

Nihanje vrha avtodvigala

Justin Činkelj(1), Matjaž Mihelj(1), Marko Munih(1),

Miha Šantavec(2), Barbara Gorenc(2), Danijel Zupančič(2)

(1) Fakulteta za elektrotehniko, Univeza v Ljubljani, Tržaska 25, Ljubljana, Slovenija

(2) Trimo d.d., Prijateljeva cesta 12, Trebnje, Slovenija

justin.cinkelj@robo.fe.uni-lj.si, matjaz.mihelj@robo.fe.uni-lj.si, marko@robo.fe.uni-lj.si,

miha.santavec@trimo.si, barbara.gorenc@trimo.si, danijel.zupancic@trimo.si

Sway of a truck crane

Automation and robotization are two of the trends in construction industry. Company Trimo d.d. produces and assemble montage elements. Truck crane is often used during assembly. Through (at least partial) automation number of required workers could be reduced. Sway of a truck crane has been evaluated to verify suitability of a crane for automation.

1 Uvod

Automatizacija in robotizacija v gradbeništvu sta dva izmed trendov v tej gospodarski panogi. Najdaljšo tradicijo ima Japonska, v veliki meri zaradi horizontalne in vertikalne integracije najpomembnejših gradbenih podjetij. V [1] je predstavljen ABCS (automated building construction system) sistem gradnje. SCF (super construction factory) gradi vsako nadstropje posebej. Ko je nadstropje končano, SCF spleza po jeklenih stebrih in začne graditi naslednje nadstropje. Streha, ki je sestavni del SCF, je pomembna prednost, ker ščiti delavce pred neugodnim vremenom (dež, sneg, vročina). V [2] je opisan robotski sistem za varjenje nosilne jeklene konstrukcije. Težave z doseganjem potrebnih toleranc so zahtevale uporabo natančnega merilnega sistema, osnovanega na laserskih merilnikih.

3D model zgradbe je bil v [3] uporabljen kot osnova za vodenje postavitve panelov na konstrukcijo. Vzorčna zgradba je bila sestavljena iz treh jeklenih stebrov in treh betonskih stenskih panelov. Avtodvigalo je avtomatsko postavilo panel, operator pa ga je

ročno pritrdil na konstrukcijo. Tolerance so preverili z laserskim 3D skenerjem Acman 100. Robotski sistem za vzdrževanje mostov je predstavljen v [4]. Hidravlična roka na tovornjaku deluje avtonomno, če je na voljo CAD načrt mostu. Sicer je uporabljena telemanipulacija s pomočjo kamer in sonarjev. NIST RoboCrane je paralelni robotski sistem, podoben Stewartovi platformi, le da je obešen na 6 ali 8 jeklenih vrvi [5]. Uporabljen je bil za testna sestavljanja jeklenih konstrukcij [6, 7].

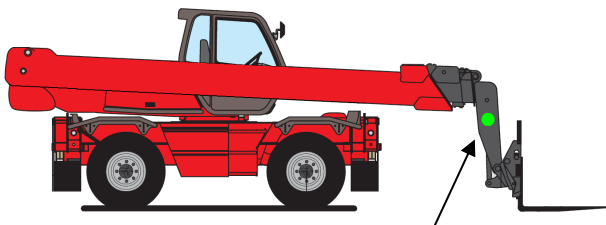
Podjetje Samsung je na osnovi manjšega bagerja razvilo robota za sestavljanje stenskih panelov [8, 9]. Avtomatiziran bager s 3 DOF (degree of freedom) mikromanipulatorjem postavi panel na sedišče, delavci pa ga nato ročno pritrdijo. Projekt WASCOR [10] se je ukvarjal s sestavljanjem stenskih, stropnih in talnih elementov pri gradnji notranjih prostorov. Trikotna, samocentrična vodila so olajšala nalogo pozicioniranja stenskih elementov na tla, t.i. hitro spojni elementi (quick acting joints) pa samo sestavljanje. Tudi v projektu FutureHome [11, 12] je poudarjen pomen samocentričnih konektorjev in primerne tehnologije spajanja elementov.

