



OSNOVNA ŠOLA GUSTAVA ŠILIHA LAPORJE

Z enega na drugi breg

Gradbeništvo

Raziskovalna naloga

Avtor: Filip Rap, 8. a

Mentorica: Natalija Leskovar, prof.

Laporje, 2018

ZAHVALA

Iskrena hvala moji mentorici, gospe Nataliji Leskovar, za pomoč in potrpežljivost pri snovanju raziskovalne naloge, gospe Boženi Ferenčina Brencce za lektoriranje naloge, gospe Nuši Oder pa za angleški prevod. Hvala staršem za podporo pri pisanju raziskovalne naloge in očetu za pomoč pri izdelavi mostov.

KAZALO

POVZETEK	5
ABSTRACT	6
1 UVOD	7
2 TEORETIČNI DEL.....	8
2.1 Zgodovina gradnje mostov v Sloveniji	8
2.2 Vrste mostov v naravi.....	8
2.2.1 Ločni most	9
2.2.2 Gredni most.....	10
2.2.3 Okvirni most s poševnimi in navpičnimi stebri.....	11
2.2.4 Most s poševnimi zategami.....	12
2.3 Zanesljivost mostov	13
2.4 Vzroki za porušitev mostov	13
2.5 Mostovi presežkov.....	14
3 RAZISKOVALNI DEL	15
3.1 Raziskovalne metode.....	15
3.1.1 Namen raziskave	15
3.1.2 Cilji raziskave	15
3.1.3 Raziskovalni hipotezi	15
3.1.4 Metode dela	15
3.1.5 Potek dela.....	15
3.2 Rezultati.....	15
3.2.1 Preverjanje hipoteze 1.....	15
3.2.2 Preverjanje hipoteze 2.....	22
4 RAZPRAVA.....	26
5 ZAKLJUČEK	27
6 VIRI IN LITERATURA.....	28

KAZALO SLIK

Slika 1: Ločni most.	9
Slika 2: Gredni most.	10
Slika 3: Okvirni most s poševnimi stebri.	11
Slika 4: Okvirni most z navpičnimi stebri.	11
Slika 5: Most s poševnimi zategami.	12
Slika 6: Mere mostov, prikazane na primeru mosta s poševnimi zategami.	16
Slika 7: Maketa ločnega mostu.	16
Slika 8: Maketa grednega mostu.	17
Slika 9: Maketa okvirnega mostu z poševnimi stebri.	17
Slika 10: Maketa okvirnega mostu z navpičnimi stebri.	18
Slika 11: Maketa mosta s poševnimi zategami.	18
Slika 12: Papirnata šablona mostu z navpičnimi stebri.	19
Slika 13: Na vezano ploščo narisani okvirni most z navpičnimi stebri.	19
Slika 14: Izrezovanje okvirnega mostu.	20
Slika 15: Tehtanje okvirnega mostu s poševnimi stebri.	20
Slika 16: Preverjanje nosilnosti grednega mosta.	21
Slika 17: Nosilnost posameznih mostov.	22
Slika 18: Zlomljen ločni most.	22
Slika 19: Zlomljen gredni most.	23
Slika 20: Zlomljen okvirni most s poševnimi stebri.	23
Slika 21: Zlomljen okvirni most z navpičnimi stebri.	24
Slika 22: Zlomljen most s poševnimi zategami.	24
Slika 23: Na primeru grednega mostu prikazani zlomi vsakega mostu posebej.	25

KAZALO TABEL

Tabela 1: Nosilnost pameznih mostov.	21
--------------------------------------	----

POVZETEK

Namen raziskovalne naloge je bil ugotoviti, kateri tip mostu zdrži največjo obremenitev ter njegovo najšibkejša točko. Cilj raziskovalne naloge je bil izmeriti, kolikšno obremenitev lahko prenese posamezna 735-gramska maketa mostu iz lesa.

Raziskavo sem izvedel tako, da sem najprej pregledal teorijo in napisal teoretični del, v katerem sem zajel zgodovino gradnje mostov; vrste mostov v naravi; mostove, ki zaradi velikosti, oblike, tipa gradnje izstopajo; zanesljivost mostov, ter vzroke za porušitev mostov. Nato sem v okviru raziskovalnega dela izdelal ločni in gredni most, okvirni most z navpičnimi stebri, okvirni most s poševnimi stebri in most s poševnimi zategami. Vsi so bili dolgi 80 cm, izdelani iz bukove vezane plošče in so tehtali 735 g. Mostove sem nato enakomerno obtežil in analiziral njihove zlome.

V raziskavi sem rušil mostove s pomočjo povečanja naravnih sil. Rušil sem pet vrst mostov, ki sem jih izdelal. V prvi hipotezi sem ugotavljal, kateri izmed petih tipov mostov zdrži največjo obremenitev in kolikšno. Sklepal sem, da bo največjo obremenitev zdržal most s poševnimi zategami, ker v literaturi omenjajo, da je mostove s poševnimi zategami težko porušiti. Sklepal sem, da bo zdržal maso 100 litrov vode. Ugotovil sem, da največjo obremenitev prenese okvirni most z navpičnimi stebri, in sicer obremenitev 130,2 kg. Moja raziskava ne potrjuje teorije, ker je most s poševnimi zategami prenesel najmanjšo obremenitev: 31,4 kg. Na podlagi omenjenih ugotovitev sem prvo hipotezo ovrgel. V drugi hipotezi sem ugotavljal, kje je najšibkejša točka mostu. Predvideval sem, da je na polovici poti čez most. Pot čez most je razdalja med enim in drugim bregom. Pri mojih mostovih je znašala 70 cm, zato ker sem za pričvrstitev mostu na vsaki strani porabil 5 cm. Polovica poti čez most je torej 35 cm, kar je 50% poti čez most. Ko sem analiziral vse zlome mostov in jim izračunal aritmetično sredino, sem ugotovil, da je najšibkejša točka mostu na 32,95 cm poti čez most, kar je 47% poti čez most iz leve proti desni. Na podlagi teh ugotovitev in izračuna sem drugo hipotezo delno ovrgel.

Za nadaljnja raziskovanja bi bilo smiselno narediti primerjavo isto težkih in velikih mostov iz različnih materialov ali različnih vrst mostov. Ena izmed možnosti bi bila tudi primerjava enako velikih mostov, izdelanih iz istega materiala in različno težkih.

Ključne besede: tipi mostov, vzdržljivost mostov, najšibkejša točka mostu

ABSTRACT

The purpose of the research paper was to find out which type of a bridge can bear the largest weight and its weakest point. The aim was to measure, what weight can a single 735 g model of a wooden bridge bear.

The research was done by studying the theory first and writing the theoretical part, in which I included the history of building bridges; types of bridges in nature; bridges that stand out due to their size, shape and the type of construction; reliability of bridges and the causes for bridge collapses. Later on, I made an arch bridge, a beam bridge, a frame bridge with vertical pillars, a frame bridge with inclined pillars and a cable-stayed bridge in the process of my research. All of them were 80 cm long, made of beech tree plywood and weighed 735 g. The bridges were equally weighted down then and their collapses were analysed.

