



Středoškolská technika 2022

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Lávka pro pěší

Ondřej Novák, Jakub Hejzlar

Střední průmyslová škola sdělovací techniky
Panská 3, Praha 1

ANOTACE

Absolventský projekt se zabývá lávkami pro pěší. V úvodu seznamuje čtenáře s pojmem prutové konstrukce, u kterých je uveden jejich přínos. Následně se již věnuje samotným lávkám v Krkonoších a na jednotlivých příkladech popisuje výhody a nevýhody. Dále je absolventský projekt zaměřen na vlastní návrh lávky a popis její konstrukce. Následují statické výpočty a tvorba 3D modelu. Na konci se práce věnuje výrobě reálného modelu.

1 Úvod

Už od dávných dob se snažíme vymyslet jednoduchý a účinný způsob, jak překlenout řeky, potoky nebo propasti. Proto se již od nepaměti lidstvo zabývá vyvíjením různých druhů lávek, po kterých by se bezpečně dostalo přes překážku na druhou stranu. V dnešní moderní době se na výstavbu mostů nejčastěji používají prutové konstrukce. Na první pohled vás zaujmou vzhledem i propracovaností. Rozhodli jsme se proto použít tento typ konstrukce při navrhování naší lávky. Kromě zjišťování informací o prutových konstrukcích jsme si také udělali výlet do Krkonoš, kde jsme nafotili lávky pro pěší, které navrhli studenti fakulty architektury na ČVUT ve spolupráci s Krkonošským národním parkem. O nich jsme následně zjistili spoustu zajímavostí a vyhodnotili jejich technické řešení. Nejvíce se nám líbila lávka u Medvědí boudy, se kterou jsme dále pracovali. Na základě získaných informací o výstavbě lávek jsme navrhli alternativní vlastní konstrukci lávky pro tuto lokalitu. Popsali jsme její technické řešení a definovali její užité parametry.

2 Lávka

Lávka je lehký můstek obvykle určený pro pěší nebo cyklisty. Nejčastěji pomocí nich překonáme vodní tok, propasti, rokle, silniční komunikace a železnice. Mohou však také vést po straně skalních stěn. Mezi nejrozšířenější typy konstrukcí používaných na výstavbu

lávek můžeme zařadit monolitické a prutové konstrukce. Pro návrh naší lávky jsme se ale rozhodli využít prutové konstrukce především kvůli jejich značným výhodám a lokalitě, ve které se lávka nachází. Prutové konstrukce jsou snadno sestavitelné a případně rozložitelné, což se v těžko dostupných místech může hodit. Na těžce dostupná místa se jednotlivé pruty dopravují jednodušeji než materiál na výrobu betonových konstrukcí.

3 Prutové konstrukce

Prutové konstrukce, někdy také nazývané příhradové konstrukce, patří mezi nejčastěji používané nosné konstrukce, a to nejen ve stavebnictví. Základní stavební jednotku tvoří nejjednodušší konstrukční prvky pruty. Místa, ve kterých dochází ke spojení prutů, se nazývají styčníky.



