

Uporaba modela v okolju Matlab-Modelica za analizo in načrtovanje vodenja toplotnih tokov v stavbah

Borut Zupančič, Anton Sodja

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, 1000 Ljubljana
Slovenija
E-pošta: borut.zupancic@fe.uni-lj.si

Modelling in Matlab-Modelica for Analysis and Control Design of Thermal Flows in Buildings

The paper deals with an analyse and control design of thermal flows in buildings. With a complex room model which was developed in Dymola-Modelica environment we made several open loop and closed loop experiments using a very efficient combination of Matlab-Simulink and Dymola-Modelica environments. Namely Dymola-Modelica is superior for 'physical modelling'. On the other hand Matlab-Simulink is superior for the design of control schemes but also for more sophisticated analyse and design experimentations: linearization, optimization, control design. The model itself is not described (see references), so the emphasise is given to the experimenting possibilities using the room model. On the bases of open loop analyse of the model simple control algorithms (proportional and proportional-integral) for indoor temperature were developed and tested for the reference and disturbance elimination modes. The results confirm the usefulness of the model and the whole experimental environment as well. Finally some ideas for the future work are given.

1 Uvod

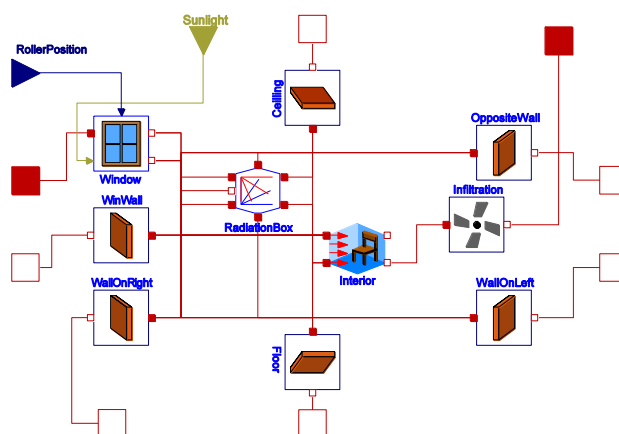
Harmonizacija toplotnih in svetlobnih tokov v stavbah je aktualna tematika raziskav in se tudi uvršča med prednostna področja raziskav v programu Obzorja 2020. Z raziskavami smo skupaj s sodelavci Fakultete za gradbeništvo in geodezijo začeli pred 15 leti. Takrat smo tudi razvili kompleksni model toplotnih tokov (vključno s sevanjem) v okolju Matlab-Simulink [1, 2]. Za potrebe validacije modeliranja smo zgradili pomanjšano sobo (kubične oblike, dimenzija 1 m, eno okno). Spoznali pa smo tudi, da okolje Simulink ne daje možnosti za učinkovito razširjanje modelov, saj zaradi slabe objektne orientiranosti ne omogoča gradnjo knjižnic z ponovno uporabljivimi komponentami.

V devetdesetih letih pa so se zelo dobro razvili novi koncepti večdomenskega OO modeliranja predvsem z razvojem okolja Dymola in jezika Modelica [3, 4, 5, 6]. Zato smo tudi mi naš model sobe na novo zgradili v okolju Dymola oz. z jezikom Modelica. Pretežno smo

uporabili standardno knjižnico jezika Modelica in dodali nekaj lastnih razvitih modelnih razredov. Rezultate smo objavili v [7,8,9,10].

Osnovni način modeliranja v jeziku Modelica je gradnja modela hierarhično in objektno. Začnemo z najenostavnejšimi komponentami, ki se pretežno nahajajo v standardnih knjižnicah in iz njih gradimo kompleksnejše komponente, dokler ne zgradimo celotnega modela. Pri tem uporabljamo grafični (ikonski) način modeliranja ali pa tekstovni (enačbeni) način. Oba načina lahko tudi učinkovito kombiniramo.

