

Optimale regeling van gebouwen door gebruik van modelgebaseerde voorspellende regeling

➤ Filip Jorissen – KU Leuven

20 oktober 2016
Antwerpen

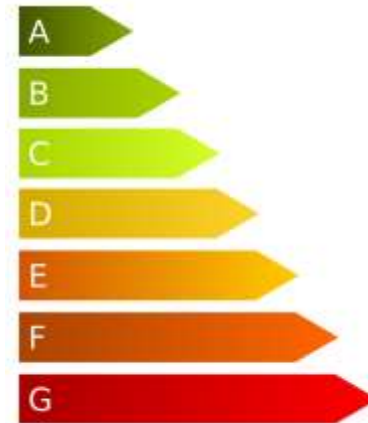
- **Context**
- **Modelgebaseerde voorspellende regeling**
- **Praktijksituering**
- **Automatisering**

Context

- Transitie energiehouding in gebouwen
- Consequenties

Hoofdstuk 1

- › EU 2030 Energiestrategie & EPB wetgeving
 - › Meer isolatie
 - › Integratie hernieuwbare energiebronnen
- › Binnenklimaat
 - › Strengere ventilatie-eisen (KB 14 april 2016)
 - › Hogere verwachtingen
 - › Invloed op productiviteit bezetting
- › Breder inzet nieuwe technieken
 - › Betonkernactivering / TABS
 - › (Passieve) nachtventilatie
 - › Warmtepompen
 - › Hybride systemen



Bron: pixabay.com

- Isolatie
 - Hoger relatief belang interne en externe winsten
- Integratie hernieuwbare energiebronnen en nachtventilatie
 - Wanneer wel/niet benutten
- Meer ventilatie
 - Hoger energiegebruik
- Betonkernactivering
 - Traag systeem
- Warmtepompen
 - Welke toevoertemperatuur?

› Hybride systemen, bv:

› Emissie

› Betonkernactivering

- › Traag systeem
- › Passieve koeling
- › Actieve koeling
- › Verwarming

› Ventilatie

- › Variabel debiet
- › Variabele druk
- › Snel systeem
- › Free cooling
- › Actieve koeling
- › 2 x verwarmingsbatterij

› Productie verwarming

- › Zonnecollectoren
- › Warmtepomp(en)
- › Pelletketel
- › Stadswarmtenet

› Productie koeling

- › ...

› Randvoorwaarden

- › Variabele bezetting
- › Variabele externe winsten
- › Variabele elektriciteitsprijzen?
- › Variabele temperatuur/prijs warmtenet?

- Hoe krijgen we dit geregeld?
 - Ontwerp-kosten
 - Verhoogde kosten commissioning
 - Gebrekkig comfort?
 - Energiegebruik
 - Gevals specifieke regeling

- Huidige praktijk laat niet toe om systemen op een optimale manier te regelen

- Een mogelijke oplossing: gebruik van Modelgebaseerde voorspellende regeling (MPC)

