

TRESE SE GORA, RODI SE MIŠ

Področje: FIZIKA IN ASTRONOMIJA

RAZISKOVALNA NALOGA

Učenka: Katja Halilovič

9. razred

Mentorica: Matjuša Mihelčič

Leto izdelave: 2020

Osnovna šola narodnega heroja Maksa Pečarja

KAZALO

KAZALO	2
SEZNAM SLIK	3
SEZNAM TABEL	4
SEZNAM OZNAK	5
ZAHVALA	6
POVZETEK	7
ABSTRACT	7
1 UVOD	8
1.1 Hipoteze	9
2 TEORETIČNI DEL	10
2.1 Potresi	10
2.2 Nihanje	10
2.3 Masni blažilnik	15
3 EKSPERIMENTALNI DEL	16
3.1 Izdelava makete	16
3.2 Merjenje pospeškov pri nihanju	17
4 REZULTATI MERITEV IN RAZPRAVA	20
4.1 Lastnosti zgradbe pri različnih višinah	20
4.2 Vpliv dolžine in mase masnega blažilnika na nihanje stavbe v resonanci	25
5 POTRDITEV HIPOTEZ	31
6 ZAKLJUČEK	32
7 LITERATURA IN VIRI	33

SEZNAM SLIK

Slika 1.1: a) Stolpnice v BS3 v Ljubljani, b) Ljubljanski nebotičnik [3], c) Taipei 101 [4]

Slika 2.1: Potres na Tajvanu [5]

Slika 2.2: Nitno nihalo

Slika 2.3: Enakomerno kroženje je sorodno nihanju

Slika 2.4: Graf odvisnosti poti, hitrosti in pospeška od časa [9]

Slika 2.5: Dušeno in nedušeno nihanje [10]

Slika 2.6: Most Tacoma Narrows [12]

Slika 2.7: Resonančna krivulja [10]

Slika 2.8: a) Taipei 101 [14], b) Masni blažilnik v Taipei 101 [15]

Slika 3.1: a) Maketa stavbe z masnim blažilnikom in pospeškometerom, b) Masni blažilnik

Slika 3.2: a) Nihajna ročica za vzbujanje, b) Sestava pogona za vzbujanje makete stavbe [16]

Slika 3.3: Kontrolna plošča Elegoo-Arduino in pospeškometer GY-521 Module [17]

Slika 3.4: Graf lastnega dušenega nihanja makete stavbe brez masnega blažilnika

Slika 4.1: a) Stavba pri največji višini brez masnega blažilnika,
b) Stavba pri najmanjši višini brez masnega blažilnika

Slika 4.2: Graf lastnega nihanja stavbe pri višini 49 cm

Slika 4.3: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri višini stavbe 49 cm pri vsiljenem nihanju

Slika 4.4: Določitev vzbujevalnega pomika

Slika 4.5: Resonančna krivulja

Slika 4.6: Slika pritrjenega masnega blažilnika na stavbo brez vrtilišča in podaljškov

Slika 4.7: a) Nihalo dolgo 20 cm pri največji masi, b) Nihalo dolgo 20 cm pri srednji masi,
c) Nihalo dolgo 20 cm pri najmanjši masi

Slika 4.8: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 8 cm in masi 140 g

Slika 4.9: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 14 cm in masi 140 g

Slika 4.10: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 30 cm in masi 140 g

Slika 4.11: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 8 cm in masi 25 g

Slika 4.12: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 14 cm in masi 25 g

Slika 4.13: Grafi pospeška v odvisnosti od dolžine za vse tri mase

SEZNAM TABEL

Tabela 4.1: Izmerjeni časi 10 nihajev pri različnih višinah stavbe

Tabela 4.2: Tabela rezultatov za različno visoke stavbe

Tabela 4.3: Amplitude pospeškov pri različnih dolžinah in masah masnega blažilnika

SEZNAM OZNAK

a	[m/s ²]	pospešek
a_0	[m/s ²]	amplituda pospeška
h_{stavbe}	[cm]	višina stavbe (makete)
l_{MB}	[cm]	dolžina masnega blažilnika (makete)
m	[g]	masa masnega blažilnika (makete)
s_0	[cm]	amplituda odmika
s_v	[cm]	vzbujevalni odmik
t	[s]	čas
t_0	[s]	nihajni čas
t_v	[s]	nihajni čas vzbujanja
ν	[s ⁻¹]	frekvenca nihanja
ν_0	[s ⁻¹]	lastna frekvenca nihanja
ν_v	[s ⁻¹]	vzbujevalna frekvenca
ω	[s ⁻¹]	krožna frekvenca
ω_0	[s ⁻¹]	krožna lastna frekvenca
ω_v	[s ⁻¹]	krožna vzbujevalna frekvenca

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila mentorici gospe Matjuši Mihelčič za nudeno pomoč in svetovanje pri izdelavi domače naloge. Predvsem pa se ji zahvaljujem za to, da me je navdušila za fiziko. Zahvaljujem se tudi gospe Mateji Miljković za lektoriranje te raziskovalne naloge.

Obenem iskrena hvala vsem domačim, še posebno očetu, za vso podporo in pomoč pri pregledovanju naloge.

POVZETEK

Vplivi naravnih pojavov na okolico so dandanes vedno bolj aktualni, med njimi tudi potres, ki lahko povzroči ogromno škodo na stavbah. Vedno me je zanimalo, kako to, da se visoke stolpnice ob potresu ne zrušijo. Izvedela sem, da imajo stolpnice različne naprave za zmanjšanje potresne nevarnosti. Ena izmed njih je naprava v obliki težke krogle na nebotičniku v Tajvanu, ki je obešena v zgornjih nadstropjih in se imenuje masni blažilnik. Za masni blažilnik pravijo, da zmanjša nihanje stavbe ob potresu ali vetru. To me je spomnilo na pregovor »*Trese se gora, rodi se miš*«, ki pa pomeni, da se obeta nekaj hudega, na koncu pa ugotovimo, da ni nič strašnega. V mojem primeru velja, da stavbo lahko trese močan potres, vendar ji zaradi vgrajenega masnega blažilnika ni nič hudega. Zanimivo pa mi je, da bi težka krogla na vrhu nebotičnika pomagala ob potresu, ne pa mu škodila. Postavila sem si več vprašanj in sicer kako se različno visoke stavbe odzivajo na potres, kako lahko dodatna masa na vrhu stavbe, ki je obešena kot nitno nihalo (masni blažilnik), sploh pomaga pri ublažitvi potresa in kakšen mora biti ta masni blažilnik. Sestavila sem model stavbe, jo pritrdila na voziček in vzbujala z motorčkom. Pospeške stavbe sem merila s pospeškometerom in meritve opravljala s pomočjo aplikacije Arduino Uno. Ugotovila sem, da masni blažilnik zares blaži nihanje stavbe, a mora biti prilagojen stavbi, ker iz rezultatov vidimo, da masa in dolžina blažilnika vplivata na nihanje stavbe.

Ključne besede: masni blažilnik, nihanje, potres, resonanca

ABSTRACT

Impacts of natural phenomena on the environment are nowadays more and more important, including earthquakes, which can cause enormous damage to buildings. I have always been interested in how high skyscrapers don't collapse during an earthquake. I have learned that skyscrapers have different devices to reduce seismic risk. One of them is a heavy-ball device on a skyscraper in Taiwan, which is hung on the upper floors and is called a tuned mass damper. A tuned mass damper reduces the oscillations of a building during an earthquake or wind. It reminds me on the proverb "*A mountain just gave birth to a mouse*", which means that something terrible is coming, and in the end we find out that nothing terrible has happened. For my study case, that would mean that a skyscraper can be affected by a strong earthquake, but it can resist it if a tuned mass damper is installed. I find it interesting, however, that a heavy ball on top of a skyscraper would help rather than harm the earthquake. I wondered about how different tall buildings respond to an earthquake, how the extra mass on top of a building that is hung as a pendulum (mass damper) can even help with earthquake mitigation, and what properties the mass damper should have. I assembled the model of the building, attached it to the trolley and excited it with a motor. I measured the acceleration of the building with an accelerometer and made measurements using the Arduino Uno application. I have found that the mass damper really dampens the oscillation of the building, but it has to be adapted to the building. From the results, we can see that the mass and length of the damper affect the oscillation of the building.

Keywords: tuned mass damper, oscillation, earthquake, resonance

1 UVOD

Že od majhnega obiskujem svojega dedka in babico, ki živita v 20-nadstropni stolpnici za Bežigradom v Ljubljani (BS3), ki jo prikazuje slika 1.1a. Tam je 6 zelo visokih stolpnic, ki se dvigujejo nad vse zraven postavljene 4-nadstropne bloke. Pri geografiji smo se učili, da je največja potresna nevarnost v Posočju, Krškem, kot tudi v ljubljanski kotlini, kjer so ti bloki postavljeni. Večkrat sem se pa tudi spraševala, kako ohraniti potresno varnost teh visokih stolpnic, da se ne bodo podrli. Tudi moj dedek mi je povedal, da prebivalci najvišjih nadstropij čutijo, da se zgradba premika že ob rahlem vetriču. Spraševala sem se, kako lahko taka betonska stavba niha, če pa je tako težka in visoka. Zdelo se mi je zanimivo in odločila sem se, da bom to tudi raziskala.

Že leta 1930 so zaradi slabih izkušenj z rušilnim potresom iz leta 1895 ljubljanski nebotičnik (slika 1.1b) zgradili protipotresno [1]. Nebotičnik je bil takrat najvišja stavba v srednji Evropi. Njegove temelje so od zgradbe ločili z dvema pločevinama iz cinka ali železa, med katerima je svinčena pločevina, s čimer lahko nebotičnik ob potresu drsi po temeljih [2]. Tak način zagotavljanja potresne varnosti se mi zdi logičen, bolj pa se mi zdi nenavadna rešitev v nebotičniku Taipei 101 v Tajvanu, kjer so na vrh zgradbe obesili ogromno težko kroglo, ki jo imenujejo masni blažilnik (ang. tuned mass damper) (slika 1.1c). Zdelo se mi je čudno, da bi taka težka krogla na vrhu nebotičnika pomagala ob potresu, ne pa mu škodila. Odločila sem se, da bom s poenostavljeno maketo nebotičnika in krogle sama raziskala, kako je to mogoče.



Slika 1.1: a) Stolpnice v BS3 v Ljubljani, b) Ljubljanski nebotičnik [3], c) Taipei 101 [4]

1.1 HIPOTEZE

Če želimo razumeti, zakaj bi lahko masni blažilnik sploh pomagal pri potresu, je potrebno najprej razumeti, kako se različne zgradbe odzivajo pri enakem potresu. Stavbe so različno težke, visoke, različnih oblik, materialov itd., zato se vprašam, kaj bi lahko najbolj vplivalo na ogroženost pri potresu. Najbolj se mi zdi logično, da vpliva višina, katere vpliv lahko najlažje raziščem.

Hipoteza 1: Različno visoke zgradbe so pri enakem potresu različno ogrožene, ker se med njim različno odzivajo.

Taipeieva krogla, ki deluje kot masni blažilnik, izgleda kot nihalo, ki je obešeno na podstreho. Zanima me, ali lahko s preprostim modelom stavbe, ki ji na vrh obesimo nihalo, ublažimo njeno nihanje ob potresu.

Hipoteza 2: Ko na vrh stavbe obesimo nihalo, lahko le ta deluje kot masni blažilnik, ker lahko zmanjša amplitude nihanja te stavbe.

Pričakujem, da masni blažilnik deluje kot nitno nihalo. Za nitno nihalo vemo, da na nihajni čas vpliva samo dolžina in ne tudi masa. Zato predvidevam, da na spremembo nihanja zgradbe vpliva predvsem dolžina dodanega nihala, ne pa tudi masa.

Hipoteza 3: Ko dodamo nihalo na vrh zgradbe, je za blažitev nihanja zgradbe pomembna samo dolžina nihala, ne pa tudi njegova masa.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 POTRESI

Potres je naravni pojav, ki nastane ob tresenju tal Zemlje. Vzrokov za potres je veliko. Večina potresov nastaja zaradi premikanja kamnin iz notranjosti proti zunanosti Zemlje. Te kamnine vplivajo na zunanji sloj, na katerem so tektonske plošče. Do potresa pride na robovih le-teh, ko se medsebojno rinejo, se razmikajo in ko drsijo druga ob drugo. Fokus oz. hipocenter je točka izvora potresa. Iz te točke se širijo valovi, ki jih na površju čutimo kot tresljaje oziroma potres [4].

