

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Seminar DSKM - 1. del
Dinamika strojev in konstrukcij

Marko Tacer

Ljubljana, 3. maj 2023

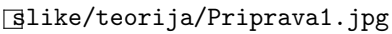
Kazalo

| | | |
|----------|---------------------------------|----------|
| 1 | Uvod | 2 |
| 2 | Teoretične osnove | 3 |
| 3 | Analiza | 3 |
| 3.1 | Izbrana konstrukcija | 3 |
| 3.2 | Modalna analiza | 8 |
| 3.3 | Harmonska analiza | 9 |
| 3.4 | Numerična integracija | 12 |

1 Uvod

V okviru seminarja smo študentje znotraj predmeta izbrali konstrukcijo, za katero smo izvedli dinamske analize. Po metodi končnih elementov smo izbrano konstrukcijo pomrežili in definirali robne pogoje (ter pogoje konsistentnega prehoda). Za tem smo izvedli *Modalno analizo*, *Harmonsko analizo* in numerično integracijo.

Moja obravnavana konstrukcija je silno poenostavljen linijski model dela pristajalnega sestava na misiji Apollo 11. Obravana konstrukcija je poenostavljena za preračune v 2D, kjer so izvedeni vsi preračuni prej omenjenih analiz. Prikaz dejanske konstrukcije je prikazan na sliki 1.

 `\slike\teorija\Priprava1.jpg`

Slika 1.1: Osnovna obravnavana konstrukcija [1]

.

V prilogi je pripeta Pytohn koda in GIF datoteke modalnih oblik.

2 Teoretične osnove

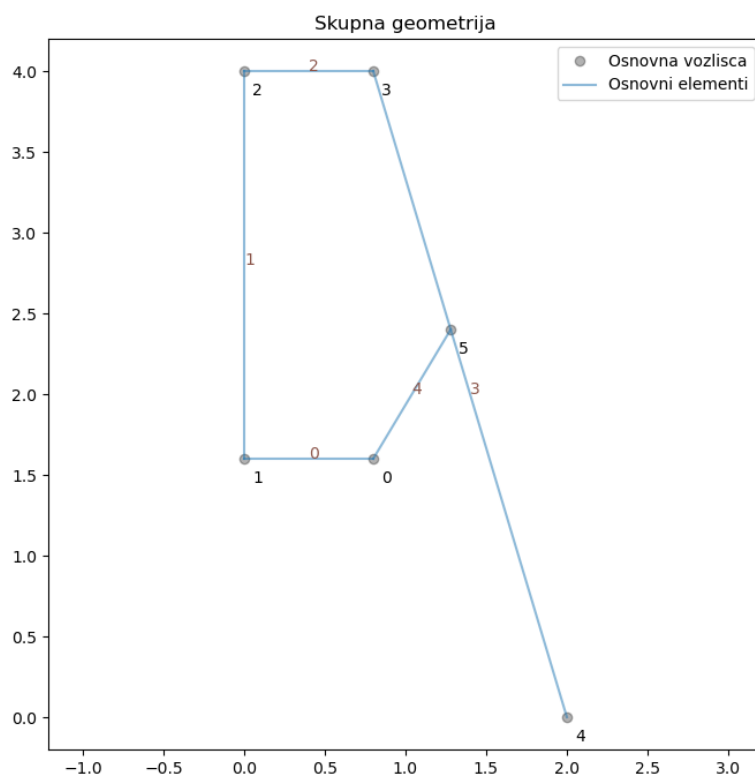
Uporabljeno teoretično znanje je bilo pridobljeno delno že pri predmetu *Dinamika togih teles* in delno pri predmeti *Višja Dinamika* [2]. Zadnji del nadgradnje in uporabe v *Python* okolju ter analiza z MKE pa pri predmetu DSKM.

3 Analiza

V prvem delu je predstavljena obravnava modela in njegova poenostavitev, da je konstrukcija primerna za obravnavo v 2D. Najprej so izbrana osnovna vozlišča in tipi elementov sami.

3.1 Izbrana konstrukcija

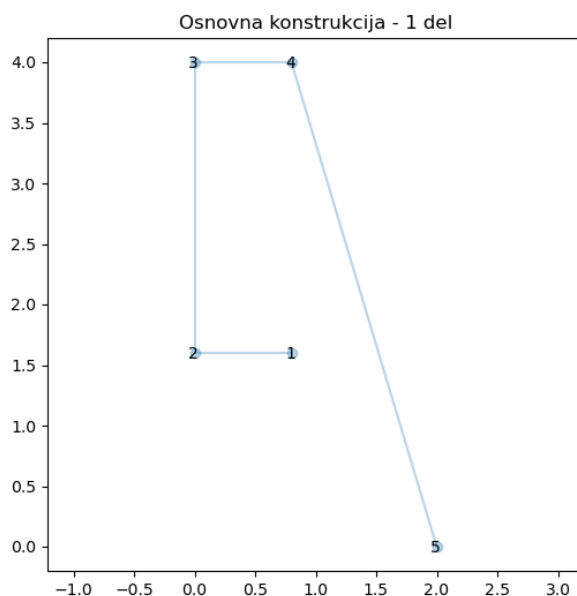
Izbrana konstrukcija je del pristajalnega sestava legendarnega vesoljskega plovila Apollo 11. Sama konstrukcija je seveda 3-dimenzionalna, a jo bomo v okviru tega seminarja obravnavali v 2D. Za tovrstno poenostavitev si najprej zastavimo, da bo naša struktura izgledala približno, kot je vidno na sliki 3.1.



