

BIM u projektiranju mostova

Šanko, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:252512>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**



image not found or type unknown *Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Dominik Šanko

BIM u projektiranju mostova

Diplomski rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo
Konstrukcije
Računalno modeliranje**

**Dominik Šanko
0114027830**

BIM u projektiranju mostova

Diplomski rad

Rijeka, srpanj 2021.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema diplomskog rada

BIM U PROJEKTIRANJU MOSTOVA

BIM IN BRIDGE DESIGN

Kandidat: **DOMINIK ŠANKO**

Kolegij: **RAČUNALNO MODELIRANJE**

Diplomski rad broj: **K-2021-43**

Zadatak:

Cilj ovog rada je istražiti i pokazati primjenu BIM-a (Building Information Modeling) tehnologije u projektiranju mostova, to jest BrIM-a (Bridge Information Modeling). Potrebno je istražiti i analizirati računalne alate i normativne akte uključene u BIM proces, te tijekom projektiranja, analize i izvođenja mostovnih konstrukcija. Pokazati istraženo na primjerima različitih tipova konstrukcija mostova, te istaknuti prednosti ovakvog suvremenog pristupa, u odnosu na tradicionalni pristup projektiranju mostova.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentorica:

doc. dr. sc. Neira Torić Malić,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Dominik Šanko

U Rijeci, 29. lipnja 2021.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu su prikazane mogućnosti primjene BIM tehnologije u građevinarstvu i njihov značaj u tom području. BIM predstavlja vrstu tehnologije koja se pojavila u području građevine u posljednjih desetak godina, a za cilj ima ubrzati, olakšati, optimizirati i uskladiti sve faze projektiranja i životnog vijeka konstrukcije te povezati različite discipline uključene u izradu projekta. U okviru rada je projektiran i analiziran model stvarnog mosta u programu AllPlan Bridge koji omogućava parametarsko modeliranje konstrukcije mosta i generiranje analitičkog modela koji služi za daljnji proračun. Parametarsko modeliranje olakšava postupak modeliranja iz razloga što je unos podataka ubrzan i olakšan u odnosu na trenutni projektni pristup, dok je postupak statičke analize također vrlo interaktivan i omogućuje korekcije koje su u istom trenutku vidljive svakom sudioniku projekta. U radu je modeliran i analiziran južni most Rječina koji predstavlja gredni statički sustav preko tri raspona od 50, 108,5 i 50 metara, ukupne duljine od 208,5 metara. Poprečni presjek mosta je sandučasti promjenjivih dimenzija duž cijele duljine mosta, dok su kosi stupovi na koje se oslanja pravokutnog sandučastog presjeka s linearnim prirastom širine i visine presjeka. Modelirani su i svi ostali elementi mosta kao što su kabeli za prednapinjanje te rubnjaci, revizijska staza i pješačku ogradu te nosive elemente poput kabela za prednapinjanje. Model mosta je opterećen vlastitom težinom, prometnim opterećenjem, temperaturnim djelovanjem, djelovanjem vjetrova prema Eurokodu. Konačan digitalni model mosta vjerno predstavlja njegovu geometriju i uvjete opterećenja, dok statički proračun omogućuje grafički i tablični prikaz unutarnjih sila i deformacija. Na primjeru mosta Rječina je prikazan tijek i postupak izrade projekta mosta primjenom BIM tehnologije, kao i njegove prednosti. Na primjerima lučnog i ovješnog mosta prikazani su izazovi modeliranja različitih tipova mostovnih konstrukcija.

Ključne riječi: BIM, BrIM, AllPlan Bridge, parametarsko modeliranje, gredni most, projektiranje mostova, statička analiza mosta

SUMMARY

Master thesis aims to show the meaning and possibilities offered by using BIM technology in civil engineering. BIM shows the type of technology which recently emerged in the field of civil engineering while its goal is to make all phases of a construction's design life faster, easier and optimised while connecting various disciplines involved in the project. Within this thesis, a real-life model of a bridge was designed and analysed in AllPlan Bridge. This software's goal parametric modeling and generation of an analytical model of a bridge which is used for later design checks. Parametric modeling makes modeling process easier because data input is faster and easier in comparison to the current design approach, while the process of statics analysis is very interactive within the programme and allows the user to make corrections which are immediately available to all parties of a project. The bridge that was modeled is the south Rječina bridge which is a beam bridge system over three spans of 50 + 108,5 + 50 meters which is a total of 208,5 meters. Cross section of the bridge is a hollow box with height and thickness variations along the length of the bridge, while the piers are a rectangular hollow box with linear height variations. Other bridge elements such as the kerb or the barrier as well as prestressed tension cables. The loads on the bridge are selfweight, traffic loads, temperature loads, and wind loads according to Eurocode. Completed bridge model is a good representation of its geometry while the statics analysis allows for a visual and numerical representation of internal forces and deformations (graphs and tables). Two other examples of bridges have been modeled – an arch bridge and a suspension bridge – for which all the specifics of modeling were shown.

Key words: BIM, BrIM, AllPlan Bridge, parametric modeling, beam bridge, bridge design, statics analysis of a bridge

Sadržaj

SAŽETAK	1
SUMMARY	2
1. UVOD	1
2. BRIM – BRIDGE INFORMATION MODELING	2
2.1. Način rada u BrIM-u [2].....	5
2.2. Prednosti BrIM-a	6
2.3. Područje primjene	8
3. TIJEK IZRADE PROJEKTA	9
3.1. Tehnički opis mosta [8]	10
3.2. Parametarsko modeliranje mosta	12
3.3. Postupak izrade modela	12
3.4. Definiranje podataka o materijalima.....	24
3.5. Zadavanje opterećenja [4]	25
3.5.1. Prometno opterećenje mostova	25
3.5.2. Zadavanje opterećenja prema normi EN 1991-2	26
3.5.3. Model opterećenja 1 (LM1)	27
3.5.4. Model opterećenja 2 (LM2)	29
3.5.5. Horizontalna djelovanja - karakteristične vrijednosti	30
3.5.6. Opterećenja na most.....	32
3.5.7. Visual scripting (VS)	46
4. PLAN IZGRADNJE KONSTRUKCIJE MOSTA	47
5. 3D PRIKAZ MOSTA U PROGRAMU ALLPLAN BRIDGE	50
6. STATIČKA ANALIZA MOSTA	53
7. POSTUPAK DIMENZIONIRANJA I ARMIRANJA	60
8. SPECIFIČNOSTI MODELIRANJA RAZLIČITIH STATIČKIH SUSTAVA	61
8.1. Primjer lučnog mosta	61
8.2. Primjer ovješnog mosta.....	65
10. ZAKLJUČAK	68
11. LITERATURA	69

POPIS TABLICA

Tablica 1. LM1: karakteristične vrijednosti [4]	28
Tablica 2. Centrifugalna sila ovisno o radijusu [4]	30
Tablica 3. Procjena grupa prometnog opterećenja - karakteristične vrijednosti djelovanja s više komponenti [4].....	31
Tablica 4. Procjena grupa prometnog opterećenja - frekventne vrijednosti djelovanja s više komponenti [4].....	31
Tablica 5. Prikaz opterećenja vjetra na konstrukciju mosta.....	39
Tablica 6. Tablični prikaz unutarnjih sila u stupovima po stacionažama	54
Tablica 7. Tablični prikaz unutarnjih sila za prvu fazu izgradnje mosta	55
Tablica 8. Tablični prikaz unutarnjih sila po stacionažama	56
Tablica 9. Tablični prikaz progiba za prvu fazu izgradnje.....	57
Tablica 10. Tablični prikaz progiba za drugu fazu izgradnje.....	58
Tablica 11. Tablični prikaz progiba za treću fazu izgradnje.....	59

POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer digitalnog 'blizanca' mosta u BrIM softveru [2]	3
Slika 2. Usporedba tradicionalnog i BrIM pristupa	4
Slika 3. Tijek rada u BrIM softveru [2]	5
Slika 4. Slikovni prikaz projektiranja u BrIM-u	6
Slika 5. Podjela softvera ovisno o struci unutar projekta.....	8
Slika 6. Prikaz globalnog i lokalnog koordinatnog sustava [1]	9
Slika 7. Pogled na most Rječina s dimenzijama [8].....	11
Slika 8. Pogled na most Rječina iz zraka [8]	11
Slika 9. Tlocrtni prikaz osi mosta	13
Slika 10. Prikaz visinskog profila osi mosta	13
Slika 11. Tlocrtni prikaz osi lijevog i desnog stupa	14
Slika 12. Prikaz visinskog profila lijevog i desnog stupa	14
Slika 13. Prikaz parametarski definiranih linija i rezultirajućeg poprečnog sandučastog presjeka	15
Slika 14. Prikaz parametarski modeliranog poprečnog presjeka stupa.....	16
Slika 15. Prikaz poprečnog presjeka dodanim presjecima rubnjaka i ograde.....	16
Slika 16. Tablični i grafički prikaz promjena visine grednog nosača	17
Slika 17. Prikaz dodatnih stacionaža i promjena poprečnih presjeka	18
Slika 18. 3D prikaz razmaka glavnih nosača	19
Slika 19. 3D prikaz poprečnog presjeka asfaltnog zastora, rubnjaka i ograde.....	19
Slika 20. Pogled na most u uzdužnom smjeru	20
Slika 21. Prikaz referentnih točaka za definiranje kabela za prednapinjanje.....	21
Slika 22. Tablični i grafički prikaz razmaka natega od gornjeg ruba nosača.....	22
Slika 23. Tablični i grafički prikaz razmaka između natega.....	22
Slika 24. Postupak modeliranja natega	23
Slika 25. 3D prikaz geometrije natega u uzdužnom smjeru.....	23
Slika 26. Prikaz korištenih materijala	24
Slika 27. Opterećenje prometnih trakova - TS i UDL [4].....	28
Slika 28. Opterećenje za model opterećenja 2 [4].....	29
Slika 29. Prikaz stalnog opterećenja na gredu	32
Slika 30. Prikaz temperaturnog djelovanja [1].....	33
Slika 31. Promjenjiva komponenta temperaturnog djelovanja [1].....	33
Slika 32. Prikaz postavljanja sile kočenja [1]	35

Slika 33. Prikaz opruge koja definira slijeganje [1].....	36
Slika 34. Prikaz djelovanja vjetra (+) na dijelove mosta [1].....	37
Slika 35. Prikaz djelovanja vjetra (-) na dijelove mosta [1].....	38
Slika 36. Shematski prikaz model opterećenja 1 [4].....	42
Slika 37. Parametarske linije za lijevu i desnu traku	43
Slika 38. Prikaz oznaka za pozicije opterećenja na prometnim trakama	44
Slika 39. 3D prikaz pozicija prometnog opterećenja	44
Slika 40. Prikaz kombinacija slučajeva opterećenja	45
Slika 41. Primjer modula za promatrani most.....	46
Slika 42. Prikaz prve faze izgradnje mosta	47
Slika 43. Prikaz druge faze izgradnje mosta	48
Slika 44. Prikaz treće faze izgradnje mosta	48
Slika 45. Prikaz gantograma za sve faze izgradnje modeliranog mosta	49
Slika 46. Prikaz upornjaka iz AllPlana	50
Slika 47. Prikaz upornjaka uklopljenog u most	51
Slika 48. Prikaz ograde uklopljene na most.....	52
Slika 49. Vizualizacija mosta s upornjacima i ogradama	52
Slika 50. Prikaz sume momenta savijanja u stupovima u prvoj fazi izgradnje.....	54
Slika 51. Prikaz momenta savijanja u stupu za drugu fazu izgradnje	55
Slika 52. Prikaz sume momenata savijanja za most u zadnjoj fazi izgradnje	56
Slika 53. Prikaz progiba stupova u prvoj fazi izgradnje	57
Slika 54. Prikaz progiba stupa i grede u drugoj fazi izgradnje	58
Slika 55. Prikaz progiba srednjeg raspona grede u trećoj fazi izvedbe.....	59
Slika 56. Prikaz poprečnog presjeka glavnog nosača	61
Slika 57. Prikaz postavljenih točaka u visinskom profilu	62
Slika 58. Poprečni presjek lučne konstrukcije mosta.....	62
Slika 59. Prikaz poprečnih presjeka naglavnih greda i stupova.....	63
Slika 60. Prikaz naglavnih greda i stupova	63
Slika 61. Prikaz 3D vizualizacije mosta.....	64
Slika 62. Prikaz modeliranog visećeg mosta u AllPlan-u	65
Slika 63. Prikaz usporedbe tradicionalnog i BIM pristupa [2].....	67

1. UVOD

Projektiranje konstrukcija mostova je samo po sebi iznimno izazovno i zahtijeva suradnju različitih struka. Building Information Modeling ili BIM je interaktivni sustav koji omogućuje povezivanje tih struka unutar jednog programa te predstavlja interdisciplinarni sustav kojim se omogućuje projektiranje, vođenje projekta i planiranje u jednom. Dakle, pojava BIM sustava omogućila je suradnju i interakciju znanja i informacija između različitih struka uključenih u projekt izgradnje mosta. Tako se u posljednje vrijeme razvio tzv. BrIM sustav ili Bridge Information Modeling koji omogućuje brže i ekonomičnije projektiranje mostova.

Najveća prirodna prepreka na riječkoj obilaznici je duboki kanjon Rječine te je za njen prijelaz bilo potrebno izgraditi most koji će se u ovom radu modelirati i analizirati, a to je južni most Rječina. U sklopu rada, na modelu mosta objasnit će se BrIM sustav, način na koji program radi, njegove prednosti, mogućnosti i nedostatke te način primjene u svakodnevnom projektiranju mostova.

2. BRIM – BRIDGE INFORMATION MODELING

BIM ili Building Information Modeling predstavlja potpuno digitalni način rada i trenutno najmoderniji pristup projektiranju unutar građevinskog sektora. Posljednjih godina se primjena BIM-a unutar građevinske struke raširila, a služi kao alat za inženjere i projektante u svrhu razvoja i unaprijeđenja postupaka modeliranja, projektiranja i proračuna raznih konstrukcija. Cilj BIM-a je izrada pojedinog projekta u potpunosti tako da se sve radnje unutar nekog projekta mogu izraditi u jednom programu - od samog modeliranja i projektiranja preko statičkog proračuna pa sve do planiranja i organizacije u izvođenju. Građevinska struka se godinama oslanjala na 2D dokumentaciju koja se koristila za projektiranje i realizaciju građevinskih projekata. Takav konvencionalni pristup projektiranju se pojavom BIM-a postupno mijenja. [1]

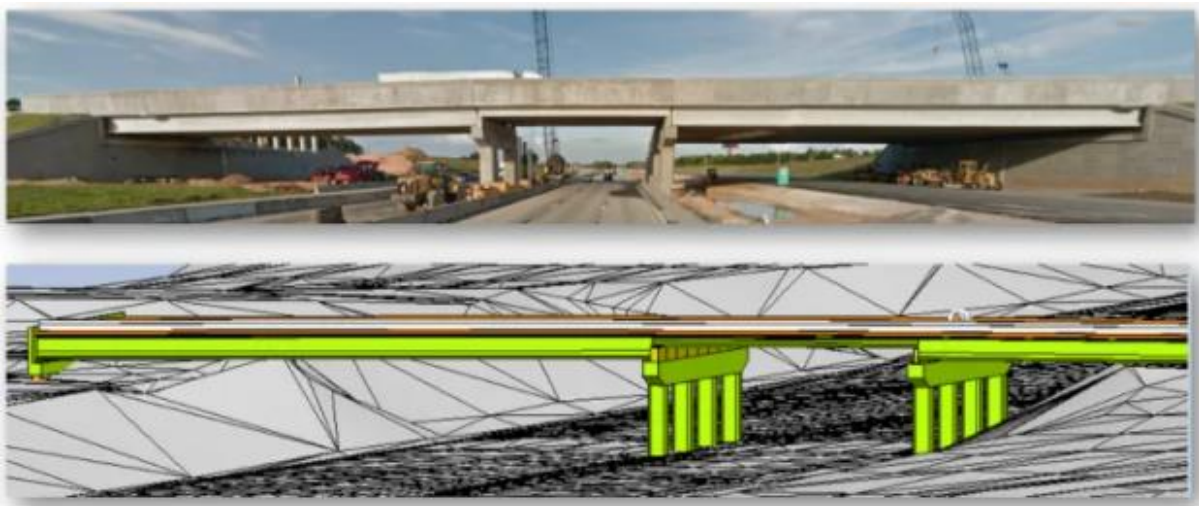
3D modeliranje koje BIM koristi se temelji na parametarskom definiranju objekata kojima se zatim mogu pripisati mnogi dodatni podaci poput vrste materijala, dimenzije pukotina, veličina slijeganja, puzanje, skupljanje i još nekih. Sve raširenijom primjenom BIM-a se vremenom razvila i posebna grana u kojoj se izrada vertikalnih projekata prenijela na horizontalne poput mostova, poznata kao Bridge Information Modeling ili skraćeno BrIM.