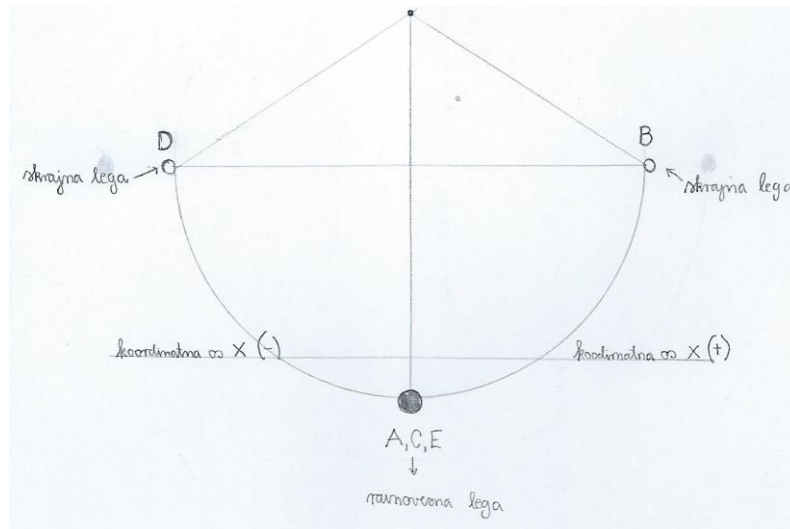
Potres ima vpliv na naravo in na našo okolico. Za človeka direktno potres ni nevaren, govorim pa predvsem o posledicah tresenja tal. Pri močnih potresih so porušitve objektov skoraj neizogibne (slika 2.1), čeprav jih človek poskuša obvarovati, kolikor se le da. Plazovi, poplave, cunamiji, požari in ostale posledice vplivajo na človeka v obliki materialne škode in stroškov, prav tako pa ogrožajo človeška življenja [4].



Slika 2.1: Potres na Tajvanu [5]

2.2 NIHANJE

Nihanje je gibanje nihala od ene skrajne lege do druge skrajne lege. Eno izmed najbolj znanih nihala je nitno nihalo, ki ima utež pritrjeno na vrvici (slika 2.2). Ko nihalu dodamo potencialno energijo oz. ga dvignemo v smeri ene skrajne lege in ga spustimo, nihalo zaniha in s tem opravlja pot. Na poti se utež giblje skozi ravnovesno lego, ki je najnižja točka njegove poti. V skrajni legi ima utež največji odmik od ravnovesne lege, kar pa imenujemo amplituda s_0 [6].

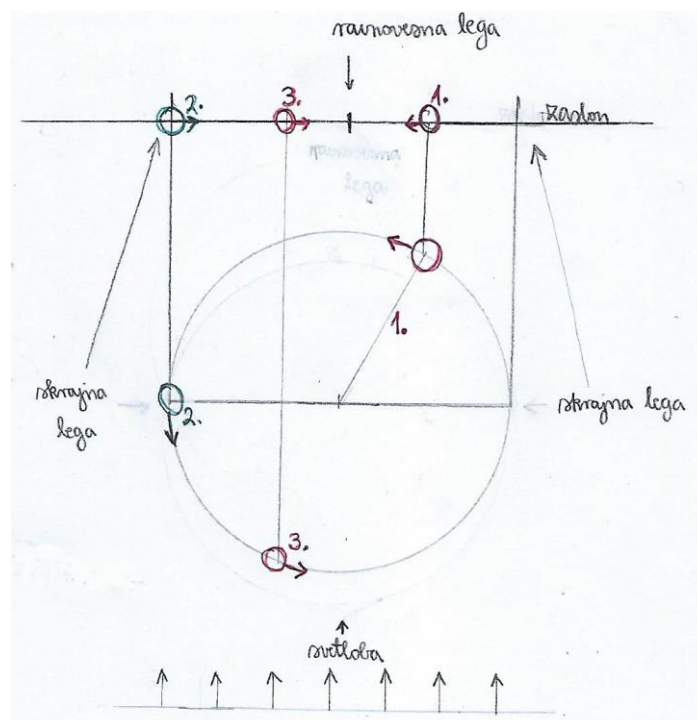


Slika 2.2: Nitno nihalo

En nihaj je enak gibanju nihala iz ene skrajne lege do druge skrajne lege in nazaj. Čas, v katerem naredi nihalo en nihaj, se imenuje nihajni čas t_0 . Nihalo ima frekvenco nihanja ν , ki pove, koliko nihajev naredi nihalo v eni sekundi. Izračunamo jo kot obratno vrednost nihajnega časa in ima enoto s^{-1} ali hertz (Hz) [7].

$$\nu = \frac{1}{t_0} \quad (1)$$

Nihanje je sorodno enakomernemu kroženju. Predstavljajmo si kroglo, ki enakomerno kroži (slika 2.3). Nanjo posvetimo z lučjo in opazujemo njeno senco na steni. Opazimo, da senca prikazuje nihanje od ene skrajne lege do druge. Ko krogla naredi en obhod, senca na steni naredi en nihaj [7].



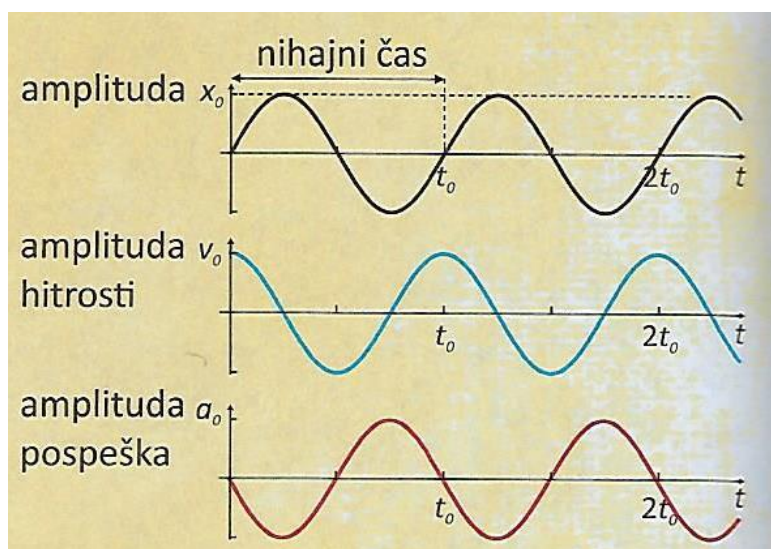
Slika 2.3: Enakomerno kroženje je sorodno nihanju

Pot pri enem obhodu je enaka celotni krožnici. Središčni kot takšnega obhoda je 360° oz. 2π radianov. Radian je mera za kot in je razmerje med lokom krožnice in njenim polmerom [8]. Npr. 1 radian je enak središčnemu kotu 1 m dolgega krožnega loka krožnice s polmerom 1 m. Obseg takšne krožnice pa meri 2π m, kar pa ustreza kotu 2π radianov.

Pri enakomernem kroženju tudi srečamo frekvenco, ki se imenuje krožna frekvenca ω . Ta pove, koliko radianov naredi kroglica pri kroženju v 1 s. Frekvenca v pove, koliko nihajev pri nihanju oz. obhodov pri kroženju naredi kroglica v 1 s, krožna frekvenca ω pa pove, kolikšen kot naredi pri takšni frekvenci. Krožno frekvenco izračunamo po enačbi [7]:

$$\omega = 2\pi v \quad (2)$$

Amplituda nihanja s_0 je polmer krožnice pri kroženju. Slika 2.4 prikazuje spreminjanje poti, hitrosti in pospeška s časom pri harmoničnem nihanju. Opazovanje začnemo v ravnovesni legi, kjer je pot enaka nič, hitrost skozi ravnovesno lego je največja, pospeška pa ni, ker se hitrost v tem trenutku ne spreminja. V skrajni legi je pot največja, ker je tudi odmik nihala od ravnovesne lege največji. Hitrost je v tej točki enaka nič, pospešek pa je največji, ker se tam hitrost najbolj spremeni. Na poti proti ravnovesni legi gre pot po koordinati v negativno smer in je v ravnovesni legi spet enaka nič. Hitrost se povečuje in ko gre skozi ravnovesno lego je največja, pospešek pa je spet enak nič. Gibanje se ponovi tudi na drugi strani [9]. Za lažje razumevanje je nitno nihalo že bilo prikazano na sliki 2.2.



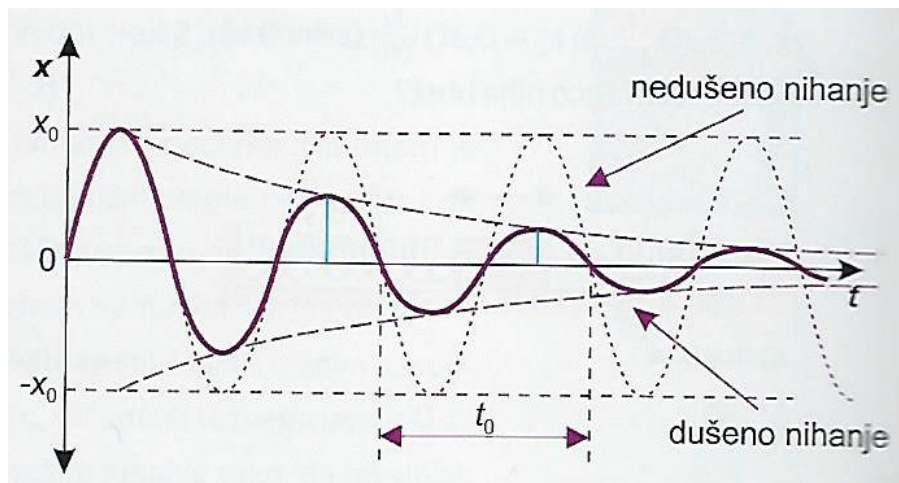
Slika 2.4: Graf odvisnosti poti, hitrosti in pospeška od časa [9]

Iz grafov je razvidno, da sta grafa poti in pospeška po obliki enaka oziroma sorazmerna. Zveza med amplitudama poti s_0 in pospeška a_0 je podana z enačbo [7]:

$$a_0 = \omega^2 s_0 \quad (3)$$

Nihanje je lahko nedušeno ali dušeno in ju prikazuje slika 2.5. Pri dušenem nihanju se amplituda s časom ne spreminja, pri tem pa se energija ohranja oziroma je stalna. V naravi

nedušeno nihanje ne obstaja, ker se vedno nekaj energije izgubi. Takemu nihanju pa pravimo dušeno nihanje, kjer se energija nihala zmanjšuje, posledično pa se zmanjšuje tudi amplituda nihala.



Slika 2.5: Dušeno in nedušeno nihanje [10]

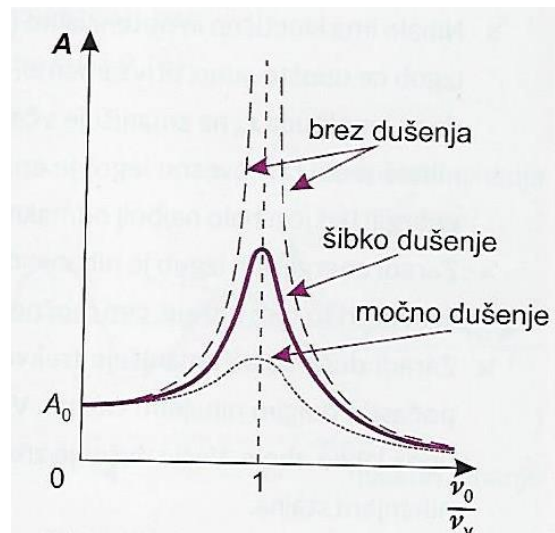
Lastno nihanje lahko prikažemo z nitnem nihalom, ko ga izmaknemo iz ravnovesne lege, ga spustimo in ga pustimo, da niha samo. Nihalo niha z vedno enako frekvenco, ki jo imenujemo lastna frekvenca ν_0 . Pri vsiljenem nihanju pa nihalo ves čas vzbujamo. Ker nihalo vzbujamo, ne niha s svojo lastno frekvenco, temveč z vzbujevalno frekvenco ν_ν , ki pa ni enaka lastni frekvenci nihala. Iz obeh frekvenc lahko dobimo iz enačbe (2) tudi krožno lastno frekvenco ω_0 in krožno vzbujevalno frekvenco ω_ν [11].

