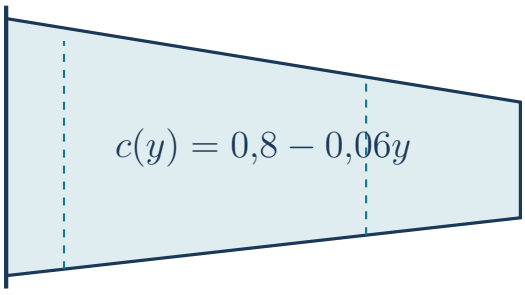
Poređenje dva metoda određivanja brzine torzione divergencije krila

Metod karakterističnog preseka (V134)
i Galerkinov metod

Teorijsko izvođenje, numerička verifikacija
i grafički prikaz rezultata



Tehnička studija – referentni primer trapeznog krila

Oktobar 2026.

Sadržaj

1 Cilj i predmet analize **2**

2 Referentni podaci i geometrija **2**

2.1 Torziona konstanta kutije 3

3 Metod karakterističnog preseka: formulacija V134 **3**

4 Raspodeljena torziona ravnoteža **4**

4.1 Raspodela unutrašnjeg torzionog momenta 5

5 Galerkinov postupak **5**

5.1 Slaba formulacija 6

5.2 Jedna bazna funkcija i Rayleighov količnik 6

5.3 Dve bazne funkcije: eksplicitne matrice 7

5.4 Konvergencija po broju Galerkinovih funkcija 7

6 Detaljno objašnjenje razlike između metoda **8**

6.1 Dva numerička rezultata ne pripadaju istom aproksimacionom modelu 8

6.2 Efekat površine: oba polukrila prema jednom polukrilu 8

6.3 Konstantan naspram raspodeljenog unutrašnjeg torzionog momenta 8

6.4 Jedan reprezentativni ugao naspram raspodele uvijanja 8

6.5 Kvantitativno poređenje 8

6.6 Zašto se η i γ ne prenose direktno u Galerkinov model? 9

7 Kontrole fizičke i numeričke doslednosti **9**

8 Zaključci i preporuka za nastavak **10**

1 Cilj i predmet analize

Upoređuju se dva postupka određivanja kritične brzine torzione divergencije pravog trapeznog krila: (i) pojednostavljeni *metod karakterističnog preseka*, kakav je implementiran u referentnom programu V134, i (ii) *globalni Galerkinov metod*, kojim se aproksimira rešenje diferencijalne jednačine raspodeljene torzione ravnoteže. Cilj je da se razdvoje razlike izazvane fizičkim modelovanjem od onih izazvanih ograničenim brojem aproksimacionih funkcija.

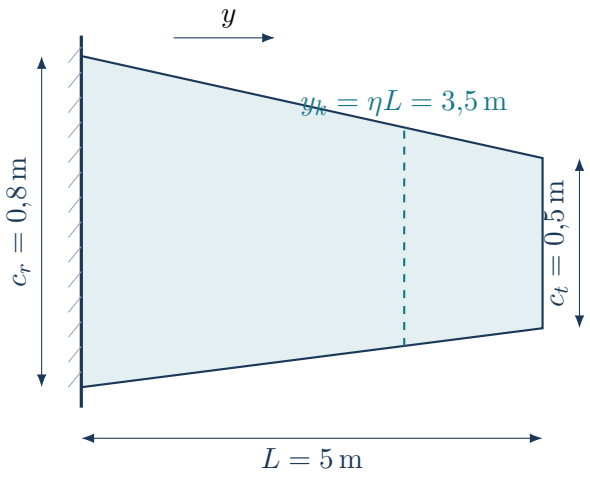
Važna napomena

Pod *verifikacijom* ovde podrazumevamo proveru formula, implementacije i numeričke konvergencije. Rezultat koji numerički odgovara usvojenoj jednačini nije samim tim i *validiran* za realno krilo; za to su potrebni adekvatniji aerodinamički/strukturni modeli ili nezavisni eksperimentalni podaci. Referentni V134 se ovim dokumentom ne menja.

2 Referentni podaci i geometrija

Tabela 1: Zajednički ulazni podaci iz referentnog primera V134.