Bridge Information Modeling (BrIM ili BIM za mostove) predstavlja modernu metodologiju za projektiranje i proračun konstrukcija mostova. Fizički 3D model mosta pruža savršen grafički i funkcionalni prikaz mosta i rezultate proračuna, unaprjeđujući kvalitetu projekta i suradnju različitih grana struke uključenih u izradu projekta. BrIM pristup modeliranju smanjuje potrebu korištenja fizičke dokumentacije, nacрта i planova, a zahtijeva korištenje digitalnih informacija i 3D modela koji uključuje informacije o topografiji, geotehničkim parametrima i opterećenjima na konstrukciju.

Tradicionalni pristup projektiranju koristi se nizom nepovezanih modela, uključujući vizualni prikaz modela za marketinške ili javne svrhe uporabom CAD modele za provjeru geometrije i modele za statičku analizu konstrukcije koji se koriste u proračunu. U tim slučajevima se za svaki model promjene unosi samostalno i bez uzimanja u obzir ostalih modela, pri čemu postoji veća mogućnost pojave grešaka što naknadno vodi do gubitka vremena i produktivnosti.

S druge strane, korištenje 3D modela pruža mogućnost korištenja digitalnog projekta i dokumentacije, uključujući 3D vizualni prikaz, virtualnu simulaciju građenja konstrukcije, automatizaciju provjera i analize opterećenja. Takav model postaje jedinstveni izvor informacija za kompletni projekt mosta i treba biti identični virtualni model konstrukcije – digitalni 'blizanac' (Slika 1). Kompletni životni ciklus projekta mosta - trasiranje, konstruiranje, izgradnja (u fazama), opterećivanje i analiza - može se prikazati i proračunati u jednom trodimenzionalnom modelu.

Vrijednost BrIM pristupa leži u eliminaciji tradicionalnih 2D nacrti i prijelaz u potpuno digitalno rješenje koje nudi veći broj podataka poput opisa materijala, proračunskih specifikacija, geotehničkih podataka i raznih izvješća. Ovako stvoreni modeli prosljede se izvođačima radova koji na temelju istih mogu odrediti vremenski plan izgradnje i iscrtati detaljne gantograme s dnevnim aktivnostima.



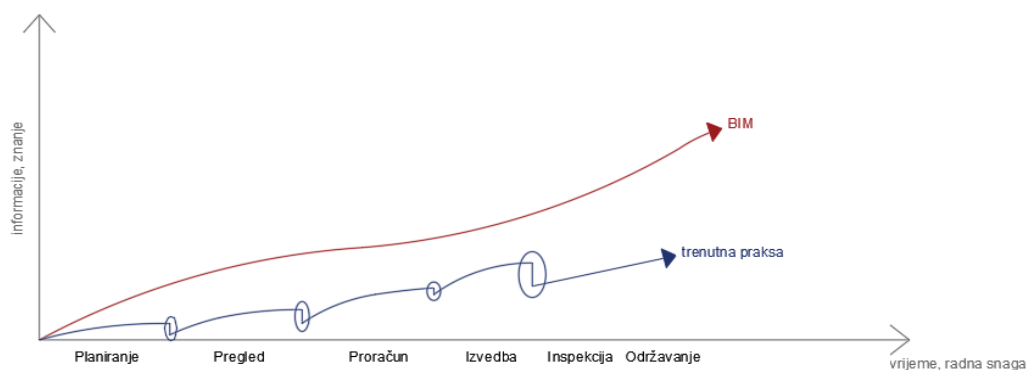
Slika 1. Primjer digitalnog 'blizanca' mosta u BrIM softveru [2]

Osnova za svaki projekt mosta, neovisno o vrsti i kompleksnosti izgradnje, je njihov početni tlocrtni položaj, proračun i analiza. Korištenjem BrIM-a moguće je proračunati, analizirati i optimizirati projekt u integriranom okruženju temeljenom na standardima struke. Takvo okruženje omogućava korištenje digitalnih informacija za proračun i analizu ovisno o raznim faktorima, kombinirajući digitalne podatke o terenu u kojem se gradi s vlastitim ulaznim podacima. Koristi se parametarsko 3D modeliranje kombinirano s opsežnom analizom i alatima za opterećenje konstrukcije.

BrIM model sadrži sve grafičke, geometrijske i numeričke podatke budućeg mosta, a te informacije su na raspolaganju svim strankama uključenim u projekt. Također nudi podatke bitne za cijeli vijek trajanja konstrukcije poput vremenskih utjecaja i ponašanja materijala pod utjecajem istih. Svaka promjena, inovacija ili razvoj informacija u bilo kojem dijelu projekta je uključena u taj model, a detaljna dokumentacija je automatski dostupna. Nakon završetka projekta, BrIM služi upravo kao alat za digitalnu dokumentaciju. [1]

Najveća prednost korištenja ovog pristupa je povezivanje projekta u svim fazama, kao i povezivanje građevinskog dijela rada s ostalim inženjerskim granama poput arhitekture. Još jedna prednost je standardizacija podataka. Uspješna suradnja i komunikacija između više struka bitni su faktori u unaprjeđenju projektiranja bilo kojeg projekta. Standardizirani podaci mogu se koristiti u formatu u kojem je moguće provesti integraciju projektnih faza i dijeliti podatke neovisno o programu koji se koristi, čime se omogućuje suradnja na najvišoj razini.

Idealno, BrIM model razvija se paralelno procesu izgradnje tako da na kraju izgradnje predstavlja identičan virtualni model mosta koji sadrži sve informacije o stvarnom projektu. Model mosta je opremljen svim informacijama bitnima za konstrukciju koje su prilagođene svim neplaniranim promjenama koje su se dogodile tijekom gradnje. Kako BrIM ima specifičan pristup kojim pokušava predvidjeti moguće konfliktne situacije te ih unaprijed riješiti, mogućnost javljanja neplaniranih pogreški se smanjuje. Kod tradicionalnog pristupa se konfliktne situacije rješavaju tek nakon što nastanu, što značajno usporava i poskupljuje proces projektiranja i izgradnje (Slika 2). To je zato što BIM pristup raspolaže većim brojem informacija o konstrukciji, što omogućuje optimizaciju vremena i troškova projektiranja i izgradnje.



Slika 2. Usporedba tradicionalnog i BrIM pristupa

2.1. Način rada u BrIM-u [2]

Integrirani tijek rada u BrIM programu sastoji se od sljedećih 5 koraka (Slika 3):

1. 3D modeliranje

Trodimenzionalni model je točan prikaz mosta kako bi se izgradio na terenu.

2. Analiza i proračun

Analitički model se automatski generira iz geometrijskog modela za procese analiziranja i proračunavanja mosta.

3. Projektna dokumentacija

Potpuna potrebna dokumentacija poput izvješća o geometrijskim parametrima, 3D modela i kotiranih 2D crteža.

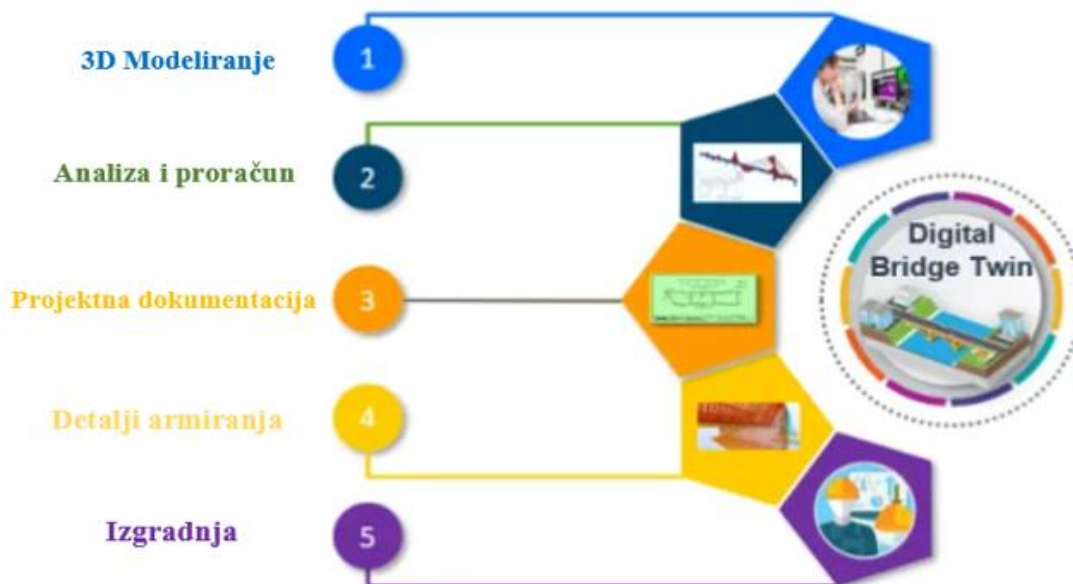
4. Detalji armiranja

Modeliranje armiranobetonskih konstrukcija kao 3D parametarske objekte

Količine betona i izvješća o materijalu

5. Izgradnja

Projektiranje, upravljanje i građenje u 4D koristeći BIM model za vremensko planiranje



Slika 3. Tijek rada u BrIM softveru [2]

2.2. Prednosti BrIM-a

BrIM u više aspekata unapređuje proces projektiranja i izvođenja u mostogradnji, a ovdje su izdvojeni najvažniji (Slika 4):



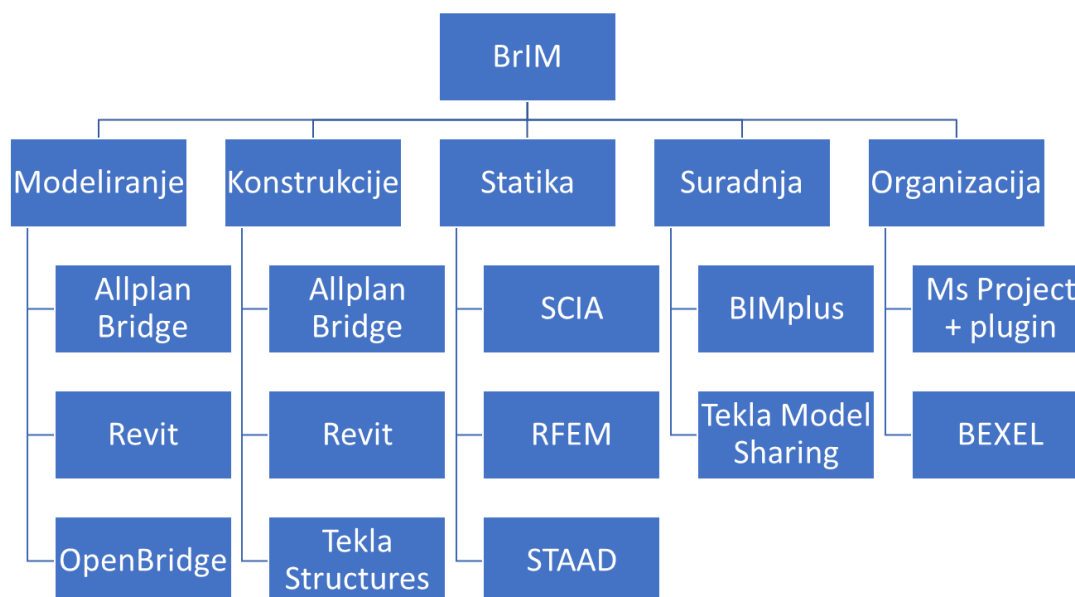
Slika 4. Slikovni prikaz projektiranja u BrIM-u

- **Efikasan i brz proračun** koji dopušta projektantima točno prikazati strukturu i zakrivljenja ceste i terena u modelu mosta. Modeliranje je parametarsko što znači da parametri objekta određuju njihove interakcije, a tako se izbjegne višestruke unose istih podataka i greške u proračunu. 3D model sadrži više podataka od 2D crteža i uvijek je aktualan jer se nakon svake promjene model i dokumentacija automatski ažurira, što je vidljivo svim sudionicima projekta. Također je moguće provjeriti ako postoje sukobi elemenata u virtualnom modelu, a ta provjera osigurava savršeno uklapanje različitih modela prije njihove uporabe na gradilištu. Točnost ovakvog proračuna rezultira time da je izgradnja efikasna u pogledu vremena i resursa.
- **Suradnja na temelju dijeljenja podataka** osigurava zajedničko razumijevanje projekta između svih projektnih stranaka uz jasnu komunikaciju. Budući da u prosjeku do 40% rada nije produktivno, a do 30% rada spada u doradu ili popravke, BrIM pristup uz pojednostavljeni proces proračuna i povezanost svih sudionika projekta te brojke smanjuje. Standardizacija podataka omogućuje puno bolju interoperabilnost softverskih programa između disciplina. Takvi podaci se mogu dijeliti, koristiti i nadopunjavati unutar projekta. Potrebno je još odrediti jasne BrIM smjernice, procedure i dužnosti projektanata i uspostaviti dobru komunikaciju u ranoj fazi projekta.
- **Proizvodnja elemenata temeljena na modeliranju** zbog automatizacije smanjuje ljudsku grešku i olakšava određivanje potrebnih količina materijala. Time se otklanja problem naručivanja viška materijala i skladištenja istog. Informacije o proizvodnji se mogu organizirati i njima upravljati ovisno o fazi u kojoj se projekt nalazi. Proizvođači, odnosno dobavljači materijala mogu unositi podatke direktno u model čime je cijeli proces ubrzan i točan, kao i smanjena razina dodatnog posla na gradilištu.

- **Modeli spremni za korištenje na gradilištu** sprječavaju greške koje usporavaju rad i pomažu u izbjegavanju čestih zahtjeva za informacijama (RFI). Točan i detaljan proračun smanjuje cijenu i povećava kvalitetu izgradnje, a zbog dijeljenja informacija u ranoj fazi projekta i dokumentacije dostupne svim sudionicima projekta, BrIM poboljšava taj proračun. Također nudi realistične i aktualne prikaze modela, korak-po-korak simulaciju procesa građenja objekta dio po dio i organizaciju koja prikazuje obujam i razvoj projekta.
- **Vremenska organizacija projekta** se može simulirati i unaprijed po potrebi promijeniti. BrIM omogućuje optimizaciju vremenskog plana zbog točnih informacija i brze i jasno komunikacije. Korištenjem nekog BrIM softvera koji se kontinuirano ažurira i razvija, svi su sudionici projekta svjesni promjena u istom trenutku kad se naprave. Svi BIM programi koriste podatke iz modela kao temelj za povezivanje direktno sa značajkama vremenske organizacije pa tako stvaraju jasan raspored.
- **Digitalizirana projektna dokumentacije** je uvijek ažurirana i dostupna za upravljanje. Koristeći BrIM alate, moguće je efikasnije obavljati inspekcije, održavanje i popravke bilo kojeg dijela mosta, uz lako dostupnu dokumentaciju za svaku fazu izgradnje.