Pri vsiljenem nihanju je zelo pomembno, kakšna je vzbujevalna frekvenca, glede na lastno frekvenco nihala. Če nihalo vzbujamo z vzbujevalno frekvenco, ki je enaka njegovi lastni frekvenci, potem so amplitude zelo velike, temu pojavu pa pravimo resonanca. Resonanca je v nekaterih primerih dobrodošla, kot je npr. pri poganjanju otroške gugalnice, v gradbeništvu pa se ji izogibajo, saj bi se zaradi velikih amplitud zgradbe lahko porušile. Primer takšne nesreče je most Tacoma Narrows (slika 2.6) v ameriški zvezni državi Washington leta 1940, ko se je porušil zaradi pihanja vetra, čigar vrtinci so vzbujali most z vzbujevalno frekvenco, ki je bila enaka lastni [12]. Leta 1850 se je podobno zrušil most v Angersu, ko so francoski vojaki korakali čez njega [7].



Slika 2.6: Most Tacoma Narrows [12]

Resonančna krivulja prikazuje, kako so amplitude odmika odvisne od razmerja lastne in vzbujevalne frekvence. Slika 2.7 prikazuje, da so največje amplitude tam, kjer je razmerje frekvenc enako ena [10].

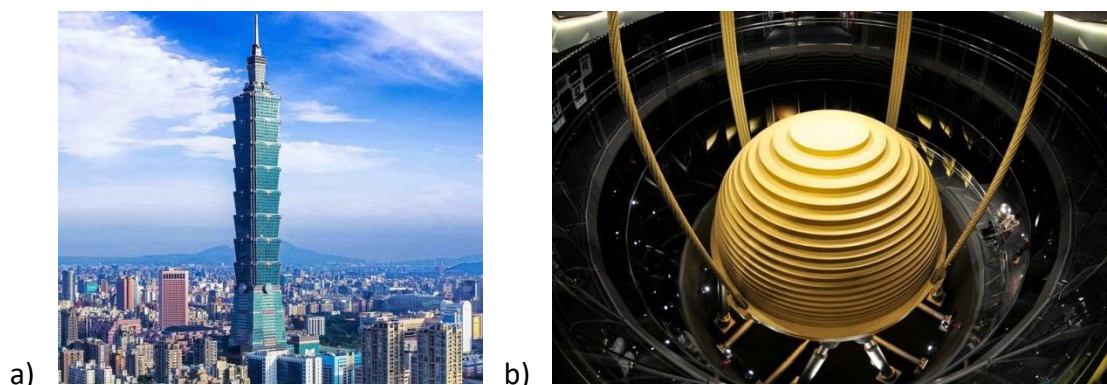


Slika 2.7: Resonančna krivulja [10]

2.3 MASNI BLAŽILNIK

Masni blažilnik je naprava, ki je vgrajena v stavbe, pa tudi v avtomobile in letala, in zmanjšuje amplitude nihanja stavbe ob vetrovih, potresih in drugih mogočih naravnih pojavih [4]. Masni blažilnik je prilagojen na stavbo po njeni velikosti, masi in materialu. Prilagodili so ga nebotačniku Taipei 101 (slika 2.8a), kjer je najbolj znan primerek.

Taipei 101 je 508 metrov visoka zgradba, ki je znana po svoji konstrukciji. V njej so delovne pisarne, banke, nakupovalni center, restavracije itd. Ni pa znan samo po masnem blažilniku na sliki 2.8b. Nove rekorde je postavilo tudi dvigalo, ki lahko potnike prevaža iz 5. do 89. nadstropja samo v 37 sekundah. Na njem prirejajo različne dogodke, kot je tudi ognjemet za novo leto. Zgradba je zgrajena v 101 nadstropjih nad tlemi in s petimi nivoji pod zemljo in je zaradi svoje jeklene konstrukcije in dodatne ojačitve s stebri in steklom ena najstabilnejših stavb na svetu. Masni blažilnik je 660 ton težko jekleno nihalo, ki je obešeno od 92. do 87. nadstropja. Krogla je sestavljena iz 41 jeklenih plošč v obliki kroga, ki pa niso enako velike, vse pa so 125 milimetra debele. Tvorijo kroglo premera 5,5 metra. Največje gibanje tajvanskega masnega blažilnika pa je bilo leta 2015 ob močnih vetrovih, ko je masni blažilnik nihalo za 100 centimetrov [13].



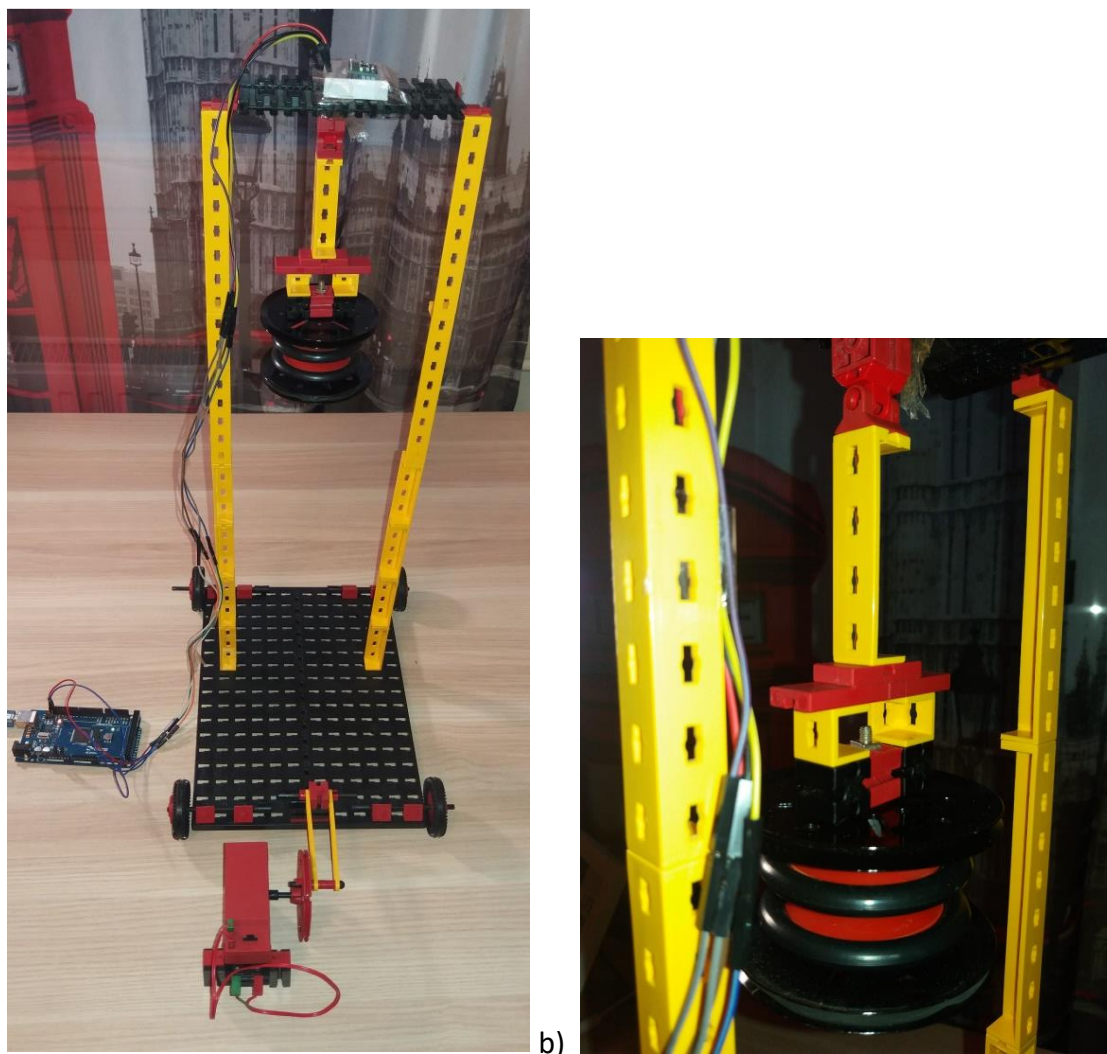
Slika 2.8: a) Taipei 101 [14], b) Masni blažilnik v Taipei 101 [15]

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 IZDELAVA MAKETE

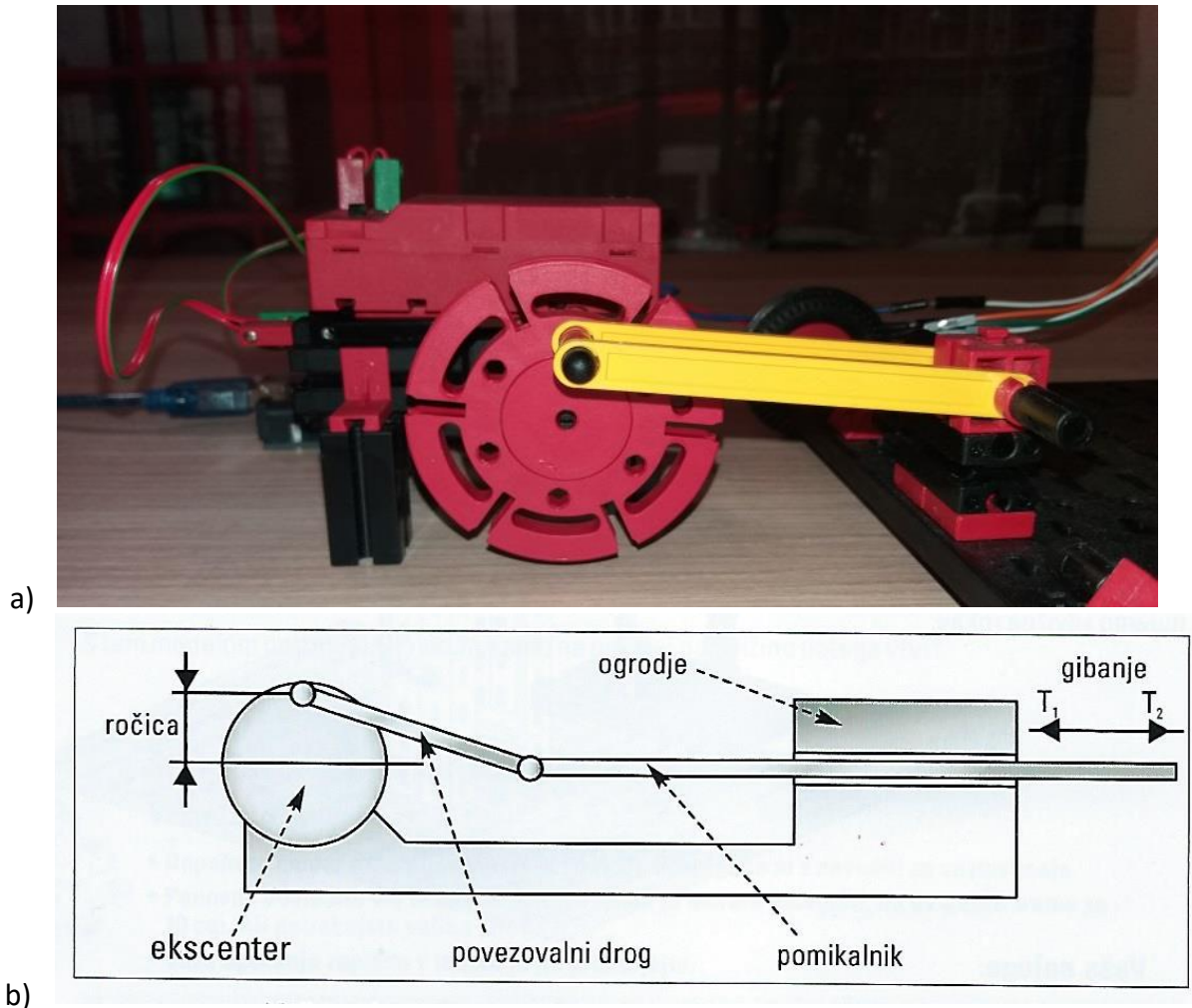
Maketo masnega blažilnika in stavbe sem izdelala iz kompleta Fischertechnik PROFI Mechanic+Static. Maketo sem sestavila z namenom, da bi raziskovala ali masni blažilnik vpliva na stavbo oziroma kako vpliva nanjo.