MPC

➤ Principe

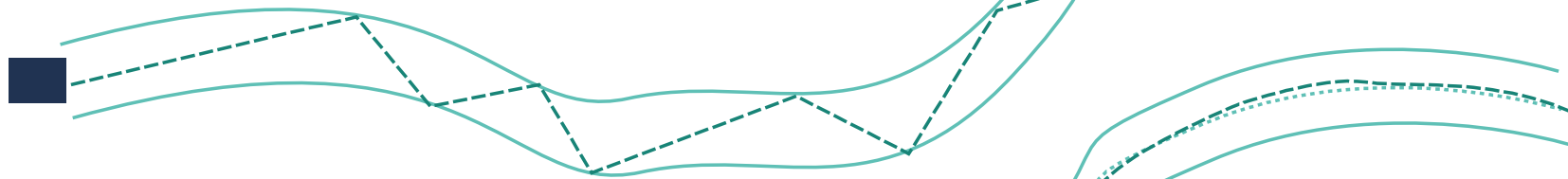
- Conceptueel
- Structuur
- Wiskundig

Hoofdstuk 2

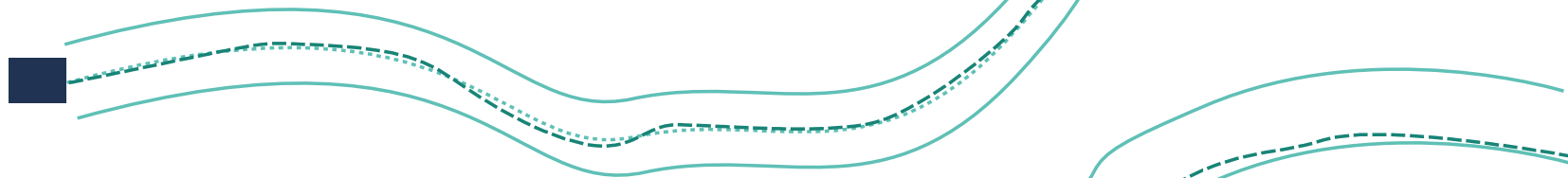
› Conceptueel

- › Klassieke regeling in gebouwen houdt enkel rekening met wat 'nu' gebeurt
- › Analogie met een wagen:

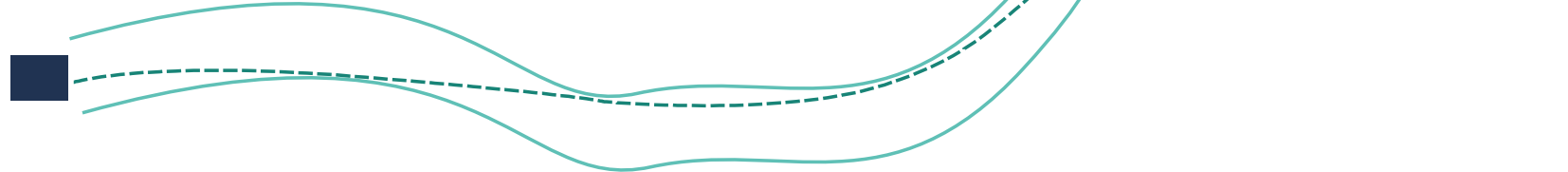
Hysterese



PI(D)