2.3. Područje primjene

Područje primjene BIM i BrIM alata može se svesti na više sudionika u projektu koji su u projekt uključeni od početka do kraja, počevši od arhitekta koji započinje s izradom modela do investitora kojem će kompletni model pomoći kod održavanja, sanacije i sličnih zadataka. Sudionike u projektu možemo podijeliti po strukama, a svaka od njih radi u određenom softveru. Osnovnu podjelu primjene BrIM-a može se prikazati po strukama i softveru koji svakoj stoji na raspolaganju (Slika 5).



Slika 5. Podjela softvera ovisno o struci unutar projekta

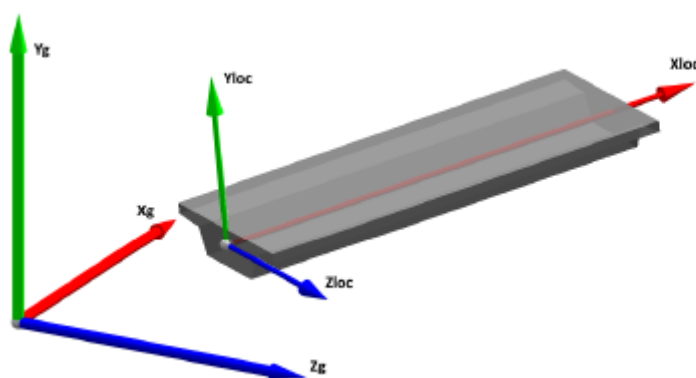
Uvođenjem BrIM-a u projektiranja mostova slijedi se strateški cilj povećanja efikasnosti i pouzdanosti konstrukcije kroz uporabu obuhvatnijih digitalnih tehnologija.

3. TIJEK IZRADE PROJEKTA

Projekt mosta započinje u programu po izboru projektanta. Za ovaj diplomski rad izabran je program 'AllPlan Bridge' koji podržava BrIM i omogućava modeliranje i analizu mostova. U sljedećem poglavlju prikazan je način modeliranja geometrije mosta, postavljanje opterećenja po Eurokodu (stalno, prometno, vjetar, sile kočenja i ubrzavanja, slijeganje).

Modeliranje mosta za potrebe rada provest će se na primjeru mosta Rječina - kontinuiranog mosta na tri raspona, glavnog nosača sandučastog poprečnog presjeka i dva kosa stupa pravokutnog poprečnog presjeka.

Koordinatni sustav u programu AllPlan Bridge u odnosu na koji se postavljaju opterećenja prikazan je na slici 6.



Slika 6. Prikaz globalnog i lokalnog koordinatnog sustava [1]

3.1. Tehnički opis mosta [8]

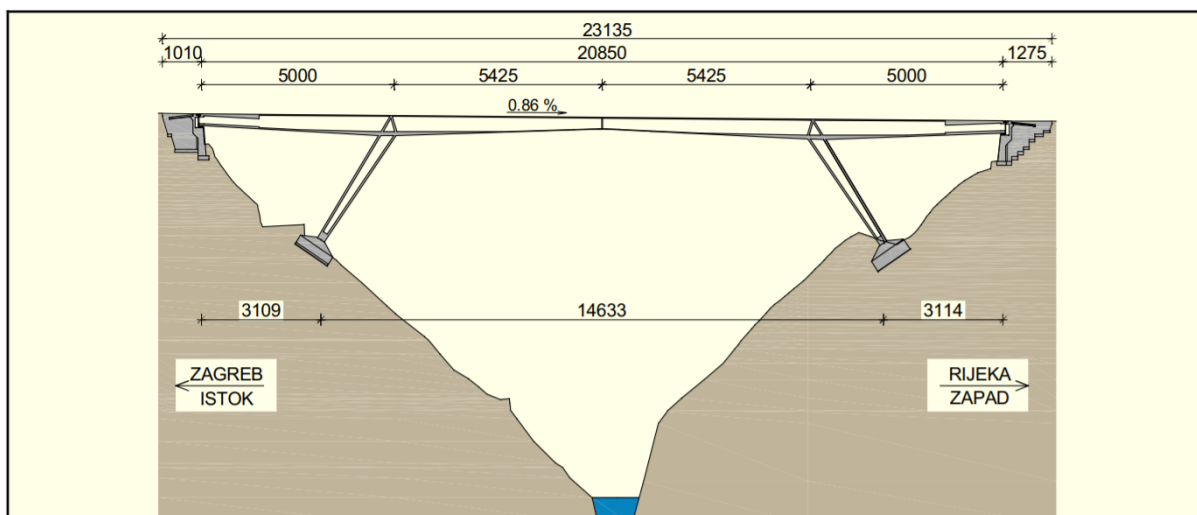
Model koji je prikazan u ovom poglavlju je južni most Rječina koji se nalazi u Rijeci i položen je oko 100 metara iznad korita same rijeke. Most je modeliran i analiziran prema zahtjevima nosivosti, uporabljivosti i trajnosti po suvremenim specifikacijama projektiranja konstrukcija. Rasponski je sklop razupora od prednapetog betona s tri raspona koji se protežu 50 metara od prvog upornjaka do stupa, zatim 108,5 metara između stupova i 50 metara od drugog stupa do drugog upornjaka, do su visine stupova oko 28 metara.

Ukupna duljina mosta je 208.5 metara, dužine raspona su 50 metara od prvog upornjaka do prvog stupa, zatim 108.5 metara između prvog i drugog stupa i 50 metara od drugog stupa do drugog upornjaka, dok je visin stupova 28 metara, a razmak između osi temelja stupova iznosi 146 metara. Most je tlocrtno u pravcu dok je os nivelete u stalnom nagibu od 0,86%. Širina rasponskog sklopa mosta ukupno iznosi 11,3 metra i čine je dvije kolničke trake ukupne širine 7,7 metara, zatim rubnjaka, revizijskih staza i pješačke ograde na obje strane.

Poprečni presjek glavnog nosača mosta je sandučasti presjek širine 11,3 metra na gornjem dijelu i 5,16 metara na donjem dijelu u polju, te širine 11,3 metra na gornjem dijelu i 4,35 metra na donjem dijelu na osloncima. Visine sandučastog nosača linearno se mijenjaju te iznose 3 metra u sredini raspona i na krajevima i 5 metara na osloncima. Debljina gornje ploče iznosi 25 centimetara dok debljina donje ploče sanduka varira između 18 centimetara u polju do najviše 100 centimetara na osloncima, a debljina hrptova je 40 centimetara u polju i 50 centimetara na osloncu. Materijali koji se koriste su beton kvalitete C45/55 dok je armatura B500B. Sandučasti nosač je prednapet u dvije faze čelikom za prednapinjanje 1570/1770 N/mm².

Poprečni presjek kosih stupova je sandučasti presjek čije debljine stijenki iznose 50 centimetara, dok je odnos visine i širine 4,4 x 2,0 metra dolje i 6,14 x 3,88 metra gore. Veza između kosih stupova i temelja predviđena je kao upeta veza. Temelji su tlocrtnih dimenzija 10 x 10 metara ukupne visine 4,5 metra. Kosnici su također izvedeni iz betona kvalitete C45/55, a temelji kosnika od betona kvalitete C30/37.

Most Rječina prikazan je na slikama 7 i 8.



Slika 7. Pogled na most Rječina s dimenzijama [8]



Slika 8. Pogled na most Rječina iz zraka [8]

3.2. Parametarsko modeliranje mosta

Geometrijski model mosta izrađen je parametarskim modeliranjem. Kako bi dobili kompletan model, potrebno je postaviti os mosta, definirati poprečne presjeke glavnog nosača i stupova i pripisati im odgovarajuće materijale. Nakon završetka faze parametarskog modeliranja čiji je rezultat geometrijski model mosta može započeti faza konstruiranja mosta u kojoj se definiraju faze izvedbe s potrebnim radnjama i vremenskim planom za svaku fazu. Tada se kalkulacijom završenog modela dobije analitički model mosta na koji se dodaju potrebna opterećenja definirana u propisima (EN 1991-2) za određenu lokaciju i vrstu mosta. Tad je moguće provesti statičku analizu modela koja daje rezultate u obliku dijagrama (naprezanja, deformacija) i tablica (unutarnje sile).

3.3. Postupak izrade modela

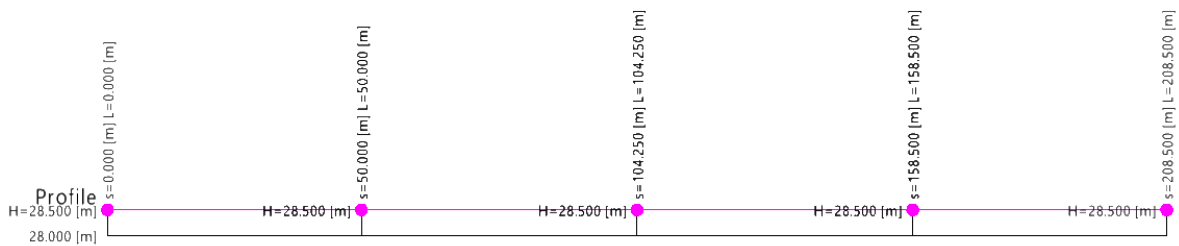
- Postavljanje osi mosta

Prvi korak u postupku izrade BrIM modela mosta je definiranje osi mosta. Os nivelete mosta za koji se radi model je u horizontalno i vertikalnom smjeru ravna i bez zakrivljenosti [3]. Definiranjem osi mosta ujedno se definira i njegova duljina kao razmak između dviju krajnjih točaka, a to su krila upornjaka, i iznosi 208,5 metara. Potrebno je definirati početnu točku osi mosta - lijevi upornjak - u početnoj stacionaži 0,0m, a zatim i krajnju točku osi mosta u stacionaži 208,5m. Tlocrtni prikaz osi nivelete s definiranim krajnjim točkama (Slika 9).



Slika 9. Tlocrtni prikaz osi mosta

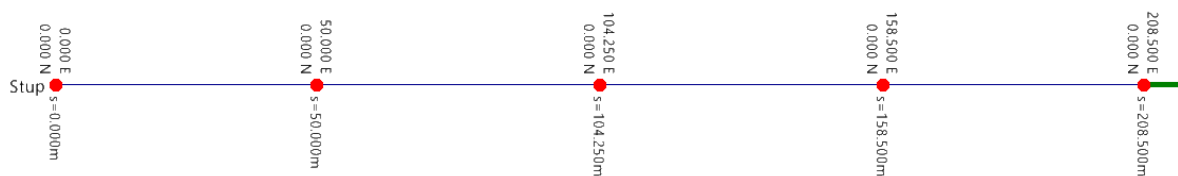
Sljedeći potreban korak je definiranje osi u vertikalnom smjeru što se postiže definiranjem visine u početnoj i krajnjoj stacionaži. Budući da je most ravan, visina osi je konstantna i 28,5 metara. Visinski profil konačno se može definirati izborom načina spajanja točaka koji mogu biti sjecište tangenti parabole ili kružnice, poligonalno spajanje ili pravocrtno spajanje. Na Slici 10. prikazan je visinski profil osi dobiven pravocrtnim spajanjem točaka.



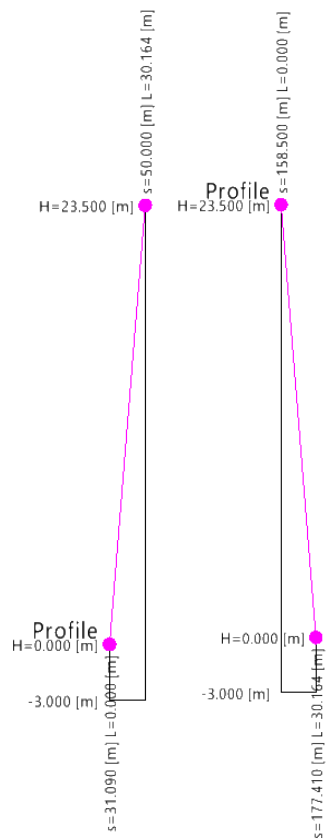
Slika 10. Prikaz visinskog profila osi mosta

- Postavljanje ostalih potrebnih osi

Nakon definiranja osi nivelete, odnosno osi glavnog nosača mosta, potrebno je definirati i osi ostalih elemenata mosta. Za prikazani BrIM model još je potrebno definirati osi kosih stupova analogno postupku za definiranje osi mosta. Potrebno je definirati početnu i krajnju točku svakog stupa tako da se definiraju stacionaže i visine tih točaka. Za lijevi kosi stup početna točka na dnu stupa postavlja se u stacionaži 31,09 m i na visini 0,0 m, dok se krajnja točka na vrhu stupa postavlja u stacionaži 50 i na visini 28,5 metara. Na taj način dobije se kosi stup ukupne duljine 34,2 metra i pod nagibom od 56.44°. Na isti način se postavi desni stup iste duljine i nagiba s početnom točkom u stacionaži 177,4 m i na visini 0,0 m te krajnjom točkom u stacionaži 158,5 m i na visini 28,5 m (Slika 11 i Slika 12).