Parametar	Vrednost
Ukupan raspon i poluraspon	$b = 10\,\mathrm{m}$; $L = b/2 = 5\,\mathrm{m}$
Korena i vršna tetiva	$c_r = 0{,}8\,\mathrm{m}$; $c_t = 0{,}5\,\mathrm{m}$
Položaji ramenjača	$0{,}15c$; $0{,}65c$
Relativna visina kutije	$h/c = 0{,}12$
Debljine zidova kutije	$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 0{,}001\,\mathrm{m}$
Modul klizanja	$G = 2{,}769 \times 10^{10}\,\mathrm{Pa}$
Gustina materijala	$\rho_m = 2\,700\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Gradijent uzgona	$a_g = 1{,}5/(18\pi/180) = 4{,}774648293\,\mathrm{rad}^{-1}$
Relativni ekscentricitet	$e = 0{,}25$
Gustina vazduha	$\rho = 1{,}225\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Položaj karakterističnog preseka	$\eta = 0{,}70$
Empirijska korekcija V134	$\gamma = 0{,}75$



Slika 1: Šema jednog konzolnog polukrila i položaja karakterističnog preseka. Prikaz je geometrijski ilustrativan.

Raspodela tetive je linearna:

$$\boxed{c(y) = c_r + \frac{c_t - c_r}{L} y = 0{,}8 - 0{,}06y, \qquad 0 \le y \le 5 \text{ m}.} \tag{1}$$

Ukupna površina oba polukrila iznosi $S = \frac{1}{2}(c_r + c_t)b = 6{,}5\,\text{m}^2$; površina jednog polukrila je $S/2 = 3{,}25\,\text{m}^2$. Karakteristični presek je na $y_k = \eta L = 3{,}5\,\text{m}$, gde je $c_k = c(y_k) = 0{,}59\,\text{m}$.

2.1 Torziona konstanta kutije

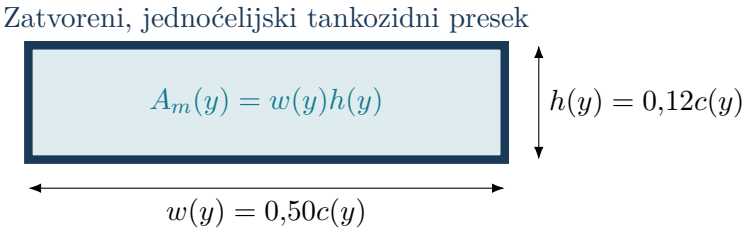
Širina pravougaone tankozidne kutije iznosi $w(y) = (0{,}65 - 0{,}15)c(y) = 0{,}50c(y)$, a visina $h(y) = 0{,}12c(y)$. Površina omeđena srednjom linijom zidova je $A_m = wh = 0{,}06c^2$. Za jednaku debljinu sva četiri zida, Bredt–Bathova formula daje

$$J(y) = \frac{4A_m^2}{\oint ds/t}, \qquad \oint \frac{ds}{t} = \frac{2(w+h)}{t} = 1240c(y), \tag{2}$$

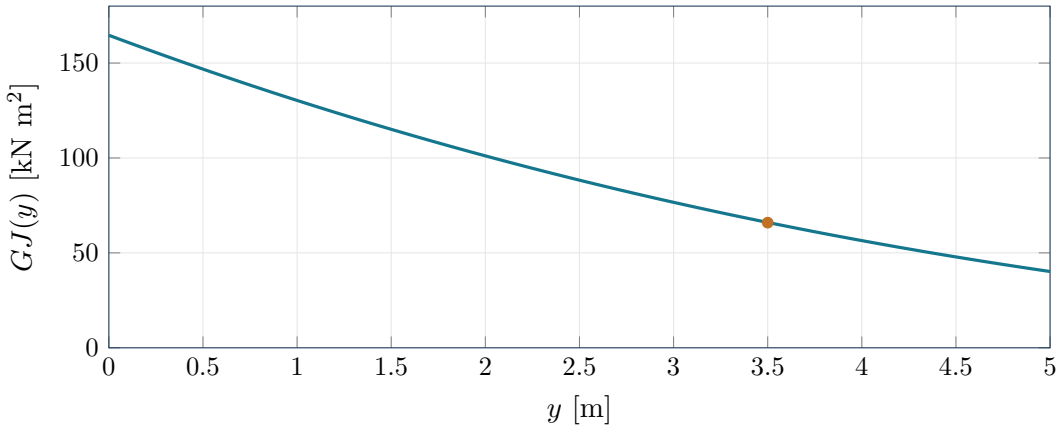
$$J(y) = \frac{4(0{,}06c^2)^2}{1240c} = \boxed{1{,}1612903226 \cdot 10^{-5} c^3(y)\ \text{m}^4}. \tag{3}$$

Koeficijent uz c^3 u ovoj numeričkoj formuli podrazumeva vrednosti u SI jedinicama. Time je

$$\boxed{GJ(y) = 321561{,}2903\,[0{,}8 - 0{,}06y]^3 \quad \text{N m}^2}. \tag{4}$$



Slika 2: Idealizovani pravougaoni torzioni presek i veličine potrebne za Bredt–Bathovu formulu (nije u razmeri).