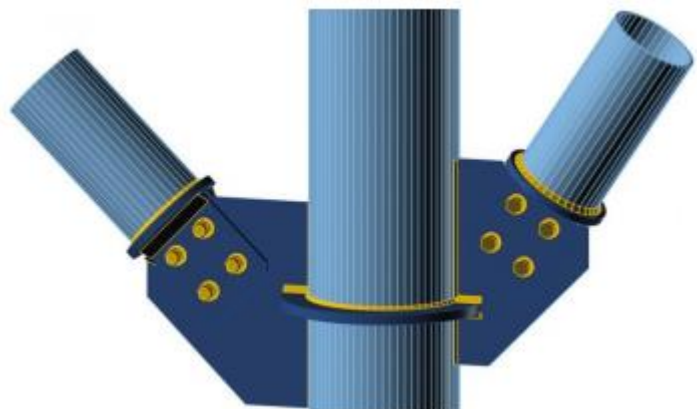
Obr. 1: Lávka přes Rennerův potok



Obr. 2: Sloup vysokého napětí



Obr. 3: Dřevěný styčník



Obr. 4: Ocelový styčník

3 Výhody a nevýhody prutových konstrukcí

Jejich použitím lze dosáhnout poměrně velkých rozponů za minimální spotřeby materiálu a tím výrazně snížit hmotnost, a především finanční náročnost celé stavby. Z technologického hlediska je výstavba nenáročná na provedení, což se promítne ve výsledné době jejího trvání. Samotná podstata využití prutové konstrukce spočívá v efektivním rozložení působících sil mezi jednotlivé pruty. Průřezy prutů lze v místech, kde dochází k většímu namáhání konstrukce, zesílit nebo zeslabit. V závislosti na použitém materiálu je potřeba ho chránit proti znehodnocení, například u ocelových konstrukcí je nebezpečí koroze, u dřevěných konstrukcí dochází k hnilobě nebo k napadení dřevokaznými škůdci. Dále je nezbytné materiál a konstrukci zabezpečit proti vzniku požáru.

4 Vlastní průzkum

4.1 Lávky v Krkonoších

Od července roku 2019 je možno se v Krkonoších projít po lávkách, jejichž návrhy vytvářeli studenti architektury na ČVUT ve spolupráci s KRNAPem. Jsou svým provedením netradiční a vizuálně velmi zajímavé, a přesto jsou schopné odolávat mimořádným klimatickým podmínkám, které v horách panují. Na výstavbu bylo použito primárně dřevo, protože do hor neodmyslitelně patří. Některé lávky v blízkosti lavinových svahů anebo v prostředí, kde dochází k velkým poryvům větru, mají část konstrukce z oceli, která spolu s dřevem dobře spolupůsobí a nahrazuje některé jeho nedostatky. Těmi jsou například kratší životnost a častější nutnost údržby.

Vzhledem k tomu, že většina vybraných lokalit je obtížně přístupná, jsou lávky navrženy jako rozebíratelné, snadno transportovatelné a lze je smontovat bez použití těžké techniky. Pokud se k určenému místu nedalo dostat po silnici, doprava materiálu probíhala ručně na podvozku s výjimkou lávky v Eliščině údolí, kde byl pro přepravu použit jeřáb. Každá z pěti lávek je originálním příkladem využití prutových konstrukcí.

4.1.1 Lávka přes Rennerův potok, Eliščíno údolí



Obr. 5: Lávka přes Rennerův potok

Lávka se nachází v Eliščině údolí nedaleko Rennerových bud. Jedná se o celodřevěnou konstrukci s ocelovými styčníky tvořeny šroubovými spoji. Je složená ze vzpěr a menších trámů, mezi nimiž jsou malé mezery. Díky tomu se na konstrukci nedrží voda. Vzpěry nesou mostovku, jsou uloženy na kamenných opěrách vybudovaných na břehu z místního kamene. Díky tomuto zúžení břehů bylo možné složit lomený oblouk z menších trámů a usnadnit tak dopravu materiálu. Mostovku tvoří podélné trámy. Při navrhování bylo nutné počítat s tím, že je potřeba, aby byl přes potok bezpečně schopný projet automobil. Použitý dřevěný materiál krásně splývá s okolní přírodou.

4.1.2 Lávka u Hrnčířských bud



Obr. 6: Lávka u Hrnčířských bud

Specifický vzhled lávky u Hrnčířských bud přes potok Čistá v Černém dole výrazně ovlivnilo její umístění. Nachází se totiž v úzké rokli ve velmi prudké zatáčce a v oblasti s nadměrnou vlhkostí. Na konstrukci bylo proto použito mnohem více oceli. Lávka se skládá z šesti dřevěných trojúhelníků spojených ocelovými prvky a táhly, díky kterým celá konstrukce drží pohromadě. Svou vizuální stránkou láká řady návštěvníků. Na projektu se studenty spolupracoval statik Trojského mostu v Praze Ing. Vladimír Janata.