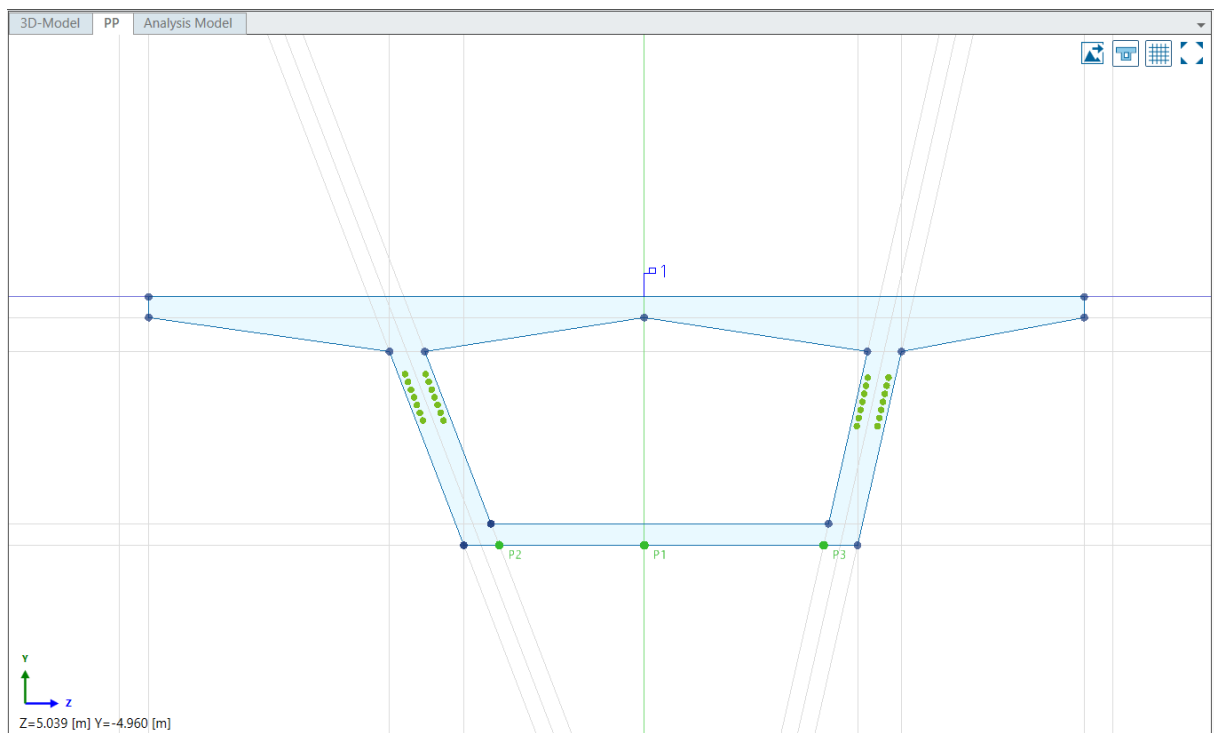
Slika 11. Tlocrtni prikaz osi lijevog i desnog stupa



Slika 12. Prikaz visinskog profila lijevog i desnog stupa

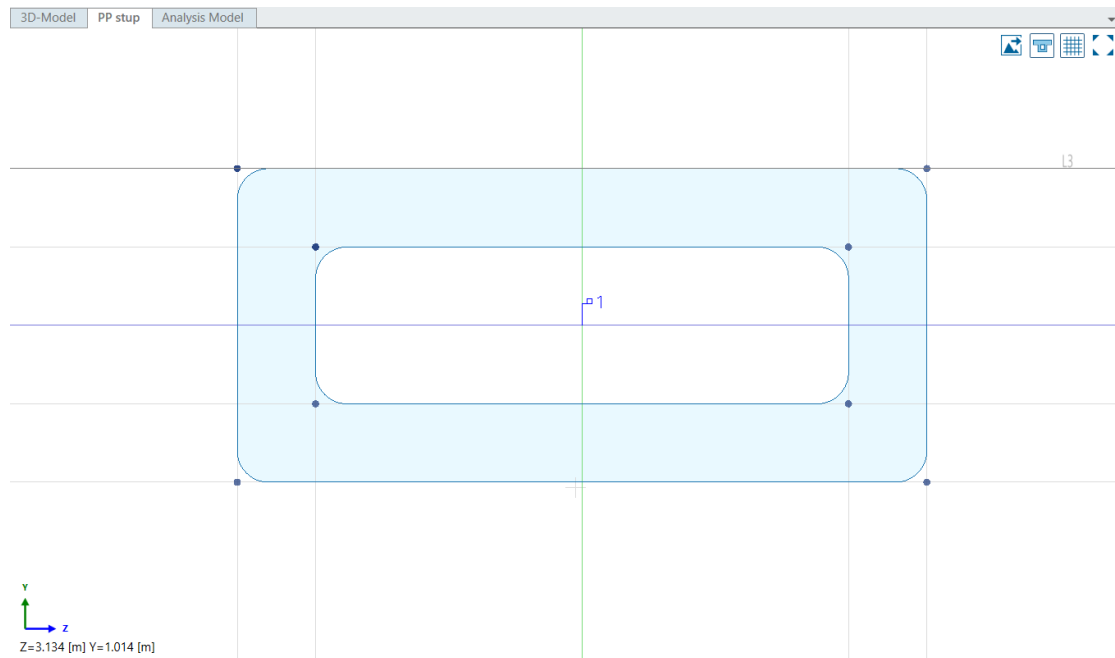
- Definiranje poprečnih presjeka

Poprečni presjek glavnog nosača mosta je sandučasti presjek širine 11,3 metara gornjeg dijela i 5,16 metara donjeg dijela u polju, te širine 11,3 metara gornjeg dijela i 4,35 m donjeg dijela na osloncu. Visina sandučastog nosača iznosi 3,0 metra u polju i 5,0 metara na osloncu (Slika 13). Debljina gornje ploče iznosi 25 cm dok debljina donje ploče varira između 18 cm u polju do najviše 100 cm na osloncu, a debljina hrptova je 40 cm u polju i 50 cm na osloncu. Ovi dijelovi presjeka mosta se definiraju parametarski te je tim načinom modeliranja parametrima moguće definirati varijable koje se u poprečnom i uzdužnom smjeru brzo mijenjaju, čime se dobije promjenjivi poprečni presjek. Za glavni nosač ovog mosta je bilo potrebno definirati varijable čitavom duljinom mosta u vidu linearnih promjena visine, što je vidljivo na Slici 16.



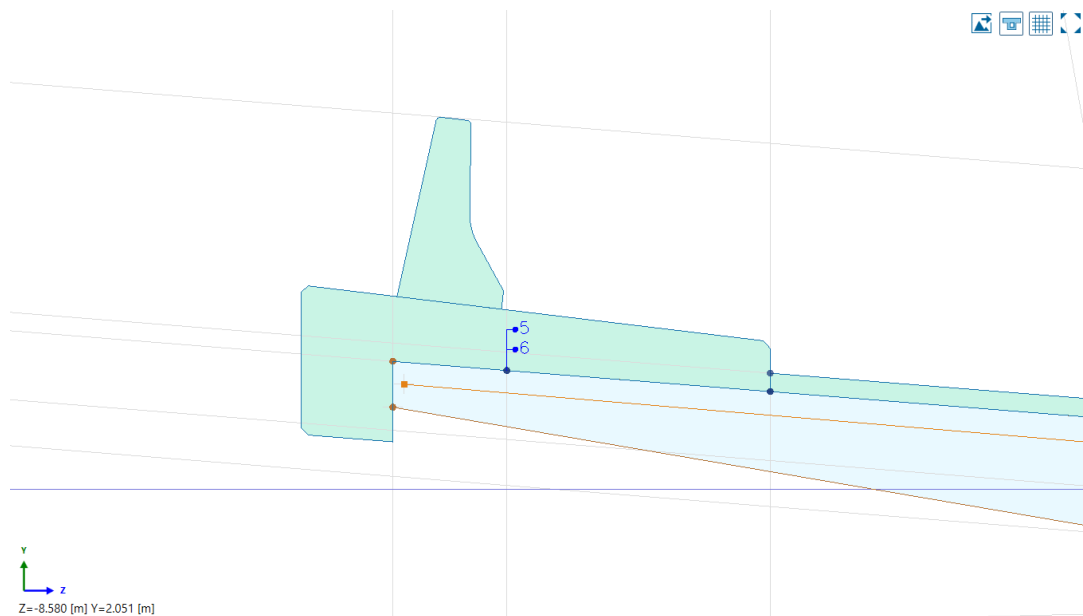
Slika 13. Prikaz parametarski definiranih linija i rezultirajućeg poprečnog sandučastog presjeka

Poprečni presjek kosih stupova ili kosnika također se modelira parametarski. Poprečni presjek kosnika je pravokutni sandučasti presjek debljina stijenki 50 cm, dok je odnos visine i širine na dnu stupa 4,4 metra x 2,0 metra s linearnim povećanjem visine prema vrhu stupa do vrijednosti 6,14 metra x 3,88 metra. Kosnici zatvaraju kut od približno 56° s horizontalnom osi. Visine kosnika iznose približno 28,5 metara. Ostavljeni su otvori za ulazak u šuplje stupove (Slika 14).

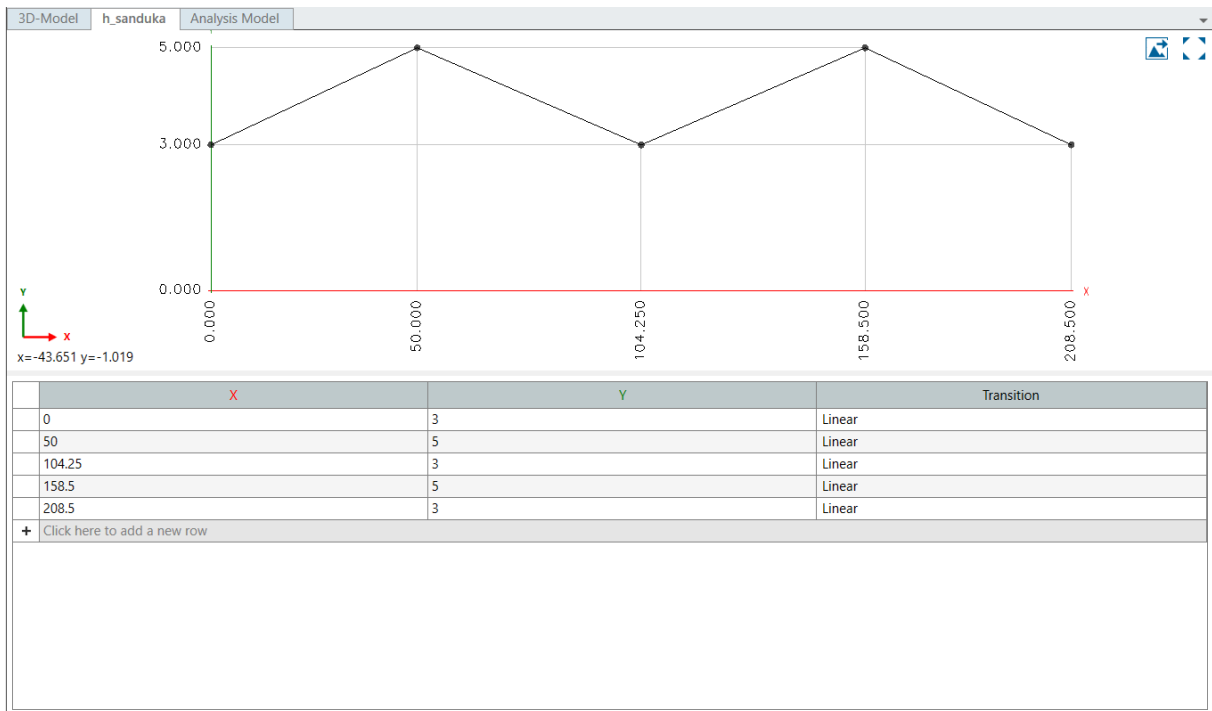


Slika 14. Prikaz parametarski modeliranog poprečnog presjeka stupa

Sljedeći korak je definiranje poprečnog presjeka koji sadržava presjeke rubnjaka i vijenca. Ukupna širina rasponskog sklopa mosta iznosi 12,0 m i sastoji se od dviju kolničkih traka ukupne širine 770 cm, zaštitnih trakova s uzdignutim rubnjakom širine po 50 cm sa svake strane te revizijske staze širine 50 cm na lijevoj strani. Na Slici 15. prikazan je konačan presjek rubnjaka, vijenca i asfaltnog sloja.



Slika 15. Prikaz poprečnog presjeka dodanim presjecima rubnjaka i ograde



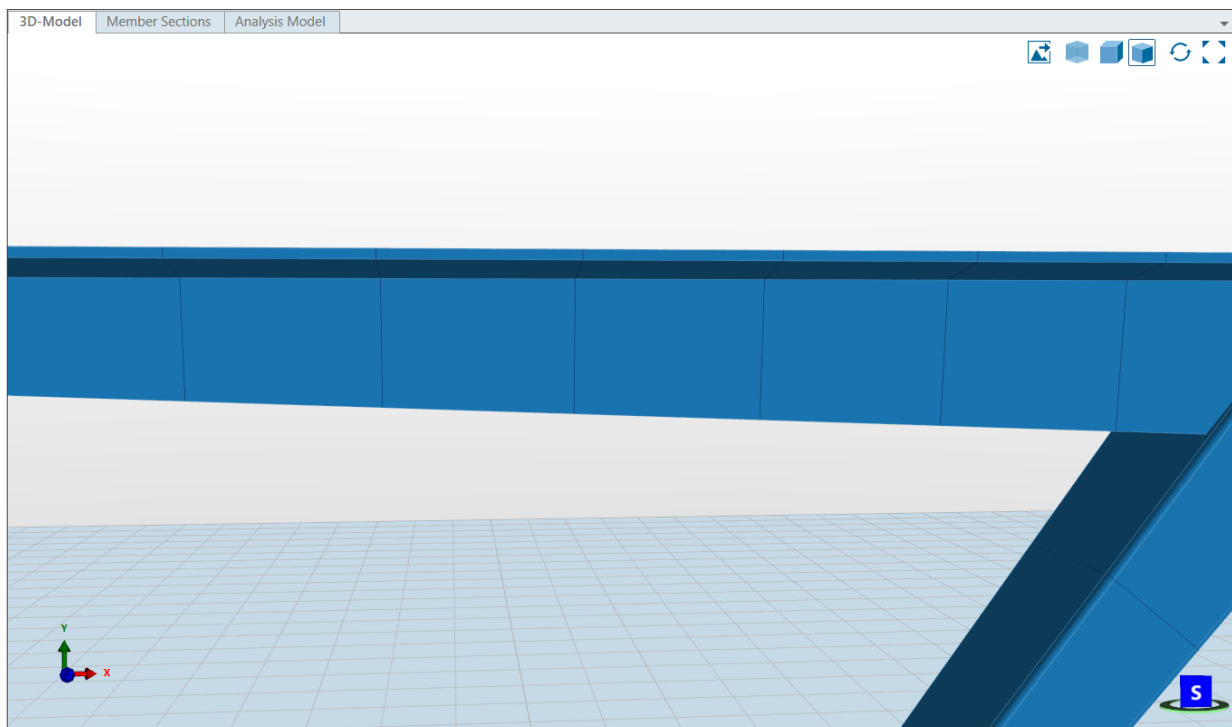
Slika 16. Tablični i grafički prikaz promjena visine grednog nosača

- Ekstrudiranje poprečnih presjeka

Presjeke je moguće ekstrudirati u više smjerova. Poprečni presjek za glavni nosač mosta može se ekstrudirati u uzdužnom smjeru prateći os nivelete na način da se odabere željeni poprečni presjek i os po kojoj ga se treba ekstrudirati. Odabire se poprečni presjek sandučastog nosača i ekstrudira po postavljenoj osi nivelete. Početna stacionaža za ekstrudiranje je 0,0 m što je početni upornjak mosta, a kao krajnja stacionaža odabire se drugi upornjak mosta u stacionaži 208.5 m (Slika 17). Tim postupkom dobiven je kontinuiran sklop od prvog do posljednjeg raspona čiji 3D prikaz je vidljiv na Slici 18.