During my research, I made bridges collapse with the help of natural forces, more exactly five types of bridges that were made by me. I was trying to find out which type of a bridge bears the largest weight and what it is. My presumption was that that was going to be the cable-stayed bridge because it is written in the literature that this type of bridges are difficult to collapse. What is more, I presumed that it will bear 100 l of water. I found out that the frame bridge with vertical pillars bears the highest weight; 130,2 kg. My research does not support the hypothesis because the cable-stayed bridge could bear only 31,4 kg. I disproved the first hypothesis based on these findings.

In the second hypothesis I was trying to find out where the weakest point of the bridge is. My presumption was that it is on the half way across the bridge. The way across the bridge is the distance between one side and the other and it measured 70 cm with my bridges because I used 5 cm on each side to fasten them. This means that the halfway across the bridge is 35 cm, what is 50% of the way across the bridge.

When I analysed all collapses and calculated their arithmetic mean, I found out that the weakest point of the bridge is at 32,95 cm of the way across the bridge, what is 47% of the way from one side to another. Based on these conclusions and calculation, the second hypothesis was partly confirmed.

My suggestion for further research would be to make a comparison of equally heavy and large bridges from different materials or different types of bridges. One possibility would be to compare equally large bridges, made of the same material and bridges with different weight.

Key words: types of bridges, endurance of the bridges, the weakest point of the bridge

1 UVOD

Mostovi človeka spremljajo že od samega začetka. Vedno je bilo potrebno prečkati reko ali pretovoriti kak tovor preko nje. Mostovi so se skozi leta razvijali od kamenih do lesenih, železnih in betonskih. Poznamo več oblik ali tipov mostov, nekateri so ravni, drugi zaviti ali polkrožni. Med premišljevanjem se mi je porodilo vprašanje, kateri tip mostu zdrži največjo obremenitev.

V teoretičnem delu sem raziskoval zgodovino gradnje mostov, vrste mostov v naravi, mostove, ki zaradi velikosti, oblike, tipa gradnje izstopajo, zanesljivost mostov ter vzroke za porušitev mostov.

Namen moje raziskovalne naloge je bil ugotoviti, kateri tip mostu lahko zdrži največjo obremenitev in kolikšno obremenitev lahko zdrži manjša maketa iz lesa. Naredil sem pet manjših lesenih maket mostov. Ena maketa je predstavljala en tip mostu. Izdelal sem ločni, gredni, okvirni most z navpičnimi stebri, okvirni s poševnimi stebri in most s poševnimi zategami. Dolžina mostov je bila 80 cm, razdalja poti po mostu pa 70 cm. Vsi mostovi so tehtali 735 g. Mostove sem preizkušal tako, da sem jih obtežil z vodo.

Moji raziskovalni vprašanji sta bili naslednji:

- **Kateri tip mostu zdrži največjo obremenitev in kolikšno obremenitev zdrži posamezna manjša maketa mostu iz lesa?**
- **Kje je najšibkejša točka mostu?**

Zastavil sem si naslednji hipotezi.

- **Največjo obremenitev bo zdržal most s poševnimi zategami. Zdržal bo maso 100 litrov vode.**
- **Najšibkejša točka mostu je na polovici razdalje poti čez most.**

Nikjer nisem zasledil raziskovalnih nalog, o tem kolikšno obremenitev lahko prenese posamezna vrsta mostov. Našel pa sem veliko nalog na temo mostovi in gradbeništvo, iz katerih sem črpal pri teoretičnem delu.

Upam, da bo za vas branje poučno.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Zgodovina gradnje mostov v Sloveniji

Prve mostove na ozemlju Slovenije so gradili mostiščarji ali koliščarji v 1. stoletju pred našim štetjem. Iz lesa so gradili do 400 m dolge mostove. Kasneje so mostove na slovenskih tleh začeli graditi Rimljani. Njihovi mostovi so bili iz kamna, najdaljši so bili daljši od 1 km. Preporod gradnje in uporabe mostov se je začel v srednjem veku. Takrat so na mostovih začeli s carinjenjem za prevoz blaga, za obrambo so uporabljali dvižne mostove. Z razvijanjem obrti in gradnjo cest so se razvijali tudi mostovi. Betonski mostovi so se začeli pojavljati v 20. stoletju. (Humar, 2012)

Pomembnejši mostovi v Sloveniji so bili: mostovi bohinjske proge (1902-1906), železniški most čez Sočo v Solkanu (1904-1906), Zmajski most (1901), Šentjakovski most (1915), Čevljarski most (1867) in Tromostovje (1842). Mostovi bohinjske proge so bili eden izmed najtežjih gradbenih podvigov takrat tudi zato, ker so sestavljali železniško povezavo Dunaj-Trst. Železniški most čez Sočo je poseben zaradi največjega kamnitega loka na svetu z razponom 85 m. Zmajski most je poseben zaradi tega, ker je bil prvi most s slovenskim napisom. Šentjakovski most si je zamislil Alojz Král in je prvi most s konzolnim načinom gradnje v Sloveniji. Čevljarski most je eden izmed redkih litoželeznih mostov na svetu, sestavljen iz členkov, včasih je tukaj stal Mesarski ali Zgornji most, namenjen prevozu tovora. Tromostovje si je zamislil Jože Plečnik, včasih je na tem mestu stal Stari ali Spodnji most, namenjen prevažanju tovora, danes pa je eden izmed pomembnejših simbolov Ljubljane. (Humar, 2012)

2.2 Vrste mostov v naravi

Mostove lahko delimo glede na več različnih področij. Mostovi se lahko delijo glede na namen; vrsto ovire, ki se premošča; dolžino mostu; materiala, iz katerega so mostovi zgrajeni, glede na uporabno dobo...V tej raziskovalni nalogi se bomo osredotočili na delitev glede na zasnovo konstrukcije v naravi.

Glede na zasnovo konstrukcije v naravi ločimo 5 vrst mostov:

- ločni,
- gredni,
- okvirni z navpičnimi stebri,
- okvirni s poševnimi stebri,
- most s poševnimi zategami. (Mekić, 2010)

2.2.1 Ločni most

Ločni most je most, pri katerih ima osnovni nosilni element obliko zakrivljenega nosilca-loka.

Gradili so jih že stari Grki. Bistveni pogoj za uporabo teh mostov so trdna in nepodajna temeljna tla. Ločna konstrukcija je iz enega ali več ločnih zakrivljenih nosilcev s stebri in prekladno konstrukcijo nad loki.

Lahko so iz veliko različnih materialov. Sodobnejši se gradijo iz armiranega betona in jekla, nadločne konstrukcije pa iz armiranega prednapetega betona. Ti mostovi prenesejo veliko silo, zato niso preveč zahtevni za izdelavo. Lahko so vpeti, rešetkasti ali pa vsebujejo enega, dva ali tri loke. Zakrivljena os lokov se lahko oblikuje kot polkrog ali krožni izsek, kot parabola, elipsa, hiperbola ...