4.1.3 Lávka přes Černou strouhu



Obr. 7: Lávka přes Černou strouhu

Spojením jednoduchosti a elegance vznikla lávka přes Černou strouhu, jež s lehkostí propojuje dvě různé výškové úrovně břehů a umožňuje se na chvíli zastavit a na lavičce, která probíhá po celé délce vnějšího nosníku, si vychutnat pohled do údolí. Základním stavebním prvkem jsou dva nosníky držící celou lávku. Na výstavbu bylo použito cedrové dřevo, což

dodává objektu příjemnou vůni. Jedná se o lavinovou oblast, proto lávka nemá zábradlí a je navrhována tak aby byla schopná toto nebezpečí překonat.

4.1.4 Lávka přes Hlubokou strouhu



Obr. 8: Lávka přes Hlubokou strouhu

Jedinečný výhled do údolí nabízí také lávka přes Hlubokou strouhu, jejíž statický koncept je založen, podobně jako u lávky přes Černou strouhu, na dvou hlavních ocelových nosnících. Jako jediná ze zmiňovaných lávek je celá z oceli. Svrchní část je tvořena štíhlými prvky připomínajícími křížovku, což při přecházení umožňuje pohlédnout skrz pod sebe a vnímat tak protékající potok. Na cestě, kde lávka leží, je minimum míst k odpočinku, a proto je její součástí lavička. Zábradlí zde není z důvodu náporu sněhových masivů.

4.1.5 Lávka Medvědí boudy



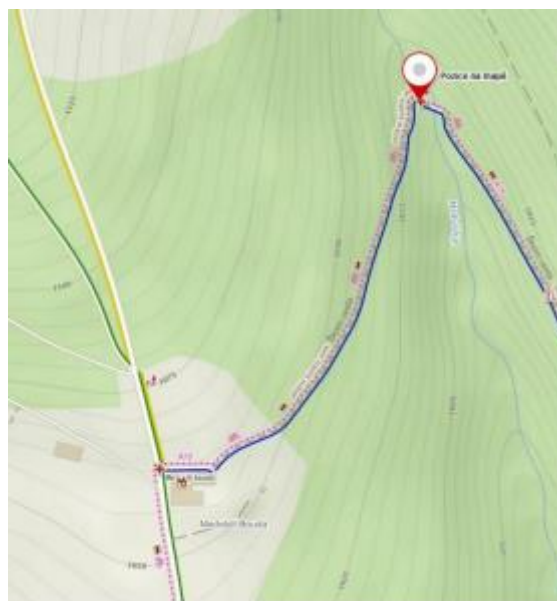
Obr. 9: Lávka Medvědí boudy

Nejvýše položená lávka v nadmořské výšce 1020 m. n. m. nese název Medvědí boudy a překlenuje koryto Medvědího potoka. Toto místo se nachází na turistické stezce a v zimě tudy vede běžkařská stopa. Lávka je dostupná pouze pěšky. Nejbližší místo, kam se dá dostat autem, je asi 500 metrů vzdálené. Za materiál bylo zvoleno modřínové dřevo. Konstrukce je

dimenzována tak, aby vydržela nápor sněhu, který zde v zimě běžně napadá. Lávka přemostí vzdálenost 9 a půl metrů. Průchozí šířka je 1400 mm a výška nad potokem je 2600 mm. Rozpon 9 a půl metrů je přemostěn pomocí dvou příhradových konstrukcí, které tvoří hlavní nosnou část lávky. Tyto příhrady jsou složeny ze spodní a horní pásnice, které jsou ze stran spojeny za využití šikmých trámů. Spojení je zajištěno svorníky ze závitových tyčí. Na tuto hlavní nosnou konstrukci jsou pak zespoda zavěšeny příčné trámy pomocí ocelových kapes.

5 Návrh vlastní lávky

Dalším úkolem naší práce bylo navrhnout vlastní lávku. Zvolili jsme lokaci v již zmíněném krkonošském parku. Lávka je umístěna u Medvědí boudy, kde překlenuje koryto Medvědího potoka a nahrazuje současnou dřevěnou lávku. Nachází se na turistické stezce, na které v zimním období vede běžkařská trasa. Místo je situováno v malém údolí, jímž protéká Medvědí potok. Pokud se sem vydáme směrem od Medvědí boudy, čeká nás nejdříve cesta hustým lesem a ve chvíli, kdy dorazíme k Medvědímu potoku, se les rozestoupí a ocitneme se na poměrně otevřeném místě s výhledem na potok. Díky tomu, že se v okolí lávky nachází hustý les, není tato lokalita ohrožena lavinami. Lávka je přístupná pouze pěšky. Pomocí automobilové dopravy se lze dostat pouze k Medvědí boudě vzdálené přibližně 500 metrů od lávky.