Slika 3.1: Generalna oblika poenostavljene strukture.

Na sliki vidimo, da je skupno število vozlišč 6 in skupno število elementov 5. Sama konstrukcija je sestavljena iz treh podstruktur: A, B in C. Najprej pogledjmo strukturi A in C iz sledečega razloga.

Konstrukciji A in C (tip: okvir) povezuje struktura B, ki je palica. Za samo določitev pripetišča na podstrukturo C pa lahko izberemo enega izmed vozlišč. Trenutna konfiguracija je zato takšna, kot kaže slika 3.2.



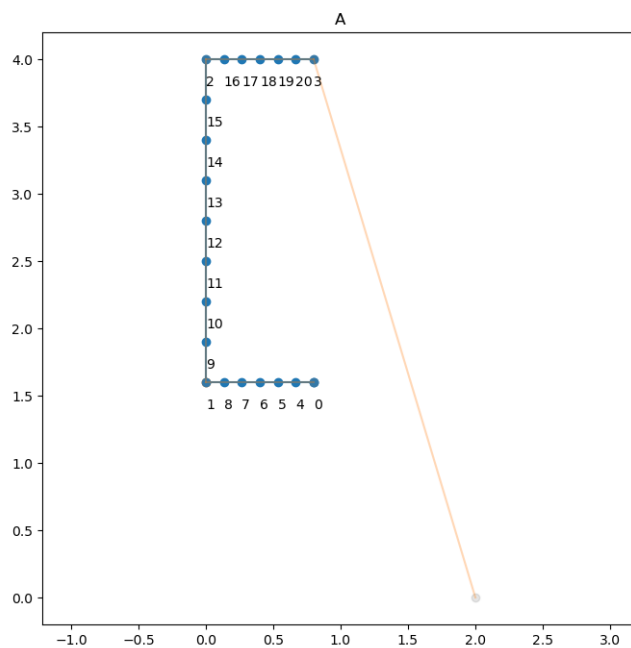
Slika 3.2: Začetna konfiguracija.

V mojem primeru sem izbral vozlišče 9 na strukturi C. Tega pa lahko izberem šele, ko podstrukturo C pomrežim - zgostim mrežo. Prav tako "pomrežim" tudi strukturo A.

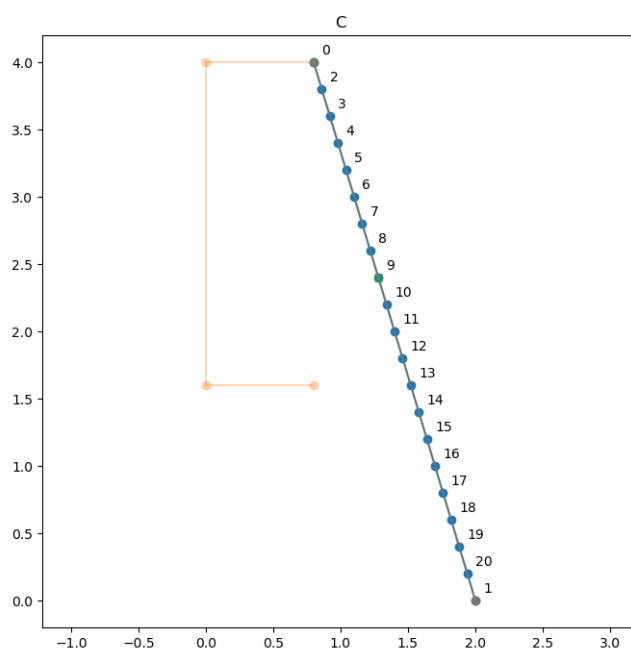
3.1.1 Mreženje

Za mreženje posamezne strukture sem si definiral funkcijo, ki mi omogoča različno gostenje mreže med posameznimi elementi. Podstrukturo A tako pomrežim, kot je vidno na sliki 3.3

Kot je vidno an sliki je med vozliščema 0 in 1 6 elementov, prav tako med vozliščema 2 in 3. Med vozliščema 1 in 2 pa 8 elementov. V naslednjem koraku mrežimo še konstrukcijo C, kjer definiramo samo eno število gostitve = število elementov C. Gostenje mreže je vidno na sliki 3.4