Slika 3: Raspodela torzione krutosti duž poluraspona; opadanje je srazmerno trećem stepenu tetive.

3 Metod karakterističnog preseka: formulacija V134

Ovaj model uvodi jednu generalizovanu koordinatu, ugao uvijanja θ_k u preseku $y_k = \eta L$. Ekvivalentna strukturna krutost određuje se iz podatljivosti segmenta od korena do y_k, i to pod *konstantnim*

torzionim momentom M_t:

$$\theta_k = M_t \int_0^{y_k} \frac{dy}{GJ(y)}, \qquad \boxed{C_{\theta\theta,k} = \left[\int_0^{y_k} \frac{dy}{GJ(y)}\right]^{-1}}. \tag{5}$$

Za zadatu raspodelu tetive integral je

$$I = \int_0^{3{,}5} \frac{dy}{(0{,}8 - 0{,}06y)^3} = \frac{1}{2 \cdot 0{,}06}\left(\frac{1}{0{,}59^2} - \frac{1}{0{,}8^2}\right) \tag{6}$$

$$= 10{,}918647659, \qquad \boxed{C_{\theta\theta,k} = \frac{G(1{,}1612903226 \cdot 10^{-5})}{I} = 29450{,}652\ \mathrm{N\,m/rad}.} \tag{7}$$

Aerodinamički moment u originalnoj formulaciji V134 predstavljen je kao

$$M_a = q\,S\,a_g\,(ec_k)\,\theta_k, \qquad q = \tfrac{1}{2}\rho V^2, \tag{8}$$

što vodi uslovu $C_{\theta\theta,k} = q_{\mathrm{D}} S a_g e c_k$ i izrazu

$$\boxed{V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{V134})} = \sqrt{\frac{2C_{\theta\theta,k}}{\rho S a_g e c_k}} = 102{,}487530\ \mathrm{m/s}.} \tag{9}$$

Za $\gamma = 0{,}75$ V134 dodatno prikazuje empirijski korigovanu vrednost

$$V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{V134,korr})} = V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{V134})}/\sqrt{\gamma} = 118{,}342406\ \mathrm{m/s}. \tag{10}$$

Korekcija γ je programski usvojena i nije izvedena iz Galerkinove jednačine.

Važna napomena

Ekvivalentna krutost $C_{\theta\theta,k}$ predstavlja odziv na *konstantan* unutrašnji torzioni moment do karakterističnog preseka. Za stvarno raspodeljen aerodinamički moment, $T(y)$ nije konstantan. Takođe, originalni V134 koristi *ukupnu* površinu S uz torzionu podatljivost *jednog* polukrila. Doslednost ovakvog izbora zahteva zasebno fizičko obrazloženje; prosta reprodukcija V134 rezultata nije dovoljna potvrda tog modela.

4 Raspodeljena torziona ravnoteža

Za jedno konzolno polukrilo neka je $\theta(y)$ ugao uvijanja. Unutrašnji torzioni moment je $T(y) = GJ(y)\theta'(y)$, uz usvojenu konvenciju znakova. Za linearni model aerodinamičkog opterećenja lokalna sila uzgona po jedinici raspona je

$$\ell_a(y) = q\,c(y)\,a_g\,[\alpha + \theta(y)], \tag{11}$$

a aerodinamički krak $d(y) = ec(y)$. Aerodinamički moment po jedinici raspona, uz dodatni momentni koeficijent C_{mac}, glasi

$$m_a(y) = q\,c^2(y)\,[a_g e\,\theta(y) + a_g e\alpha + C_{mac}]. \tag{12}$$

Jednačina ravnoteže $T'(y) + m_a(y) = 0$ zato postaje

$$\boxed{\frac{d}{dy}\left(GJ(y)\frac{d\theta}{dy}\right) + q a_g e c^2(y)\theta(y) = -qc^2(y)(a_g e\alpha + C_{mac}).} \tag{13}$$