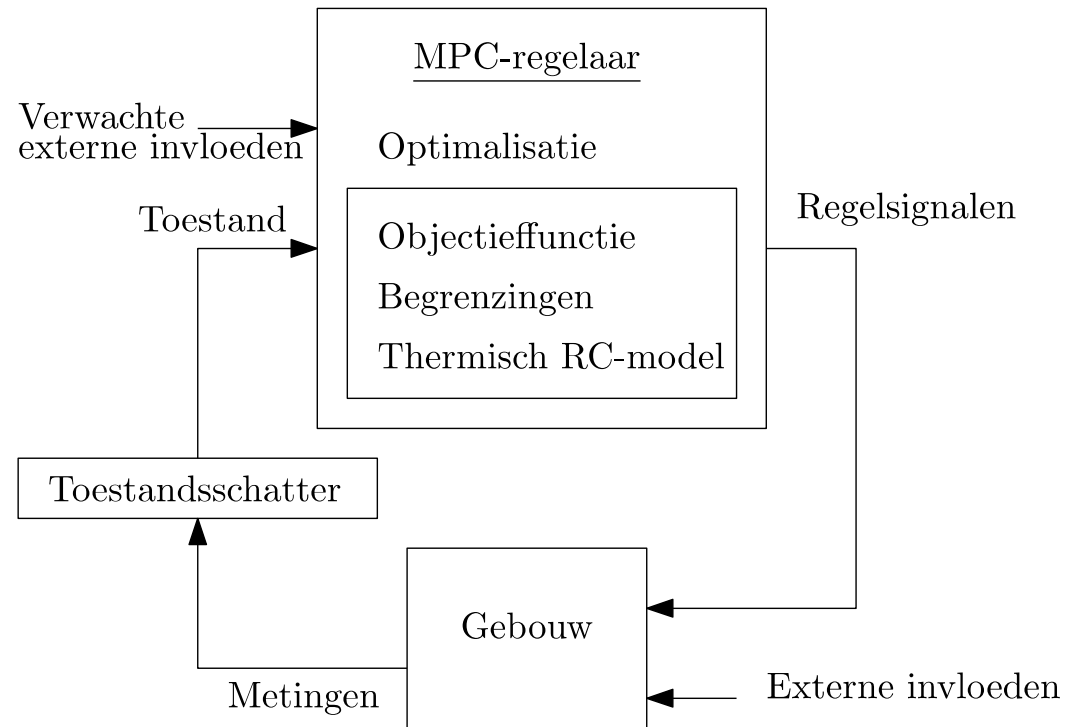
MPC



- Conceptueel
 - MPC gebruikt
 - metingen uit het verleden
 - voorspellingen van toekomstige randvoorwaarden
 - MPC gebruikt een 'model' om de respons van het systeem te voorspelen en speelt hierop in met een optimaal controletraject voor de komende uren
 - Hoe beter het model, hoe beter het resultaat
 - weersvoorspellingen
 - voorspellingen aanwezigheid
 - detail zonering, HVAC
 - ...

› Principeschema:

- › Optimalisatieprobleem
- › Setpunten
- › Gebouw
- › Metingen



Principeschema MPC-regelaar

› Hoofdcomponenten optimalisatieprobleem:

› Optimalisatievariabelen \mathbf{x}

$$\mathbf{x} = [Q_{\text{zone},i}, Q_{\text{zone},i+1}, \dots]$$

› Randvoorwaarden \mathbf{u}

$$\mathbf{u} = [T_{\text{buiten},i}, H_{\text{zon},i}, \dots]$$

› Doelfunctie $f(\mathbf{x})$

$$f(\mathbf{x}) = \min(\Sigma Q)$$

› Model $\mathbf{y} = g(\mathbf{x}, \mathbf{u})$

$$\mathbf{y} = [T_{\text{zone},i}, \dots] = [T_{\text{buiten},i} + 0.1 H_{\text{zon},i} + 0.05 H_{\text{zon},i-1} + 0.5 Q_{\text{zone},i}, \dots]$$

› Begrenzingsen $h(\mathbf{y}, \mathbf{x}) > 0$

$$h(\mathbf{y}, \mathbf{x}) = [T_{\text{zone},i}, T_{\text{zone},i+1}] > [20, 21]$$

› Formulering 'LP':

$$\begin{array}{ll} \min & c^T x \\ \text{s.t.} & Ax - b \geq 0 \end{array}$$

Praktijksituering

- Gevalstudies
- Praktische problemen

Hoofdstuk 3

- Gevalstudie 1
 - Hollandsch Huys, Hasselt
 - Kantoorgebouw
 - 4500 m²
 - Betonkernactivering

- 17 % besparing (demo)
- beter comfort



Bron en verder info: Váňa, Z., Cigler, J., Široký, J., Žáčková, E., & Ferkl, L. (2014). Model-based energy efficient control applied to an office building. *Journal of Process Control*, 24(6), 790–797. <http://doi.org/10.1016/j.jprocont.2014.01.016>

- Gevalstudie 2
 - Universiteitsgebouw, Praag
 - Variant betonkernactivering

- 15 - 28% besparing
- beter comfort



Bron en verder info: Cigler, J., Gyalistras, D., Siroky, J., Tiet, V.-N., & Ferkl, L. (2013). Beyond Theory: the Challenge of Implementing Model Predictive Control in Buildings. Clima 2013 - 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC - "Energy Efficient, Smart and Healthy Buildings," 1008–1018.

- Gevalstudie 3
 - Icade Premier House 1, Munchen
 - Convectoren, luchtgroep, stralingspanelen

- Vergelijkbare performantie en comfort
- -> Licht gebouw!



