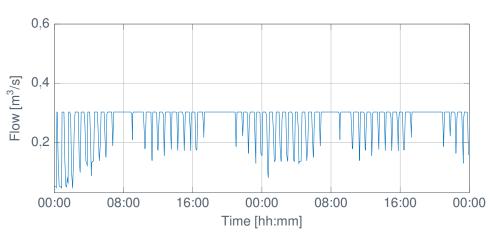
Group 1030

## System beskrivelse

## Modellering

## Kontrol

## Resultat





Group 1030

## troduktio

rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

## Modellering

## Simulering

Struktur

Preissmann

land bear and a

IIIpieilieille

## Kontro

Linearisering

Resultat

Diskussion/Konklusion (50)

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



Group 1030

## ntroduktio

Kloakker og rensningsanlæg

Problem formulerin

## System beskrivelse

Løsninger og

## begrænsning

## Modellering

## Cimularia

011110110

Preissmann

FIEISSIIIdiiii

Implementerin

## Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion (51

► Simulering

► MPC