U korenu i na vrhu važe granični uslovi

$$\boxed{\theta(0) = 0, \qquad GJ(L)\theta'(L) = 0.} \tag{14}$$

Pošto $GJ(L) > 0$, drugi uslov je ekvivalentan $\theta'(L) = 0$. U linearnom modelu član sa α i C_{mac} predstavlja prinudu. Kritični pritisak određuje se iz *homogene* jednačine:

$$\boxed{(GJ\theta')' + qa_g ec^2\theta = 0.} \tag{15}$$

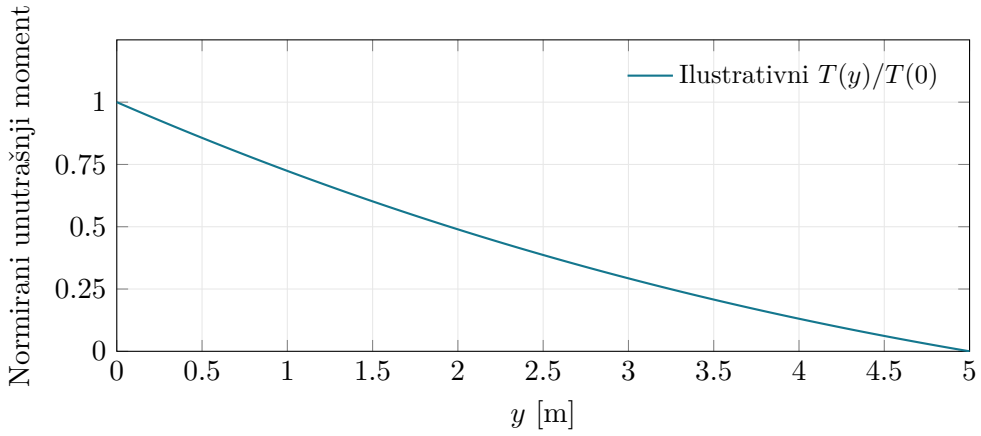
Stoga početni napadni ugao i C_{mac} ne menjaju q_{D} u okviru *ovog linearnog modela*, ali menjaju prinudni odziv pri zadatoj brzini.

4.1 Raspodela unutrašnjeg torzionog momenta

Za slobodan vrh važi $T(L) = 0$. Integracijom statičke ravnoteže dobijamo

$$T(y) = \int_y^L m_a(s)\,ds, \qquad \theta(y) = \int_0^y \frac{1}{GJ(s)} \left[\int_s^L m_a(\xi)\,d\xi \right] ds. \tag{16}$$

Ove relacije naglašavaju da torzioni moment nastaje kumuliranjem opterećenja spoljašnjeg dela polukrila i da, uopšteno, nije konstantan duž raspona.



Slika 4: Ilustrativna raspodela unutrašnjeg momenta za zadatu lokalnu raspodelu $m_a \propto c^2(y)$, normirana na moment u korenu. Nije sopstveni oblik divergencije.

5 Galerkinov postupak

Traži se aproksimacija $\theta_M(y) = \sum_{j=1}^{M} a_j \phi_j(y)$, pri čemu se koriste funkcije iz analiziranog MATLAB koda:

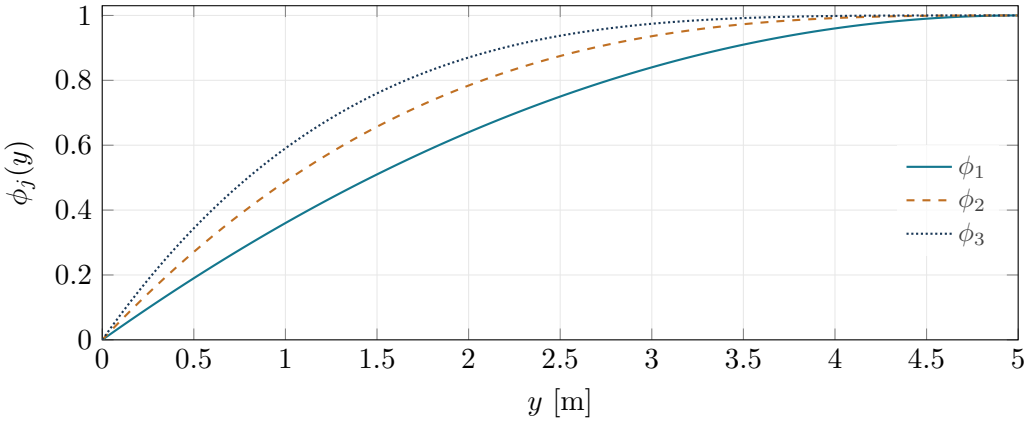
$$\boxed{\phi_j(y) = 1 - \left(1 - \frac{y}{L}\right)^{j+1}, \quad j = 1, \ldots, M.} \tag{17}$$

Njihovi izvodi su

$$\phi_j'(y) = \frac{j+1}{L}\left(1 - \frac{y}{L}\right)^{j}, \tag{18}$$

$$\phi_j''(y) = -\frac{j(j+1)}{L^2}\left(1 - \frac{y}{L}\right)^{j-1}. \tag{19}$$

Direktnom zamenom dobijamo $\phi_j(0) = 0$ i $\phi_j'(L) = 0$ za svaki $j \geq 1$. Približno rešenje zato zadovoljava oba granična uslova.