Obr. 10: Lokalita lávky

5.1 Konstrukce

Vzdálenost 9,5 m jsme se rozhodli přemostit pomocí příhradové konstrukce tvořené dřevěnými pruty a ztužujícími ocelovými lany. Ta jsou umístěna v horní části lávky a diagonálně spojují hlavní dřevěné pruty. Styčníky jsou tvořeny převážně ze závitových tyčí M24 spojujících dva až čtyři pruty. Jsou zajištěny na obou stranách maticí M24 a podložkou M26. Příčné pruty ze spodu mostovky a na vrchu konstrukce jsou ke zbytku lávky připevněny ocelovými prvky, které jsou provrtány třemi šrouby. Lávka je souměrná podle roviny

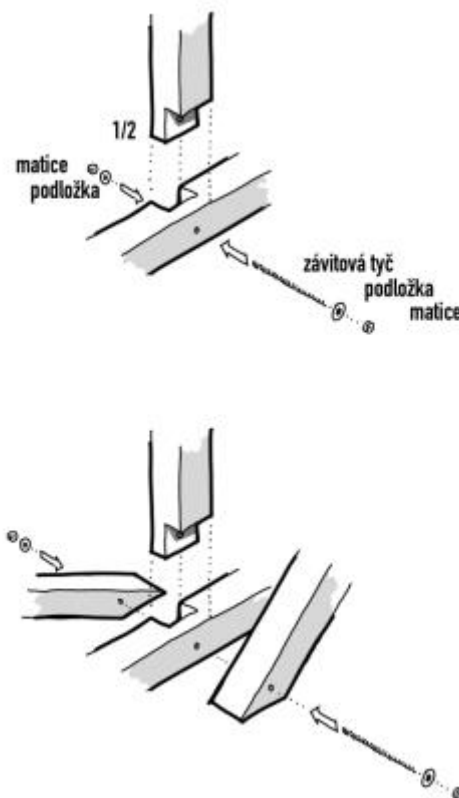
procházející středem lávky, umožňuje ve všech směrech využít stejně dlouhé pruty a zároveň usnadňuje výrobu tím, že je na ní použito jen malé množství typů prutů. Geometrie lávky je poměrně jednoduchá.

5.2 Založení stavby

Nejprve je potřeba zpevnit oba břehy pomocí kamenných soklů vybudovaných z místního kamene, kterého je v horách dostatek a není ho tak třeba dovážet. Na břehy se poté umístí betonový pas do nemrznoucí hloubky 120 cm. Tento betonový základ se musí připravit tak, aby lávka byla v rovině. Spodní příčné trámy budou na betonový základ připevněny pomocí předpřipraveného spoje, který tvoří závitové tyče, matice M24 a podložka M26.

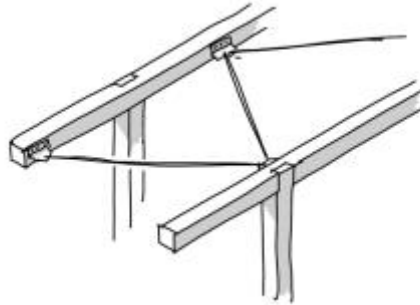
5.3 Spoje

Nejnáročnější spoj je proveden ve styčnicku, ve kterém se protínají tři pruty s horizontálním nosníkem ve třech různých rovinách. Spoj jsme se rozhodli vyřešit tak, že pomocí dlabu odstraníme půlku šířky obou prvků v místě spojení s vertikálním prutem a zároveň odřízneme opačné půlky profilu vertikálního prutu a skrz toto spojení a oba šikmé pruty spojíme závitovou tyčí o průměru M24, čímž docílíme jednoduchého spojení za použití minimálního množství ocele. Dlab je snadno proveditelný lety prověřený spoj. Pokud dojde k poškození prvku, dá se velmi snadno nahradit. Z konstrukčního hlediska je pevnější, než spoj pouze závitovou tyčí a snižuje tak riziko usmyknutí do stran.