Podjetje Trimo se ukvarja s proizvodnjo motažnih elementov. Poleg proizvodnje izvajajo tudi montažo elementov. Med montažo so elementi obešeni na jekleno vrv, ta pa na stolpno dvigalo ali avtodvigalo. Montaža je proces, ki zahteva sodelovanje večje skupine delavcev. S pomočjo (vsaj delne) automatizacije bi lahko zmanjšali število potrebnih delavcev. Nihanje vrha dvigala in nanj pritrjenega montažnega elementa lahko oteži ali celo prepreči postavitvev montažnega elementa na

zgradbo. Zato smo kot del raziskav o možnostih za avtomatizacijo opravili meritve nihanja vrha avtodvigala.

2 Merilni postopek

Pozicijo vrha avtodvigala smo merili z merilnim sistemom Optotrak. Optotrak meri s posebnimi kamerami pozicijo aktivnih infrardečih markerjev. Dosegljive natančnosti so od 0.1 do 0.3 mm. Primerna oddaljenost med kamero in markerjem je 2 do 6 m. Vzorčna frekvenca je nastavljiva, uporabili smo 100 Hz. Slika 1 prikazuje mesto namestitve markerja na avtodvigalu.



Slika 1: Mesto meritve (zelena pika) pozicije vrha avtodvigala Manitou MRT 2540.

Uporabili smo tudi 3 osni pospeškometer, zgrajen na osnovi čipa ADXL203. ADXL203 daje na izhodu analogno napetost, linearno odvisno od pospeška. Napetosti smo zajemali s pomočjo analognih vhodov sistema Optotrak. Pospeške smo merili na vrhu dvigala, približno na istem mestu kot je bil postavljen Optotrak marker.

Uporabili smo dvigalo Manitou MRT 2540 z dosegom 24 m in največjo nosilnostjo 4.5 t. Dvigalo je upravljal operator. Ker Optotrak slabo deluje v prisotnosti močnejše sončne svetlobe, smo meritve izvedli v zaprti hali z betonskimi tlemi. Med meritvami je bilo dvigalo postavljeno na oporne noge, raztegnjene na približno $\frac{3}{4}$ dolžine. Dolžina teleskopa je bila 15.0 m.

Pri vsaki meritvi je operator premaknil dvigalo iz mirovanja v začetni legi v končno lego, počakal, da vrh izniha (ali da amplituda znatno upade), premaknil dvigalo nazaj v

začetno lego in znova počakal. Nihanje vrha nas je zanimalo pri sledečih pogojih:

- vertikalno in horizontalno gibanje,
- počasno in hitro gibanje,
- neobremenjen in obremenjen vrh (breme z maso 330 kg).

Nobenih težav ni bilo pri ločevanju horizontalnega in vertikalnega gibanja, saj sta temu namenjeni dve ločeni krmilni palici. Pri hitrosti gibanja je operator izvajal počasne (natančne) in hitre (nenatančne) premike. Tu so se pojavile težave, saj je občasno operator moral hitro zavirati, da je dvigalo pravočasno ustavil. Trajektorije so zato relativno slabo ponovljive. Vseeno pa lahko iz rezultatov dobimo vpogled v karakteristike nihanja pod različnimi pogoji.

3 Analiza podatkov

Zanima nas amplituda nihanja, frekvenca nihanja in hitrost upada amplitude nihanja (dušenje nihanja). Amplituda nihanja je definirana kot polovica razlike med največjo in najmanjšo pozicijo, takrat ko vrh dvigala niha okrog ravnovesne lege. Dušenje nihanja bomo opisali kot razmerje amplitude nihanja na začetku in po času 10 sekund.

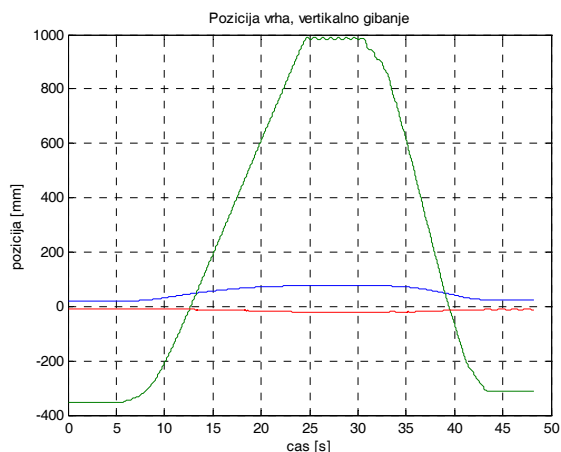
Iz izmerjenih pospeškov na vrhu smo poizkusili določiti amplitudo nihanja. Uporabili smo observator stanj. Gibanje vrha dvigala smo opisali kot harmonično nihanje. Vzbujanja sistema (gibanja krmilne ročice, ki jo premika operator) ne poznamo, zato ga ne moremo upoštevati. Model sistema se zato odziva samo na začetno stanje (začetna amplituda in hitrost). Časovni potek ocenjene amplitude nihanja smo primerjali s časovnim potekom izmerjene amplitude nihanja.