Slika 5: Prve tri globalne Galerkinove bazne funkcije. One nisu lokalni konačni elementi.

5.1 Slaba formulacija

Homogena jednačina (15) množi se sa $\phi_i(y)$ i integriše na $[0, L]$:

$$\int_0^L \phi_i (GJ\theta')'\, dy + q \int_0^L a_g e c^2 \phi_i \theta \, dy = 0. \tag{20}$$

Parcijalnom integracijom prvog člana i primenom graničnih uslova nestaje granični član $[\phi_i GJ\theta']_0^L$ i ostaje

$$\int_0^L GJ\phi_i'\theta' \, dy = q \int_0^L a_g e c^2 \phi_i \theta \, dy. \tag{21}$$

Zamenom $\theta_M = \sum_j a_j \phi_j$ formiraju se matrice

$$\boxed{(K_s)_{ij} = \int_0^L GJ(y)\phi_i'(y)\phi_j'(y)\, dy}, \qquad \boxed{(K_a)_{ij} = \int_0^L a_g e c^2(y)\phi_i(y)\phi_j(y)\, dy}. \tag{22}$$

Dobijamo generalizovani problem sopstvenih vrednosti

$$\boxed{\mathbf{K}_s\mathbf{a} = q\mathbf{K}_a\mathbf{a}}, \qquad \det(\mathbf{K}_s - q\mathbf{K}_a) = 0, \qquad \boxed{V_{\mathrm{D}} = \sqrt{\frac{2q_{\mathrm{D}}}{\rho}}}. \tag{23}$$

Za pozitivnu strukturnu krutost i destabilizujući aerodinamički koeficijent $a_g e > 0$, relevantna je *najmanja pozitivna* sopstvena vrednost q_{D}.

Za prinudno uvijanje, ako se ono naknadno računa, koristi se sistem

$$(\mathbf{K}_s - q\mathbf{K}_a)\mathbf{a} = q\mathbf{F}, \quad F_i = \int_0^L c^2(y)(a_g e\alpha + C_{mac})\phi_i(y)\, dy. \tag{24}$$

Prinudni sistem postaje singularan kada $q \to q_{\mathrm{D}}$. Ovaj fenomen objašnjava zašto originalni MATLAB kod pri zadatoj brzini bliskoj kritičnoj može proizvesti izuzetno velike uglove uvijanja.

5.2 Jedna bazna funkcija i Rayleighov količnik

Za $M = 1$ sistem se svodi na skalar:

$$\boxed{q_{\mathrm{D}}[\phi_1] = \frac{\displaystyle\int_0^L GJ(\phi_1')^2 dy}{\displaystyle\int_0^L a_g e c^2 \phi_1^2 dy}}. \tag{25}$$

Pošto je $\phi_1(y) = 1-(1-y/L)^2$, za naše krilo $\phi_1 = 2y/5 - y^2/25$, $\phi_1' = 0{,}4 - 0{,}08y$. Numeričkom integracijom:

$$K_s^{(1)} = 33292{,}312258, \qquad K_a^{(1)} = 1{,}13511579, \tag{26}$$

$$q_{\mathrm{D}}^{(1)} = 29329{,}441573 \text{ Pa}, \qquad \boxed{V_{\mathrm{D}}^{(1)} = 218{,}825964 \text{ m/s}}. \tag{27}$$

5.3 Dve bazne funkcije: eksplicitne matrice

Za $M = 2$ dobijaju se simetrične matrice

$$\mathbf{K}_s \approx \begin{bmatrix} 33292{,}3123 & 39593{,}3823 \\ 39593{,}3823 & 49291{,}9005 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{K}_a \approx \begin{bmatrix} 1{,}135116 & 1{,}264927 \\ 1{,}264927 & 1{,}421737 \end{bmatrix}. \tag{28}$$