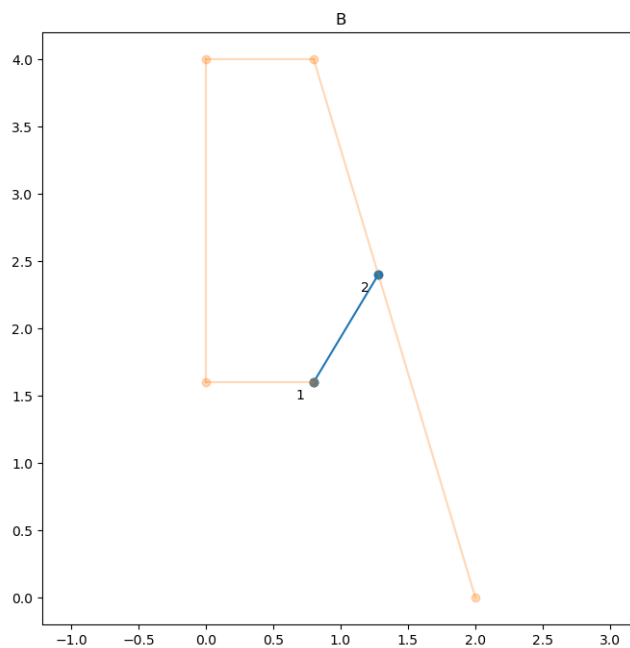


Slika 3.3: Mreženje podstrukture A.



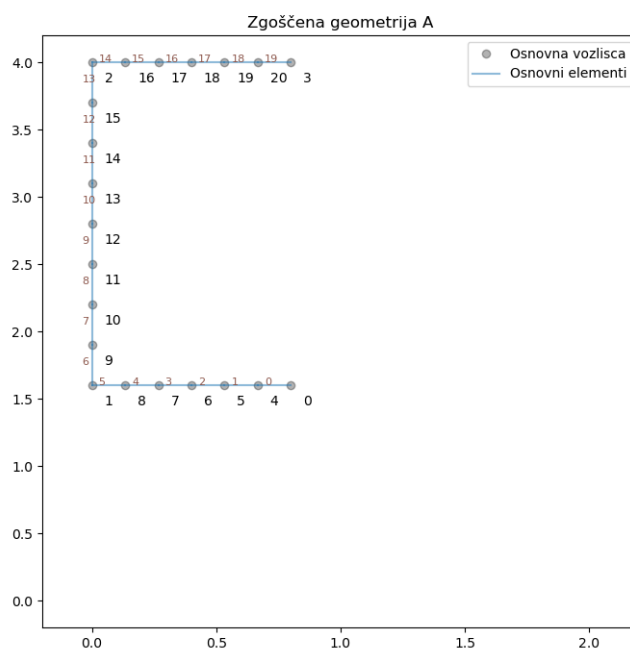
Slika 3.4: Mreženje podstrukture C.

Šele v tej fazi definiramo pripetišče palice B in jo postavimo v sam sestav, kot kaže slika 3.5



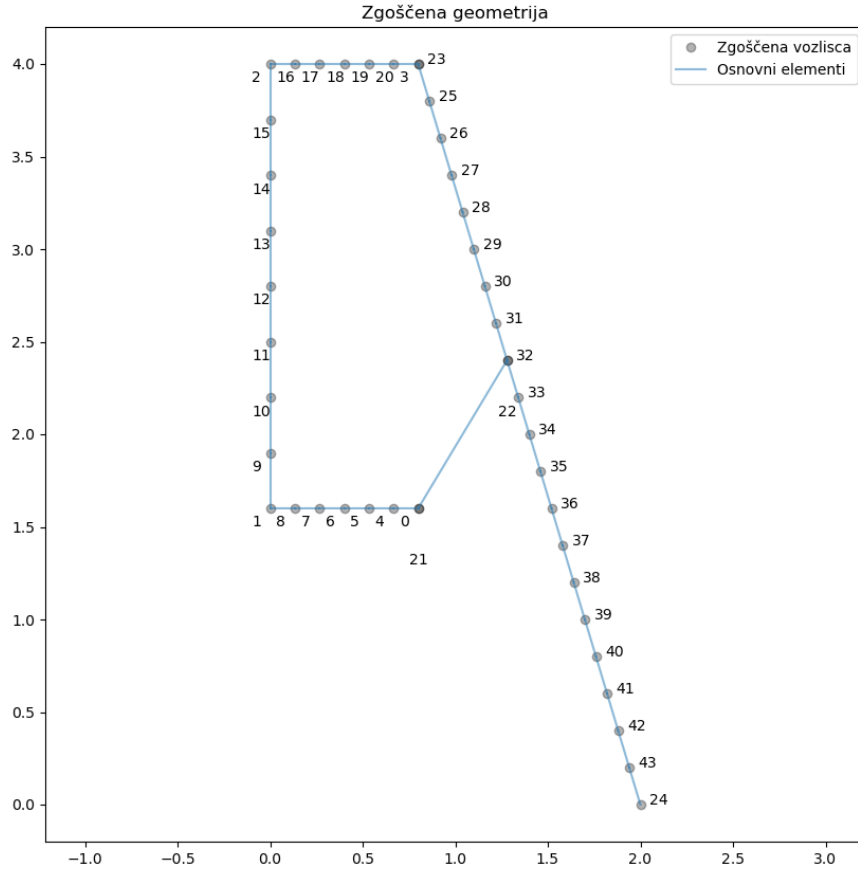
Slika 3.5: Prikaz podstrukture B.