Ustrezni model sobe v jeziku Modelica prikazuje slika 1. Lahko opazimo modelne razrede za stene, okno, strop, tla itd. V obzir smo vzeli vse načine prenosa toplote: prevajanje, konvekcijo in sevanje. Sončno sevanje skozi okno in medsebojno sevanje sten in okna predstavljajo najzahtevnejši del modeliranja.

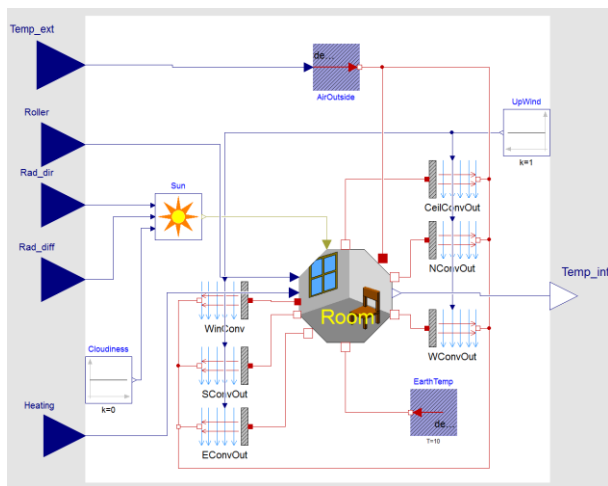


Slika 1. Model sobe v jeziku Modelica.

2 Priprava modela v jeziku Modelica za uporabo v okolju Matlab-Simulink

Dymola-Modelica je zelo uspešno okolje za t.i. 'fizikalno modeliranje', vendar ni tako učinkovito za izvajanje bolj zahtevnih eksperimentov. (npr. optimizacija, linearizacija, analiza ustaljenega stanja, ...). V te namene je okolje Matlab primernejše, zato smo se odločili, da bomo 'fizični' del modela vključili kot Modelica blok v Simulink shemo. Pravzaprav je bilo treba vrhnjemu modelu v jeziku Modelica dodati

Simulinku kompatibilne priključke. Tako pripravljen vrhni model v jeziku Modelica prikazuje slika 2. Pripravili smo pet vhodov (zunanja temperatura, položaj rolete-senčila, direktno sončno sevanje, difuzno sončno sevanje in dodatno ogrevanje/ohlajenje) and en izhod (notranja temperatura). Nato smo pripravili za potrebe eksperimentiranja primerno Simulink shemo, ki je vključevala zgoraj opisani Modelica blok. Modelica blok je potrebno prevesti znotraj okolja Simulink pred izvajanjem eksperimentov v okolju Matlab-Simulink.



Slika 2. Vrhni model v jeziku Modelica: vključuje model sobe in kompatibilne priključke za povezovanje v okolju Simulink.