Podatki so ločeno predstavljeni za vertikalno in horizontalno gibanje. Na grafih pripadajo zelene trajektorije vertikalnemu gibanju, rdeče horizontalnemu gibanju, modre pa gibanju v smeri teleskopa.

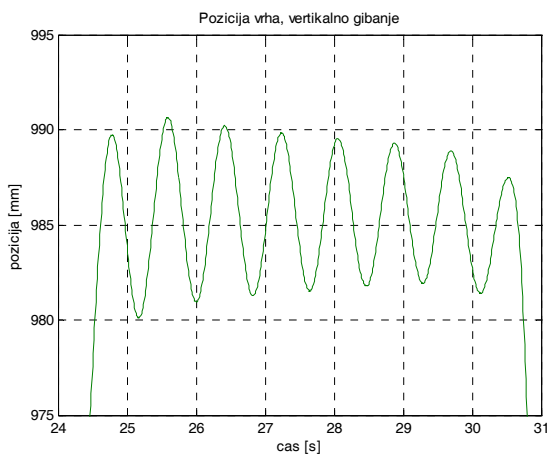
4 Rezultati

4.1 Vertikalno nihanje

Sliki 2 in 3 prikazujeta primer meritve pozicije pri gibu v vertikalni smeri. V času od 0 do 5 sekund dvigalo miruje, nato se giblje navzgor, ob času 25 sekund se ustavi ter niha do časa 30 sekund. Potem sledi gibanje navzdol do časa 43 sekund, nato pa dvigalo znova niha.



Slika 2. Gibanje vrha dvigala v vertikalni smeri.



Slika 3. Gibanje vrha dvigala v vertikalni smeri. Izsek prikazuje samo nihanje okrog ravnovesne lege. Amplituda je 5.3 mm, frekvenca pa 1.22 Hz.

Tabela 1 prikazuje izračunane numerične parametre nihanja. Amplituda nihanja je za počasne gibe med 0.8 in 5.3 mm, za hitre pa med 1.3 in 14.5 mm. V splošnem je pri hitrem gibanju amplituda nihanja večja. Frekvenca je 1.22 Hz za neobremenjeno dvigalo in 1.07 Hz za obremenjeno dvigalo. Frekvenca nihanja se drugače zelo malo spreminja. Amplituda

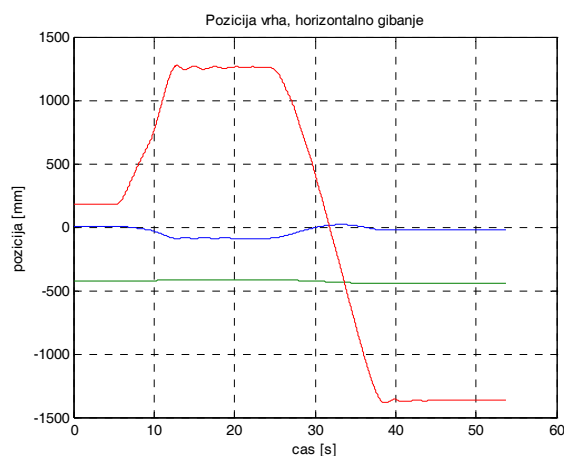
nihanja v 10 sekundah upade na 39 do 76 % začetne amplitude.