V nadaljevanju bomo tako obravnavali konstrukcijo, katere podstrukture izgledajo, kot na sliki ??.



Slika 3.6: Prikaz mrežene podstrukture A.

Ko strukture zložimo skupaj naša konstrukcija izgleda, kot prikazuje slika 3.7



Slika 3.7: Prikaz skupne mrežene strukture.

Določili smo našo strukturo, ji zgostili mrežo, kjer je to smiselno, zdaj pa moramo definirati še *Robne pogoje* in *Pogoje konsistentnega prehoda*.

3.1.2 Robni pogoji

V okviru robnih pogojev vemo, da sta vpeta leva vogala strukture A in spodnje vozlišče strukture C. Prav tako vemo, da bomo pri pogojih konsistentnega prehoda potrebovali vse tri strukture, zato moramo poskrbeti, da bomo lahko vse skupaj zapisali v eno matriko C. Težava se zna pojaviti pri ujemanju prostostnih stopenj. Naša povezovalna matrika C je sestavljena, kot kaže enačba 1.

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{rp} \\ \mathbf{C}_{pov} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Nadalje je matrika C za robne pogoje definirana s pomočjo vpetih prostostnih stopenj A in C , medtem ko je matrika konsistentnega prehoda definirana med vsemi termi elementi.