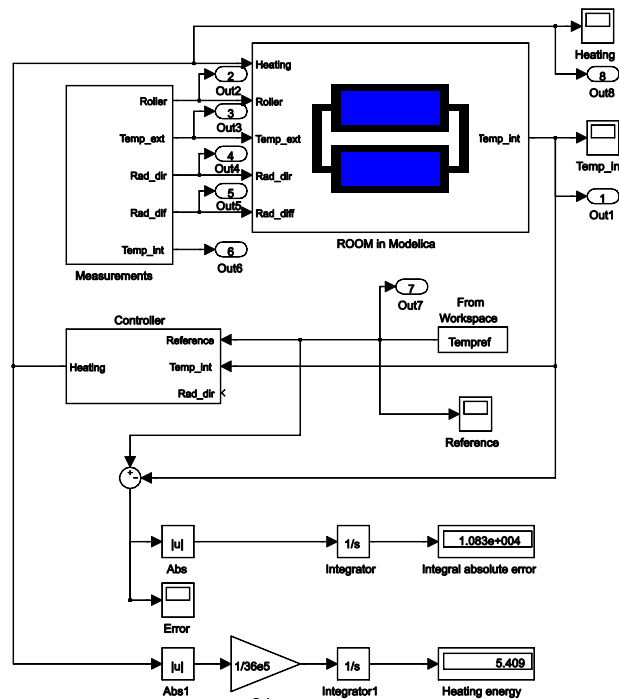
3 Načrtovanje vodenja

V poglavju bomo opisali uporabo modela za načrtovanje vodenja. Čeprav je končni cilj harmonizacija toplotnih in svetlobnih tokov, bomo na tem mestu opisali nekaj eksperimentov za regulacijo notranje temperature z dodatnim ogrevanjem/ohlajanjem. Enozančni regulator je minimiziral pogrešek med želeno in dejansko temperature v prostoru. Pred tem smo izvedli tudi številne odprtozančne eksperimente. Uporabljali smo razne testne signale. Konstante, stopničaste spremembe pa tudi signale pridobljene z dejanskimi meritvami na testni sobi. Regulatorju smo razen običajnih vhodov – želena temperatura in dejanska temperatura, dodali tudi signal direktnega sončnega sevanja, saj to omogoča izboljšanje vodenja z vključitvijo vnaprejšnje regulacije. Slika 3 prikazuje shemo v okolju Simulink za eksperimentiranje. Shema vključuje tudi izračunavanje cenilke, s pomočjo katere učinkovito ročno ali avtomatsko uglašujemo regulatorje.

Regulacija P

V prvem eksperimentu smo uporabili proporcionalni regulator z ojačenjem $k_p = 50$. Z blokom FromWorkspace smo modelirali spremenljivo želeno temperaturo v prostoru. Zaradi regulacije P je prihajalo

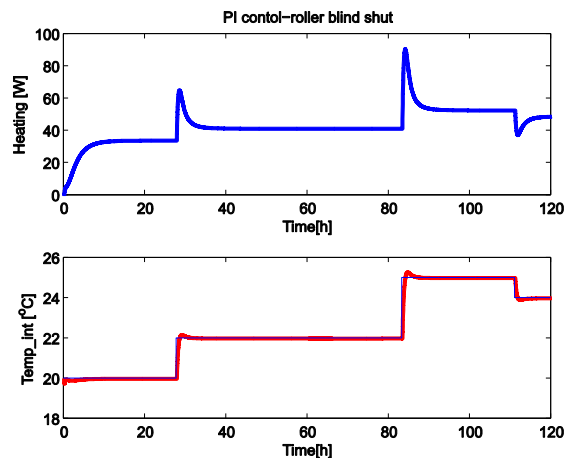
do ustaljenega pogreška in potrebno je bilo precejšnje ojačenje, da smo zmanjšali pogrešek. Le tega smo zmanjšali tudi z vnaprejšnjo regulacijo: regulirnemu signal smo superponirali signal 20W.



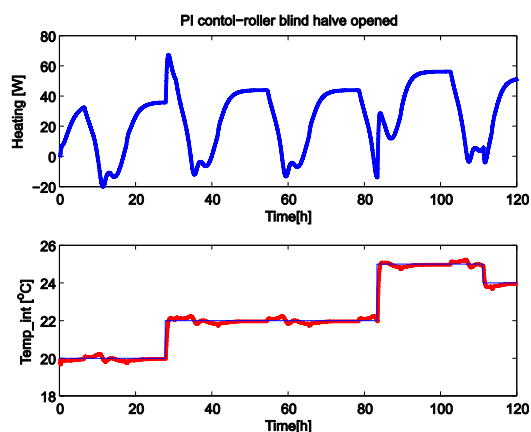
Slika 3. Simulink shema z Modelica blokom za načrtovanje vodenja