Vpeti ločni mostovi so najpogostejši, ker so najenostavnejši za izdelavo.

Rešetkasti mostovi so mostovi, ki se najbolj razvijajo, zato bodo lahko v prihodnosti dosegali zelo velike razpone.

Ločnih mostov z enim lokom je najmanj, ker so najbolj zapleteni za izdelavo. Graditelji se najpogosteje odločajo za ločne mostove z dvema lokoma zaradi njihove prilagodljivosti na dodatno obremenitev in temperaturne spremembe. Ločni mostovi s tremi loki se uporabljajo izključno za železne konstrukcije. (Mekić, 2010)



Slika 1: Ločni most.

(Vir: Gore-ljudje, 2018)

2.2.2 Gredni most

Gredni mostovi slonijo na lesenih ali kamnitih ploščah v horizontalnem položaju. Prenesejo lahko zelo veliko obremenitev. Prvega večjega z razponom 141 metrov so zgradili v Angliji. Najlažji za izdelavo so gredni mostovi s prosto položenimi vzdolžnimi nosilci. Bolj vzdržljivi so vzdolžni nosilci s protiutežmi, nekateri gredni mostovi imajo tudi niz prosto položenih vzdolžnih nosilcev, vendar se teh zaradi pogostega vzdrževanja in funkcionalnosti izogibamo. Nekateri gredni mostovi imajo tudi Gerberjeve nosilce, ti so bili pogosti v začetku 20. stoletja in delujejo na principu vstavljanja momentih členkov v nosilce. Tako lahko prenesejo večjo silo. Zelo primerni za mostove z večjimi razponi so kontinuirani nosilci brez prekinitev, ti so cenovno ugodni, vzdržljivi in dokaj preprosti za gradnjo. Gredni mostovi pa lahko imajo tudi konzolne nosilce, ti so fiksno vpeti v stebre in tako onemogočajo premike. (Mekić, 2010)



Slika 2: Gredni most.

(Vir: Konstruktor-Split, 2018)

2.2.3 Okvirni most s poševnimi in navpičnimi stebri

Okvirni mostovi lahko imajo poševne navpične ali poševne podpornike. Ti mostovi so v praksi zaradi težje izgradnje manj pogosti. Okvirni mostovi z navpičnimi podporniki lahko imajo tročlenske, dvočlenske ali zaprte okvirje. Tro- in dvočlenski se uporabljajo za mostove, zaprti pa za podvoze. Okvirni mostovi s poševnimi podporniki se uporabljajo za premoščanje rek ali previsov. (Mekić, 2010)



Slika 3: Okvirni most s poševnimi stebri.

(Vir: Wikimedia Commons, 2018)



Slika 4: Okvirni most z navpičnimi stebri.

(Vir: Panoramio, 2018)

2.2.4 Most s poševnimi zategami

Mostovi s poševnimi zategami so znani že od 16. stoletja. Gradili so se predvsem v Laosu in na Kitajskem.

Mostovi s poševnimi zategami so se v zadnjih desetletjih najbolj razširili. Sestavljeni so iz nosilcev voziščne konstrukcije (gred), poševnih zateg ter pilonov.

Grede so ponavadi iz betona, jekla ali sovprežnega prereza različnih konstrukcij prečnih prerezov.

Zatege so povezane z gredo in piloni kot elastične strukture, ki prevzemajo vplive grede in jih prenašajo na pilone. Zatege morajo biti toge, mehansko odporne, odporne proti utrujanju, predvsem pa morajo biti trajne.

Piloni so nosilni elementi, obremenjeni s silo, ki jo prevzemajo od poševnih zateg. Piloni vzbujajo pozornost bolj kot drugi nosilni elementi mostov s poševnimi zategami, zato morajo poleg prometnih in konstruktivnih izpolnjevati tudi estetske zahteve. Višina pilonov se giblje med 20 in 300 metrov.

Taki mostovi so cenovno ugodni in dokaj preprosti za izgradnjo. Mostovi s poševnimi zategami so v preteklosti sloneli na nosilih z obešalnimi mizami. Ti mostovi lahko imajo tudi konzolno viseče nosilce, najpogosteje pa imajo kontinuirano viseče nosilce. Mostovom s poševnimi zategami so zelo podobni »Extradosed« mostovi, razlika je le, da imajo »Extradosed« mostovi trikrat nižje pilone. (Mekić, 2010)



Slika 5: Most s poševnimi zategami.

(Vir: Panoramio, 2018)

2.3 Zanesljivost mostov

Zanesljivost mostov sestoji iz varnosti in trajnosti. Varnost združuje nosilnost, uporabnost in odpornost proti utrujanju. (Pržulj, 2015)

Preverjanje zanesljivosti se nanaša na funkcioniranje konstrukcije v njeni uporabni dobi. Uporabna doba je obdobje, v katerem sta zagotovljeni varnost in zadovoljiva uporabnost mostu. Pri mostovih znaša nekje med 80 in 120 let. (Pržulj, 2015)

Trajnost mostov se s časom zmanjšuje. To je posledica vplivov lastnosti nosilne konstrukcije, kakovosti vgrajenih materialov, opreme in odvodnjavanja mostu, tehnologije in kakovosti gradnje, vzdrževanja, prometne obtežbe in okolja.

Poznamo več dejavnikov, ki vplivajo na mostne konstrukcije. Med njimi so takšni, ki jih lahko vnaprej predvidimo npr. vplivi kot posledica lastnosti materialov (krčenje in lezenje betona) in vplivi, ki jih ne moremo vnaprej predvideti in nanje nimamo vpliva. V to skupino spadajo naravni vplivi (vpliv vetra, snega, tekoče vode, potresa ...), ter nezgodni vplivi (trki v odbojne ograje, trki cestnih vozil v stebre ...).