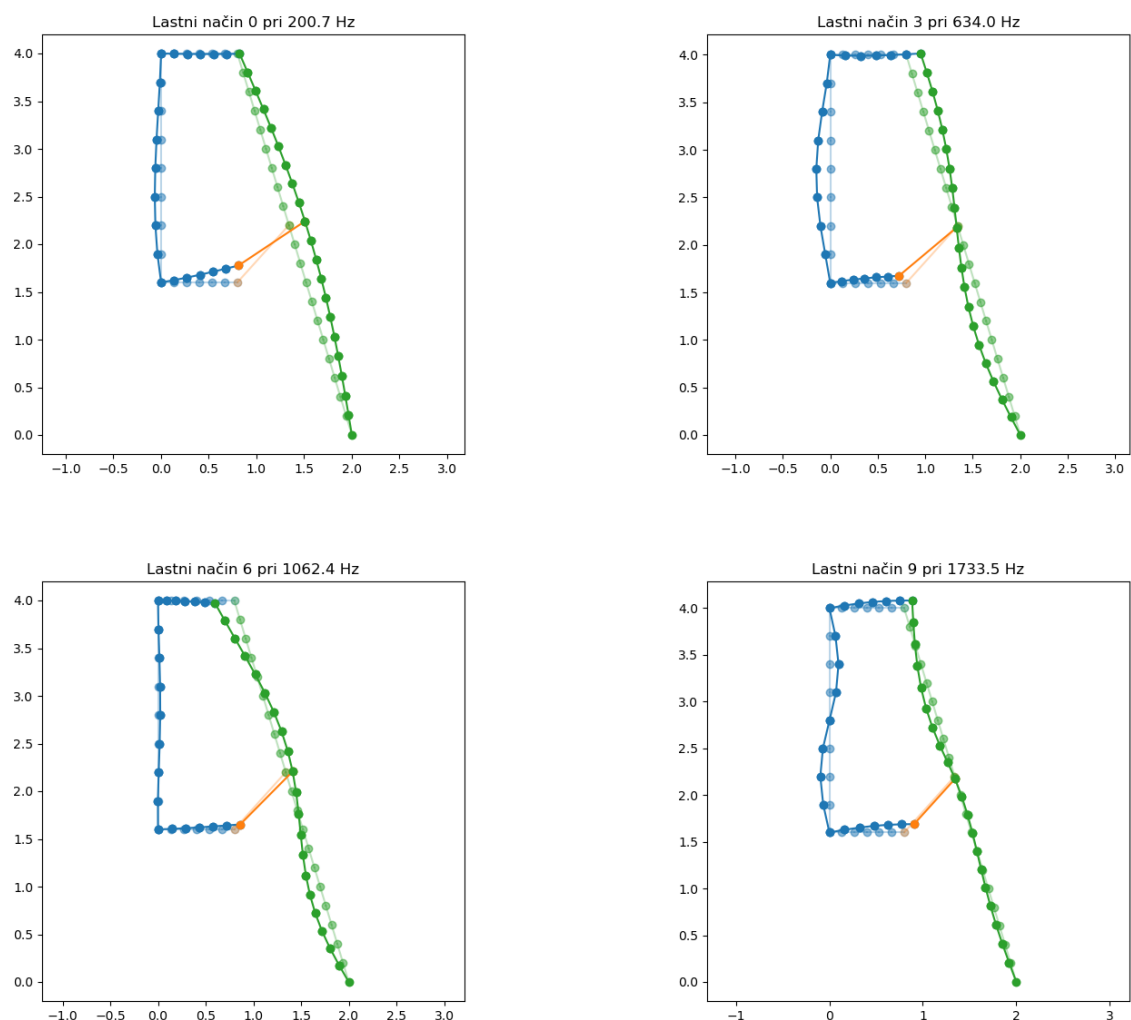
3.2 Modalna analiza

V okviru modalne analize moramo s pomočjo prej definirane matrike C in posledično matrike L določiti globalno masno in togostno matriko. Ko imamo definirani matriki lahko določimo lastne frekvence in pripadajoče lastne oblike. prvih 10 lastnih frekvenc je prikazanih v tabeli 1

Tabela 1: Prvih 10 lastnih frekvenc

| N-ta lastna frekvenca | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| [Hz] | 200,7 | 326,2 | 569,8 | 634,0 | 818,6 | 945,9 | 1062,4 | 1116,8 | 1470,9 | 1733,5 |

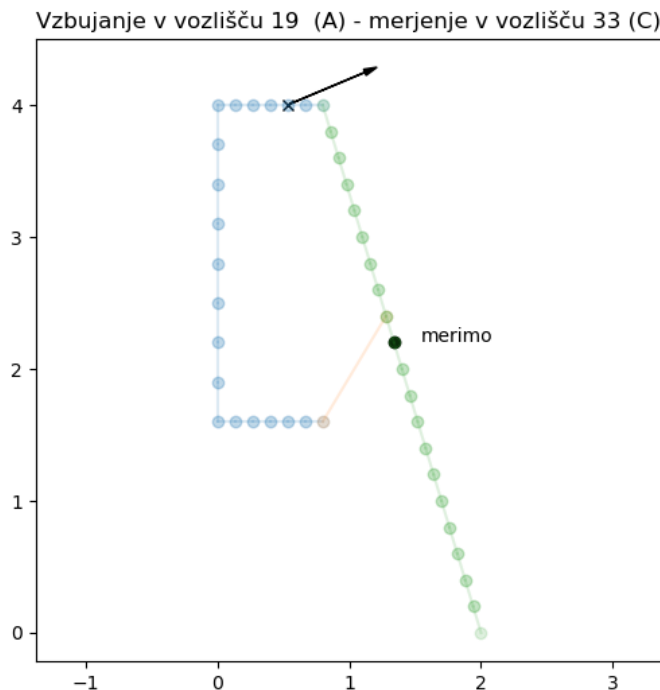
Spodaj na sliki 3.8 so prikazani še 4-je izmed prvih 10ih nihajnih načinov:



Slika 3.8: Lastni nihajni načini pri lastnih frekvencah 1, 4, 7, 10

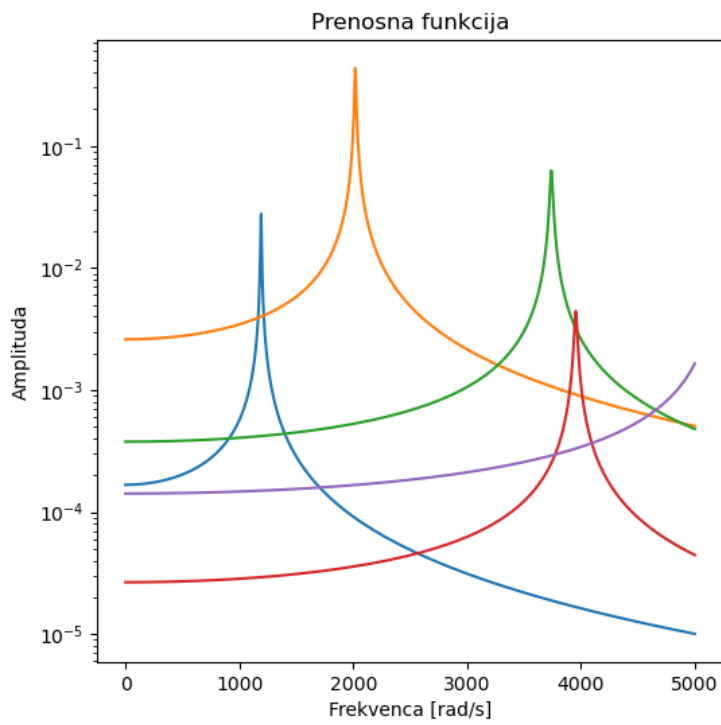
3.3 Harmonska analiza

Pri harmonski analizi smo si izbrali točko, kjer vzbujamo in točko, kjer merimo. V morem primeru sta to vozlišči 19 in 33. Merimo v 33 in vzbujamo v 19. Prikaz vzbujanja prikazuje spodnja slika 3.9.