Regulacija PI

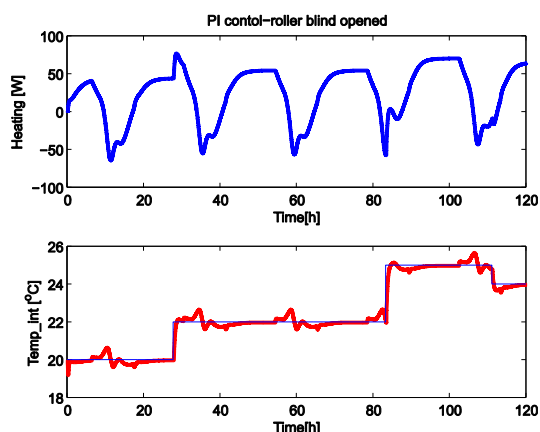
S proporcionalno-integrirnim regulatorjem smo lahko znatno znižali ojačenje. Nastavili smo ojačenje $k_p=2$ in integrirno ojačenje $k_i=0.2$. V vseh treh primerih (slike 4, 5, 6) je bil ustaljeni pogrešek minimalen (največ. 0.6°C – pri povsem odprti roleti). Tudi regulirni signali so manjši kot v primeru regulacije P (maks. 90W).



Slika 4. Vodenje PI, povsem zaprto senčilo.



Slika 5. Vodenje PI, senčilo 50% odprto.



Slika 6. Vodenje PI, povsem odprto senčilo.

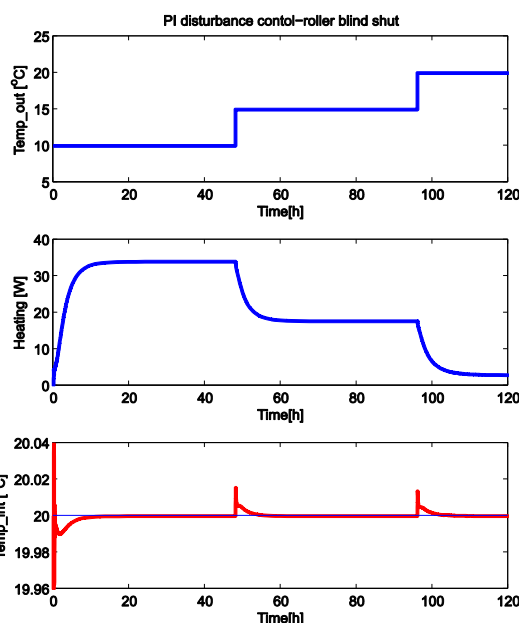
V naslednjem eksperimentu smo testirali sistem vodenja (s poprej uglasenimi parametri) pri odpravljanju motenj. Zelena temperatura je bila 20°C, zunanja temperatura pa se je povečala za 5°C vsake dva dni. Slika 7 prikazuje signal ogrevanja in notranjo temperaturo. Izračunali smo tudi porabo energije v pet dnevnem intervalu: 2.53 kWh. Čeprav je zelena temperatura 20°C in zunanja temperatura 20°C, pa vseeno potrebujemo nekaj ogrevanja, ker je v modelu nastavljena temperatura terena (tal) 10°C.

Slika 8 prikazuje regulirni signal (signal ogrevanja) in notranjo temperaturo pri 50% odprtem senčilu. Čeprav je temperatura zelo blizu želene vrednosti, se signal ogrevanja spreminja zaradi spremenljivega sončnega sevanja (sevanje je sicer nastavljeno v eksperimentih konstantno - 300W/m², vendar se dejansko sevanje spreminja zaradi spremenljive pozicije sonca v 24h). Pet dnevna poraba energije je bila 2.3kWh.

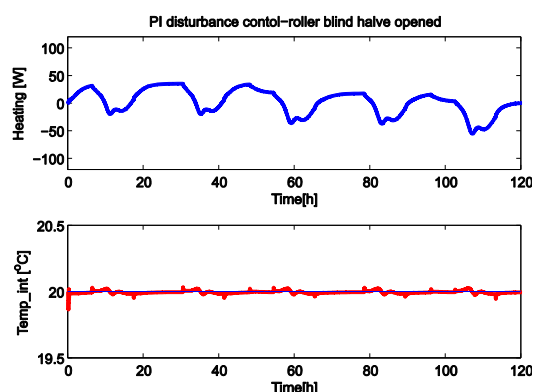
Slika 9 prikazuje podobno situacijo pri povsem odprtem senčilu. Pet dnevna poraba v tem primeru je bila 3.6 kWh. To je več kot v prejšnjih primerih, ker je bilo potrebno več ohlajanja zaradi močnejšega sončnega sevanja.