Maketa, prikazana na sliki 3.1a, je sestavljena iz plošče na štirih kolesih, ki pa omogočajo, da jo z nihajno ročico vzbujamo. Na plošči so pritrjene plastične palčke, ki so upogljive in predstavljajo stene stavbe. Glede na število palčk lahko spreminjamo tudi višino stavbe. Na vrhu le-te je zgornja ploščad, na katero je pritrjen pospeškometer in iz katerega visi masni blažilnik. Masni blažilnik, prikazan na sliki 3.1b, pa sem z malo improvizacije sestavila iz štirih kovinskih koles, ki visijo z ogrodjem, sestavljenim iz plastičnih koščkov tudi iz modela Fischertechnik, in z vrtilščem, ki mu omogoča, da lahko niha.



Slika 3.1: a) Maketa stavbe z masnim blažilnikom in pospeškometerom, b) Masni blažilnik

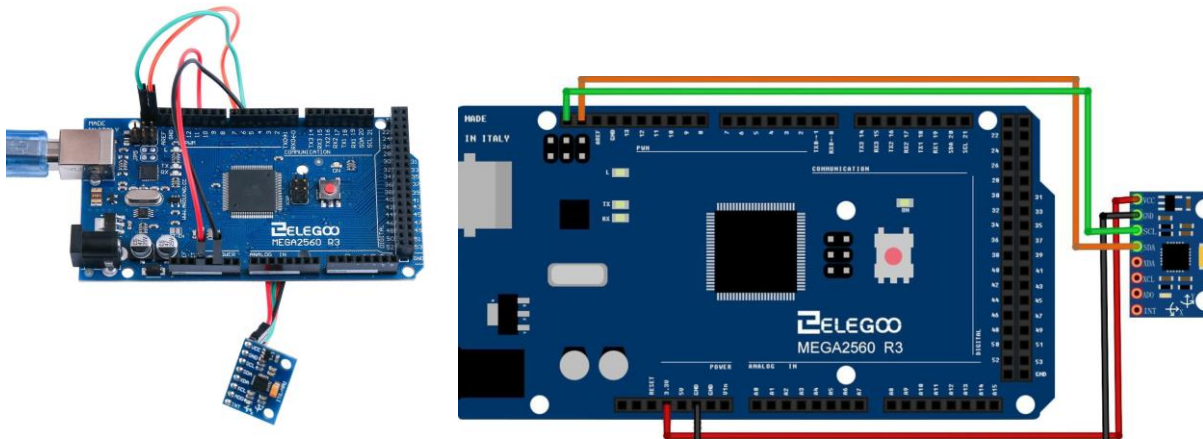
S ploščo je povezana nihajna ročica, ki jo prikazuje slika 3.2a. Gibanje nihajne ročice poženemo z motorčkom na 9 V alkalno baterijo. Zgrajena pa je tako, da krožno gibanje spremenimo v premočrtno gibanje, kar pa ji omogoča vzbujanje oziroma premikanje makete stavbe naprej in nazaj, kot prikazuje slika 3.2b [16].



Slika 3.2: a) Nihajna ročica za vzbujanje, b) Sestava pogona za vzbujanje makete stavbe [16]

3.2 MERJENJE POSPEŠKOV PRI NIHANJU

Za merjenje pospeškov pri nihanju sem potrebovala pospeškometer. Uporabila sem komplet Arduino Elegoo, v katerem sem našla pospeškometer in girooskop GY-521 Module. Pospeškometer sem namestila na maketo in ga s kabli povezala na kontrolno ploščo po priloženih navodilih [17] (slika 3.3). Kontrolno ploščo pa sem priključila na računalnik, na katerem je nameščen program Arduino Uno.



Slika 3.3: Kontrolna plošča Elegoo-Arduino in pospeškometer GY-521 Module [17]

Na priloženem CD-ju [17] so posneti tudi programi za vse module v kompletu. Poiskala sem program za GY-521 Module in ga prenesla v aplikacijo Arduino Uno. Ker potrebujemo samo pospeškometer in ne tudi giroskopa, sem iz programa izbrisala vse kar se je nanašalo na giroskop. Ugotovila sem, da se pri nihanju pospeškometer giblje samo v eni smeri in jo zaznava kot y smer. Zaradi te ugotovitve sem izrisala grafe samo v tej smeri (AcY oz. gForceY), vrstice z izpisi za druge smeri pa sem izbrisala. Program je prikazan v nadaljevanju:

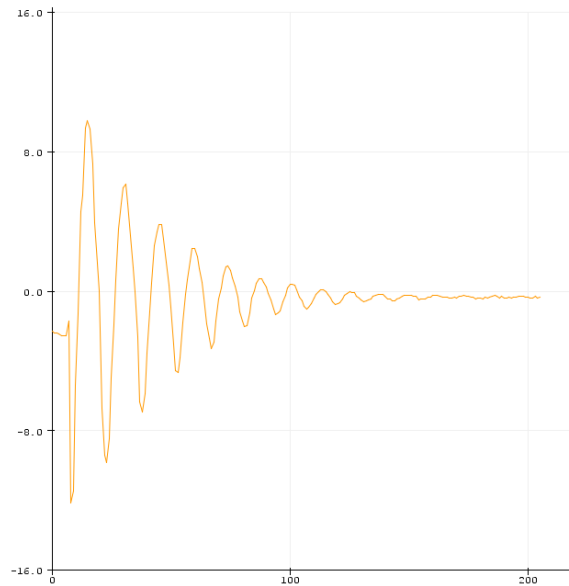
```

-----
// MPU-6050 Short Example Sketch
//www.elegoo.com
//2016.12.9

#include<Wire.h>
const int MPU_addr=0x68; // I2C address of the MPU-6050
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ,time;
int i;
float LSB,gForceX,gForceY,gForceZ;
void setup(){
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register
  Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)
  Wire.endTransmission(true);
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true); // request a total of 14 registers
  AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
  AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
  AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
  LSB=16384.;
  gForceX = (float)(AcX) / LSB;
  gForceY = (float)(AcY) / LSB;
  gForceZ = (float)(AcZ) / LSB;
  Serial.print(" | AcY = "); Serial.print(10*gForceY);
  Serial.println();
  delay(33);
}
-----

```

Program izrisuje graf pospeška v odvisnosti od časa. Slika 3.4 prikazuje primer izpisa rezultatov. Maketo stavbe smo izmaknili iz ravnovesne lege in spustili, da je sama nihala, ta graf pa prikazuje njeno lastno dušeno nihanje. Iz grafa je možno dobiti amplitude pospeška, nihajni čas in frekvenco nihanja.



Slika 3.4: Graf lastnega dušenega nihanja makete stavbe brez masnega blažilnika

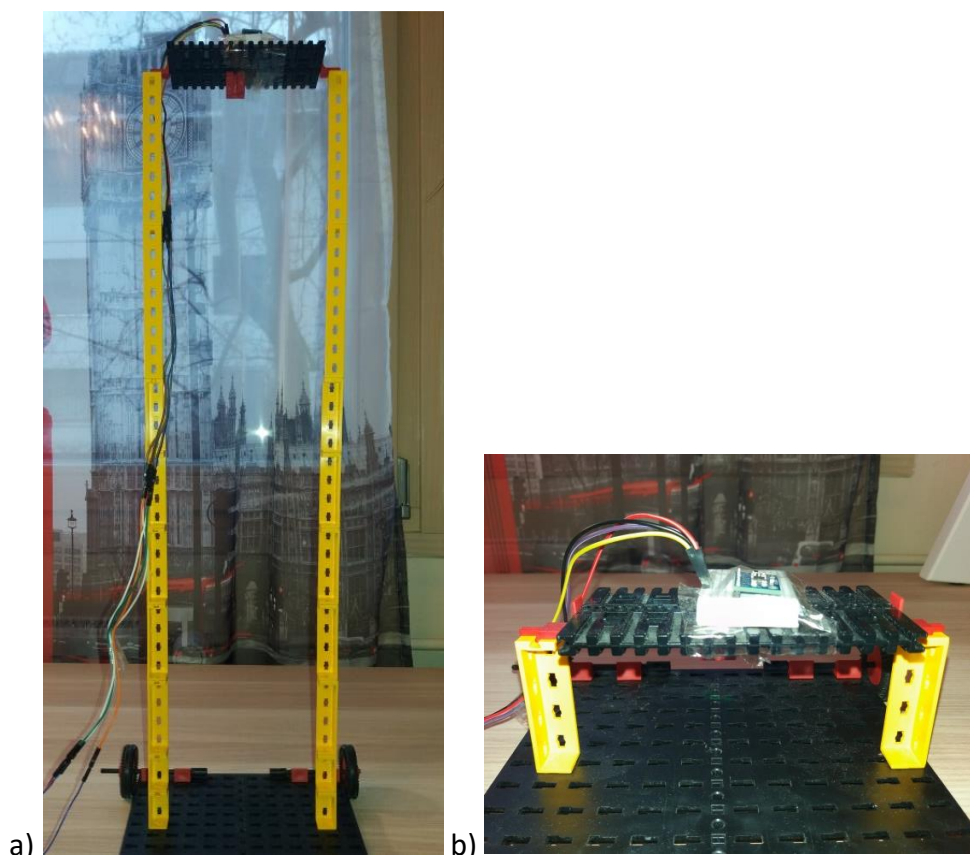
4 REZULTATI MERITEV IN RAZPRAVA

4.1 LASTNOSTI ZGRADBE PRI RAZLIČNIH VIŠINAH

Namen poskusa: Če želimo vedeti, kako masni blažilnik vpliva na stavbo, moramo najprej poznati njene lastnosti pri vzburjanju z motorčkom, kar v mojem primeru ponazarja potres. Moramo pa tudi vedeti, kako se te lastnosti pod takimi pogoji spreminjajo pri različnih višinah stavb, zato sem merila frekvence nihanja, s katerimi nihajo stavbe različnih višin, ko jih vzbujamo.

Potres sem simulirala z motorčkom na baterije, ki naj bi ves čas poganjal ročico z enako hitrostjo. Vsiljeval je nihanje oziroma premikal maketo. Imel je svojo frekvenco, ki sem jo imenovala vzbujevalna frekvenca ν_v . Če vsiljujemo nihanje, mora biti po teoriji frekvenca, s katero niha stavba, enako velika kot ν_v . To pomeni, da bi morala stavba ne glede na višino vedno nihati z enako frekvenco, kot je vzbujevalna, in to naj bi potrdil ta poskus.

Pri tem poskusu sem z motorčkom vzbujala stavbe različnih višin in sicer 7 cm, 13 cm, 19 cm, 25 cm, 31 cm, 37 cm, 43 cm, 49 cm, 55 cm in 61 cm. Višine stavb sem spreminjala glede na število plastičnih palčk, ki predstavljajo stene stavbe. Čim več palčk je skupaj pritrjenih, višja je stavba. Primera, kako sem stavbi spreminjala višino sta prikazana v sliki 4.1 in sicer pri 7 cm in 61 cm.



Slika 4.1: a) Stavba pri največji višini brez masnega blažilnika, b) Stavba pri najmanjši višini brez masnega blažilnika

Za poskus sem potrebovala samo štoparico. Vključila sem motorček, pritisnila štoparico in štela deset nihajev stavbe. Pri vsaki višini stavbe sem to naredila desetkrat. Izmerjene čase t sem vnesla v tabelo 4.1 in izračunala povprečje časov za vsako višino posebej.