2.4 Vzroki za porušitev mostov

Na mostove delujejo različne vrste sil. V primeru, da vpliv kakšne vrste sile podcenimo ali mostu ne prilagodimo na tolikšno obremenitev, se most poškoduje ali poruši. Vzroke za porušitev mostu delimo v več skupin:

- porušitev zaradi napak pri projektiranju ali konstruiranju,
- porušitev zaradi napak pri gradnji in montaži,
- porušitev zaradi delovanja naravnih sil in trkov ladij ter težkih vozil,
- rušenje za promet neustreznih in dotrajanih mostov,
- rušitve mostov v vojnah. (Pržulj, 2015)

Zaradi napak pri konstruiranju in projektiranju se je porušil 241 m dolg betonski most Koror-Babeldaob na Filipinih. Zgrajen je bil leta 1978, zrušil pa se je leta 1997. Iz istega razloga so se podrli tudi nadvozi na avtocesti Zagreb-Slavonski Brod, ki so bili stari med 30 in 40 let. Zaradi neekonomičnosti sanacije so jih postavili na novo. Zaradi napak pri konstruiranju in projektiranju se je porušil tudi nadvoz Laval pri Montrealu v Kanadi. Zgrajen je bil leta 1970, porušil se je leta 2006 in zaradi tega je bilo nekaj smrtnih žrtev. (Pržulj, 2015)

Zaradi napak pri gradnji in montaži se je leta 1974 porušil viseči most čez reko Bosno v Bosanskem Šamcu. Most je bil zgrajen leta 1965. Zaradi istih napak se je porušil tudi most čez reko Ramo pri Jablanici z razponom 35 m. Prav tako se je zaradi teh napak porušil jekleni most na Neretvi v Jablanici. Zaradi napak pri gradnji in montaži se je 54 m dolg in 600 t težek jekleni most čez reko Ren pri Kobleznu prelomil. (Pržulj, 2015)

Leta 1976 se je zaradi povečane sile vode in posledičnega spodjedanja temeljev porušil most AB na magistralni cesti Doboj-Teslić. Na magistralni cesti Kaonik-Travnik se je leta 1976 zaradi povečane sile vode in posledičnega ugrezanja rečnega stebra porušil most čez reko Laško v Vitezu, zgrajen leta 1948. 480 m dolg železniški most čez reko Inn se je leta 1968 porušil in pustil katastrofalne posledice na železnici. Zaradi nenadnega premika hribinskih mas se je leta 1967 porušil komaj zgrajen most čez reko Ramo na magistralni cesti Jablanica-Prozor.

Zaradi trka tankerja v steber se je zrušil 8,5 km dolg most Maracaibo v Venezueli, zaradi trka ladje v lok pa se je zrušil 178 m dolg jekleni ločni most Askeröfjord na Švedskem. (Pržulj, 2015)

Čez čas most postane dotrajan, in, ko njegova obnova postane neekonomična, ga porušijo in namesto njega postavijo novega. Za gradnjo avtoceste Ljubljana-Novo mesto so morali porušiti most na Krki in ga zamenjati z viaduktom Ivančna Gorica. Most je bil zgrajen leta 1956. (Pržulj, 2015)

V vojni so leta 1941 porušili prvi viseči most v Jugoslaviji. Njegov razpon je bil 261 m, obnovili so ga v šestdesetih letih. Med spopadi v Bosni in Hercegovini in na Hrvaškem v letih 1991-1995 so porušili mostove na Jesenovcu, v Bosanski Gradiški, Bosanskem Šamcu, Orašju in Brčkem. Veliko mostov so porušili delno. Leta 1999 je Nato med bombardiranjem Srbije porušil tri velike mostove: most čez Donavo v Novem Sadu in dva mostova čez Savo v Beogradu. Mostove s poševnimi zategami je težje porušiti, zato so Željev most porušili komaj v tretjem poskusu. (Pržulj, 2015)

2.5 Mostovi presežkov

Ljudje so se od nekdaj trudili podirati rekorde. Tako so tudi pri mostovih zgradili najdaljši, največji, najvišji itd. most. Največ takih mostov, ki presegajo druge je na Kitajskem.

Najdaljši most Danyang-Kunshan na Kitajskem je dolg 165 kilometrov. Namenjen je vlakom, ki po njem drvijo s hitrostjo 300 km/h. Najdaljši stekleni most je prav tako na Kitajskem. Namenjen je ljudem, dolg je 385 metrov, sestavljen je iz 5 centimetrov debelih steklenih plošč in se imenuje Zhangjiajie. Najdaljši vodni most se nahaja v Nemčiji. Dolg je 918 metrov, namenjen je ljudem, ladjam in peščem, nahaja se med kanaloma Mittelland in Elba-Havel.

Najbolj potresno odporen most je Rion-Antirion v Grčiji. Prenese lahko zelo velike sile tudi s pomočjo majhnih plavuti, nameščenih na železnih poševnih kablkih, ki preusmerjajo veter. Najvišji most je francoski most Millau, visok je 343 metrov tudi po zaslugi tega, da so mu zaradi lažjih materialov težo izklestili z začetnih 200000 ton na končnih 36000 ton. Največji plavajoči most, pontonski Evergreen Point v ZDA, je težak 400000 ton, sestavljen pa iz 77 z zrakom napolnjenih pontonov.

3 RAZISKOVALNI DEL

3.1 Raziskovalne metode

3.1.1 Namen raziskave

Namen raziskave je bil ugotoviti, kateri tip mostu zdrži največjo obremenitev in kje je najšibkejša točka mostu.

3.1.2 Cilji raziskave

Cilj raziskave je bil izmeriti, kolikšno obremenitev lahko zdrži manjša 735-gramska maketa mostu iz lesa.

3.1.3 Raziskovalni hipotezi

V raziskovalni nalogi bom preverjal naslednji hipotezi:

Hipoteza 1: Največjo obremenitev bo zdržal most s poševnimi zategami. Zdržal bo maso 100 litrov vode.

Hipoteza 2: Najšibkejša točka mostu je na polovici razdalje poti čez most.

3.1.4 Metode dela

Pri raziskovalni nalogi sem uporabil metodo praktičnega dela. To metodo sem uporabil pri izdelovanju lesenih maket mostov in ko sem jih preizkušal. Uporabil sem tudi analitično in sintetično metodo. Uporabil sem ju, ko sem urejal rezultate, izdeloval tabelo in graf ter zapisoval ugotovitve.