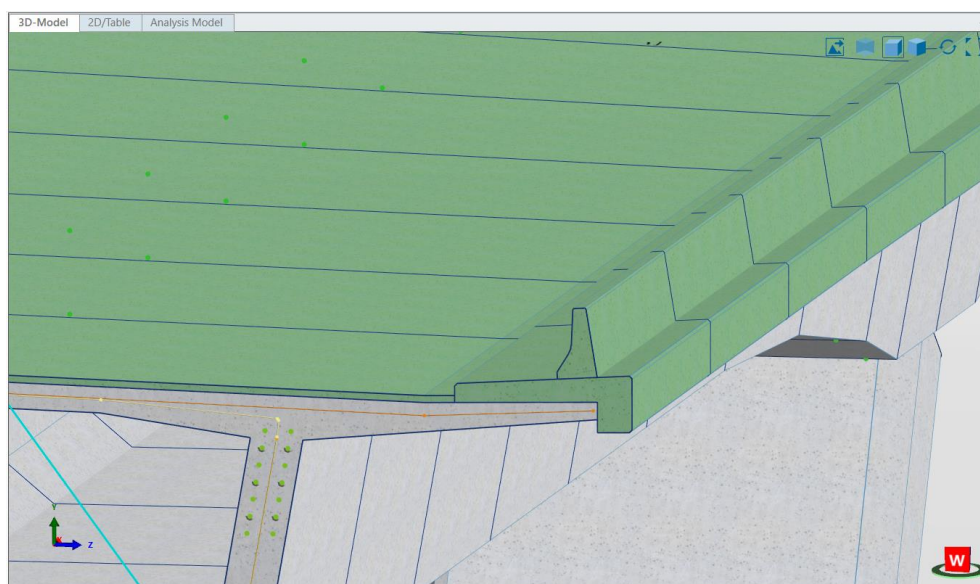
Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Cross Section	Variant	Skew about Y			Skew about Z	
					Angle [deg]	Stretch	Cascades	Angle [deg]	Stretch
0.000000	0.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v000					
5.000000	5.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v002					
10.000000	10.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v003					
15.000000	15.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v004					
20.000000	20.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v005					
25.000000	25.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v006					
30.000000	30.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v007					
35.000000	35.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v008					
40.000000	40.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v009					
45.000000	45.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v010					
50.000000	50.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v011					
55.000000	55.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v012					
60.000000	60.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v013					
65.000000	65.000000	BACK			0.00000	<input type="checkbox"/>		0.00000	<input type="checkbox"/>
		FRONT	PP	v014					

Slika 17. Prikaz dodatnih stacionaža i promjena poprečnih presjeka



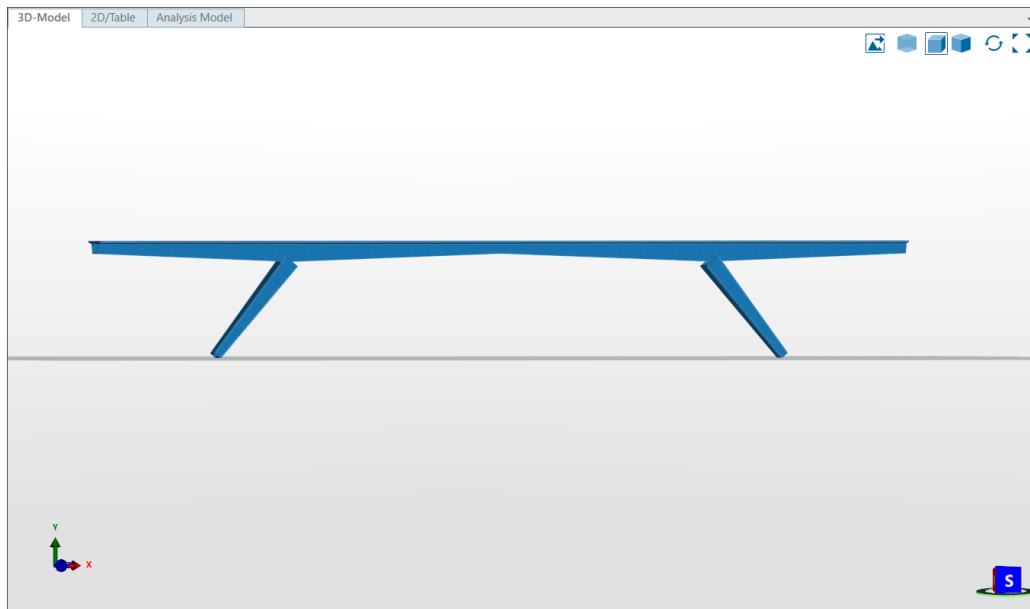
Slika 18. 3D prikaz razmaka glavnih nosača

Na isti način proveo se postupak ekstrudiranja poprečnog presjeka ploče s rubnjacima i pješačkim hodnicima te asfaltnim zastorom na već istim stacionažama kao glavni nosač (Slika 19).



Slika 19. 3D prikaz poprečnog presjeka asfaltnog zastora, rubnjaka i ograde

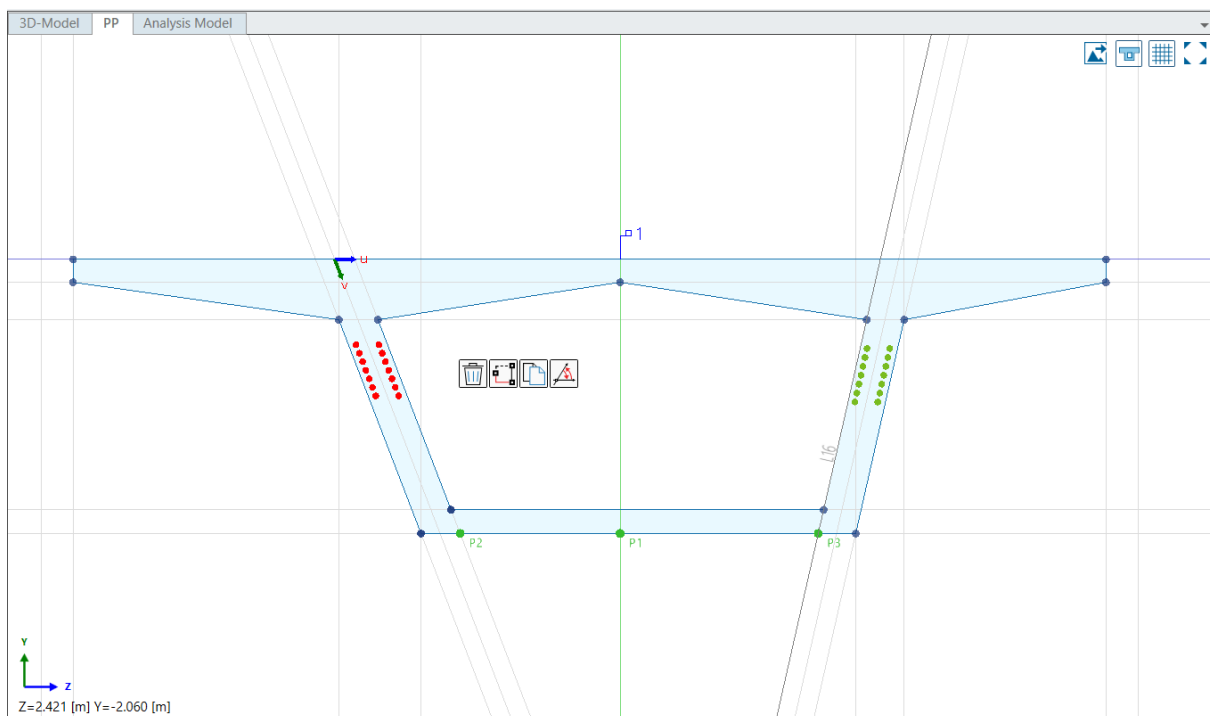
Nakon dobivanja kompletnog glavnog nosača mosta (Slika 20), potrebno je ekstrudirati ostale poprečne presjke. Za promatrani model ekstrudira se presjek stupa na prethodno zadane osi i to od početne točke do krajnje točke stupa u definirane stacionaže. Primjerice, vertikalne stupove moguće je ekstrudirati u vertikalnom smjeru i bez postavljanja osi, ali budući da su u modelu kosi stupovi to nije moguće.



Slika 20. Pogled na most u uzdužnom smjeru

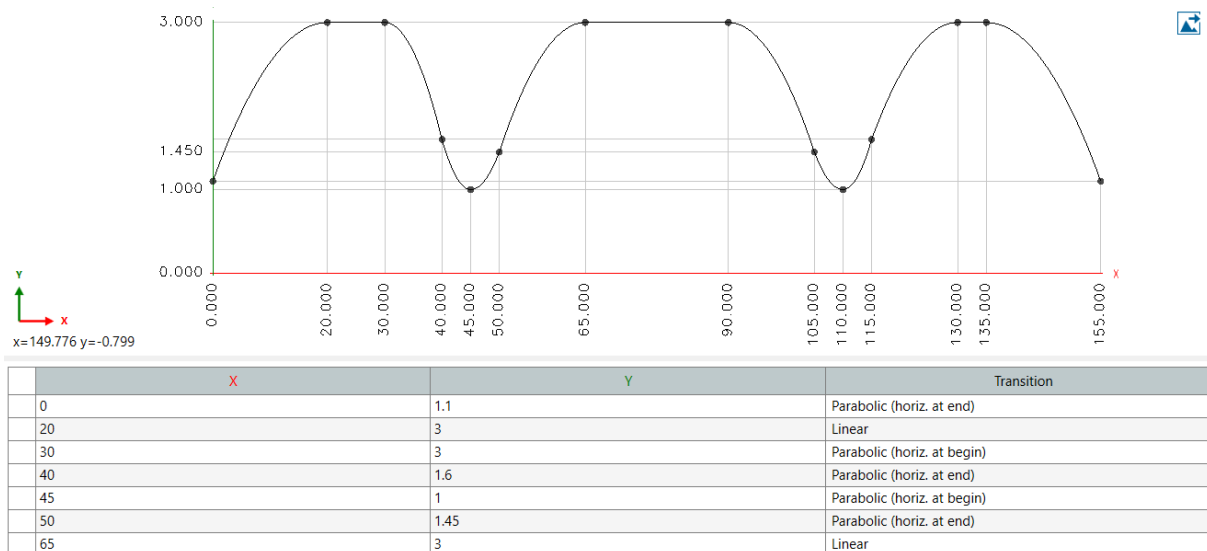
- Definiranje kabela za prednapinjanje

Kabeli za prednapinjanje ili natege postavljaju se u sandučaste glavne nosače. Glavni nosač ima ukupno 12 natega, od čega je 6 natega u jednom, a 6 natega u drugom rebru. Sve natege su vanjskog promjera 12 cm i svaka se sastoji od 15 snopova žica. Natege je potrebnog definirati u poprečnom presjeku nosača pomoću referentnih točaka. Referentne točke postavljaju se u glavnom nosaču na pozicije u koje se postavljaju natege (Slika 21), a zatim se natege definiraju u poprečnom presjeku pomoću parametara međusobnog razmaka natega i razmaka od gornjeg ruba nosača. Prvi korak postavljanja kabela za prednapinjanje ili natega je definiranje referentnih točaka, a tada se svakoj točki pridruže dvije varijabilne vrijednosti pomoću kojih se određuje zakrivljenost natega u uzdužnom presjeku nosača. Te varijable su već spomenuti parametri razmaka natega od gornjeg ruba nosača i međusobni razmak natega koji iznosi 30 cm. Tim postupkom postavljene su sve potrebne točke za potpunu definiciju geometrije natega pa je sljedeće potrebno točke spojiti paraboličnim linijama.

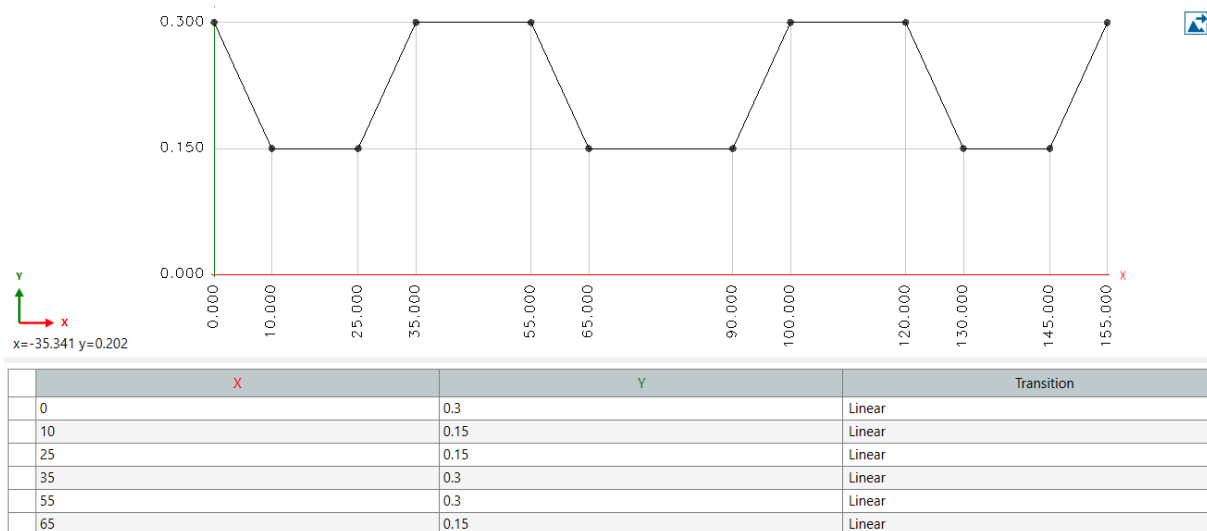


Slika 21. Prikaz referentnih točaka za definiranje kabela za prednapinjanje

Tablično je moguće unijeti ulazne podatke za definiranje uzdužne geometrije natega te njihovu zakrivljenost, što je prikazano na slikama 22 i 23.



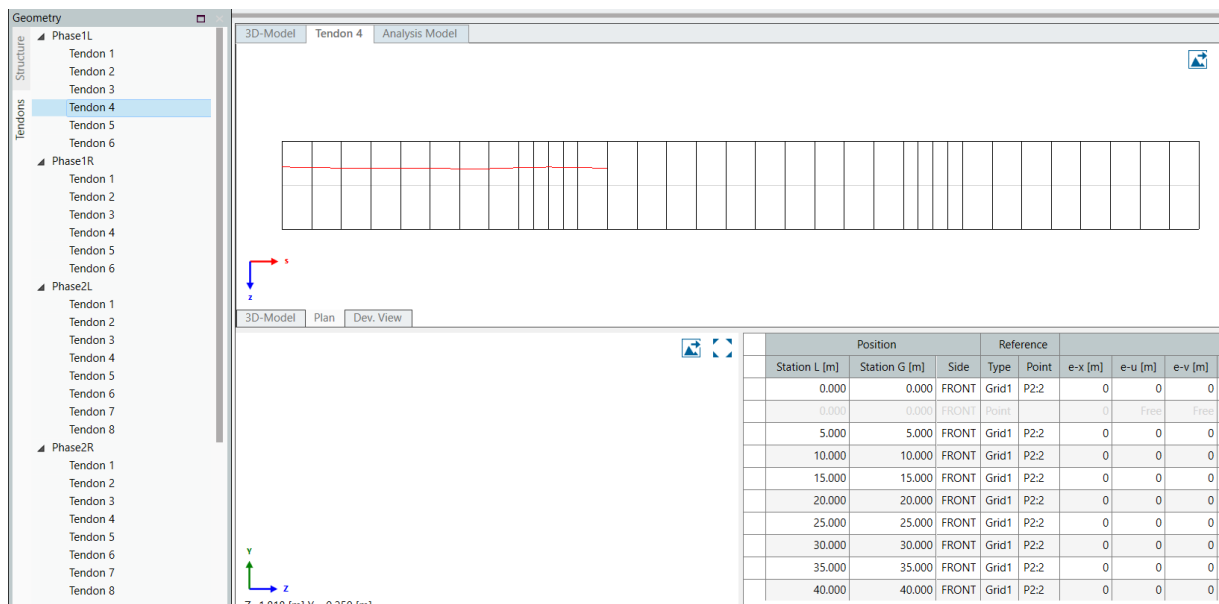
Slika 22. Tablični i grafički prikaz razmaka natega od gornjeg ruba nosača



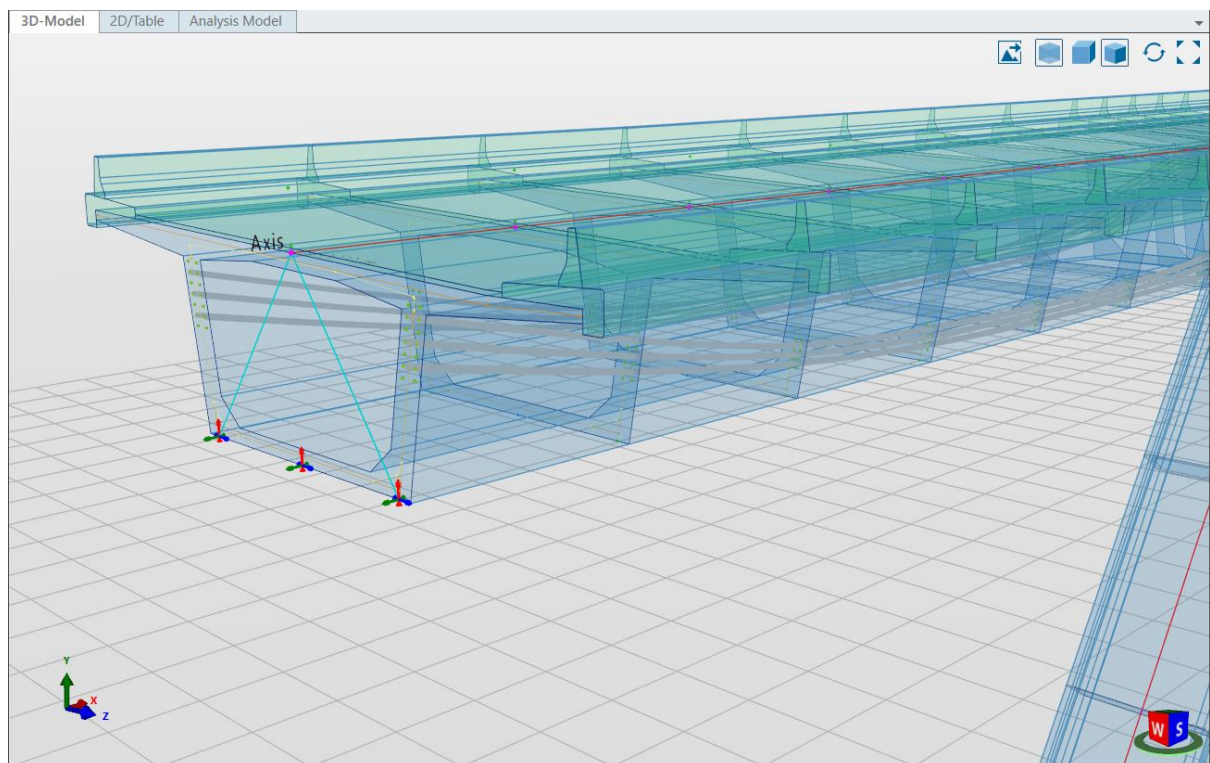
Slika 23. Tablični i grafički prikaz razmaka između natega

Kad su sve vrijednosti u tablicama definirane, potrebno ih je unijeti u tablicu varijacija glavnog nosača. Time je postignuto parabolično kretanje natega, koje je prethodnim korakom definirano, za svaku potrebnu stacionažu presjeka glavnog nosača.