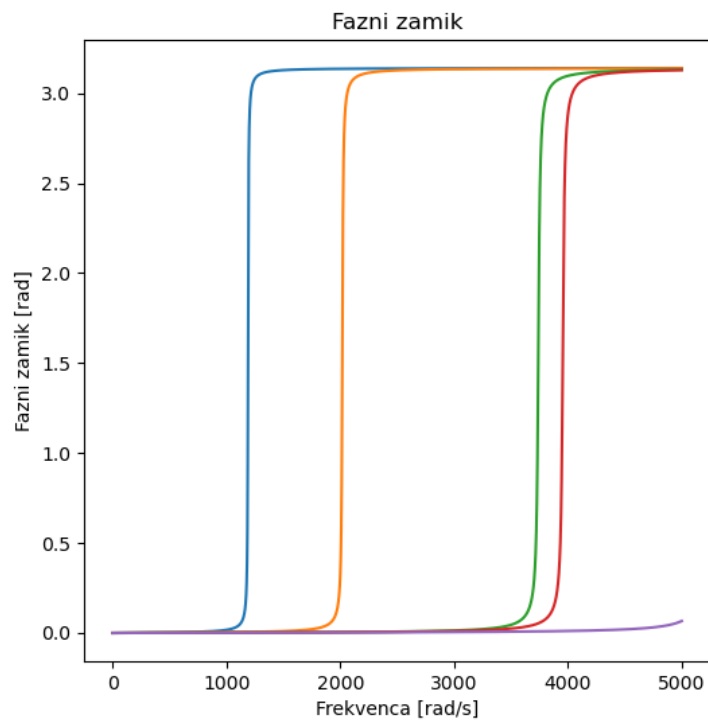


Slika 3.9: Prikaz lokacije vzbujanja in merjenja.

Za povečano realnost samega obravnavanega sistema definiramo še razmernik dušenja. Ta je sicer zgolj predpostavljen, izračunati ga namreč ne moremo. Sedaj lahko izračunamo prenosno funkcijo prikažemo frekvenčna spektra amplitude in faze na slikah 3.10 in 3.11:

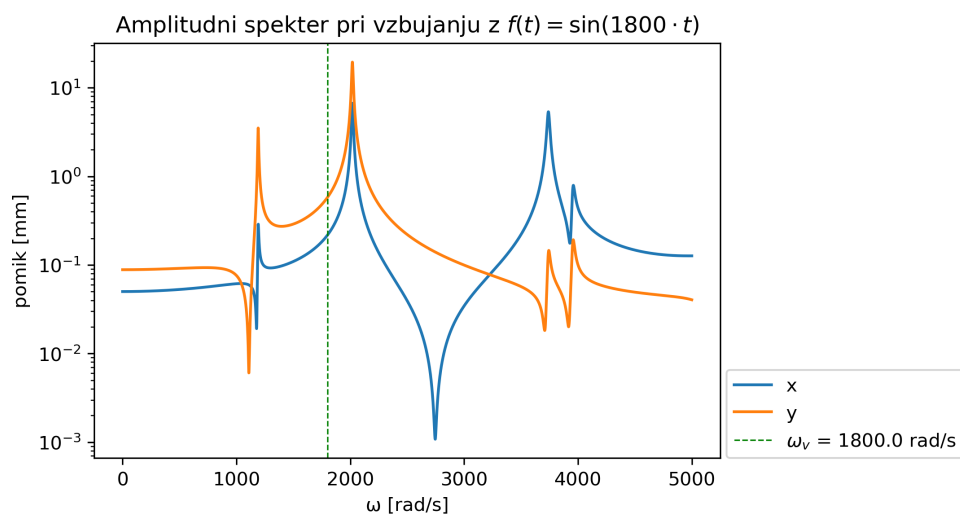


Slika 3.10: Amplitudni spekter.