Hitrost	Breme [kg]	Amplituda [mm]	Frekvenca [Hz]	Amplituda po 10 s [%]
Počasi	0	5.3	1.22	
Počasi	0	0.8	1.23	
Počasi	0	1.9	1.23	69
Počasi	0	2.9	1.23	76
Počasi	0	3.0	1.23	62
Počasi	0	2.5	1.23	73
Hitro	0	4.8	1.22	47
Hitro	0	14.5	1.21	39
Hitro	0	3.7	1.22	55
Hitro	0	3.2	1.23	54
Počasi	330	2.5	1.07	72
Počasi	330	1.8	1.07	72
Počasi	330	3.2	1.07	77
Hitro	330	1.3	1.08	71
Hitro	330	5.5	1.07	51
Hitro	330	8.7	1.07	63

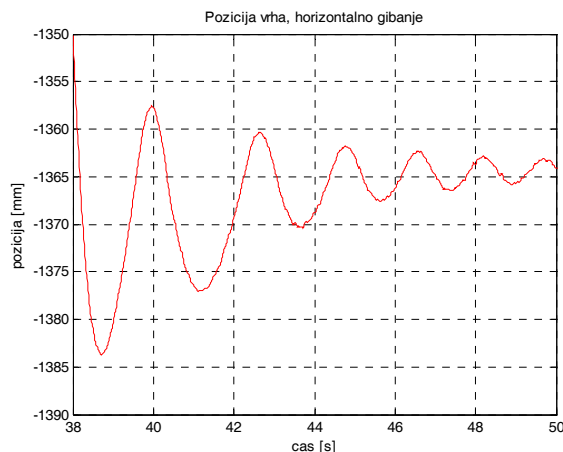
Tabela 1. Izmerjeni parametri nihanja v vertikalni smeri, pri hitrem/počasnem gibanju in pri obremenjenem/neobremenjenem dvigalu.

4.2 Horizontalno nihanje

Sliki 4 in 5 prikazujeta primer nihanja v horizontalni smeri. V primerjavi z nihanjem v vertikalni smeri je sedaj amplituda večja, frekvenca pa nižja. Primerjava med sliko 3 in 5 pokaže, da horizontalno nihanje iznihava hitreje kot vertikalno nihanje.



Slika 4. Gibanje vrha dvigala v horizontalni smeri.



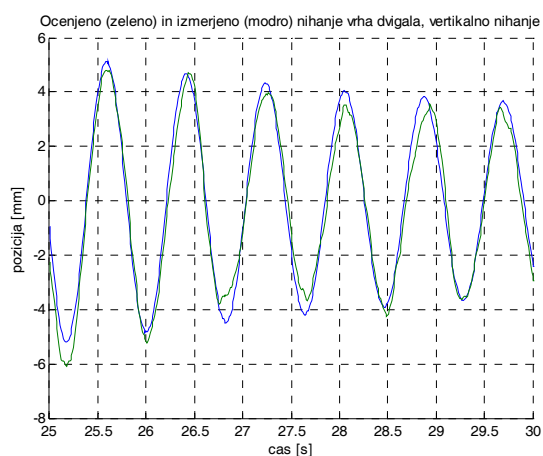
Slika 5. Gibanje vrha dvigala v horizontalni smeri. Izsek prikazuje samo nihanje okrog ravnovesne lege. Amplituda je 21.1 mm, frekvenca pa 0.4 Hz.

Hitrost	Breme [kg]	Amplituda [mm]	Frekvenca [Hz]	Amplituda po 10 s [%]
Počasi	0	17.2	0.41	7.4
Počasi	0	13.1	0.40	10.9
Počasi	0	20.0	0.42	10.4
Počasi	0	13.8	0.38	9.3
Počasi	0	16.7	0.40	7.9
Počasi	0	18.5	0.43	
Hitro	0	28.0	0.52	23.6
Hitro	0	43.6	0.58	29.9
Hitro	0	25.0	0.49	20.2
Hitro	0	32.6	0.53	19.6
Hitro	0	27.4	0.51	18.7
Hitro	0	28.2	0.51	25.9
Počasi	330	23.2	0.43	24.6
Počasi	330	30.5	0.48	32.5
Počasi	330	17.3	0.43	13.5
Počasi	330	20.6	0.41	12.6
Počasi	330	5.6	0.42	6.8
Počasi	330	20.6	0.41	26.2
Hitro	330	40.1	0.51	38.9
Hitro	330	21.8	0.42	28.7
Hitro	330	37.3	0.51	36.6
Hitro	330	39.6	0.50	40.2
Hitro	330	41.9	0.52	37.4
Hitro	330	22.3	0.43	

Tabela 2. Izmerjeni parametri nihanja v horizontalni smeri, pri hitrem/počasnem gibanju in pri obremenjenem/neobremenjenem dvigalu.