Bron en verder info: Cigler, J., Gyalistras, D., Siroky, J., Tiet, V.-N., & Ferkl, L. (2013). Beyond Theory: the Challenge of Implementing Model Predictive Control in Buildings. Clima 2013 - 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC - "Energy Efficient, Smart and Healthy Buildings," 1008–1018.

- Academisch
 - OptiControl
 - etc
- Bedrijven:
 - Chemische industrie
 - Siemens (Opticontrol, Desigo)
 - 3E
 - Building IQ (VS) – ‘Predictive Energy Optimization’
 - Feramat
 - Johnson Controls
 - ...



“... need for portable software components that can be easily adjusted to a given target building ...”

“In summary, our experience suggests that for successful MPC implementation building control should be considered already at the very early stages of the building and technical systems design.” *(install sensors and actuators)* “In many cases MPC could then present a very attractive option for optimal supervisory control, in particular for buildings with large thermal storage capacity.”

Jiří Cigler, Dimitrios Gyalistras, Jan Široký, Vinh-Nghi Tiet, Lukáš Ferkl



“The largest portion of time (55-60%) was spent in both cases for the MPC model development”

Jiří Cigler, Dimitrios Gyalistras, Jan Široký, Vinh-Nghi Tiet, Lukáš Ferkl

- bovendien, 25 – 35 % tijd voor regelaarontwikkeling
- > 60 % gebouw – specifieke ontwikkeling
- Nood aan automatisering!

Automatisering

- Eigen werk
- Voorlopige resultaten
- Vooruitzichten

Gebouw

- BIM
- Plannen

➤ BIM -> Modelica:

- Remmen, P., Cao, J., Ebertshäuser, S., Frisch, J., Lauster, M., Maile, T., ... van Treeck, C. (2015). An open framework for integrated BIM-based building performance simulation using Modelica. In J. Mathur & V. Garg (Eds.), *Building Simulation 2015* (pp. 379–386). Hyderabad, India.

Computer model

- Modelica
- IDEAS

Regelaarmodel

- Custom
- JModelica



Bron: Femke Toele

➤ IDEAS:

- Doorontwikkeling modellen

➤ IDEAS-model -> regelaarmodel (custom)

- Jorissen, F., & Helsens, L. (2016). Towards an Automated ToolChain for MPC in Multi-zone Buildings. In *International High Performance Buildings Conference*. West-Lafayette, Indiana.