Tabela 4.1: Izmerjeni časi 10 nihajev pri različnih višinah stavbe

h_{stavbe}	61 cm	55 cm	49 cm	43 cm	37 cm	31 cm	25 cm	19 cm	13 cm	7 cm
št. poskusa	t [s]									
1	5,22	5,04	6,40	5,56	5,55	5,49	5,49	5,42	5,88	5,76
2	5,16	5,15	6,21	5,94	5,36	5,56	5,56	5,52	5,67	5,55
3	5,32	5,41	6,40	5,68	5,42	5,36	5,66	5,69	5,68	5,65
4	5,30	5,30	6,26	5,76	5,43	5,36	5,42	5,68	5,74	5,84
5	5,30	5,36	6,47	5,59	5,56	5,61	5,69	5,63	5,48	5,63
6	5,29	5,16	6,33	5,74	5,49	5,69	5,75	5,62	5,56	5,47
7	5,29	5,22	6,27	5,88	5,48	5,61	5,56	5,51	5,88	5,75
8	5,41	5,22	6,21	5,70	5,56	5,62	5,55	5,64	5,88	5,56
9	5,29	5,09	6,46	5,74	5,48	5,63	5,56	5,42	5,75	5,42
10	5,23	5,29	6,34	5,56	5,43	5,63	5,55	5,75	5,82	5,64
povprečje	5,28	5,22	6,34	5,72	5,48	5,56	5,58	5,59	5,73	5,63

Povprečje časov sem delila z 10 in tako sem pri vsaki višini dobila nihajni čas vzbujanja t_v . Te vrednosti so vpisane spodaj v prvem stolpcu tabele 4.2. Iz nihajnih časov t_v pa sem po enačbi (1) izračunala vzbujevalne frekvence ν_v in jih vnesla v drugi stolpec tabele 4.2.

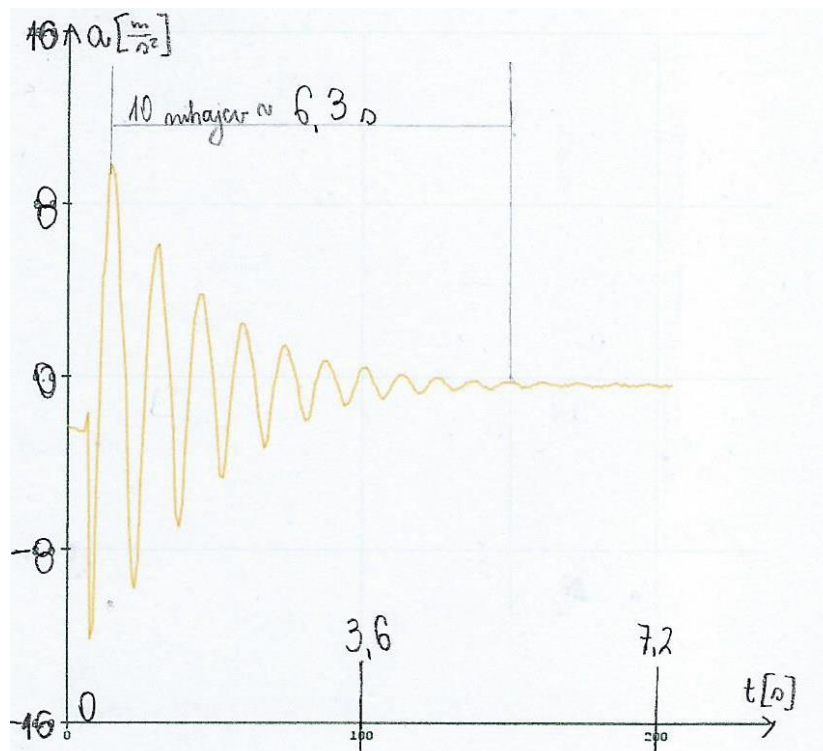
Ugotovila sem, da se vzbujevalne frekvence razlikujejo zelo malo, kar pa je lahko posledica tudi mojega nenatančnega merjenja. Edini nihajni čas oziroma frekvenca ν_v , ki se malo bolj razlikuje, je pri višini stavbe 49 cm. Pri tej višini sem tudi opazila, da so bile amplitude odklikov bistveno večje kot v ostalih primerih, zato iz tega sklepam, da moj motorček ni imel dovolj velike moči, kar pomeni, da stavba rahlo vpliva na delovanje motorčka.

Tabela 4.2: Tabela rezultatov za različno visoke stavbe

h_{stavbe} [cm]	t_v [s]	ν_v [1/s]	ν_0 [1/s]	ω_v [1/s]	ω_0 [1/s]	a_0 [m/s ²]	s_0 [mm]	s_0/s_v [1]	ω_v/ω_0 [1]
61	0,528	1,89	1,12	11,87	7,03	4	28	1,6	1,69
55	0,522	1,92	1,43	12,06	8,89	7	48	2,8	1,36
49	0,634	1,58	1,58	9,92	9,92	12	122	7,2	1,00
43	0,572	1,75	3,29	10,99	20,66	5	41	2,4	0,53
37	0,548	1,82	3,49	11,43	21,92	3	23	1,4	0,52
31	0,556	1,79	4,00	11,24	25,12	2	16	0,9	0,45
25	0,558	1,79	4,67	11,24	29,33	/	/	/	/
19	0,559	1,79	6,99	11,24	43,90	/	/	/	/
13	0,573	1,75	/	10,99	/	/	/	/	/
7	0,563	1,78	/	11,18	/	/	/	/	/

Namen poskusa: Pomembno pa je tudi ugotoviti, kako sama stavba niha brez vzbujanja, če jo izmaknemo iz ravnovesne lege in spustimo. Vse stavbe v tem primeru nihajo s svojo lastno frekvenco ν_0 , ki jo želim izmeriti.

Lastne frekvence pa nisem mogla dobiti na enak način, ker stavba prehitro iznihava oziroma pri majhnih višinah prehitro niha, da bi lahko izmerili s štoparico deset nihajev. Zato sem ν_0 stavbe pri vsaki višini izmerila in izračunala s pomočjo aplikacije Arduino Uno. Ker stavba mora nihati sama, pri tem poskusu nisem potrebovala motorčka. Poskus je potekal tako, da sem stavbo izmaknila iz ravnovesne lege, spustila in pustila nihati. Izrisal se mi je graf, ki je prikazan na sliki 4.2. Na grafu sem preštela 10 nihajev in določila čas nihanja teh desetih nihajev. Lastno frekvenco pa sem izračunala tako, da sem 10 nihajev delila s časom teh desetih nihajev. To sem ponovila za vse višine in rezultate vstavila v tretji stolpec tabele 4.2. S tem načinom nisem mogla izmeriti lastnih frekvenc najmanjših dveh stavb, ker so nihale s previsoko frekvenco, da bi bilo mogoče iz grafa dobiti koristne rezultate.



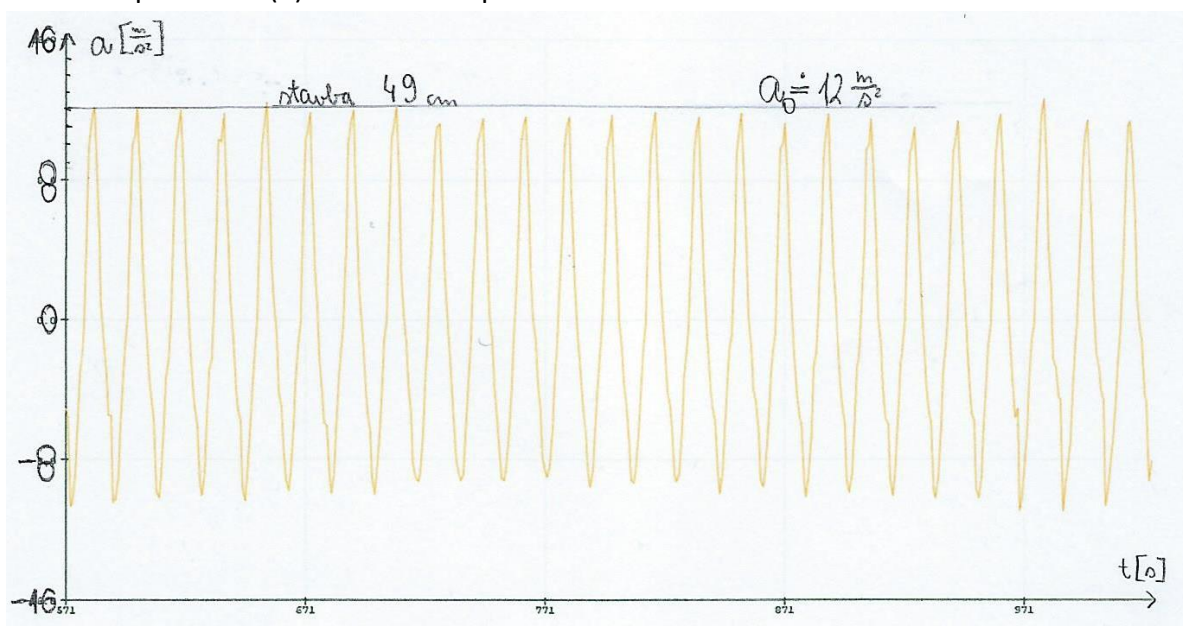
Slika 4.2: Graf lastnega nihanja stavbe pri višini 49 cm

Iz rezultatov je razvidno, da imajo visoke stavbe manjšo lastno frekvenco, kar pomeni, da ima manjši nihajni čas oziroma počasneje niha. Če pa primerjam vzbujevalno frekvenco z lastno frekvenco, opazim, da sta pri 49 cm visoki stavbi enaki. Ko smo stavbo pri tej višini vzbujevali, je imela mnogo večje amplitude odmika kot pri drugih stavbah, kar nam dokazuje, da je stavba prišla v resonanco. Motorček pa je bil prešibek, da bi stavbi vsilil svojo frekvenco in ga pri vzbujevanju zelo moti. S tem lahko razložimo, zakaj je v stolpcu vzbujevalnih frekvenc takšno odstopanje ravno pri tej višini stavbe.

Iz izmerjenih rezultatov lahko dobimo resonančno krivuljo, ki nam pove, kolikšni so amplitude odkimov pri različnih razmerjih vzbujevalne in lastne krožne frekvence.

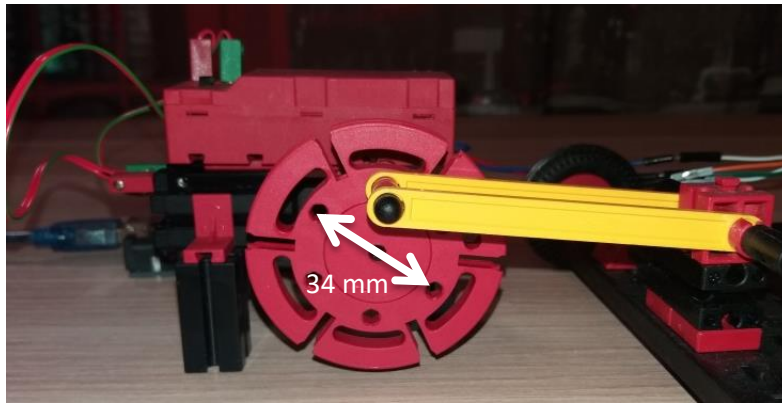
Iz frekvenc sem izračunala tudi krožno lastno frekvenco ω_0 in krožno vzbujevalno frekvenco ω_v po enačbi (2). Obe frekvenci sem vpisala v tabelo 4.2 in ju potrebujem tudi pri izrisu resonančne krivulje, ki jo bom prikazala kasneje.

Za resonančno krivuljo potrebujem še amplitude odkima stavbe s_0 in vzbujevalni odkim s_v . Amplitude odkima s_0 ne morem izmeriti, zato uporabim graf pospeška v odvisnosti od časa vsiljenega nihanja, iz katerega odčitam največjo vrednost pospeška a_0 (slika 4.3) in jo vpišem v tabelo 4.2. Ko dobim vrednosti pospeškov za vse višine, lahko amplitude odkimov s_0 izračunam po enačbi (3) in rezultate vpišem v tabelo 4.2.