Nakon definiranja svih potrebnih točaka, posljednji korak je definiranje samih kabela za prednapinjanje što se radi u novoj kartici „Tendons“ (Slika 24). U tom koraku se definira grupa natega za lijevo i desno rebro za svaki raspon pomoću naredbe za postavljanje natega između dvije stacionaže. Potrebno je odabrati početnu i krajnju stacionažu za bilo koju nategu unutar grupe, a zatim na poprečnom presjeku nosača referentnu točku u koju je treba postaviti. Analognim postupkom definira se svaka pojedina natega i dobije model (Slika 25).



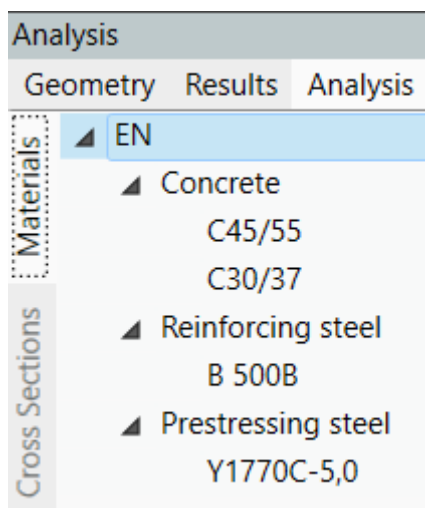
Slika 24. Postupak modeliranja natega



Slika 25. 3D prikaz geometrije natega u uzdužnom smjeru

3.4. Definiranje podataka o materijalima

Potrebne materijale potrebno je u program učitati iz Bimplus knjižnice materijala ovisno o normi po kojoj se radi. Moguće je učitati kompletnu knjižnicu sa svim definiranim materijalima, ali za promatrani primjer potrebni su samo beton, čelik za armiranje i čelik za prednapinjanje po Eurokodu (Slika 26).



Slika 26. Prikaz korištenih materijala

Materijali se mogu dodijeliti elementima po segmentima, za svaki pojedinačno, ili tablično što olakšava postupak.

3.5. Zadavanje opterećenja [4]

3.5.1. Prometno opterećenje mostova

Drugi dio norme Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije bavi se prometnim opterećenjem mostova. Norma EN 1991-2, po kojoj se radi prikazani primjer mosta u programu AllPlan Bridge, definira uporabna opterećenja (modele i reprezentativne vrijednosti) koja su pridružena cestovnom prometu, pješačkim djelovanjima i željezničkom prometu te obuhvaćaju, gdje je mjerodavno, dinamičke učinke i centrifugalna djelovanja, djelovanja kočenja i ubrzanja i djelovanja za izvanredne proračunske situacije. [citat: Hrvatski zavod za norme]

Uporabna opterećenja koja su definirana u ovoj normi koriste se za proračun novih mostova, a uključuje stupašta, upornjake (uključujući zidove upornjaka) i njihove temelje.

Modeli opterećenja definirani u ovoj normi mogu se koristiti za proračun cestovnih mostova čije su rasponskih konstrukcija do 200m, dok se modeli opterećenja za veće raspone definiraju nacionalnim dodacima ili pojedinačno za svaki projekt. Modeli opterećenja i sva pripadajuća pravila vrijede za normalne prometne situacije.

Opterećenja uzrokovana prometnim opterećenjem koje uzima u obzir sile od automobila, kamiona i vozila posebne kategorije uzimaju u obzir vertikalne, horizontalne, statičke i dinamičke sile. Modeli opterećenja su izabrani na taj način da njihovi efekti predstavljaju stvarne efekte prometa, a dinamički faktor uvećanja opterećenja uzima se u obzir gdje je to potrebno. Dinamički faktor određuje se za pločnik srednje kvalitete.

Prometno opterećenje od vozila razlikuje se u mostovima ovisno o njihovom sastavu (npr. postotak kamiona koji prolaze), gustoći (prosječan broj vozila godišnje) i težini vozila i njihovog osovinskog opterećenja.

3.5.2. Zadavanje opterećenja prema normi EN 1991-2

Vertikalna djelovanja - karakteristične vrijednosti: [4]

Karakteristična opterećenja koriste se za određivanje utjecaja prometa u graničnom stanju nosivosti. Kod vertikalnih opterećenja razlikujemo 4 modela prometnog opterećenja.

Model opterećenja 1

Predstavlja koncentrirana (TS) i kontinuirana (UDL) opterećenja koja uzimaju u obzir veliki postotak efekata prometa velikih kamiona i automobila. Ta opterećenja postavljaju se u prometne trakove tako da se jedan sistem koncentriranih sila na osnovom razmaku postavi u jedan prometni trak, drugi sistem u drugi trak i analogno za treći trak. Ovaj model opterećenja koristi se u općenitim slučajevima.

Model opterećenja 2

Predstavlja koncentrirano osno opterećenje primijenjeno na područjima kontakta s kotačem. Ovaj model uzima u obzir dinamičke utjecaje.

Model opterećenja 3

Predstavlja komplet osnih opterećenja koja predstavljaju posebna vozila (npr. vozila za industrijski prijevoz) koja mogu voziti na cestama dozvoljenim za iznadprosječno velika opterećenja

Model opterećenja 4

Za slučaj cestovnih mostova, Eurokod uzima u obzir kombinacije opterećenja pod nazivom Model 1 i Model 2 s faktorima prilagodbe α i β čija vrijednost iznosi 1.0. Te kombinacije (modeli) opterećenja predstavljaju najnepovoljniji slučaj opterećenja, odnosno najnepovoljniji slučaj prometnih opterećenja.

3.5.3. Model opterećenja 1 (LM1)

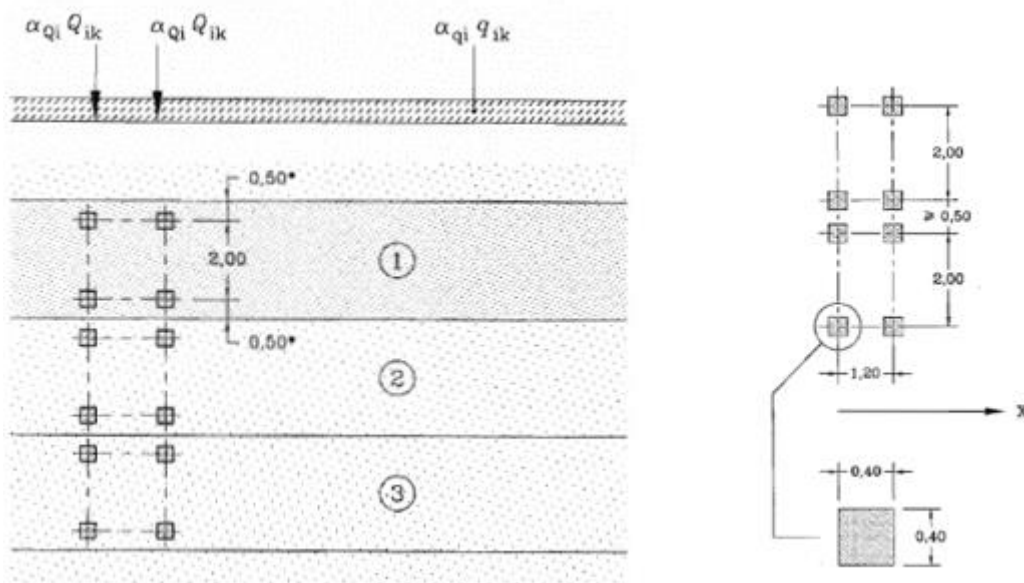
Prvi model opterećenja sastoji se od dva parcijalna sustava: [4]

- dvoosovinska koncentrirana opterećenja, tzv. tandem sustav ili tandem sile (TS)
 - svaka osovina ima težinu $\alpha_Q Q_k$, pri čemu je α_Q faktor prilagodbe
 - najviše jedan tandem sustav se uzima u obzir po prometnom traku
 - samo kompletni tandem sustavi (osovine) se uzimaju u obzir
 - svaki tandem sustav se postavlja na centralnu poziciju u odnosu na os prometnog traka
 - svaka os tandem sustava se uzima u obzir na dva identična kotača pa je opterećenje po kotaču $0.5 \alpha_Q Q_Q$
- koncentrirana opterećenja (UDL)
 - težina po kvadratnom metru prometnog traka definira se kao $\alpha_q q_k$, pri čemu je α_q faktor prilagodbe
 - koncentrirana opterećenja postavljaju se samo u nepovoljne dijelove utjecajne plohe longitudinalno i transverzalno
 - općenito, model opterećenja 1 uzima u obzir efekte vozila težine 600kN i predviđen je za korištenje prometnih situacija s visokim postotkom teških kamiona

Karakteristične vrijednosti Q_{ik} i q_{ik} s uračunatim dinamičkim faktorom uvećanja uzimaju se po Tablici 1 i prikazani su na Slici 27.

Tablica 1. LM1: karakteristične vrijednosti [4]

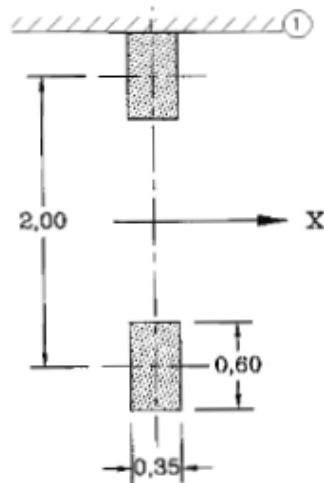
Model opterećenja 1: karakteristične vrijednosti		
Pozicija	Tandem sustav TS	UDL sustav
	Osne sile Q_{jk} (kN)	AC1 (ili q_{jk}) (kn/m ²)
Prometni trak 1	300	9
Prometni trak 2	200	2.5
Prometni trak 3	100	2.5
Ostali prom. trake	0	2.5
Preostalo područje q_{rk}	0	2.5



Slika 27. Opterećenje prometnih trakova - TS i UDL [4]

3.5.4. Model opterećenja 2 (LM2)

Drugi model opterećenja sastoji se od koncentrirane sile $\beta_Q Q_{ak}$ gdje je $Q_{ak} = 400kN$, a dinamički faktor uvećanje je uzet u obzir. Model opterećenja 2 prikazan je na Slici 28.



Slika 28. Opterećenje za model opterećenja 2 [4]

3.5.5. Horizontalna djelovanja - karakteristične vrijednosti

Sile kočenja i ubrzanja vozila

Sila kočenja Q_{lk} se uzima kao longitudinalna sila koja djeluje na površini vozne površine. Karakteristična vrijednost Q_{lk} je limitirana na 900kN za cijelu širinu mosta i proračunava se kao dio ukupnog maksimalnog vertikalnog opterećenja koje odgovara Modelu opterećenja 1 i primjenjuje se na prvom prometnom traku. [4] (Izračun s definiranim članovima formule je detaljnije objašnjen u *Poglavlju 4.4.1. Opterećenja na most*).

$$Q_{lk} = 0.6\alpha_{q1}(2Q_{lk}) + 0.1\alpha_{q1}q_{1k}w_1L$$

$$180\alpha_{q1} \leq Q_{lk} \leq 900 \text{ [kN]}$$

Centrifugalna sila

Centrifugalna sila Q_{tk} se uzima kao transverzalna sila koja djeluje na kraju vozne površine i radialno prema osi kolnika. Karakteristična vrijednost Q_{tk} u koju je uključen dinamički utjecaj se uzima iz Tablice 2.

Tablica 2. Centrifugalna sila ovisno o radijusu [4]

$Q_{tk} = 0,2Q_v$ (kN)	za $r < 200$ m
$Q_{tk} = 40Q_v$ (kN)	za $200 \leq r \leq 1500$ m
$Q_{tk} = 0$	za $r > 1500$ m

Oznaka r je horizontalni radijus centralne linije kolnika, a Q_v ukupna maksimalna težina vertikalnih koncentriranih opterećenja tandem sustava Modela opterećenja 1.

Karakteristične vrijednosti grupa prometnih opterećenja na cestovne mostove:

Tablica 3. Procjena grupa prometnog opterećenja - karakteristične vrijednosti djelovanja s više komponenti [4]

		Prometni trakovi					Pješačke i biciklističke staze	
Tip opterećenja		Vertikalne sile			Horizontalne sile		Samo vertikalne sile	
Referenca		4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2-(1)
Sistem opterećenja		LM1 (TS+UDL)	LM2 (jedna os)	LM3 (posebna vozila)	LM4 (grupno opterećenje)	Sile kočenja i ubrzanja	Centrifugalne sile	Kontinuirano opterećenja
Grupe opterećenja	gr1a	Karakteristična vrijednost						Kombinacijska vrijednost
	gr1b		Karakteristična vrijednost					
	gr2	Frekventna vrijednost				Karakteristična vrijednost	Karakteristična vrijednost	
	gr3							Karakteristična vrijednost
	gr4				Karakteristična vrijednost			Karakteristična vrijednost
	gr5	Annex A		Karakteristična vrijednost				
Dominant component action (designated as component associated with the group)								

Tablica 4. Procjena grupa prometnog opterećenja - frekventne vrijednosti djelovanja s više komponenti [4]

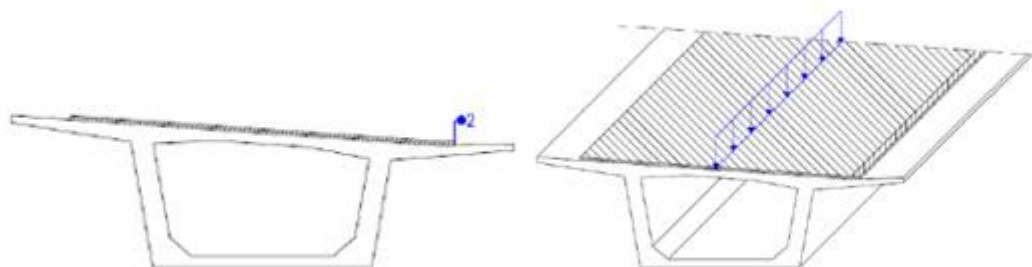
		Prometni trakovi		Pješačke i biciklističke staze
Tip opterećenja		Vertikalne sile		
Referenca		4.3.2	4.3.3	5.3.2(1)
Sistem opterećenja		LM1 (TS + UDL)	LM2 (jedna os)	Kontinuirano opt.
	gr1a	Frekventne vrijednosti		
Grupe opt.	gr1b		Frekventne vrijednosti	
	gr3			Frekventne vrijednosti

3.5.6. Opterećenja na most

Opterećenja se u BrIM-u definiraju unutar projektnih faza. Željeno opterećenje se postavlja na mjesto djelovanja i upisuje potrebne podatke za njegovo definiranje. Na most djeluju stalna i promjenjiva djelovanja definirana u Eurokodu. Uz prometno opterećenje koje djeluje na prometnim trakama mosta, sama konstrukcija mosta je opterećena s još nekoliko opterećenja.