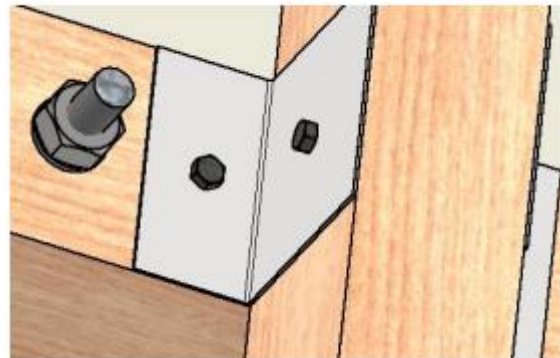
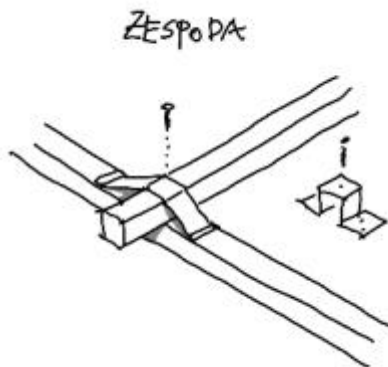
Obr. 11: Spoje

Diagonální ocelové tyče jsme ke konstrukci připevnili ocelovými destičkami s otvory, jimiž jsou provlečené. Destičky jsou připevněny k nosníku šrouby.



Obr. 12: Ocelové tyče

Na hlavní nosnou konstrukci jsou potom zespoda i seshora upevněny příčné trámy pomocí ocelových prvků. Na spodní příčné trámy jsou pak položeny podélné trámy s pochozí vrstvou mostovky, které jsou spojeny ocelovými L-profilů.



Obr. 13: Spojení hlavních trámů s příčnými

Obr. 14: Spojení podélných trámů s příčnými

5.4 Výhody konstrukce

Mostovku doplníme o plastový rošt, který by měl zabraňovat uklouznutí na lávce za deštivého počasí nebo námrazy a předcházet by usazování vody. Rošt je zasazený do ocelových rámu spojených s lávkou pomocí šroubů. Rošt k rámu a rámy k sobě spojují závitové tyče s maticemi a podložkami na obou stranách. Výhodou plastového roštu je, že se jeho tvar dá snadno upravit přímo na místě stavby. V našem případě se rošt ořízne kolem šikmých prutů a v místě, kde se rošty spojují pomocí závitové tyče, se seřízne hrana oka tak, aby bylo možné tyč prostrčit skrz rošt.

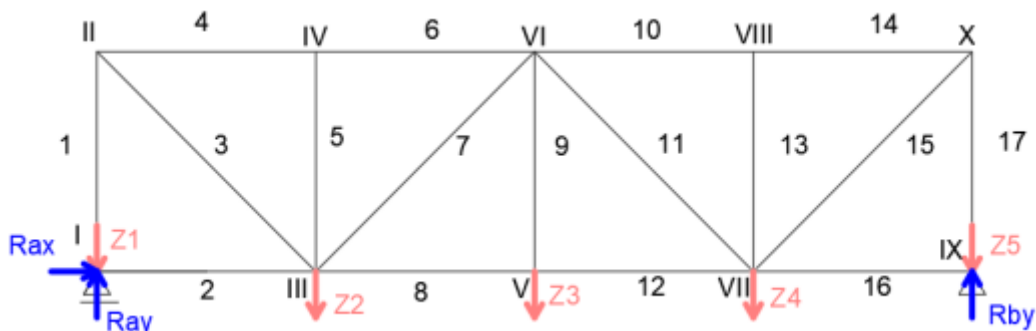


Obr. 15: Upevnění roštu

Dalším bezpečnostním opatřením je konstrukce zábradlí, které na původní lávce chybí. Dle normy je maximální otvor v zábradlí 120 mm, aby skrz něj nemohlo prostrčit hlavu malé dítě. Zvolili jsme tedy jako zábradlí ocelovou síť, která se ke konstrukci snadno přichytí ocelovými oky. Jednoduché, moderní a elegantní.