Slika 4.3: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri višini stavbe 49 cm pri vsiljenem nihanju

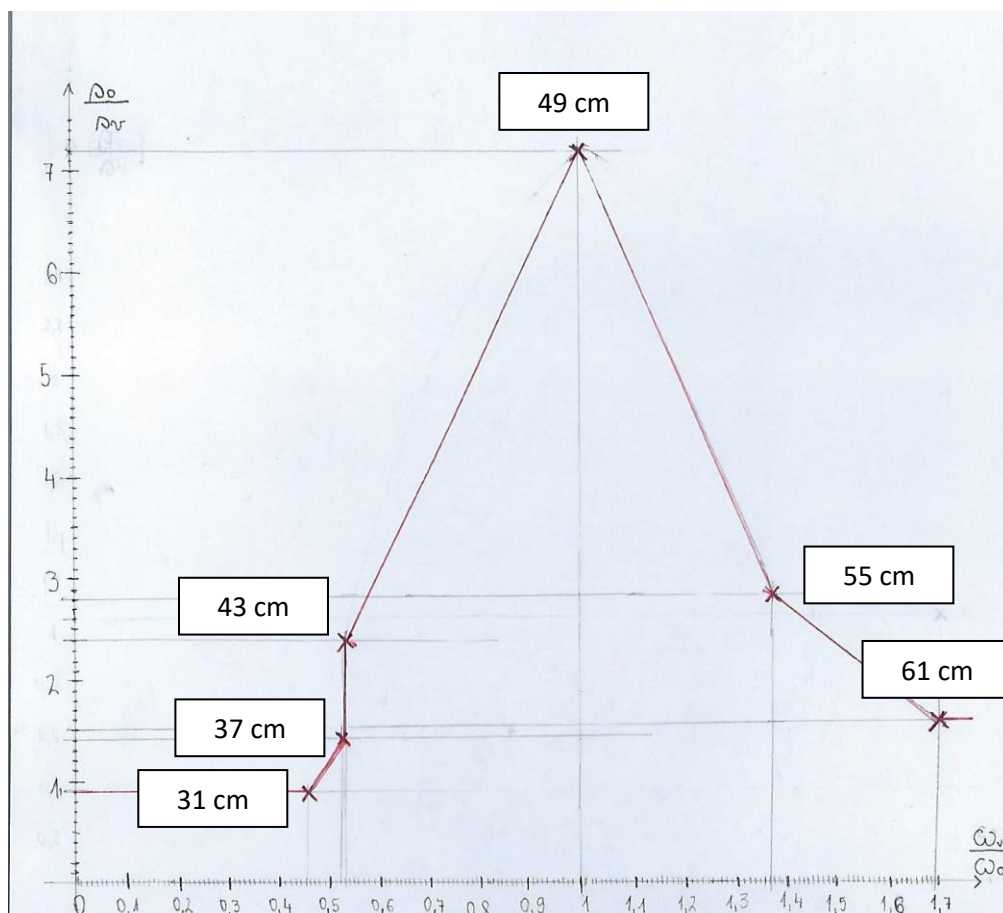
Vzbujevalni pomik s_v pa je enak za vse višine stavbe, saj ročni mehanizem pri motorčku ploščo vedno premika naprej in nazaj za enak premik. Ta premik je enak premeru kroga in meri 34 mm, kar kaže slika 4.4. Ta krog prenaša gibanje iz motorčka na ročico, katera pa premika voziček. Odkim s_v pa meri 17 mm oziroma polmer tega kroga, kar pa predstavlja razdaljo med skrajno in ravnovesno lego.



Slika 4.4: Določitev vzbujevalnega pomika

V tabeli 4.2 so v zadnjih dveh stolpcih razmerja amplitud pomikov s_0/s_v in krožnih frekvenc ω_v/ω_0 , ki jih potrebujemo za izris resonančne krivulje.

Iz resonančne krivulje na sliki 4.5 se vidi, da je izmed vseh stavb, ki sem jih analizirala, stavba višine 49 cm res v resonanci pri takšnem vzbujanju.



Slika 4.5: Resonančna krivulja

Stavbe so imele pri enakem potresu različne lastne frekvence in amplitude odmikov, kar pa dokazuje, da so pri enakem potresu različno visoke stavbe različno ogrožene. S tem sem potrdila prvo hipotezo.

4.2 VPLIV DOLŽINE IN MASE MASNEGA BLAŽILNIKA NA NIHANJE STAVBE V RESONANCI

Pri prejšnjem poskusu smo ugotovili, da je stavba višine 49 cm v resonanci pri vzbujanju motorčka. Stavba pri tej višini je imela večje amplitude odklikov kot pri ostalih, zato je bolj ogrožena oziroma se lahko v naravi, če pride do takšnega potresa ali vetra, hitreje poškoduje. Zaradi tega pa ravno nanjo obesim masni blažilnik in raziskujem, če je učinkovit pri enaki vzbujevalni frekvenci.

Namen poskusa: Zanima me, kako narediti masni blažilnik, da bo stavbi ustrezal in katere lastnosti masnega blažilnika pravzaprav sploh vplivajo na stavbo. Masni blažilnik sem obesila tako kot nitno nihalo. Masnemu blažilniku sem spreminjala dolžino in maso, saj sta se mi ti dve lastnosti nihala zdeli najbolj vplivajoči na stavbo.

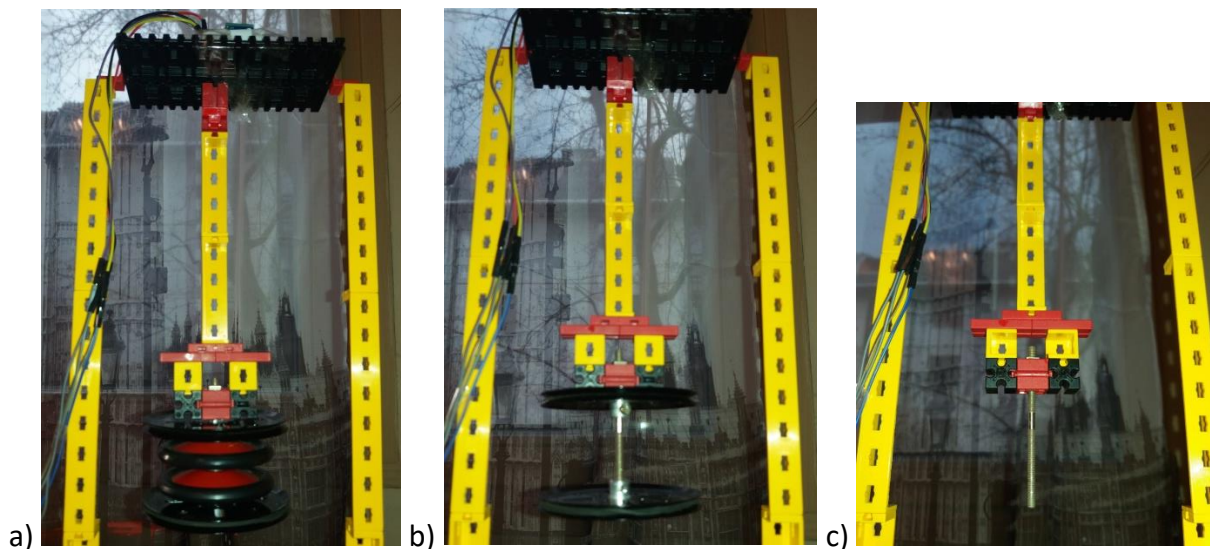
Masni blažilnik sem pritrčila na stavbo na dva različna načina. Enkrat sem ga na stavbo fiksno pritrčila kot dodatno maso in ne kot nitno nihalo, kar je prikazano na sliki 4.6. Drugič pa sem ga obesila kot nitno nihalo preko vrtljivega vrtilišča in mu dolžino podaljševala.

Če masni blažilnik na stavbo pritrdim (ne kot nihalo), se amplitude pospeška sicer zmanjšajo, ampak je za prebivalce stavbe neugodno, ker je nihanje stavbe neenakomerno. Če bi ga na stavbo pritrčili, to pomeni, da bi ji dodali dodatno maso. S tem sem spremenila lastno frekvenco stavbe, zato ta ni več v resonanci. Takšno dodajanje mase ni učinkovito, ker se resonanca pojavi pri drugi višini stavbe ali pa pri drugi vzbujevalni frekvenci. Nisem še zasledila, da bi stavbam namenoma dodajali dodatno maso zato, da bi spreminjali njeno lastno frekvenco. To pa se lahko zgodi nenamerno, kadar lastniki hiš npr. sami dozidavajo nova nadstropja ali zamenjujejo lahko kritino s težko, s tem pa lahko spremenijo potresne lastnosti zgradb in ne zagotavljajo v začetku načrtovane potresne varnosti stavbe.



Slika 4.6: Slika pritrjenega masnega blažilnika na stavbo brez vrtilišča in podaljškov

V drugem primeru pa sem masni blažilnik obesila kot nitno nihalo, kar je podobno izvedbi v nebotačniku Taipei 101. Dolžino nihala l_{MB} sem spreminjala s podaljški, ki so bili dolgi 6 cm. Nihala so bila dolga 8 cm, 14 cm, 20 cm, 26 cm, 32 cm in 38 cm. Za vse našete dolžine nihal sem uporabila 3 različne mase in sicer 140 g, 100 g in 25 g. Primer podaljševanja je prikazan na slikah 4.7 in sicer za dolžino nihala 20 cm pri vseh treh masah. Stavbo sem začela vzbujati in na aplikaciji Arduino Uno so se mi izrisovali grafi pospeška v odvisnosti od časa. Iz vseh grafov pa sem odčitala amplitude pospeškov in jih zapisala v tabelo 4.3.

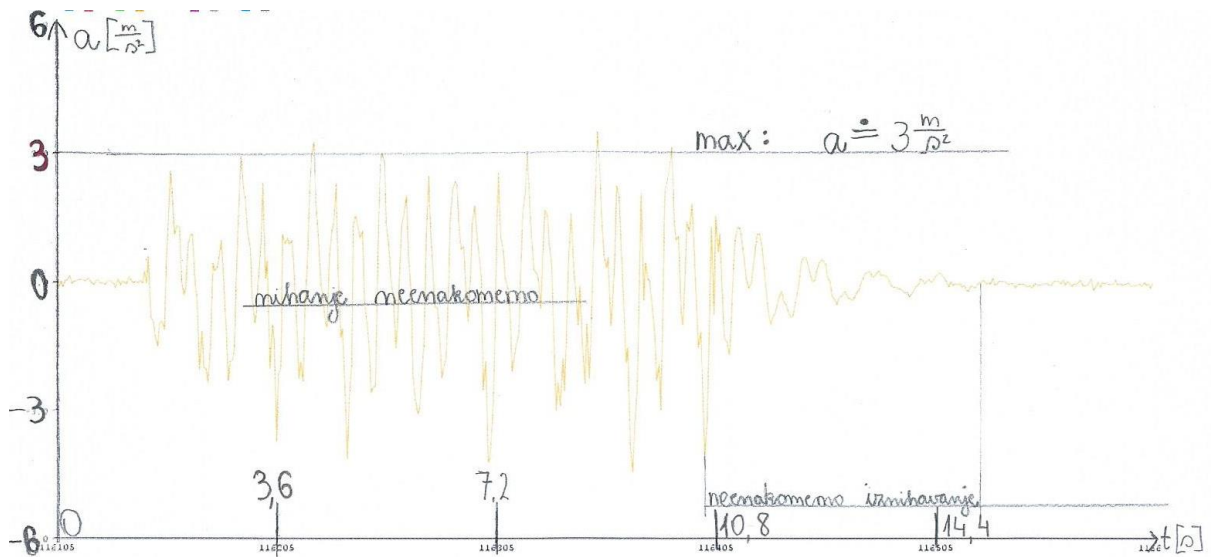


Slika 4.7: a) Nihalo dolgo 20 cm pri največji masi, b) Nihalo dolgo 20 cm pri srednji masi, c) Nihalo dolgo 20 cm pri najmanjši masi