- Stalna opterećenja (SDL)
 - Vlastita težina svakog elemenata mosta automatski se uzima u obzir
 - Djelovanje temperature
 - Sile kočenja i ubrzavanja
 - Slijeganje upornjaka i stupova
 - Djelovanje vjetra
-
- Stalna opterećenja

Stalno opterećenje djeluje na konstrukciji mosta. U softveru se definira preko padajućeg izbornika, a potrebno je označiti da se u proračunu uzima u obzir za kombinaciju SDL-SUM, odnosno da se pridoda stalnim opterećenjima. Prikazano je kao vertikalno linijsko opterećenje i može se definirati upisivanjem točne vrijednosti q [kN/m] ili preko argumenta u_{load} kojim softver automatski uzima površinu poprečnog presjeka i množi je sa specifičnom težinom materijala γ . Tako definirana sila djelovat će u centru gravitacije odgovarajućeg dijela (Slika 29).

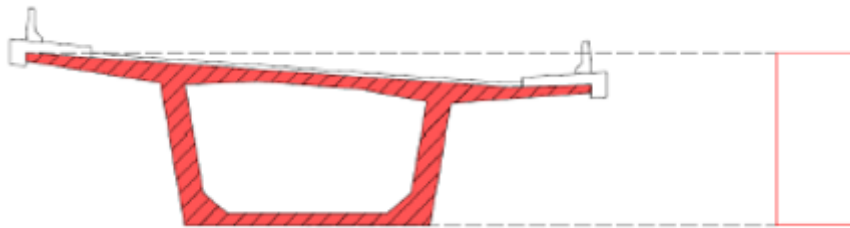


Slika 29. Prikaz stalnog opterećenja na gredu

- Temperaturna djelovanja [1]

Temperaturno djelovanje može se postaviti da djeluje na konstrukciju kao konstantna i kao promjenjiva komponenta. Konstantno djelovanje se prikazuje preko konstantne temperaturne razlike na opterećeni element dT , dok je promjenjivo djelovanje distribucija temperature na opterećeni element T (Slika 30).

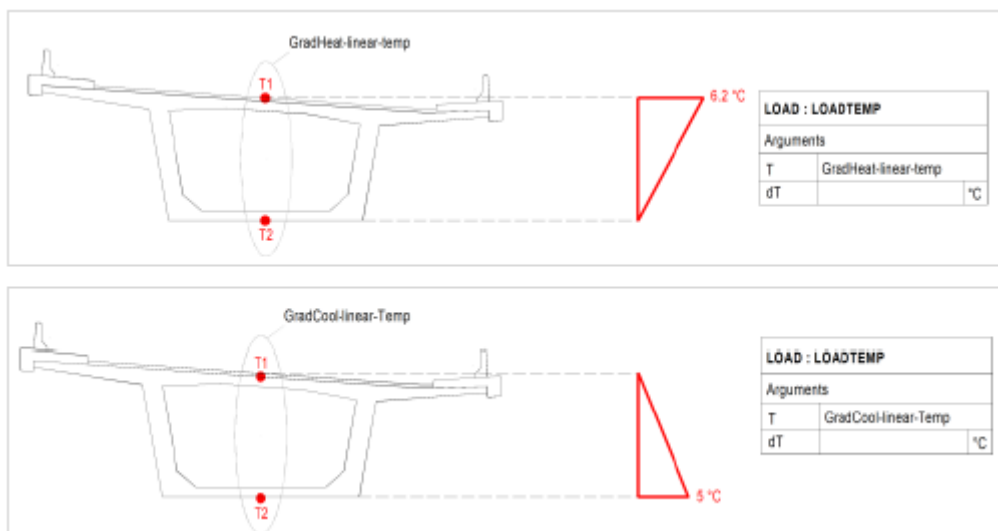
Konstantna temperaturna razlika proračunava se po europskoj normi EN 1991-1-5, a dobivena vrijednost je $dT_{poz} = 27 \text{ °C}$ i $dT_{neg} = -27 \text{ °C}$.



Slika 30. Prikaz temperaturnog djelovanja [1]

Temperaturno opterećenje djeluje konstantno preko cijele površine poprečnog presjeka.

Za promjenjivu komponentu temperature potrebno je definirati dva dodatna opterećenja koja prikazuju temperaturnu razliku između gornjeg i donjeg ruba nosača (Slika 31).



Slika 31. Promjenjiva komponenta temperaturnog djelovanja [1]

- Sile od kočenja

Sila kočenja definira se kao linijsko opterećenje u longitudinalnom smjeru, u smjeru osi x, i djeluje u prethodno definiranoj referentnoj točki na poprečnom presjeku grede. Sile kočenja vozila definiraju se u dva smjera.

Vrijednost sile kočenja proračunata je u europskoj normi EN 1991-2 sljedećim proračunom:

$$Q_{lk} = 0.6 \cdot \alpha Q_1 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.10 \cdot \alpha q_1 \cdot q_{1k} \cdot w_l \cdot L$$

$$Q_{lk} = 180 \cdot \alpha Q_1 \leq Q_{lk} \leq 900 \text{ kN}$$

pri čemu je:

- $\alpha Q_1, \alpha q_1$ su koeficijenti koji se pretpostavljaju 1.0
- Q_{1k} predstavlja osovinsko opterećenje koje se pretpostavlja 300kN u prvom prometnom traku, 200kN u drugom i 100kN u trećem traku
- q_{1k} predstavlja kontinuirano opterećenje i uzima se 9.0 kN/m² za prvu prometnu traku i 2.5 kN/m² za sve ostale
- w_l predstavlja širinu prometnog traka i uzima se 3.85 metara
- L je duljina pune strukture

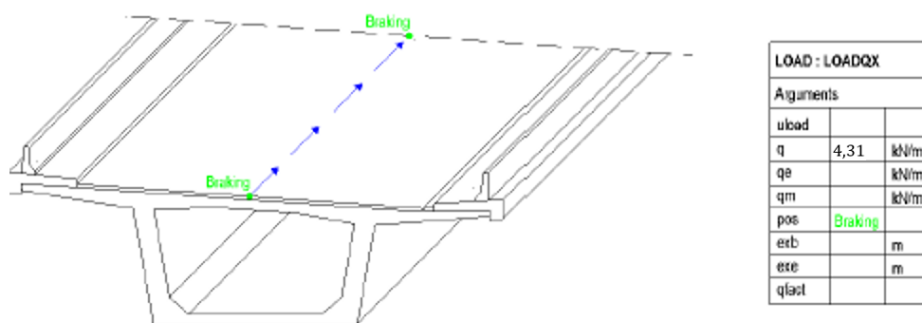
Za analizirani primjer:

$$Q_{lk} = 0.6 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 300) + 0.10 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 3,85 \cdot 208,5 = 1082,45 \text{ kN}$$

$$180 \cdot 1 \leq 1082,45 \leq 900 \text{ kN}$$

Sila Q_{lk} se postavlja duž središnje linije za svaku proračunatu traku, no ako su utjecaji ekscentriciteta mali, za opterećenje se može pretpostaviti da djeluje u centru linije kolnika i da je kontinuirano raspodijeljeno duž duljine opterećenja (Slika 32).

$$q_{lk} = \frac{900 \text{ kN}}{208,5 \text{ m}} = \pm 4,31 \text{ kN/m}$$

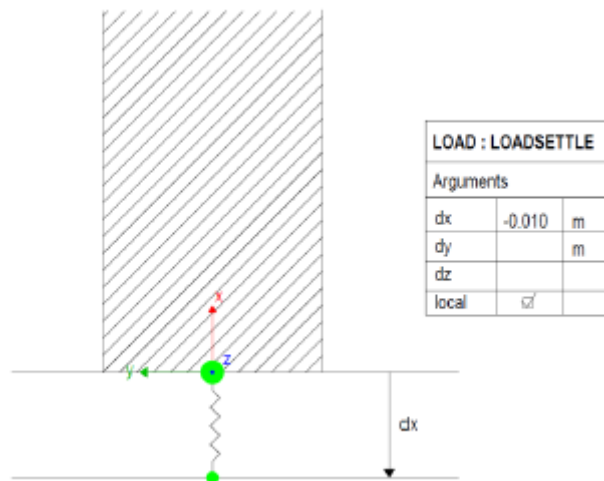


Slika 32. Prikaz postavljanja sile kočenja [1]

- Slijeganje upornjaka i stupova

Opterećenje za slijeganje se u softveru primjenjuje kao fiktivna sila u opruzi koja uzrokuje pomake u samoj opruzi. Kao i ostale navedene, ne pripada stalnim opterećenjima.

Slijeganje se definira kao lokalni pomak u x-smjeru (Slika 33). Moguće je definirati pomake u sva tri globalna smjera (x, y, z), kao i za sve smjerove u lokalnom koordinatnom sustavu.



Slika 33. Prikaz opruge koja definira slijeganje [1]

Za ovaj slučaj opterećenja potrebno je definirati oprugu opterećenu fiktivnom silom. Kao opterećen dio se postavi prvi upornjak pa analogno tome prvi stup, drugi stup i drugi upornjak.

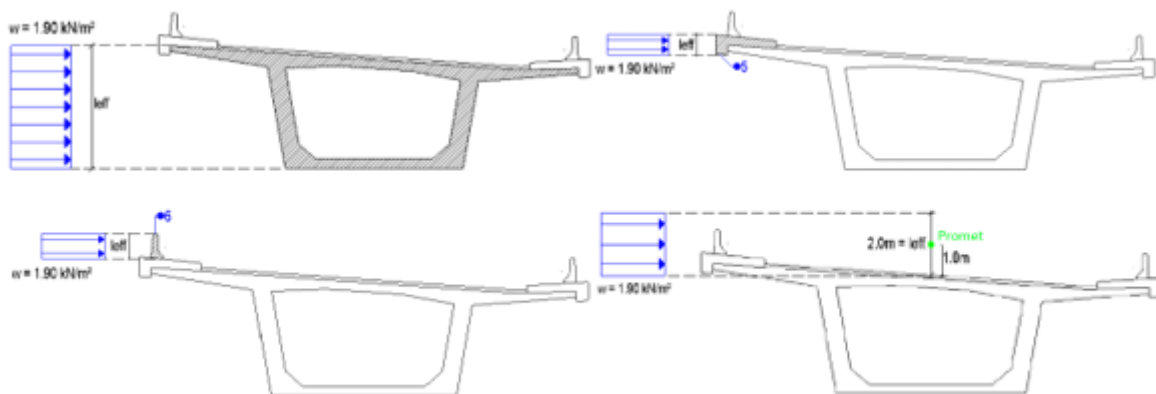
- Opterećenje vjetrom

Vjetar djeluje u poprečnom smjeru mosta u smjeru globalne i lokalne osi z. Opterećenje vjetrom se definira koristeći horizontalno površinsko opterećenje koje djeluje na konstruktivne elemente glavnog nosača. U softveru je potrebno naznačiti da vjetar djeluje transversalno, odnosno okomito na os mosta. Veličina površinskog opterećenja definira se vrijednošću q .

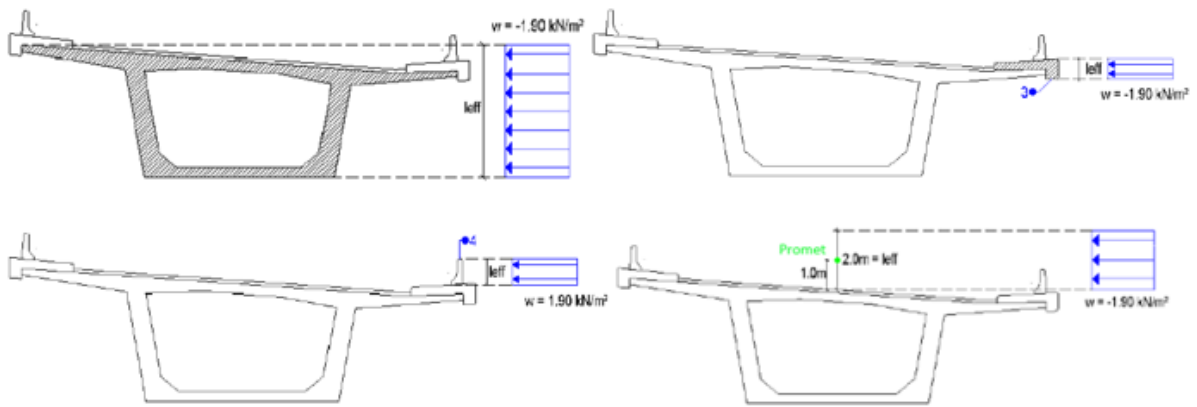
Vertikalno opterećenje se definira preko efektivne duljine opterećenja l_{eff} ili automatski preko poprečnog presjeka tako da se u softveru redni broj elementa pridruži opterećenju čime se opterećenje primijeni samo na taj element.

Za promatrani primjer mosta definirana su četiri različita slučaja opterećenja vjetrom (Slika 34 i Slika 35):

- Pozitivno djelovanje vjetra s uključenim prometom
- Negativno djelovanje vjetra s uključenim prometom
- Pozitivno djelovanje vjetra bez prometa
- Negativno djelovanje vjetra bez prometa



Slika 34. Prikaz djelovanja vjetra (+) na dijelove mosta [1]



Slika 35. Prikaz djelovanja vjetra (-) na dijelove mosta [1]

Promatraju se slučajevi djelovanja opterećenja vjetrom sa i bez prometa u oba smjera globalne z-osi (Tablica 5). Za svaki slučaj djelovanja definira se opterećenje na pojedini dio mosta.