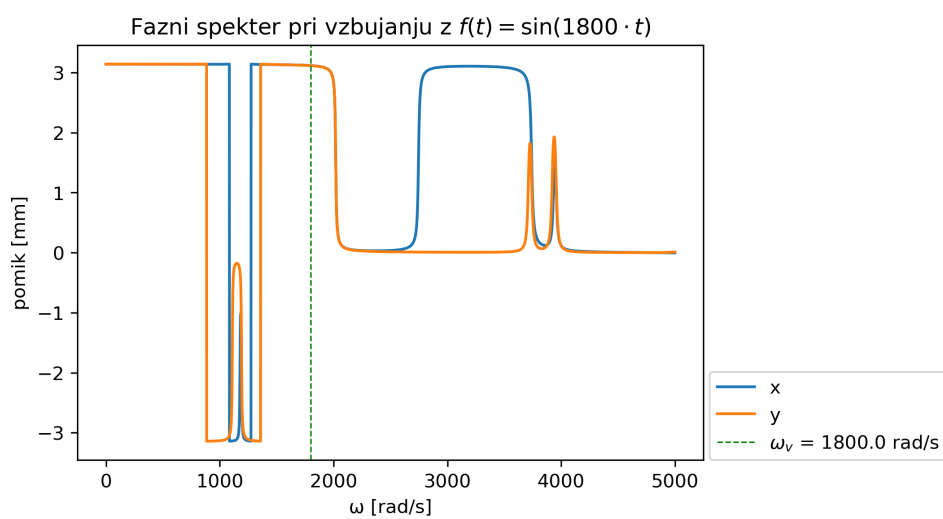


Slika 3.11: Fazni spekter.

Za izbrano točko pa lahko dobimo dejansko vrednost pomika in fazo pri izbrani frekvenci. Sam sem izbral frekvenco 1800 rad/s, kar je označeno na grafih spodaj 3.12 in 3.13:



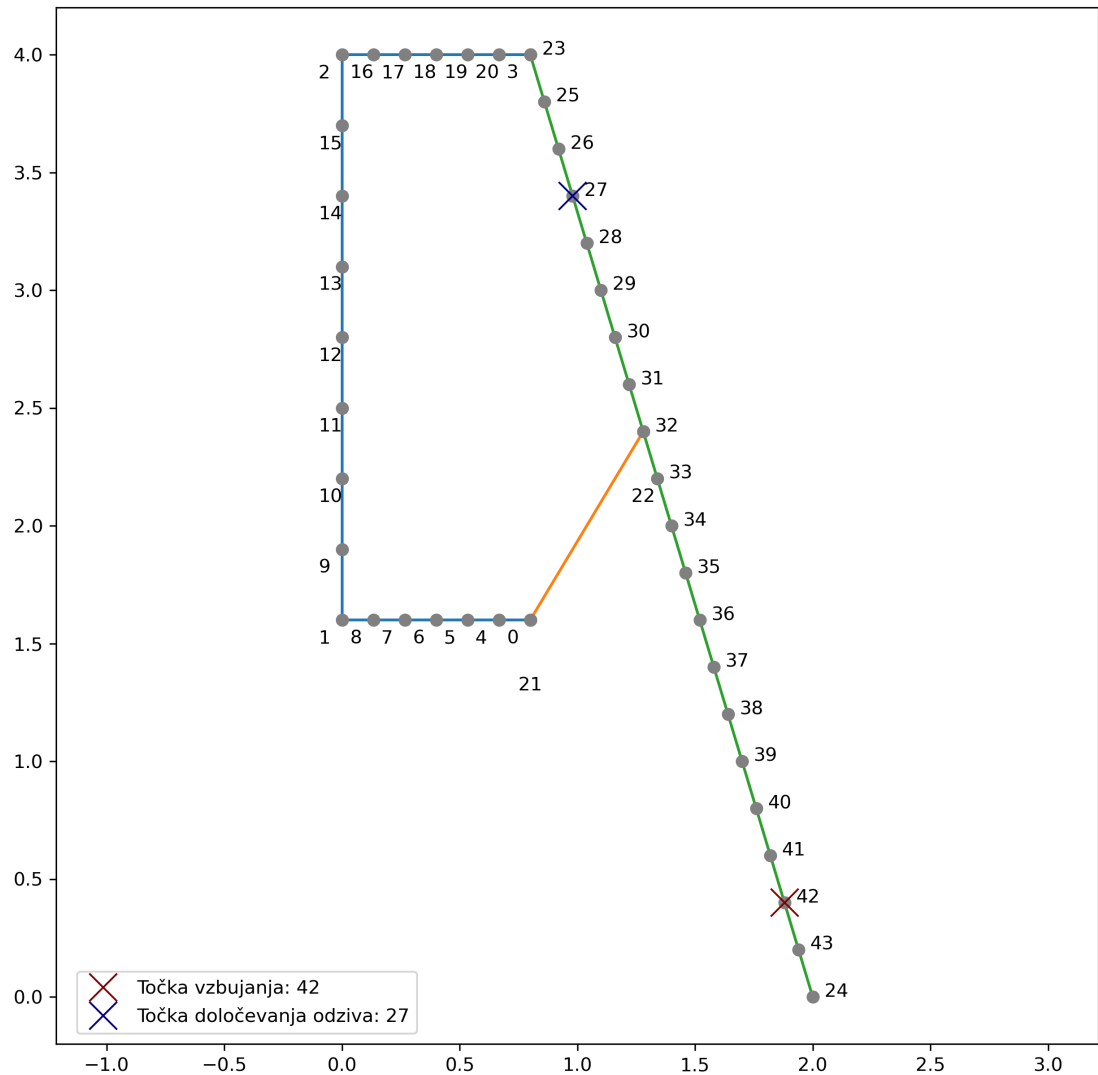
Slika 3.12: Amplitudni spekter vozlišča 33.