Slika 10 prikazuje signale ob merjenih vhodnih signalih: direktno in difuzno sevanje ter zunanja temperatura so bili posneti v petdnevem časovnem intervalu na testnem objektu. Regulator PI s prej opisanimi nastavitvami smo uporabili za regulacijo notranje temperature. Občasno smo spreminjali tudi

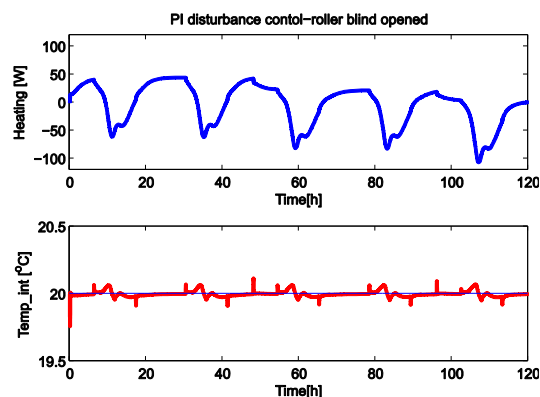
odprtost senčila, Zadnja dva diagrama na sliki 10 prikazujeta regulirni (ogrevalni) in regulirani signal (notranjo temperaturo). Želena temperaturo smo stopničasto spreminjali (od 15°C na 20°C, 25°C in ponovno na 20°C).



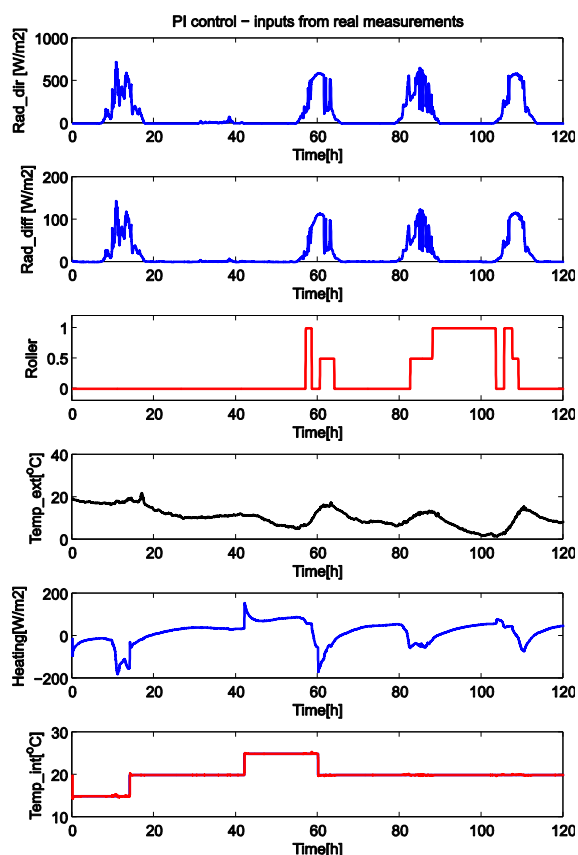
Slika 7. Odpravljanje motenj z regulatorjem PI: senčilo je povsem zaprto.



Slika 8. Odpravljanje motenj z regulatorjem PI: senčilo je 50% odprto.



Slika 9. Odpravljanje motenj z regulatorjem PI: senčilo je povsem odprto.



Slika 10. Vodenje PI - vhodni signali so realne meritve.