3.1.5 Potek dela

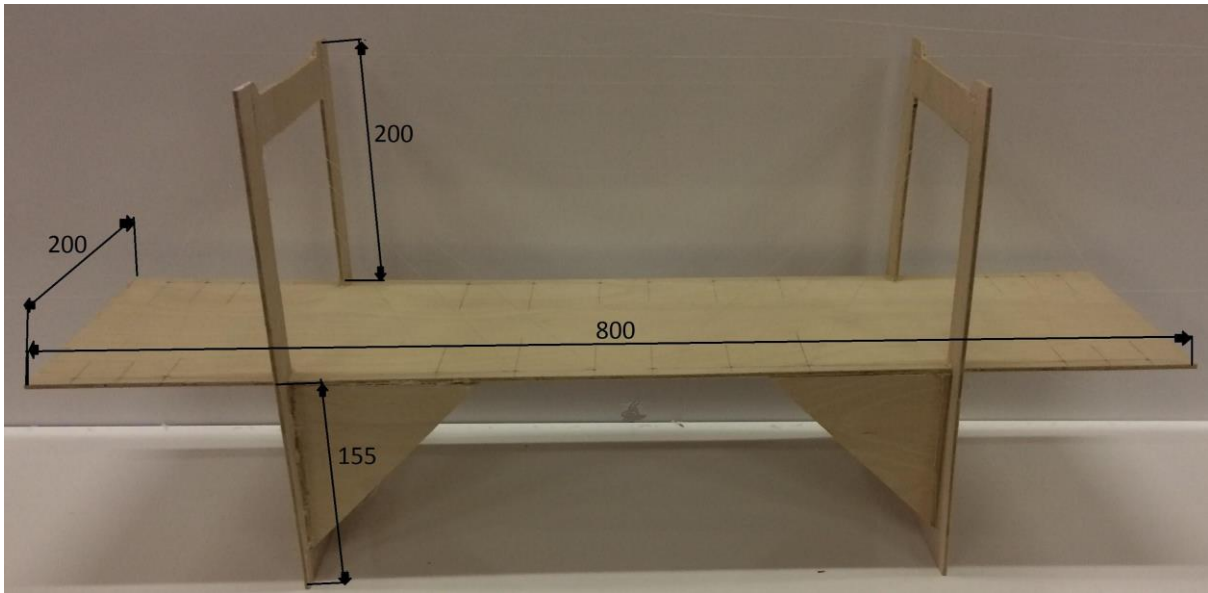
Dela sem se lotil tako, da sem po dokončno zasnovani ideji pričel z izdelovanjem mostov. Mostove sem izdelal iz 4mm debele bukove vezane plošče in jih zlepil s talilnim lepilom. Najprej sem mostove izrezal in njihovo težo nato reguliral z nanašanjem talilnega lepila. Izdelal sem 5 vrst mostov: ločni, gredni, okvirni z navpičnimi stebri, okvirni s poševnimi stebri in most s poševnimi zategami. Na koncu sem vse mostove enakomerno obtežil z vodo.

Pri urejanju slik sem si pomagal s programom Slikar. Pri vnašanju rezultatov in izdelavi grafov pa s programom Microsoft Excel.

3.2 Rezultati

3.2.1 Preverjanje hipoteze 1: Največjo obremenitev bo zdržal most s poševnimi zategami. Zdržal bo maso 100 litrov vode.

Vsi mostovi, ki sem jih izdelal, so tehtali 735 g in so imeli enake mere. Vsi so bili izdelani iz 4 mm debele bukove vezane plošče in lepljeni s talilnim lepilom. Dolžina vseh je bila 80 cm, razpon, ki so ga morali premagati je bil 70 cm, oddaljenost od tal 15,5 cm in del na glavno ploščo mosta (če ga most ima) 20 cm. Spodaj so prikazani vsi mostovi, ki sem jih naredil. Na primeru mostu s poševnimi zategami so prikazane mere mostov.



Slika 6: Mere mostov, prikazane na primeru mosta s poševnimi zategami.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 7: Maketa ločnega mostu.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



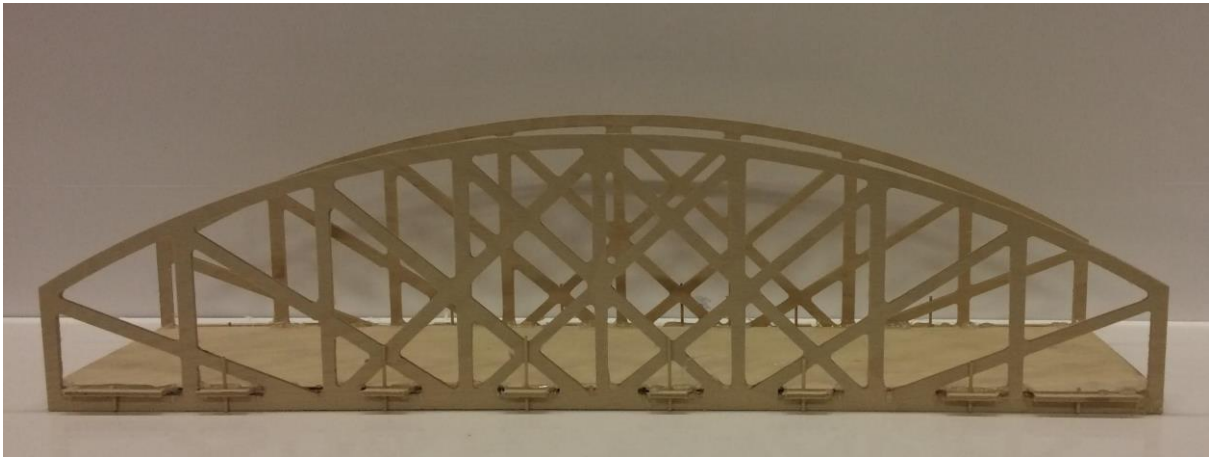
Slika 8: Maketa grednega mostu.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 9: Maketa okvirnega mostu z poševnimi stebri.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 10: Maketa okvirnega mostu z navpičnimi stebri.

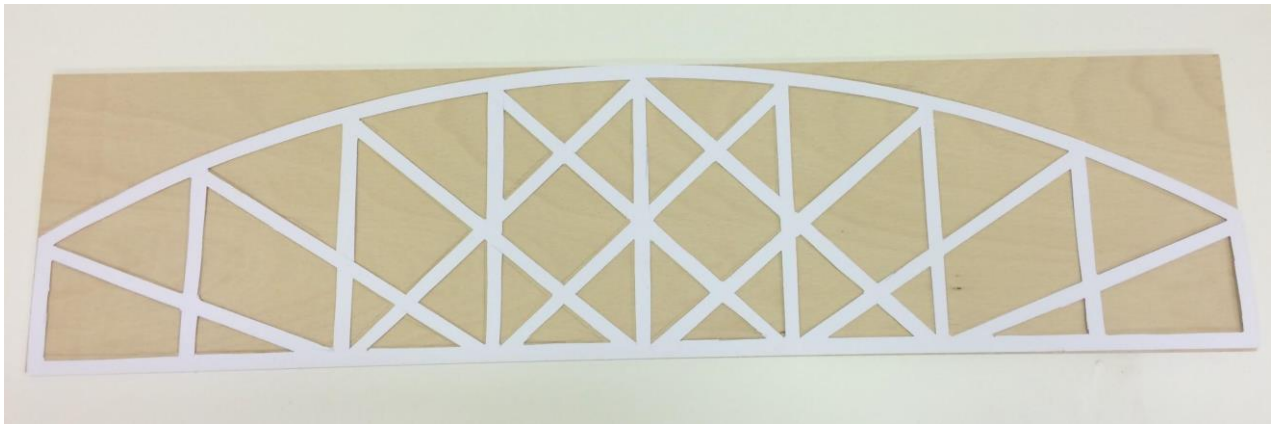
(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 11: Maketa mosta s poševnimi zategami.

(Avtor: Filip Rap, 2018)

Pri izdelovanju mostov sem si najprej zamislil, kako bodo mostovi izgledali. Nato sem si jih narisal na papir, jih prerisal na vezano ploščo in jih kasneje izrezal. Potem sem jih zlepil s talilnim lepilom in jih na koncu še stehal. Na prvih dveh slikah je prikazana papirnata šablona okvirnega mostu z navpičnimi stebri in risba tega mostu na vezani plošči. Na drugih dveh sta prikazana postopka izrezovanja in lepljenja mostov.