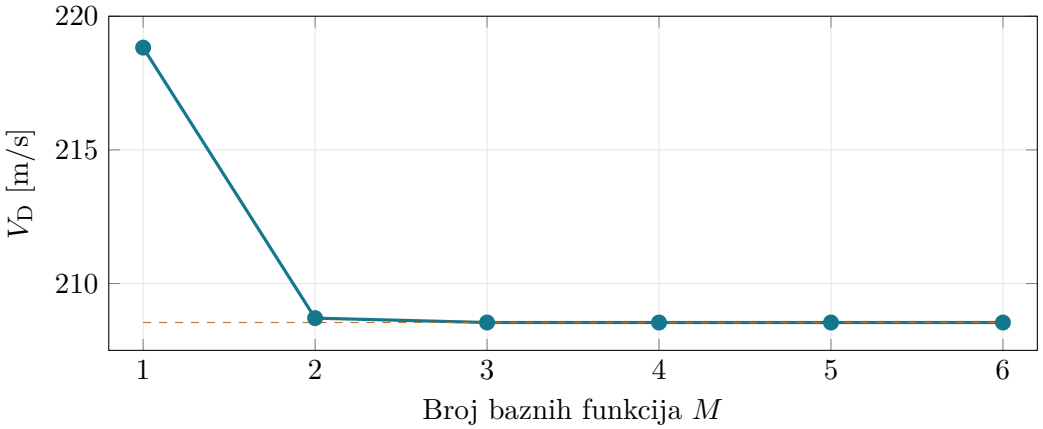
Njihova najmanja generalizovana sopstvena vrednost je $q_{\mathrm{D}} = 26679{,}381608$ Pa, pa je

$$\boxed{V_{\mathrm{D}}^{(2)} = 208{,}705951 \text{ m/s}}. \tag{29}$$

5.4 Konvergencija po broju Galerkinovih funkcija

Tabela 2: Konvergencija prve brzine divergencije; svi proračuni koriste isti raspodeljeni model.

M	q_{D} [Pa]	V_{D} [m/s]
1	29 329,442	218,826
2	26 679,382	208,706
3	26 637,493	208,542
4	26 637,416	208,542
5	26 637,416	208,542
6	26 637,416	208,542



Slika 6: Konvergencija kritične brzine divergencije u Galerkinovoj aproksimaciji.

Konvergirano rešenje za usvojenu bazu iznosi približno

Numerički rezultat

$$\boxed{q_{\mathrm{D}} \approx 26637{,}416 \text{ Pa}, \qquad V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{Galerkin})} \approx 208{,}542 \text{ m/s}.}$$

Uslov matematičke doslednosti Ritz–Galerkinove aproksimacije jeste da se oba integrala u Rayleighovom količniku računaju za *isti oblik deformacije*. Za ovaj samoadjungovani problem i proširujuće

prostore baznih funkcija, najmanja aproksimirana sopstvena vrednost se približava odozgo: njen pad sa povećavanjem M predstavlja očekivanu osobinu metode.

6 Detaljno objašnjenje razlike između metoda

6.1 Dva numerička rezultata ne pripadaju istom aproksimacionom modelu

Originalni V134 kombinuje jednu ekvivalentnu torzionu krutost, jedan reprezentativni ugao i ukupni aerodinamički moment. Galerkin rešava raspodeljeni sistem sa lokalnim $GJ(y)$, $c^2(y)$ i promenljivim $\theta(y)$. Iako su geometrija i svojstva materijala identični, diferencijalni model i jednokoordinatna aproksimacija V134 nisu strogo ekvivalentni.

6.2 Efekat površine: oba polukrila prema jednom polukrilu

Originalni V134 koristi $S = 6{,}5\ \mathrm{m}^2$ uz krutost jednog polukrila. Ako se, *isključivo kao kontrolni proračun*, u V134 zadrže sve ostale pretpostavke a umesto S unese $S/2 = 3{,}25\ \mathrm{m}^2$, tada

$$V_{\mathrm{D}}^{(S/2)} = \sqrt{2}\, V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{V134})} = \boxed{144{,}939255\ \mathrm{m/s}}. \tag{30}$$

Ovaj test identifikuje vrlo značajan doprinos razlici. On *ne dokazuje* da je samo zamena površine dovoljna da se dobije fizički ispravan jednokoordinatni model. Za dva simetrična polukrila, kada se i ukupna struktura i aerodinamika računaju dosledno, odgovarajući faktori dva mogu da se ponište.