6 Výpočty

Při výpočtech používáme teoretický výpočtový model, tedy počítáme s určitým zjednodušením oproti realitě. Uvažujeme, že veškeré vazby ve styčnicích jsou čistě rotační, a že se osy prutů protínají v jednom bodě. Nutnou podmínkou také je, že veškeré zatížení, které na konstrukci z vnějšku působí, má působiště právě ve styčnicích. Nikdy proto nemůže nastat situace, že by síla působila do prutu. Síly, které působí v prutech, mají proto stejný směr jako osy prutů. Všechny pruty nahradíme silami směřujícími ze styčnic. Předpokládáme tedy, že veškeré pruty budou namáhané tahem. Pokud nám vyjde síla v prutu záporná, znamená to, že je prut namáhaný tlakem. Cílem výpočtů bylo ověřit, že námi navržená konstrukce působící zatížení vydrží a bude tak schopná být bez problému uvedena do běžného provozu.

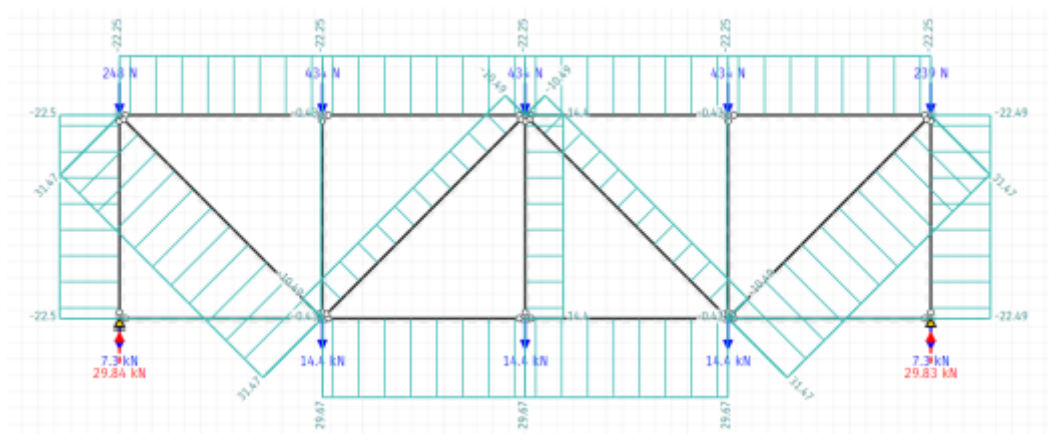


Obr. 16: Schéma prutů v lávce

číslo	velikost (kN)	tah/ tlak
F_1	-22,255	tlak
F_2	0	-
F_3	31,473	tah
F_4	-22,256	tlak
F_5	0	-
F_6	-22,256	tlak
F_7	-10,491	tlak
F_8	29,673	tah
F_9	14,836	tah
F_{10}	-22,256	tlak
F_{11}	-10,491	tlak
F_{12}	29,673	tah
F_{13}	0	-
F_{14}	-22,256	tlak
F_{15}	31,475	tah
F_{16}	0	-
F_{17}	-22,255	tlak