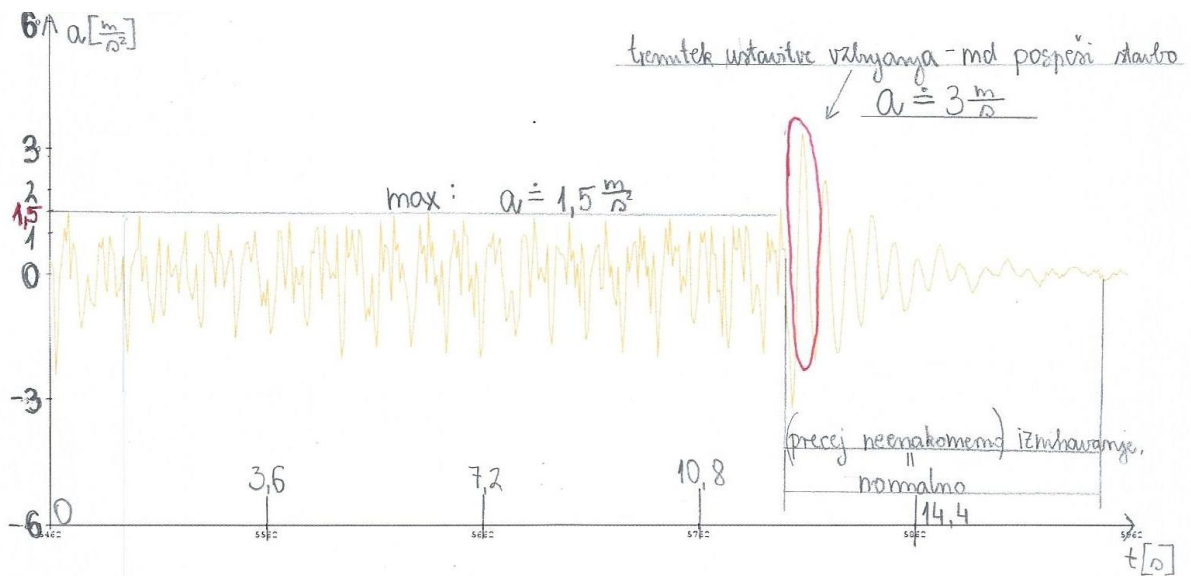
Najprej sem izmerila amplitude stavbe pri največji masi masnega blažilnika 140 g. **Pri vseh dolžinah masnega blažilnika do dolžine 26 cm zasledim, da tudi stavbe nihajo precej neenakomerno, amplitude pospeška pa so zelo majhne. Z višanjem vrednosti dolžin začne masni blažilnik nihati vedno bolj enakomerno, amplitude pospeška pa se začnejo povečevati, vendar so še zmeraj manjše, kot če masnega blažilnika sploh ne bi bilo, ko so bili pospeški 12 m/s^2 (slika 4.3). S tem ugotovimo, da je masni blažilnik kot nihalo v vsakem primeru učinkovit, s tem pa potrjujemo drugo hipotezo.**

Masni blažilnik z dolžino 8 cm, ki ga prikazuje slika 4.8, pa ima večje pospeške kot masni blažilnik z dolžino 14 cm, ki ga prikazuje slika 4.9. V tem primeru ta trditev ne velja, saj so amplitude pospeška masnega blažilnika pri sliki 4.9 za polovico manjše. To pomeni, da je največje zmanjšanje pospeška doseženo pri masnem blažilniku z dolžino 14 cm.

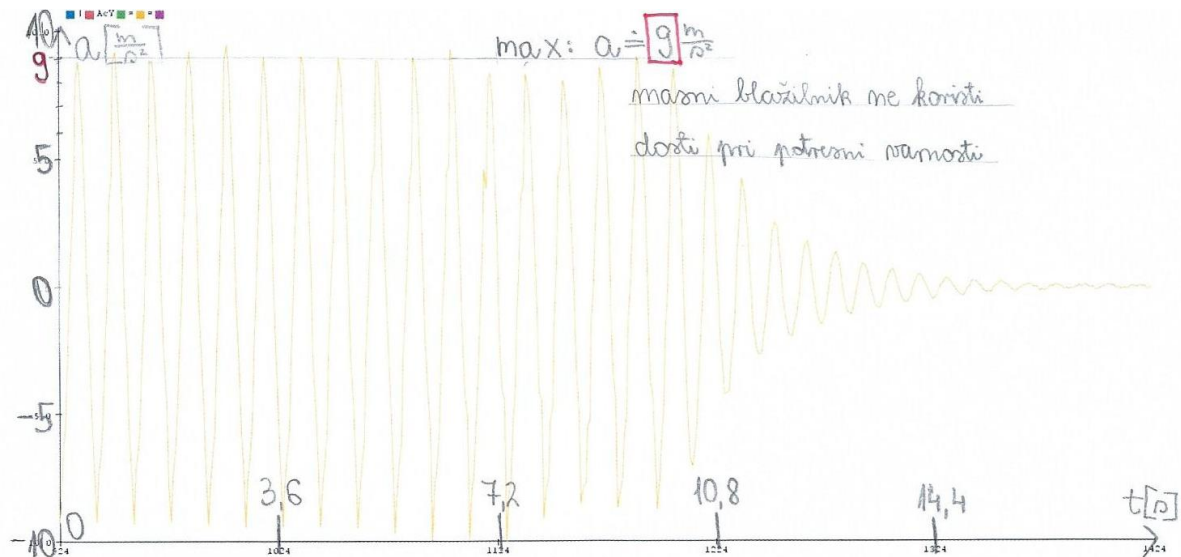
Na grafih pa opazim tudi stranski problem, ko ustavimo vzbujanje, kot je prikazano na sliki 4.9. Pri nekaterih, pogosto majhnih dolžinah masnega blažilnika ravno takrat, ko stavba začne iznihavati, jo masni blažilnik pospeši in prebivalci stavbe bi to začutili kot močan sunek takrat, ko bi že mislili, da je potresa že konec. Tega pojava pri večjih dolžinah masnega blažilnika (slika 4.10 za dolžino 30 cm) ne opazim, saj je tudi nihanje bolj enakomerno, vendar pa so amplitude pospeškov večje.



Slika 4.8: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 8 cm in masi 140 g



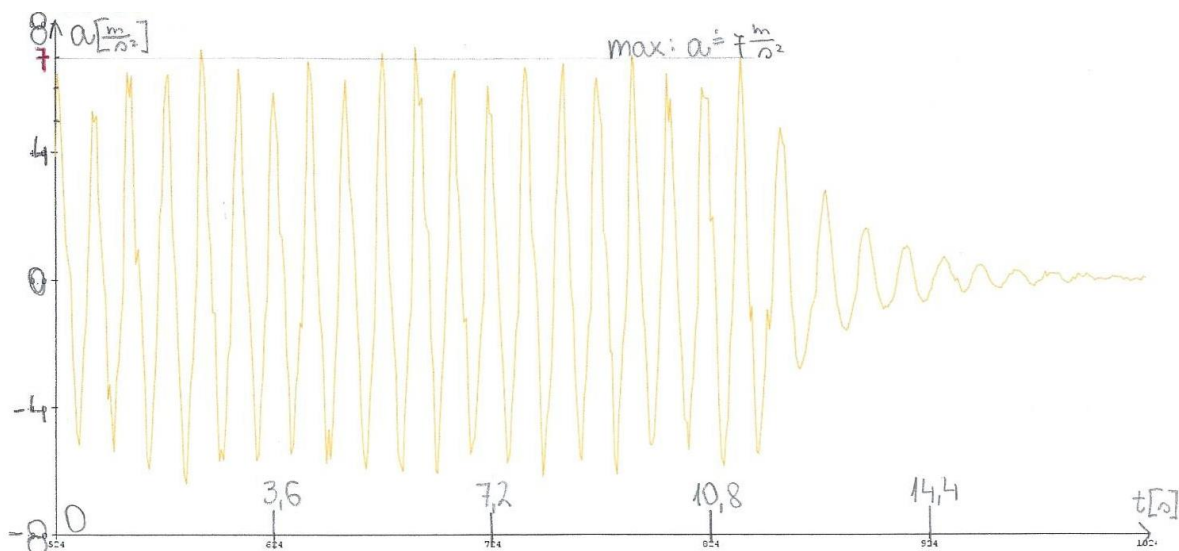
Slika 4.9: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 14 cm in masi 140 g



Slika 4.10: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 30 cm in masi 140 g

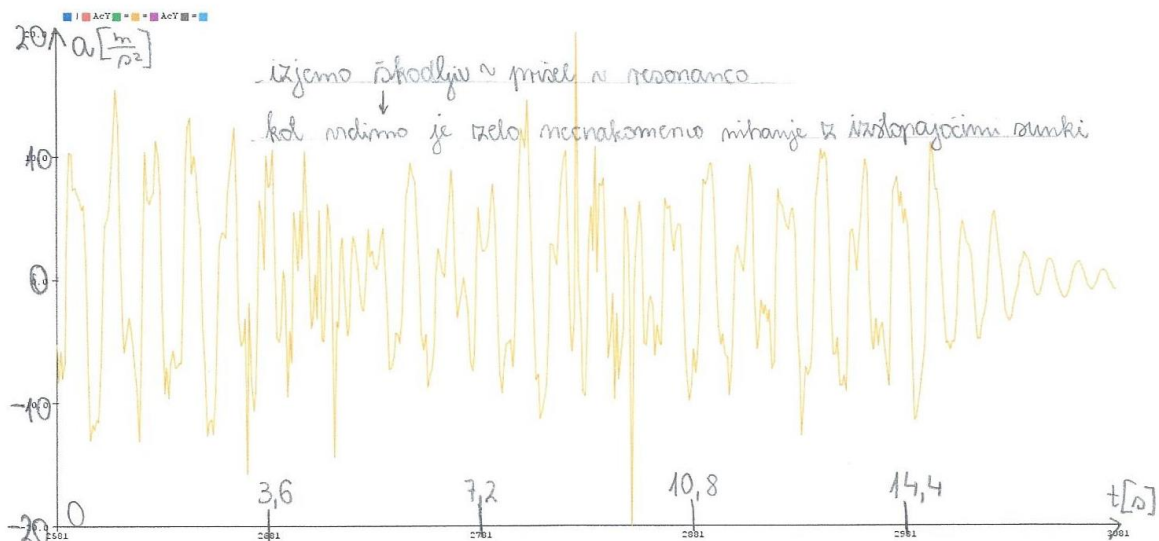
Pri srednje veliki masi 100 g so ugotovitve dokaj podobne. Pri dolžinah 8 cm in 14 cm masni blažilnik zmanjša amplitudo pospeška na 2 m/s^2 , vendar je nihanje še vedno zelo neenakomerno. Vrednosti amplitud pospeškov so prikazane v tabeli 4.3.

Pri najmanjši masi 25 g pa sem ugotovila, da masni blažilnik ni tako učinkovito zmanjšal amplitud pospeškov, kot jih je pri večjih masah. Pri dolžini 8 cm je nihanje bistveno bolj enakomerno kot pri večjih masah te dolžine, amplituda pospeška pa je zelo visoka (7 m/s^2), zato tak masni blažilnik ni uporaben (slika 4.11).



Slika 4.11: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 8 cm in masi 25 g

Pri dolžini 14 cm pa se zgodi celo to, da masni blažilnik pride v resonanco, kar prikazuje slika 4.12. Nihanje stavbe je zelo neenakomerno s sunki celo do 20 m/s^2 , kar pomeni, da lahko masni blažilnik stavbo še dodatno poškoduje.



