

## Vrednotenje tehnik za redukcijo podstruktur s fiksnimi in prostimi stiki

Fabian M. Gruber\* – Daniel J. Rixen

Tehniška univerza v Münchnu, Institut za aplikativno mehaniko, Nemčija

Tehnike za redukcijo podstruktur so učinkovita metoda za zmanjševanje velikih modelov, ki se uporabljajo pri analizi dinamičnega vedenja kompleksnih struktur. Najbolj priljubljen pristop je Craig-Bamptonova metoda (1968) s fiksnim stikom, ki temelji na nihajnih oblikah s fiksnim stikom in oblikah omejitve stika. Metode s prostim stikom, kot sta npr. MacNealova (1971) in Rubinova metoda (1975), nasprotno uporabljajo nihajne oblike prostega stika skupaj z oblikami pritrditve. Podstrukture se pri omenjenih metodah sestavljajo z odmiki stikov (glavni sestav). Dvojna Craig-Bamptonova metoda (2004) uporablja enake sestavine kot zgoraj omejeni metodi s prostimi stiki, le da se podstrukture sestavljajo s pomočjo sil na stiku (dvojni sestav). Ta metoda uveljavlja le šibko združljivost stikov med podstrukturami, s čimer se izognemo težavam z zaklepanjem stikov, ki se včasih pojavljajo pri pristopih s primarnimi sestavi in pri uporabi oblik prostega stika. Dvojna Craig-Bamptonova metoda daje v primerjavi z drugimi metodami prostega stika preprostejše reducirane matrike. Te reducirane matrike so redko posejane, podobne kot klasične Craig-Bamptonove matrike. V tem prispevku obravnavamo primarno (klasično) formulacijo Craig-Bamptonove metode, MacNealovo metodo, Rubinovo metodo in dvojno formulacijo Craig-Bamptonove metode. Izpeljava je podana na celovit in dosleden način.

V članku so na kratko predstavljeni in primerjani splošni koncepti Craig-Bamptonove metode (CBM), MacNealove metode (MNM), Rubinove metode (RM) in dvojne Craig-Bamptonove metode (DCBM). Metode so obravnavane na treh primerih.

Uporabljene so bile štiri različne metode podstrukturiranja. Predstavljena je formulacija primarne (klasične) Craig-Bamptonove metode, MacNealove metode, Rubinove metode in dvojna formulacija Craig-Bamptonove metode. Izpeljava je podana na celovit in dosleden način.

Dvojna Craig-Bamptonova metoda daje boljše rezultate kot CBM z enakim številom normalnih oblik na podstrukturo kot osnovo za redukcijo, s primerljivim obsegom računanja in s podobno redko posejanostjo reduciranih matrik. Primerjava metod s prostim stikom pokaže, da se Rubinova metoda odreže nekoliko bolje kot dvojna Craig-Bamptonova metoda, nastale matrike pa so polne. Rubinova in dvojna Craig-Bamptonova metoda zagotavljata bistveno boljše točnost aproksimacije kot MacNealova metoda, medtem ko slednja vedno ustvari popolnoma sklopljene reducirane matrike.

Potrebne so dodatne raziskave negativnih lastnih vrednosti ter njihovega vpliva na nadaljnje korake po redukciji, če ni opravljeno filtriranje negativnih lastnih vrednosti.

Opisane so lastnosti dvojne Craig-Bamptonove metode in ilustriran je dodaten korak filtriranja negativnih lastnih vrednosti med postopkom redukcije. Negativne lastne vrednosti reduciranega dvojnega sestavljenega problema, ki niso fizikalne narave, so neločljivo povezane s procesom redukcije po dvojni Craig-Bamptonovi metodi zaradi šibke združljivosti na stiku med podstrukturami. Filtriranje teh negativnih lastnih vrednosti je odločilni dejavnik odlične kakovosti aproksimacije dvojne Craig-Bamptonove metode. Dodatna računaska obremenitev zaradi tega dodatnega koraka je zanemarljiva z ozirom na učinkovitost metode.

**Ključne besede:** dinamično podstrukturiranje, sinteza oblik komponent, redukcija reda modela, dvojni sestav, Craig-Bamptonova metoda, metoda prostega stika