6.3 Konstantan naspram raspodeljenog unutrašnjeg torzionog momenta

Formula za $C_{\theta\theta,k}$ u V134 izvedena je za konstantan unutrašnji moment do y_k. Kod aerodinamičkog opterećenja moment zavisi od raspona, $T(y) = \int_y^L m_a(s)ds$. Ne može se zato bez dodatnih pretpostavki poistovetiti krutost do preseka pod koncentrisanim momentom sa generalizovanom krutošću raspodeljenog aerodinamičkog sistema.

6.4 Jedan reprezentativni ugao naspram raspodele uvijanja

U V134 se uticaj torzionog uvijanja na aerodinamički moment predstavlja jednim uglom θ_k. U Galerkinovoj formulaciji isti efekat sadrži integral $\int_0^L a_g e c^2 \phi_i \phi_j \, dy$, pa zavisi od celog oblika deformacije. U korenu je uvijanje nula, a duž polukrila raste za prvi globalni torzioni oblik. Zamena polja $\theta(y)$ jednim uglom zahteva poseban izbor generalizovane koordinate i njoj pridruženih krutosti.

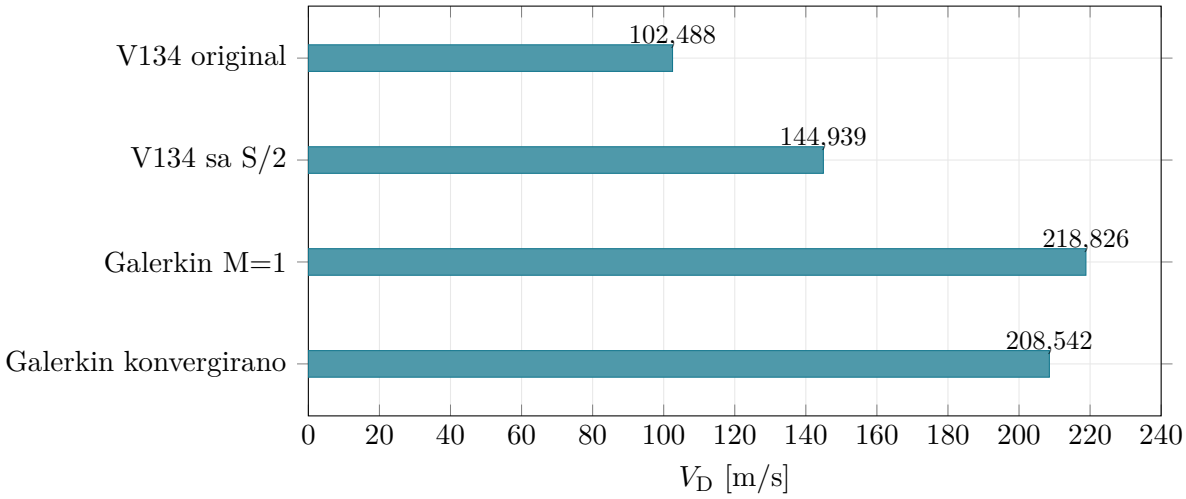
6.5 Kvantitativno poređenje

Tabela 3: Kontrolno poređenje nekorigovanih brzina divergencije.

Model	V_{D} [m/s]
V134: originalna definicija ukupne površine	102,488
V134 sa $S/2$: samo promena površine	144,939
Galerkin, $M = 1$	218,826
Galerkin, $M = 2$	208,706
Galerkin, konvergirano	208,542

Odnos Galerkinovog i originalnog V134 rezultata je

$$\frac{V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{Galerkin})}}{V_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{V134})}} = 2{,}0348, \qquad \frac{q_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{Galerkin})}}{q_{\mathrm{D}}^{(\mathrm{V134})}} = 4{,}1404. \tag{31}$$



Slika 7: Brzine divergencije za originalnu i kontrolno modifikovanu jednokoordinatnu formulaciju i Galerkinov metod.

Pri tome se odnos brzina može napisati kao

$$\frac{208{,}542}{102{,}488} = \underbrace{\frac{144{,}939}{102{,}488}}_{\sqrt{2}} \cdot \underbrace{\frac{208{,}542}{144{,}939}}_{\approx 1{,}4388}. \tag{32}$$

Prvi faktor *tačno* predstavlja efekat kontrolne zamene $S \to S/2$ uz sve ostale nepromenjene pretpostavke V134. Drugi faktor *objedinjuje* preostale razlike; nije opravdano pripisati ga samo jednom fizičkom mehanizmu. Za takvu dekompoziciju treba konstruisati lanac međumodela u kojima se menja jedna pretpostavka po jedna.