Slika 4.12: Graf pospeška v odvisnosti od časa pri dolžini 14 cm in masi 25 g

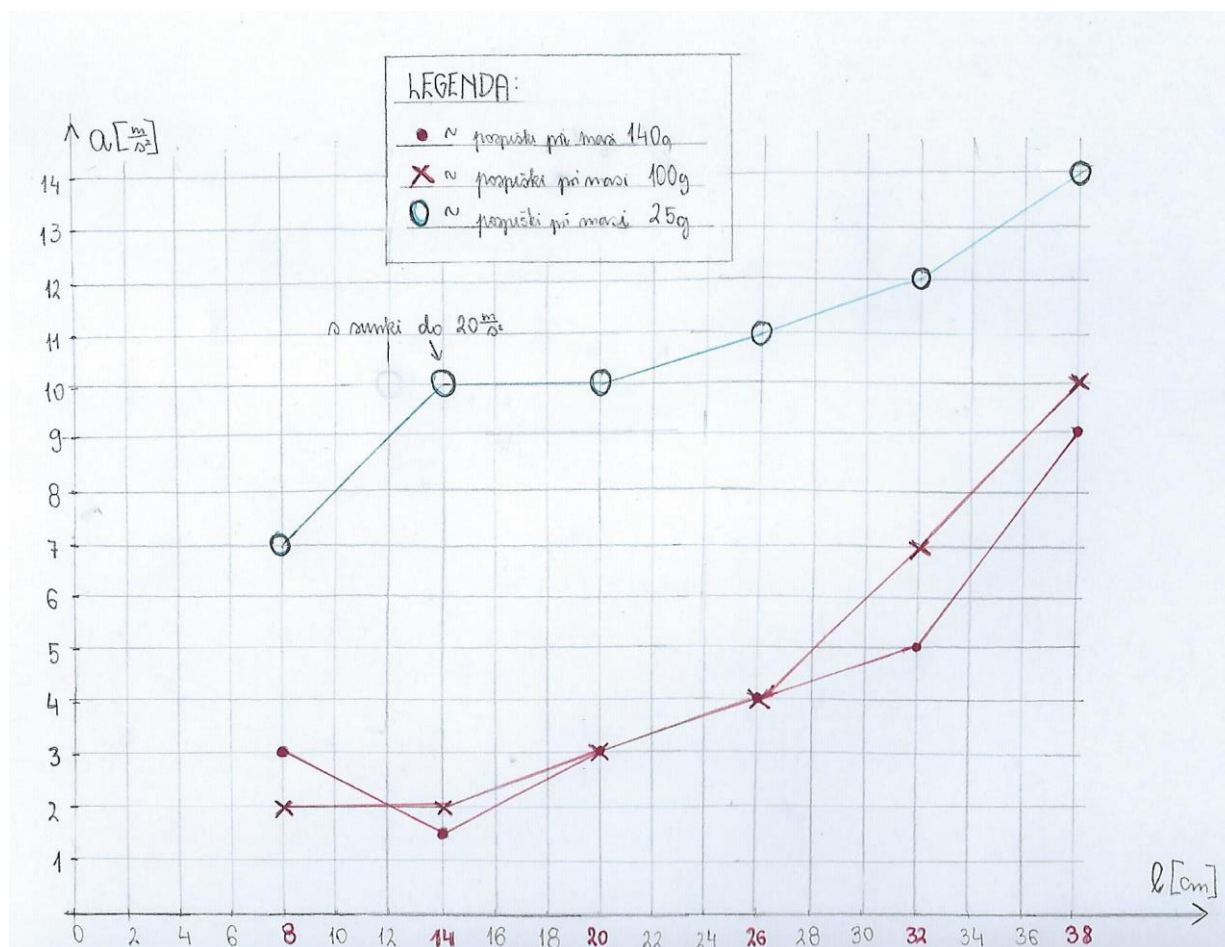
Enako kot za prikazane meritve sem opravila preostale meritve še za vse ostale dolžine in mase ter izrisala grafe. Teh pa nisem prikazala, vendar pa sem zapisala amplitude pospeškov v tabelo 4.3.

Tabela 4.3: Amplitude pospeškov pri različnih dolžinah in masah masnega blažilnika.

	$m = 140 \text{ g}$	$m = 100 \text{ g}$	$m = 25 \text{ g}$
$l_{MB} \text{ [cm]}$	$a_0 \text{ [m/s}^2\text{]}$		
8	3	2	7
14	1,5	2	10 (sunki do 20)
20	3	3	10
26	4	4	11
32	5	7	12
38	9	10	14

Lahko rečem, da dolžina masnega blažilnika l_{MB} kar zelo vpliva na stavbo. Lahko ji pomaga, lahko pa ji tudi škodi. Če povzamem, pri manjših dolžinah masnega blažilnika ta niha zelo neenakomerno, to pa pomeni, da prebivalcem ni ugodno, vendar pa stavba ob potresu niha z zelo majhnimi pospeški. Ko povečujemo dolžine masnega blažilnika, se amplitude pospeškov nihanja zvišujejo, vendar se nihanje preoblikuje v enakomerno. S tem potrdimo del tretje hipoteze, ji pravi, da dolžina masnega blažilnika vpliva na nihanje zgradbe.

Očitno pa je, da bi isti masni blažilnik na druge stavbe deloval drugače. Iz preizkusa vidimo, da je neka srednja dolžina najbolj optimalna, arhitekti in inženirji pa morajo biti pazljivi, da je masni blažilnik natančno prilagojen zgradbi, sicer jo lahko poškoduje.



Slika 4.13: Grafi pospeška v odvisnosti od dolžine za vse tri mase

Rezultate iz tabele 4.3 lahko prikažemo v grafu pospeška v odvisnosti od dolžine za vse tri mase (slika 4.13). Iz grafa razberemo, da je masni blažilnik z največjo maso najbolj učinkovit pri dolžini 14 cm.

Nihanje stavbe je bilo pri večji masi sicer bolj neenakomerno kot pri manjši, ampak je to boljše kot večje amplitude pospeškov, ki se pojavijo pri manjših masah. Slika 4.13 očitno kaže, da je masa blažilnika pomembna, kar je v nasprotju s delom tretje hipoteze, zato to hipotezo ovržemo. Sklepanje, da masa blažilnika ni pomembna, ker deluje kot nitno nihalo, pri katerem vemo, da masa nihala ne vpliva na frekvenco nihanja, ni pravilno, ker ne opazujemo nihanja blažilnika, temveč stavbe. Iz poskusov opazim, da blažilnik na stavbo s silo deluje preko vrtilišča tako, da ta sila poganja stavbo. Ta sila pa je seveda odvisna od mase blažilnika.

5 POTRDITEV HIPOTEZ

Hipoteza 1: Različno visoke zgradbe so pri enakem potresu različno ogrožene, ker se med njim različno odzivajo. POTRJENA

Razlaga: Do te ugotovitve sem prišla, ko sem spreminjala višino stavbe. Imele so drugačne lastne frekvence, zato pri drugih vzbujevalnih frekvencah pridejo v resonanco in so pri enakem potresu različno ogrožene.

Hipoteza 2: Ko na vrh stavbe obesimo nihalo, lahko le ta deluje kot masni blažilnik, ker lahko zmanjša amplitude nihanja te stavbe. POTRJENA

Razlaga: V vseh izmerjenih primerih se je pokazalo, da masni blažilnik zmanjša amplitude nihanja. Masni blažilnik zmanjša amplitude nihanja stavbe zato, ker se veliko energije vzbujanja prenese na masni blažilnik, ki niha. Ker masni blažilnik niha dušeno, se ta del energije porabi pri takšnem nihanju in zato ne vpliva na stavbo.

Hipoteza 3: Ko dodamo nihalo na vrh zgradbe, je za blažitev nihanja zgradbe pomembna samo dolžina nihala, ne pa tudi njegova masa. OVRŽENA

Razlaga: Poskusi so dokazali, da na blažitev nihanja ne vpliva samo dolžina, temveč tudi masa. Res je, da je masni blažilnik podoben nitnemu nihalu, a pri nihanju nitnega nihala smo pozorni nanj, v tem primeru pa smo pozorni na nihanje stavbe in ne masnega blažilnika. Njegova masa vseeno vpliva na silo v pritrdišču nihala. Sila masnega blažilnika v pritrdišču je tista, ki vpliva na to, kako niha stavba.

6 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sem želela raziskati, kako masni blažilnik, obešen na vrh zgradbe kot nihalo, sploh deluje. V ta namen sem postavila tri hipoteze, ki sem jih s poskusi preverila. Preverila sem, kako višina stavbe vpliva na njeno nihanje in ugotovila, da so različno visoke stavbe različno ogrožene, saj pri enakem vzburjanju nihajo drugače oziroma imajo različne lastne frekvence.

Preverila pa sem tudi, kako mora biti masni blažilnik pritrjen na stavbo, da ji ustreza in učinkuje. Pri tem ugotovim, da fiksno pritrjevanje masnega blažilnika ni učinkovito, saj samo poveča maso stavbe in ji spremeni lastno frekvenco. Masni blažilnik moramo pritrčiti kot nihalo, pri čemer je pomembno, kakšna je njegova dolžina in masa.

V nalogi sem podrobneje preučevala, kako masni blažilnik deluje na stavbo v resonanci, saj se v takšnem primeru vpliv blažilnika najbolj pozna, čeprav se je potrebno takšnim primerom v praksi izogibati.

Po mojem mnenju je najboljši masni blažilnik tisti, ki uspe čim bolj znižati amplitude pospeška in odmika stavbe pri potresu, čeprav ta niha zelo neenakomerno, kar pa bi bilo kvečjemu neugodno za prebivalce stavbe. Ker imajo stavbe manjše amplitude pospeškov, to pomeni, da se stavbe tudi manj poškodujejo.

Rezultati so lahko nekoliko vprašljivi, saj sem za raziskovanje uporabila to, kar mi je bilo na voljo. Glede na to, da sem za maketo uporabila svoje otroške igrače iz kompleta Fischertechnik, za merilno opremo pa komplet Arduino, ni pričakovati natančnih meritev. Ne glede na to pa mi maketa pomaga odgovoriti na postavljena vprašanja, izmerjene vrednosti pa so bile kljub temu dovolj točne, da sem lahko preverila hipoteze.

V moji nalogi sem potres simulirala kot enakomerno harmonično vzburjanje z motorčkom. Takšnega potresa v naravi ni, saj se pri vsakem potresu pojavijo različni sunki z različnimi frekvencami in amplitudami. Zanimalo bi me, kako pa masni blažilnik uspe zmanjšati nihanje stavbe, če vzburjanje ni harmonično, ampak je bolj podobno pravemu potresu, kar daje možnost za nadaljnje raziskovanje.

7 LITERATURA IN VIRI

- [1] Muzej novejšje zgodovine Slovenije, Oddelek za dokumentarno fotografijo, <https://fototekamnzs.com/2014/02/21/nad-nami-nebo-pod-nami-ljubljana-ljubljanski-neboticnik/>, 22. 12. 2019
- [2] Sebastian Trajkovski, Analiza obnašanja zidanih stavb z drsno potresno izolacijo pri potresni obtežbi, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2010
- [3] Terasa nebotičnik (slika), <https://www.ancora.si/reference/attachment/terasa-neboticnik-ljubljana/>, 2. 2. 2020
- [4] Rok Zalaznik, Vibroizolacija potresno ogroženih konstrukcij, Zaključna naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2017
- [5] Potres na Tajvanu, <https://www.delo.si/svet/globalno/potres-na-tajvanu-iskalna-akcija-prezivelih-se-nadaljuje.html>, 2. 2. 2020
- [6] Janez Strnad, Fizika 1. del, DMFA, Ljubljana, 2014
- [7] Janez Strnad, Mala fizika 2, Učbenik za pouk fizike v gimnazijah in srednjih šolah, DZS, Ljubljana, 2004
- [8] Franc Kvaternik, Fizikalni obrazci in tabele, DZS, Ljubljana, 1977
- [9] Aleš Mohorič, Vitomir Babič, Moja fizika v srednji šoli, Mladinska knjiga Založba, Ljubljana, 2017
- [10] Rudolf Kladnik, Stane Kodba, Energija, toplota, nihanje in valovanje, Učbenik za fiziko za gimnazije in srednje šole 2, DZS, 2016
- [11] Janko Slavič, Dinamika, mehanska nihanja in mehanika tekočin, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2004
- [12] Most Tacoma Narrows (slika), <https://historylink.org/File/5048>, 2. 2. 2020
- [13] Taipei 101, https://en.wikipedia.org/wiki/Taipei_101, 27. 12. 2019
- [14] Taipei 101 (slika), https://www.getyourguide.co.uk/taipei-l190/taipei-awe-inspiring-views-from-taipei-101-observatory-deck-t242142/?utm_force=0, 2. 2. 2020
- [15] Masni blažilnik (slika), <https://www.amusingplanet.com/2014/08/the-728-ton-tuned-mass-damper-of-taipei.html>, 3. 2. 2020
- [16] Fischertechnik PROFI Mechanic+Static, Delovni priročnik
- [17] Elegoo, The Most Complete Starter Kit Tutorial for Mega 2560, navodila za uporabo kompleta, V1.0.2019.03.04, 2019