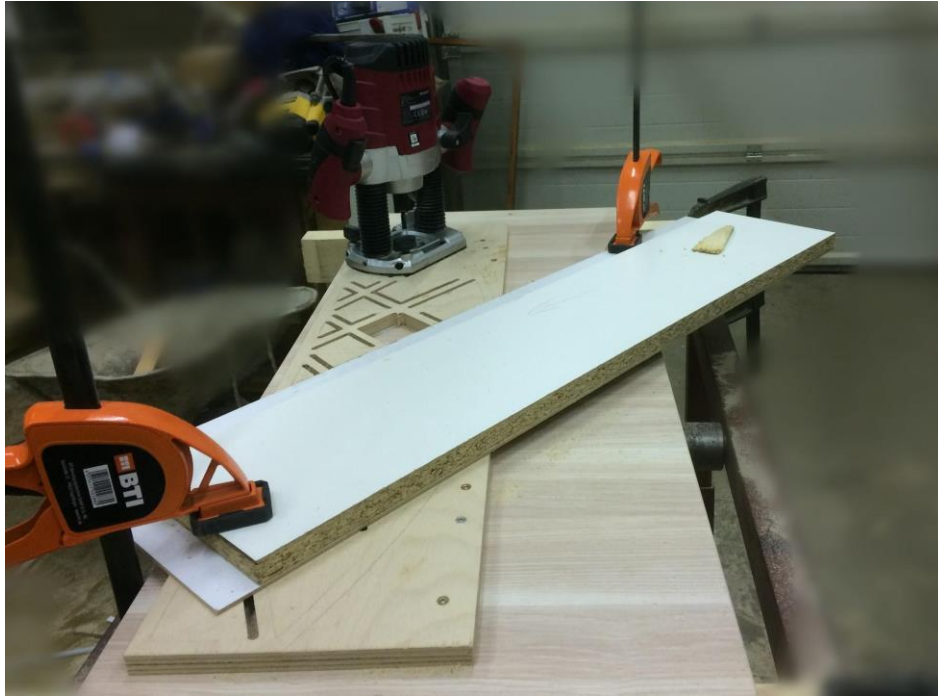
Slika 12: Papirnata šablona mostu z navpičnimi stebri.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 13: Na vezano ploščo narisani okvirni most z navpičnimi stebri.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 14: Izrezovanje okvirnega mostu.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 15: Tehtanje okvirnega mostu s poševnimi stebri.

(Avtor: Filip Rap, 2018)

Zadnji korak je bil preverjanje nosilnosti mostov. Nosilnost mostov sem preverjal tako, da sem na vsak most posebej karseda enakomerno navezal 150-litrsko kad in vanjo vlival vodo. Kad je bila od tal oddaljena 7,5 cm. V trenutku, ko je most počil, sem zaprl vodo in kad s težo, ki je zrušila most, stehal. Na spodnji sliki je prikazan zadnji korak, preverjanje nosilnosti mostu.



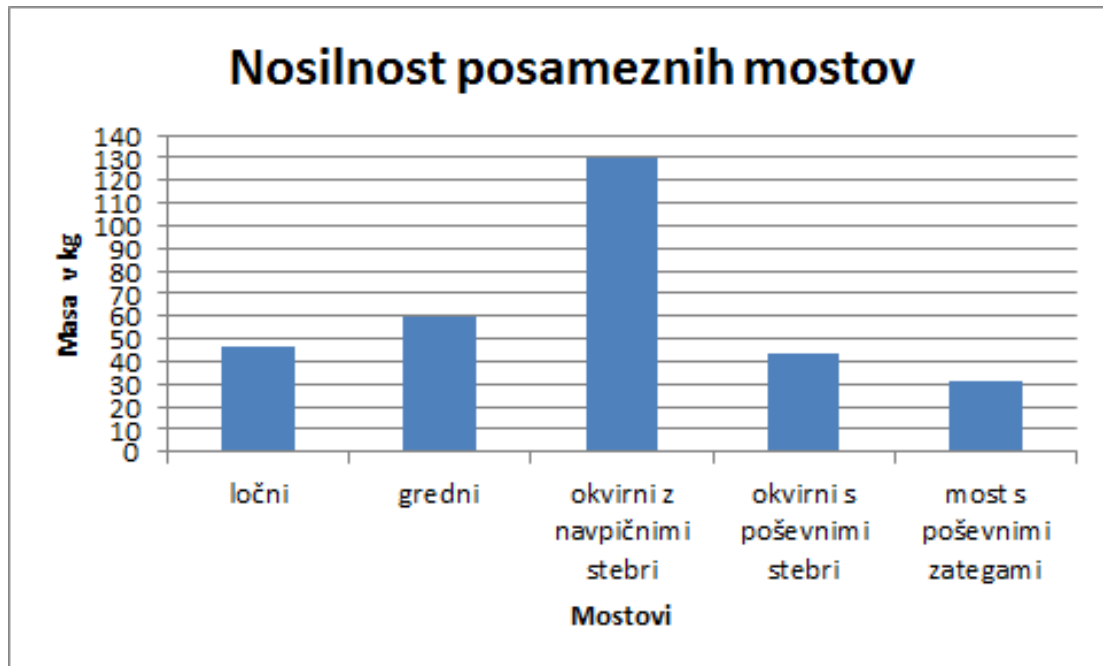
Slika 16: Preverjanje nosilnosti grednega mosta.

(Avtor: Filip Rap, 2018)

Rezultate meritev sem nato vnesel v tabelo in izdelal graf, tabela in graf sta prikazana spodaj.

Tabela 1: Nosilnost posameznih mostov.

Mostovi	ločni	gredni	okvirni s poševnimi stebri	okvirni z navpičnimi stebri	most s poševnimi zategami
					
Nosilnost v kg	46,1	60,2	43,3	130,2	31,4



Slika 17: Nosilnost posameznih mostov.

(Avtor: Filip Rap, 2018)

Iz tabele in grafa je razvidno, da je ločni most zdržal 46,1 kg. Gredni most je zdržal 60,2 kg, okvirni most z navpičnimi stebri 130,2 kg, okvirni most s poševnimi stebri 43,3 kg in most s poševnimi zategami 31,4 kg.

3.2.2 Preverjanje hipoteze 2: Najšibkejša točka mostu je na polovici razdalje poti čez most.

Najšibkejšo točko mostu sem ugotovil tako, da sem analiziral zlom vsakega mostu posebej. Razdalja poti čez most je razdalja med dvema bregovoma. Sam sem uporabil razdaljo 70 cm, ker sem na vsakem bregu za pričvrstitev mostu porabil 5 cm. To sem lahko naredil le pri okvirnem mostu z navpičnimi stebri, ker ima podpornike zgoraj. Ugotavljal sem, na kateri točki se je zlomilo največ mostov. Spodaj so prikazane slike počenih mostov.