4 Zaključek

Rezultati eksperimentiranja so potrdili uporabnost modela sobe in uporabljenega eksperimentalnega okolja. Seveda je še veliko drugih možnosti za koristno uporabo modela. Model bi radi še izboljšali s še bolj verno validacijo, predvsem pa bi ga radi validirali na bolj realnih objektih. Pokazali smo, da več domensko OO modeliranje resnično pomeni veliko prednost pred bolj konvencionalnimi pristopi. Razen že poudarjenih prednosti je Modelica dosti primernejše modelersko okolje pri interdisciplinarnih projektih, saj omogoča boljše razumevanje modela tudi tistim, ki niso modelerski specialisti. Modelica omogoča tudi učinkovito kombiniranje grafičnega in tekstovnega modeliranja, kar je npr. nemogoče pri okolju Simulink. Omenim pa lahko čisto osebno izkušnjo: motivacija študentov pri uporabi jezika Modelica je bistveno večja kot pri uporabi okolja Simulink. Seveda pa ima Modelica tudi slabosti. Ena največjih je ta, da prevajalnik generira zelo zapletene in kompleksne prevedene modele, ki dostikrat prinašajo velike numerične zaplete, ki jih je skoraj nemogoče ustrezno debugirati. Zato je potreba po poenostavljanju modelov na vseh nivojih še bolj pomembna kot pri bolj konvencionalnih modelerskih pristopih in okoljih.

Tudi model prostora je v našem primeru zelo kompleksen. Začetno modeliranje je potekalo pod vodstvom fizikov, ki niso razmišljali o možnih numeričnih zapletih ampak so predvsem skušali

vkjučiti v model čim več detajlov. Zato bi bila nujno potrebna bolj inženirska revizija enačb oz. modelnih komponent, tako da bi izključili detajle, ki malo prispevajo k opazovanim spremenljivkam.

V zadnjem času smo se tudi precej ukvarjali z bolj avtomatiziranim poenostavljanjem modelov v jeziku Modelica. Ker so modeli narejeni z grafičnim načinom (predvsem na višjih nivojih) in z tekstovnim – enačbnim načinom (predvsem na nižjih nivojih), smo proučevali poenostavljanje obeh načinov. Vpeljali smo rangiranje modelnih komponent in členov v enačbah. Na ta način dobi uporabnik informacijo o tem, katere dele je možno poenostaviti.

V model vključujemo tudi svetlobo in po boljšem validiranju in poenostavitvi pričakujemo še širšo uporabnost modela.

Literatura

- [1] I. Škrjanc, B. Zupančič, B. Furlan, A. Krainer, "Theoretical and experimental fuzzy modelling of building thermal dynamic response. Building and Environment", Vol. 36, No. 9, pp. 1023-1038, 2001.
- [2] M. Lah Trobec, B. Zupančič, J. Peternej, A. Krainer, "Daylight illuminance control with fuzzy logic", Solar Energy, Vol. 80, pp. 307-321, 2006.
- [3] F.E. Cellier, "Continuous system modeling," Springer Verlag, 1991.
- [4] P. Fritzson, "Principles of object oriented modelling and simulation with Modelica 2.1", IEEE Press, John Wiley&Sons Inc., Publication, USA, 2004
- [5] Dymola, "Multi-engineering modelling and simulation", Users manual, Ver. 7.3. Dessault System, Dynasim AB, Sweden, Lund, 2010.
- [6] Modelica association, Modelica specification, version 3.1. <http://www.modelica.org/documents/ModelicaSpec31.pdf>, 2009
- [7] A. Sodja and B. Zupančič. "Some aspects of thermal and radiation flows modelling in buildings using Modelica", Proceedings of 10th International Conference on Computer Modelling and Simulation UKSIM/EUROSIM, Cambridge, UK, pp. 637-642, 2008
- [8] A. Sodja and B. Zupančič, "Modelling thermal processes in buildings using an object-oriented approach and Modelica", Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 17, Issue 6, pp. 1143-1159, 2009
- [9] B. Zupančič and A. Sodja. "Object oriented modelling of variable envelope properties in buildings", WSEAS transactions on systems and control, vol. 3, no. 12, pp. 1046-1056, 2008.
- [10] B. Zupančič, A. Sodja, "Computer-aided physical multi-domain modelling : some experiences from education and industrial applications", Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 33, pp. 45-67, 2013.