Tabela 2 prikazuje numerične parametre nihanja. Amplituda nihanja je med 5.6 in 30.5 mm za počasno gibanje ter med 21.8 in 43.6 mm za hitro gibanje. Frekvenca je večinoma med 0.4 in 0.5 Hz. Amplituda nihanja upade v 10 sekundah na 7 do 40 % začetne vrednosti.

Na sliki 6 sta prikazana izmerjeno in iz pospeškometra ocenjeno nihanje vrha dvigala. Oceno nihanja dobimo z uporabo izmerjenega pospeška in observatorja stanj. Za nihanje v vertikalni smeri je napaka do ± 2 mm, v horizontalni smeri pa ± 6 mm.



Slika 6. Primerjava izmerjenega (modro) in ocenjenega (zeleno) nihanja vrha dvigala. Napaka za vertikalno nihanje je dovolj majhna, da lahko iz ocene določimo, ali je varno nasloniti montažni element na zgradbo.

5 Zaključek

Povzamemo lahko, da ima nihanje v horizontalni smeri v primerjavi z nihanjem v vertikalni smeri večjo začetno amplitudo, vendar pa hitreje upada. Za amplitude nihanja velikosti nekaj milimetrov pričakujemo, da naj ne bi bile problematične. Ko se montažni element dotakne zgradbe, pričakujemo dodatno dušenje, kar naj bi izničilo nihanje. Kdaj se smemo dotakniti stavbe, lahko določimo s pomočjo izmerjenega pospeška in observatorja stanj.

Predstavljene meritve nam omogočajo delen vpogled v karakteristike nihanja vrha dvigala pri gibanju iz točke v točko. Pri uporabi na gradbišču so pogoji nekoliko drugačni. Dvigalo

je postavljeno na mehkejšo podlago (zemlja ali pesek), kot je v meritvah uporabljen beton. Dvigalo ni v zaprtem prostoru, zato lahko veter povzroča dodatno nihanje, ki ga s temi meritvami nismo mogli ovrednotiti. Zato načrtujemo dodatne meritve nihanja, pri čemer pa bomo uporabili samo pospeškometre. Ker ne bomo uporabili na sončno svetlobo občutljivega merilnega sistema Optotrak, bomo lahko meritve izvedli tudi na prostem.

6 Literatura

- [1] Hiroshi Miyakawa, Jyunichi Ochiai, Katsuyuki Oohata, Takashi Shiokawa. Application of automated building construction system for high-rise office building. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2000.
- [2] Kiwamu Nisita, Motoaki Itou, Satoshi Miyaki. Development & application of column-field-welding robot. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2000.
- [3] Pentti Vaha, Klaus Kansala, Rauno Heikkila, Ilkka Kaisto. Use of 3-D product models in construction process automation. Automation in Construction, Maj 1997.
- [4] Steven J. Lorenc, Brian E. Handlon, Leonhard E. Bernold. Development of a robotic bridge maintenance system. Automation in Construction, 9, Maj-Junij 2000.
- [5] Roger Bostelman, Will Shackelford, Fred Proctor, James Albus, Alan Lytle. A tool to improve efficiency in large scale manufacturing. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2002.
- [6] Alan M. Lytle, Kamel S. Saidi, William C. Stone. Development of a robotic structural steel placement system. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2002.
- [7] Alan M. Lytle, Kamel S. Saidi, William C. Stone, Nicholas A. Scott. Towards an intelligent job site: status of the NIST automated steel construction test bed. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2003.
- [8] Seung-Nam You, Seung-Yel Lee, Hyeun-Seok Choi, Chang-Soo Han, Kye-Young Lee, Sang-Heon Lee. Multi-dof (degree of freedom) construction robot for a curtain wall installation of a skyscraper. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2004.
- [9] S. N. Yu, C. H. Choi, S. Y. Lee, C. S. Han, K. Y. Lee, S. H. Lee. The analysis of the curtain wall installation robot: based on the test in the construction site. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2005.
- [10] Masatoshi Handa, Yukio Hasegawa, Hisashi Matsuda, Kinya Tamaki, Kohtarou Matsueda, Tomoyuki Takakuwa, Takumi Onoda, Sigeyuki Kojima. Development of interior finishing unit assembly system with robot: WASCOR IV research project report. Automation in Construction, pages 31–38, March 1996.
- [11] Robert Wing, Brian Atkin. Future Home – a prototype for factory housing. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2002.
- [12] Carlos Balaguer. EU FutureHome project results. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2003.