Slika 3.13: Fazni spekter vozlišča 33.

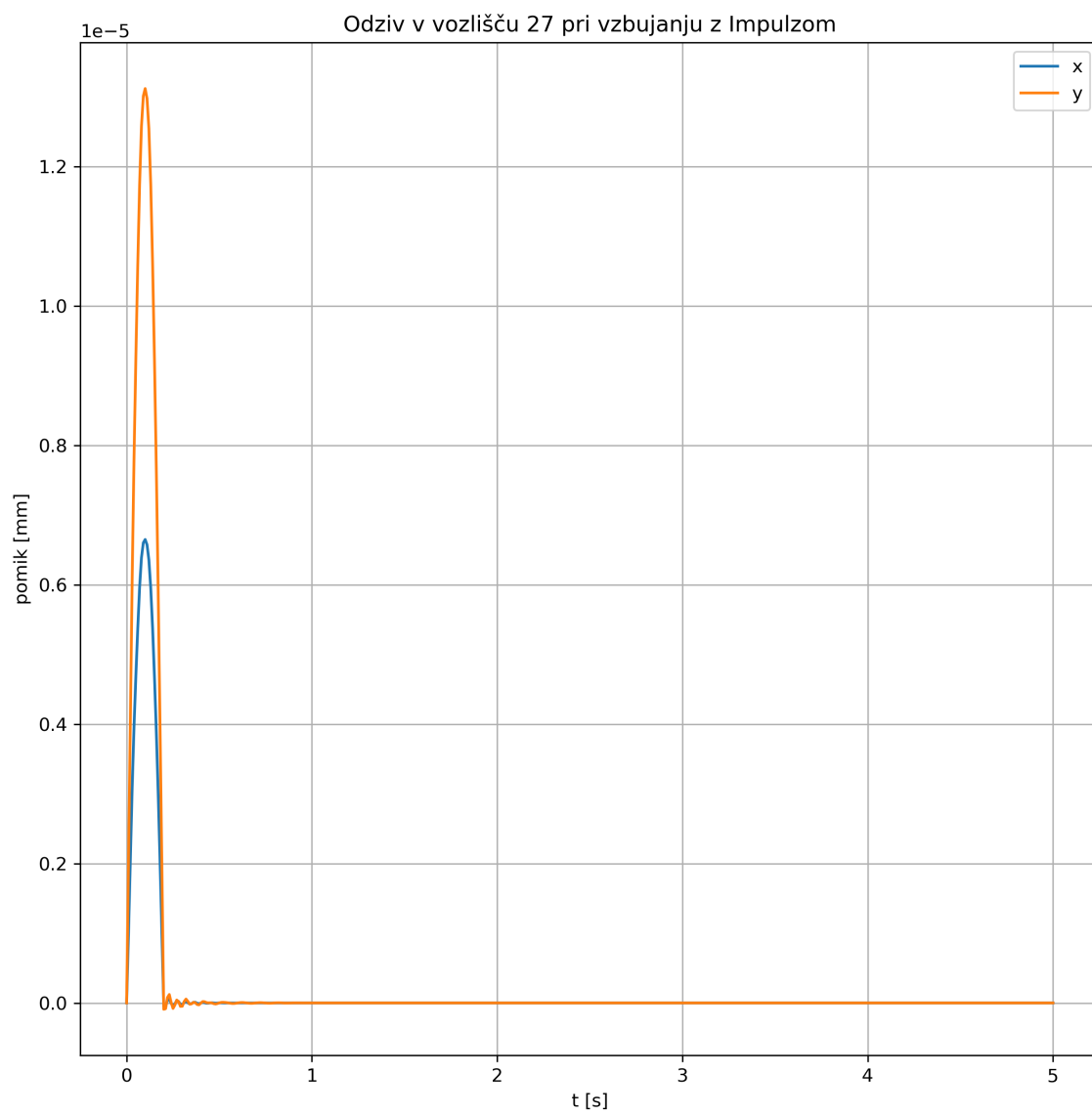
3.4 Numerična integracija

Za numerično integracijo si izberemo vozlišče vzbujanja in vozlišče merjenja odziva, prikazano na sliki spodaj 3.14



Slika 3.14: Lokacija vzbujanja in merjenja.

Spodaj je prikazan odziv v vozlišču. Vidimo, da so pomiki izredno majhni, saj je togost velika, masa pa majhna 3.15.



Slika 3.15: Odziv na Impulz.

Literatura

- [1] Apollo Space. Apollo 11 facts. <https://apollo11space.com/nasas-apollo-11-lunar-module-basic-facts/>, 2023.
- [2] Miha Boltezar. Mehanska nihanja-1. del. *Fakulteta za strojništvo, Ljubljana*, pages 131–135, 2010.