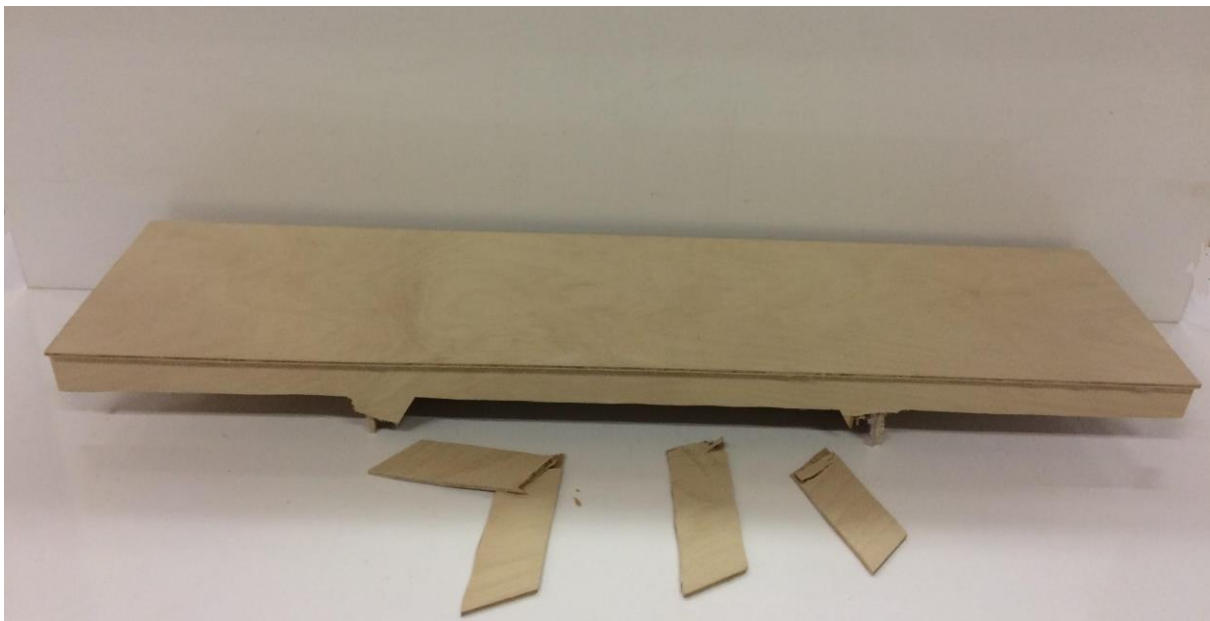
Slika 18: Zlomljen ločni most.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 19: Zlomljen gredni most.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 20: Zlomljen okvirni most s poševnimi stebri.

(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 21: Zlomljen okvirni most z navpičnimi stebri.

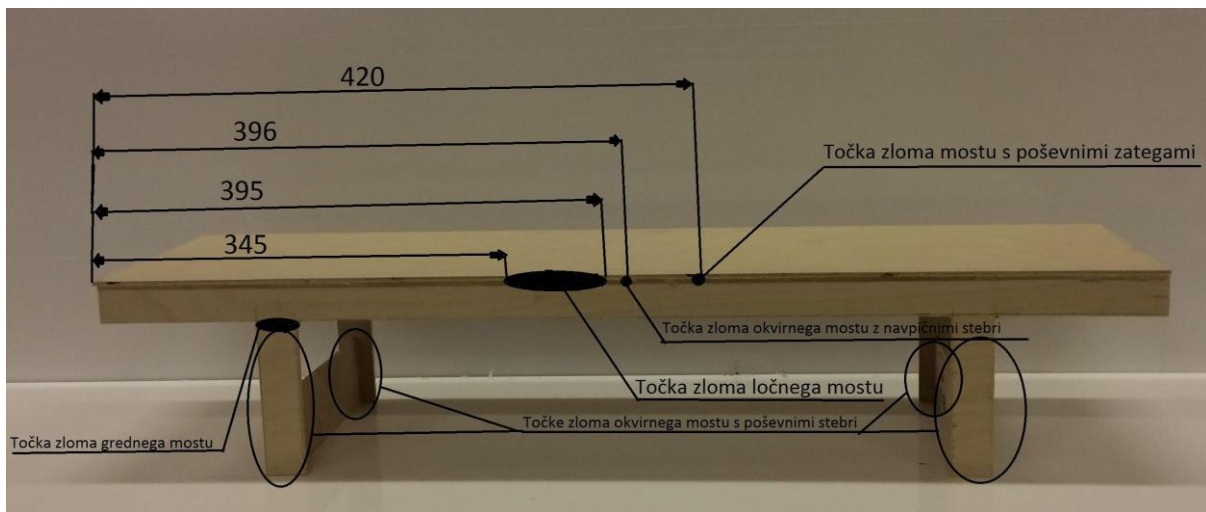
(Avtor: Filip Rap, 2018)



Slika 22: Zlomljen most s poševnimi zategami.

(Avtor: Filip Rap, 2018)

Na spodnji sliki so na primeru grednega mostu prikazane točke zloma vsakega mostu posebej.



Slika 23: Na primeru grednega mostu prikazani zlomi vsakega mostu posebej.

(Avtor: Filip Rap, 2018)

Iz zgornje slike je razvidno, da se je pri okvirnem mostu z navpičnimi stebri, ločnem mostu in mostu s poševnimi zategami zlomila plošča. Zlomi so bili med 34,5 cm in 42 cm od levega konca plošče, kar je med 29,5 cm in 37 cm poti čez most. Ko seštejemo vse točke zlomov in jih delimo s številom zlomov, dobimo 37,95 cm, kar je 32,95 cm poti čez most. To pomeni, da je najšibkejša točka mostu 47 % poti čez most iz leve proti desni. Pri grednem mostu se je zlomil levi podpornik, pri okvirnem s poševnimi stebri pa vsi podporniki.

4 RAZPRAVA

Prvo hipotezo *Največjo obremenitev bo zdržal most s poševnimi zategami. Zdržal bo maso 100 litrov vode, sem ovrgel.*

Masa 100 litrov vode znaša približno 100 kg. Največ je zdržal okvirni most z navpičnimi stebri, kar pomeni, da prvi del hipoteze ne drži. Okvirni most z navpičnimi stebri je zdržal 130,2 kg, kar je okoli 130 litrov vode. To pomeni, da tudi drugi del hipoteze ne drži, zato sem celotno hipotezo ovrigel. Menim, da je rezultat takšen zato, ker je bil okvirni most z navpičnimi stebri naslonjen na bregova in ni imel posebnih podpornikov oziroma jih je imel nad ploščo. Izhajam iz dejstva, da so se pri grednem in okvirnem mostu s poševnimi stebri zlomili podporniki. Podporniki so se zvili tudi pri ločnem mostu.