6.6 Zašto se η i γ ne prenose direktno u Galerkinov model?

Parametar η određuje položaj jednog karakterističnog preseka i nema neposrednu ulogu u globalnoj raspodeljenoj jednačini. Faktor γ je posebna empirijska korekcija ugrađena u V134; ne predstavlja automatski korekciju sopstvenih vrednosti Galerkinovog sistema. Osnovno naučno poređenje mora zato koristiti *nekorigovane* brzine. Naknadna kalibracija karakterističnog preseka po Galerkinovom rezultatu moguća je, ali bi važila za konkretan oblik, geometriju i aerodinamički model.

7 Kontrole fizičke i numeričke doslednosti

1. **Jedinice:** GJ ima jedinicu $\mathrm{N\,m^2}$, a integral $\int dy/GJ$ ima jedinicu $1/(\mathrm{N\,m})$. Koeficijent $C_{\theta\theta,k}$ ima jedinicu $\mathrm{N\,m/rad}$.

2. **Ekscentricitet:** $e = 0{,}25$ je bezdimenzion, a stvarni krak je $d(y) = ec(y)$. Promena znaka ekscentriciteta menja karakter aerodinamičke povratne sprege.

3. **Torziona konstanta:** u originalnom MATLAB primeru $J = 0{,}0257\,t\,c^3$ nije ista formula kao referentni izraz kutije iz V134. Za međumetodsko poređenje mora se koristiti zajednički $J(y)$.

4. **Derivacija J:** numerički zaokružen izraz za dJ/dy u starom MATLAB kodu treba zameniti analitički tačnim izvodom ili funkcijom `diff`.

5. **Galerkin nije isto što i mreža FEM:** promenljiva `Ne` u dostavljenom MATLAB kodu određuje gustinu grafičkog uzorkovanja, dok se red aproksimacije menja sa M.

6. **Blizina divergencije:** kada $V \to V_{\mathrm{D}}^{-}$, matrica prinudnog problema postaje skoro singularna i linearni rezultat za ugao uvijanja može postati fizički neprimenljiv.

7. **Aerodinamički model:** lokalno a_g i krak $ec(y)$ ovde su unapred usvojeni. U detaljnijoj primeni treba proveriti raspodelu aerodinamičkih derivativa i položaj centra smicanja.

8 Zaključci i preporuka za nastavak

1. Numerički je reprodukovan rezultat originalnog modela V134: $V_{\mathrm{D}} = 102{,}488$ m/s bez empirijske korekcije.

2. Za isto krilo, ali raspodeljeni model torzione ravnoteže, globalni Galerkinov postupak daje $V_{\mathrm{D}} = 208{,}542$ m/s. Rešenje vrlo brzo konvergira po broju baznih funkcija.

3. Najvažniji uzrok velike razlike nije numerička nestabilnost Galerkinove metode, nego činjenica da dve formule različito predstavljaju krutost i aerodinamičko dejstvo. Posebno treba ispitati korišćenje ukupne površine u V134 uz krutost jednog polukrila.

4. Izolovana zamena $S \to S/2$ u V134 povećava brzinu na 144,939 m/s, ali to samo po sebi nije završen fizički dosledan model.

5. Za sledeću fazu predlaže se izvođenje *kompatibilnog jednokoordinatnog modela* iz Rayleighovog količnika za isti oblik uvijanja i zatim poređenje sa $M \geq 2$. Time će biti moguće odvojiti grešku izbora generalizovanog modela od greške konačnog broja baznih funkcija.

Numerički rezultat

Originalni V134 (nekorigovano):	$V_{\mathrm{D}} = 102{,}488$ m/s
Galerkin, $M = 1$:	$V_{\mathrm{D}} = 218{,}826$ m/s
Galerkin, konvergirano:	$V_{\mathrm{D}} = 208{,}542$ m/s

Napomena o poreklu podataka

Ulazna geometrija, svojstva materijala, η, γ i originalni V134 rezultat preuzeti su iz dostavljenog referentnog LaTeX primera *Torziona divergencija trapeznog krila – metod karakterističnog preseka, V134*. Galerkinove matrice i sopstvene vrednosti proverene su nezavisnom numeričkom integracijom i rešenjem simetričnog generalizovanog problema sopstvenih vrednosti. Sve slike i dijagrami u ovom dokumentu generisani su direktno u LaTeX-u pomoću paketa TikZ i PGFPlots i zato ostaju vektorski i izmenjivi.