Obr. 17: Síly působící v prutech

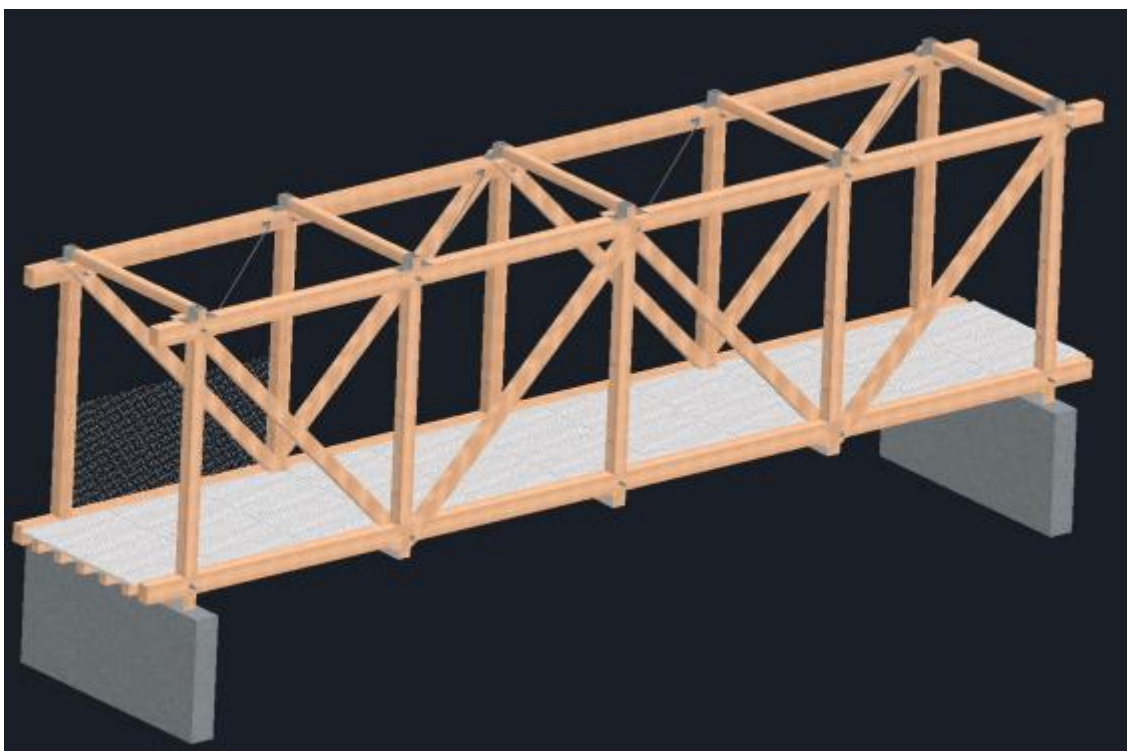
Náš výpočet jsme následně ověřili v programu Structural analyser. Velikost sil nám vyšla stejně jako program.



Obr. 18: Síly působící v prutech

7 model 3D

Model jsme vytvořili v Inventoru 2023 tak, aby na něm bylo možné vidět, pokud to šlo, všechny detaily naší konstrukce. Jediné, co nám v soustavě chybí je síť tvořící zábradlí, které je v modelu jen přes část lávky. Na přidání zábradlí přes celou lávku nemáme dostatečně výkonný počítač. Nejprve jsme vymodelovali jako součásti hlavní podélné pruty, které jsme následně vložili do sestavy. Dále jsme postupně přidávali další pruty, až z toho vznikla lávka, kterou lze vidět na obrázku. Jednotlivé pruty jsou k sobě v Inventoru zavazbené tak, aby se v sestavě nemohly pohybovat. Dalším krokem bylo vytvoření všech spojů. Ty jsou tvořeny závitovými tyčemi, maticemi a podložkami, které jsme přidali z knihovny součástek. U některých spojů bylo zapotřebí vytvořit ocelové prvky, jimiž procházely šrouby, které se zavrtaly až do dřevěných prutů. Nakonec jsme vymodelovali rošt a síť, které jsme přidali do zmíněné sestavy a opět je k ní zavazbili.



Obr. 19: 3D model lávky

8 Reálný model

Reálný model jsme se rozhodli udělat pomocí 3D tiskárny. Již zmíněný model v Inventoru jsme převedli na soubor s příponou STL, který umí tiskárny vytisknout. Měřítko jsme zvolili 1:30. Ke konstrukci jsme ještě dotiskli betonové založení, aby měla na čem stát. Tisk probíhal na tiskárně Prusa mini + pomocí programu PrusaSlicer. Nebylo možné vytisknout celou lávku, tudíž jsme některé části museli sami vyrobit. Seshora jsme nalepili špejle znázorňující šikmé tyče. Následně jsme celý výrobek přestříkali červenou barvou, po stranách upevnili síť a celý model jsme usadili na kvádry.



Obr. 20: Reálný model lávky