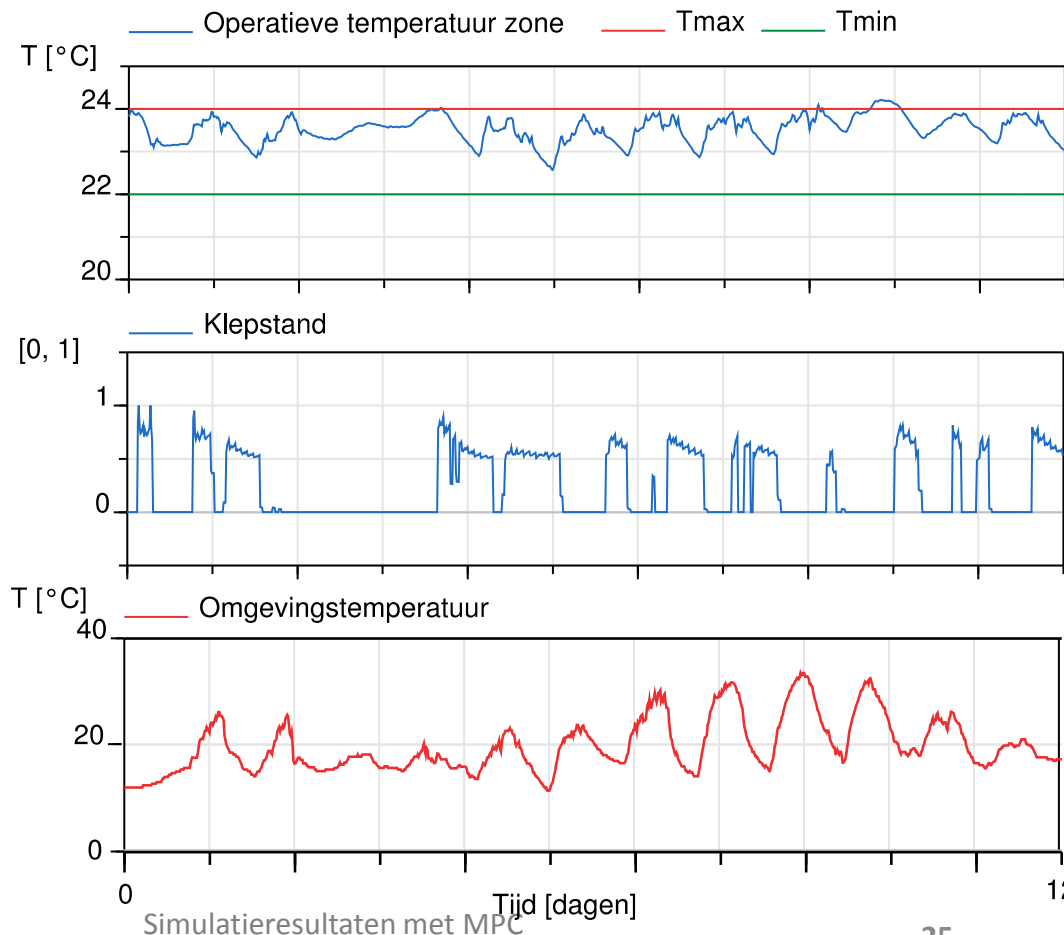


› Solarwind

- › 4 verdiepen
- › Hybride productie en emissie
- › Lucht, BKA
- › Lineair probleem
- › horizon 24 * 1u

› Resultaten

- › besparing +- 30 % (simulatie)



➤ JModelica – framework

- niet-lineaire problemen
- efficiënte implementatie
- open-source
- generisch



Bron: <http://www.jmodelica.org>

➤ Potentieel eenvoudige implementatie MPC

- Energiebesparing
- Minder commissioning
- Interacties ontwerpfase
 - Voorspelling energiegebruik
 - Optimale dimensionering
- Verhoogd comfort

➤ Integratie fout-detectie

- Smart-grid ready
- ...

Referenties

- Váňa, Z., Cigler, J., Široký, J., Žáčková, E., & Ferkl, L. (2014). Model-based energy efficient control applied to an office building. *Journal of Process Control*, 24(6), 790–797. <http://doi.org/10.1016/j.jprocont.2014.01.016>
- Cigler, J., Gyalistras, D., Siroky, J., Tiet, V.-N., & Ferkl, L. (2013). Beyond Theory: the Challenge of Implementing Model Predictive Control in Buildings. *Clima 2013 - 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC - “Energy Efficient, Smart and Healthy Buildings,”* 1008–1018.
- Remmen, P., Cao, J., Ebertshäuser, S., Frisch, J., Lauster, M., Maile, T., ... van Treeck, C. (2015). An open framework for integrated BIM-based building performance simulation using Modelica. In J. Mathur & V. Garg (Eds.), *Building Simulation 2015* (pp. 379–386). Hyderabad, India.
- Jorissen, F., & Helsen, L. (2016). Towards an Automated ToolChain for MPC in Multi-zone Buildings. In *International High Performance Buildings Conference*. West-Lafayette, Indiana.
- Picard, D., Jorissen, F., & Helsen, L. (2015). Methodology for Obtaining Linear State Space Building Energy Simulation Models. In *11th International Modelica Conference* (pp. 51–58). Hyderabad, India. <http://doi.org/10.3384/ecp1511851>
- Gwerder, M., Gyalistras, D., Sagerschnig, C., Smith, R. S., & Sturzenegger, D. (2013). Final Report : Use of Weather And Occupancy Forecasts For Optimal Building Climate Control – Part II : Demonstration (OptiControl-II).

Vragen?



32 (0)16 37 79 82



filip.jorissen@kuleuven.be



Celestijnenlaan 300 bus 2421, 3001 Leuven