Drugo hipotezo *Najšibkejša točka mostu je na polovici razdalje poti čez most, sem delno ovrigel.*

Celotna dolžina vsakega mostu je bila 80 cm. Zaradi lažje pričvrstitve je bila končna razdalja med bregovoma 70 cm, kar pomeni, da sem za pričvrstitev na vsakem bregu porabil 5 cm. To sem zaradi nosilcev lahko naredil le pri okvirnem mostu z navpičnimi stebri. Mostovi z poševnimi zategami, ločni most in most z navpičnimi stebri so se zlomili na plošči, medtem ko so se pri grednem in navpičnem mostu s poševnimi stebri zlomili podporniki. Iz tega sem sklepal, da je najšibkejša točka mostu nekje na plošči. Od levega konca plošče proti desni so bili zlomi med 34,5 cm in 42 cm, kar je med 29,5 cm in 37 cm. Iz vseh pozicij zlomov sem potem izračunal aritmetično sredino. Ta znaša 37,95 cm, kar je 32,95 cm poti čez most. Polovica razdalje čez most je 35 cm, to je 50 % poti čez most, 32,95 je 47 % poti čez most iz leve proti desni. To hipotezo sem delno ovrigel oziroma delno potrdil. Dobljen rezultat, torej 47 % se sicer res razlikuje od 50 %, vendar menim, da je razlika med obema dovolj majhna, da hipoteze nisem v celoti ovrigel. Ti 3 -je %, ki odstopajo od predvidevanega rezultata se lahko skrivajo v napakah meritvah, ki so bile najverjetneje prisotne. Menim tudi, da je na področju gradbeništva ta razlika 3 % nična. Skleпам, da je rezultat tak zaradi različne razporeditve podpornikov pri različnih tipih mostov in različne gostote lesa.

Metode praktičnega dela, analitična in sintetična metoda so bile po mojem mnenju primerno izbrane metode. Z metodo praktičnega dela sem izdelal mostove in naredil preizkus. Analitično in sintetično metodo pa sem uporabil, ko sem izdeloval graf in tabelo ter analiziral tabelo. S tema metodama sem dobil željene rezultate.

Menim, da bi raziskavo lahko še izboljšal. Izboljšal bi jo lahko tako, da bi mostove preizkušal še v drugačnih vremenskih pogojih. To pomeni, da bi eno serijo mostov preizkušal v dežju, drugo takrat, ko bi snežilo, tretjo pa v lepem vremenu. Tako bi ugotovil, kako na vzdržljivost mostov vplivajo vremenske razmere. Ena od možnosti bi bila tudi, da bi izdelali enako velike in enako težke mostove, le da bi nekateri imeli tanjše cestišče in bolj ojačane stebre, drugi pa debelejša cestišča in manj ojačane stebre. Predvidevam, da bi se mostovi zlomili na drugih mestih kot so se v mojem primeru.

Namen svoje raziskave sem izpolnil. Ugotovil sem, da je najbolj vzdržljiv okvirni most z navpičnimi stebri in da je najšibkejša točka mostu na 32,95 cm poti čez most, kar je 47% poti čez most iz leve proti desni. Cilj moje raziskave je bil ugotoviti kolikšno obremenitev lahko prenese manjša 735-gramska maketa mostu. Ugotovil sem, da lahko prenese 130,2 kg.

5 ZAKLJUČEK

V raziskavi sem rušil mostove s pomočjo povečanja naravnih sil. Rušil sem pet vrst mostov, ki sem jih izdelal. Izdelal sem ločni, gredni, okvirni most s poševnimi stebri, okvirni most z navpičnimi stebri in most s poševnimi zategami. V prvi hipotezi sem ugotavljal, kateri izmed petih tipov mostov zdrži največjo obremenitev in kolikšno. Sklepal sem, da bo največjo obremenitev zdržal most s poševnimi zategami, ker že v literaturi omenjajo, da je mostove s poševnimi zategami težko porušiti. Sklepal sem, da bo zdržal maso 100 litrov vode, kar je približno 100 kg. Ugotovil sem, da največjo obremenitev prenese okvirni most z navpičnimi stebri, in sicer obremenitev 130,2 kg. Moja raziskava ne potrjuje teorije, ker je most s poševnimi zategami prenesel najmanjšo obremenitev: 31,4 kg. Menim, da so na rezultat lahko vplivale tudi napake v materialu (lesu). Na podlagi omenjenih ugotovitev sem prvo hipotezo ovrgel. V drugi hipotezi sem ugotavljal, kje je najšibkejša točka mostu. Predvideval sem, da je na polovici poti čez most. Pot čez most je razdalja med enim in drugim bregom. Pri mojih mostovih je znašala 70 cm, zato ker sem za pričvrstitev mostu na vsaki strani porabil 5 cm. Polovica poti čez most je torej 35cm, kar je 50 % poti čez most. Ko sem analiziral vse zlome mostov in jim izračunal aritmetično sredino, sem ugotovil, da je najšibkejša točka mostu na 32,95 cm poti čez most, kar je 47 % poti čez most iz leve proti desni. Na podlagi teh ugotovitev in izračuna sem tudi drugo hipotezo ovrgel.

Zelo zahteven del raziskovalne naloge je bil izdelovanje mostov. Za izdelovanje sem porabil tri tedne. Izdeloval sem jih doma z očetovo pomočjo. Moj najljubši del raziskovalne naloge je bil preverjanje vzdržljivosti mostov. Izpeljal sem ga doma ob pomoči družine in mentorice. Trajal je približno en dan.

V to smer bi lahko raziskovali tudi naprej. Ena izmed možnosti bi bila, da bi izdelali mostove iz različnih materialov: les, aluminij, plastika, špageti ... in jih primerjali po vzdržljivosti. Mostove bi lahko izdelali tudi iz več vrst lesa, kot so na primer bukev, hrast, češnja, gaber, jesen ... in primerjali njihovo vzdržljivost. Ena izmed možnosti bi bila tudi, da bi izdelali mostove iz enakih materialov z enakimi merami, le da bi se med seboj razlikovali po teži. Tako bi ugotovili, kako teža vpliva na vzdržljivost mostov.

6 VIRI IN LITERATURA

1. Humar, Gorazd (2012). *Kratek sprehod skozi zgodovino gradnje mostov na ozemlju današnje Slovenije*. *AB. Arhitektov bilten*, letnik 42, številka 195/196, str. 54-57. Dostop: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-RIXAAASS/f844a2de-9e41.../PDF> (1. 10. 2017).
2. Mekić, V. *Sodobne tehnologije gradnje mostov*. Diplomski naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2010. Dostop: http://drugg.fgg.uni-lj.si/536/1/GRV_0364_Mekic.pdf (2.10.2017)
3. Pržulj, M. Vzroki porušitev mostov. V: Pavlič, Š. (ur) *Mostovi*. Ljubljana, BALETRINA, 2015. 651-662
4. Največji gradbeni izzivi. *Science Illustrated*. 2017, november, št.96, str.40-43.