Tablica 5. Prikaz opterećenja vjetra na konstrukciju mosta

Slučaj opterećenja	Opterećenje	Vrsta	Vrijednost
Vjetar (+) s uključenim prometom	Vjetar na konstrukciju - glavni nosač	LOADPAZ	1.90 kN/m ²
	Vjetar na ogradu		1.90 kN/m ²
	Vjetar na pločnik		1.90 kN/m ²
	Vjetar na promet		1.90 kN/m ²
Vjetar (-) s uključenim prometom	Vjetar na konstrukciju - glavni nosač	LOADPAZ	-1.90 kN/m ²
	Vjetar na ogradu		-1.90 kN/m ²
	Vjetar na pločnik		-1.90 kN/m ²
	Vjetar na promet		-1.90 kN/m ²
Vjetar (+) bez prometa	Vjetar na konstrukciju - glavni nosač	LOADPAZ	1.90 kN/m ²
	Vjetar na ogradu		1.90 kN/m ²
	Vjetar na pločnik		1.90 kN/m ²
	Vjetar na promet		-
Vjetar (-) bez prometa	Vjetar na konstrukciju - glavni nosač	LOADPAZ	-1.90 kN/m ²
	Vjetar na ogradu		-1.90 kN/m ²
	Vjetar na pločnik		-1.90 kN/m ²
	Vjetar na promet		-

Vrijednosti za opterećenje vjetrom koje je u softveru potrebno definirati proračunate su u skladu s europskom normom EN 1991-1-4 na sljedeći način [4]:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x}$$

$$\rho = 1.25 \frac{kg}{m^3} \quad - \text{gustoća zraka}$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad - \text{osnovna brzina vjetra}$$

$$c_{dir} = 1.0 \quad - \text{koeficijent smjera vjetra}$$

$$c_{season} = 1.0 \quad - \text{koeficijent ovisan o godišnjem dobu}$$

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \quad - \text{temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra}$$

$$A_{ref,x} = d_{tot} \cdot L \quad - \text{referentna površina konstrukcije}$$

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 25.0 = 25.0 \text{ m/s}$$

Vjetar bez prometa

z_e	- poredbena visina
h_{stup}	- visina stupa
h	- visina sandučastog nosača
b	- širina mosta u smjeru z
d_{tot}	- visina za proračun referentne ploštine
C	- faktor opterećenja vjetrom

$$z_e = h_{stup} + h = 28 + \frac{5,0}{2} = 30,5 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{12}{7,7} = 1,56$$

$$\rightarrow C = 4,82$$

$A_{ref,x}$	- referentna ploština djelovanja vjetra
L	- duljina mosta u smjeru x
d	- visina mosta u smjeru y

$$A_{ref,x} = d_{tot} \cdot L; d_{tot} = d + 2d1 = 6,1 + 2 \cdot 0,8 = 7,7$$

$$A_{ref,x} = 7,7 \cdot 208,5 = 1605,45 \text{ m}^2$$

Rezultirajuće opterećenje vjetrom w :

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(25,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 4,82 \cdot 1605,45 \text{ m}^2$$

$$F_w = 3022761 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3022,76 \text{ kN}$$

$$\rightarrow w = \frac{F_w}{A_{ref,x}} = \frac{3022,76 \text{ kN}}{1605,45 \text{ m}^2} = 1,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \approx 1,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vjetar s prometom

z_e	- poredbena visina
h_{stup}	- visina stupa
h	- visina sandučastog nosača
b	- širina mosta u smjeru z
d_{tot}	- visina za proračun referentne ploštine
C	- faktor opterećenja vjetrom

$$z_e = h_{stup} + h = 28 + \frac{5.0}{2} = 30,5 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{12}{(5.0 + 2.0)} = 1.71$$

$$\rightarrow C = 4.73$$

$A_{ref,x}$	- referentna ploština djelovanja vjetra
L	- duljina mosta u smjeru x
d	- visina mosta u smjeru y

$$A_{ref,x} = d_{tot} \cdot L; d_{tot} = 5.0 + 2.0 = 7.0$$

$$A_{ref,x} = 7.0 \cdot 208,5 = 1459,5 \text{ m}^2$$

Rezultirajuće opterećenje vjetrom:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(25.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 4.73 \cdot 1459,5 \text{ m}^2$$

$$F_w = 2696654 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2696,65 \text{ kN}$$

$$\rightarrow w = \frac{F_w}{A_{ref,x}} = \frac{2696,65 \text{ kN}}{1459,5 \text{ m}^2} = 1.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \approx 1.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Za oba slučaja opterećenja vjetrom usvaja se vrijednost $1.90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ s kojom se proračunava.

- Prometno opterećenje

Prometno opterećenje je specifičan tip opterećenja koji djeluje na mostove pa tako u softveru zahtijeva različit način definiranja od ostalih opterećenja neovisno o njima. Za pravilan i točan postupak proračuna prvo je potrebno definirati prometne trake i zatim postaviti opterećenja, a taj proračun je napravljen po europskoj normi EN 1991-2.

Proračun potrebnog broja prometnih traka proračunava se po efektivnoj širini kolnika, pri čemu je n broj prometnih traka, w_c širina kolnika, w_i širina pojedine prometne trake [4]:

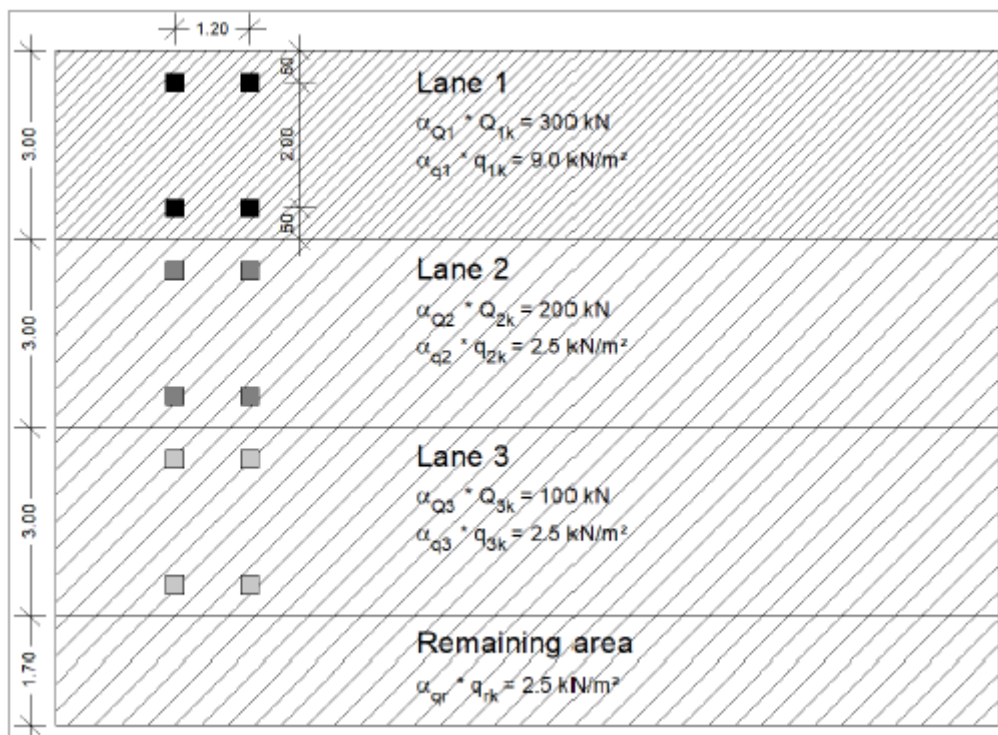
$$n = \frac{w_c}{3} = 2$$

$$w_i = 3.85 \text{ m}$$

$$w_c - 2 \cdot w_i = 12 - 7,7 = 4,3 \text{ m}$$

Dakle, u primjeru su potrebna tri prometna traka, svaki širine 3m.

Prometno opterećenje postavlja se prema pravilima definiranim u Eurokodu. Promatra se slučaj postavljanja modela opterećenja 1 (LM) (Slika 36).

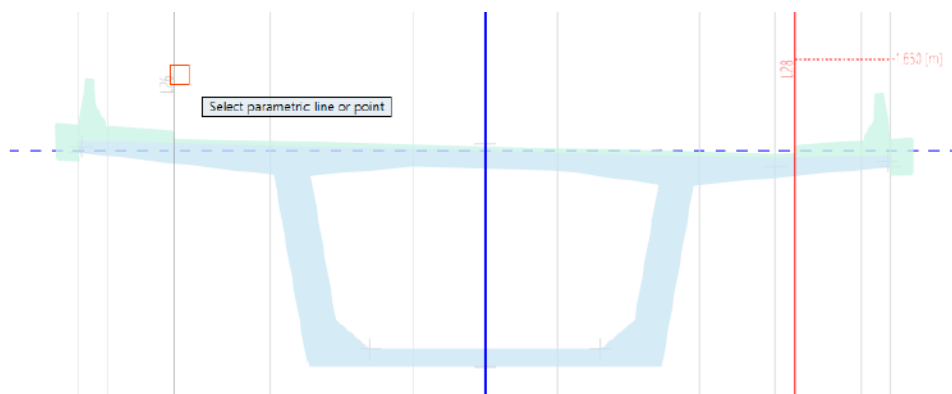


Slika 36. Shematski prikaz model opterećenja 1 [4]

Model opterećenja 1 (LM1) sadrži dva tipa opterećenja:

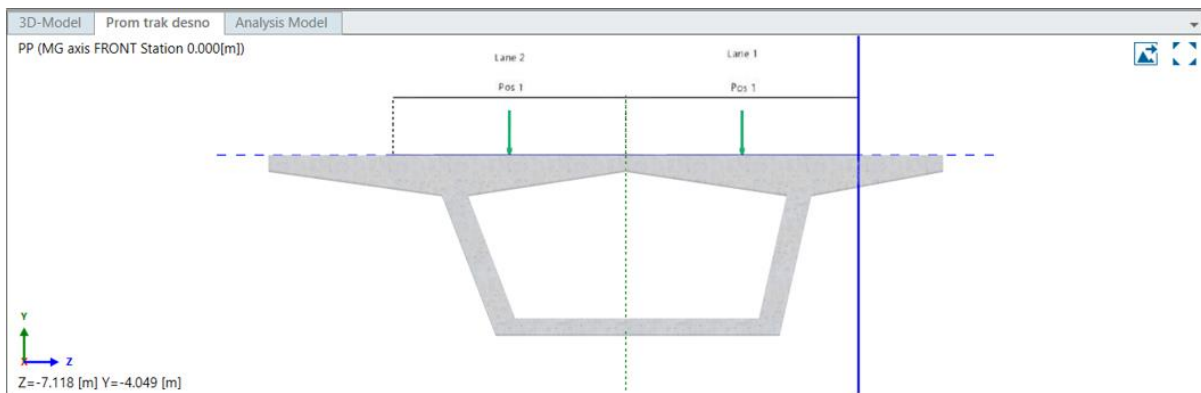
- Dvoosovinsko koncentrirano opterećenje (tandem sustav - TS)
 - Tandem sile postavljaju se u prometne trake i to tako da je $TS_{300} = 300 \text{ kN}$ postavljeno u prvi trak i $TS_{200} = 200 \text{ kN}$ u drugi trak
 - Tandem sile postavljaju se na fiksnoj udaljenosti od 1.2 m
- Kontinuirano opterećenje (UDL)
 - Kontinuirano opterećenje primjenjuje se po cijeloj dužini mosta i to tako da $UDL_9 = 9.0 \text{ kN/m}^2$ djeluje samo u prvom traku, a $UDL_{2.5} = 2.5 \text{ kN/m}^2$ po ostatku širine kolnika mosta

Kako bi se dobili najnepovoljniji rezultati, u softveru je potrebno postaviti tandem sile na krajnje lijevu i na krajnje desnu stranu. Tako se kreiraju dva seta opterećenih traka, jedan za lijevu i jedan za desnu stranu. Nakon toga je potrebno definirati konstruktivni dio na koji se postavljaju trake na površini kolnika mosta (Slika 37).



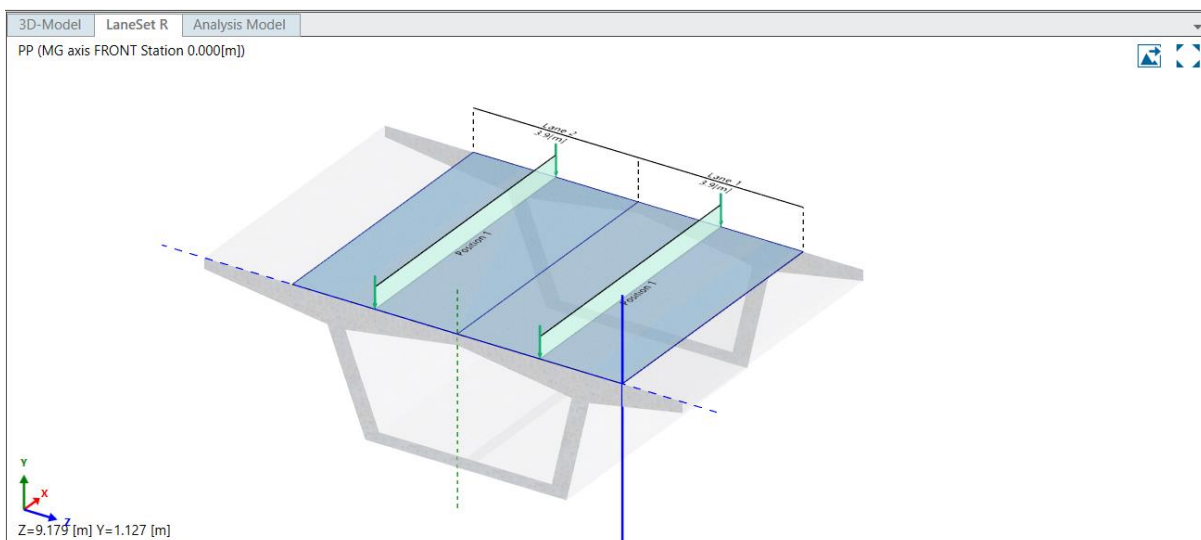
Slika 37. Parametarske linije za lijevu i desnu traku

Primjenom tih koraka definiranje širine kolnika i traka je gotovo pa softver automatski proračunava prometne trake kao i preostalu širinu po Eurokodu (Slika 38). Opterećenja su također postavljena na razini globalne osi.



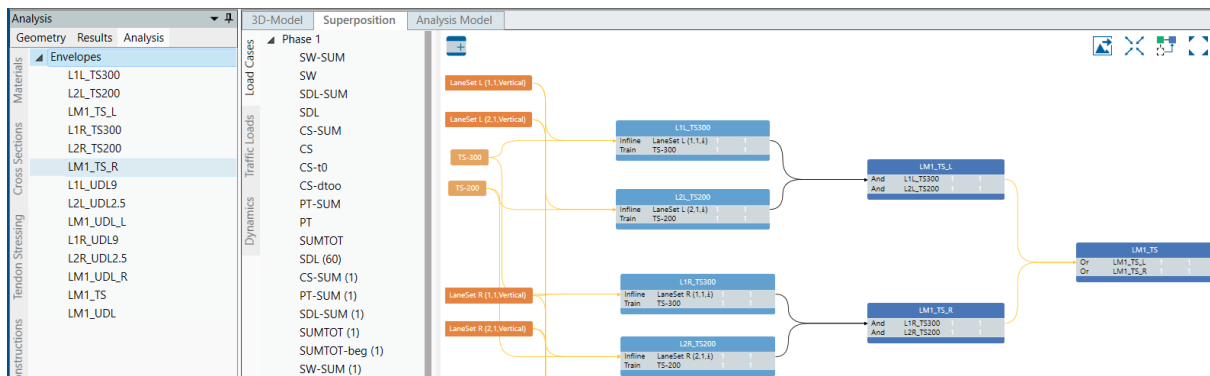
Slika 38. Prikaz oznaka za pozicije opterećenja na prometnim trakama

Opterećenja su automatski postavljena u središte svake trake što program prikazuje strelicom i označava kao 'Poz 1' (Slika 39).



Slika 39. 3D prikaz pozicija prometnog opterećenja

Posljednji korak potreban za završetak analitičkog modela mosta i početak statičke analize je postavljanje superpozicije opterećenja i anvelopa. Postupkom visual scriptinga povezuje se slučajeve opterećenja koja se kombiniraju što je prikazano na Slici 40.



Slika 40. Prikaz kombinacija slučajeva opterećenja

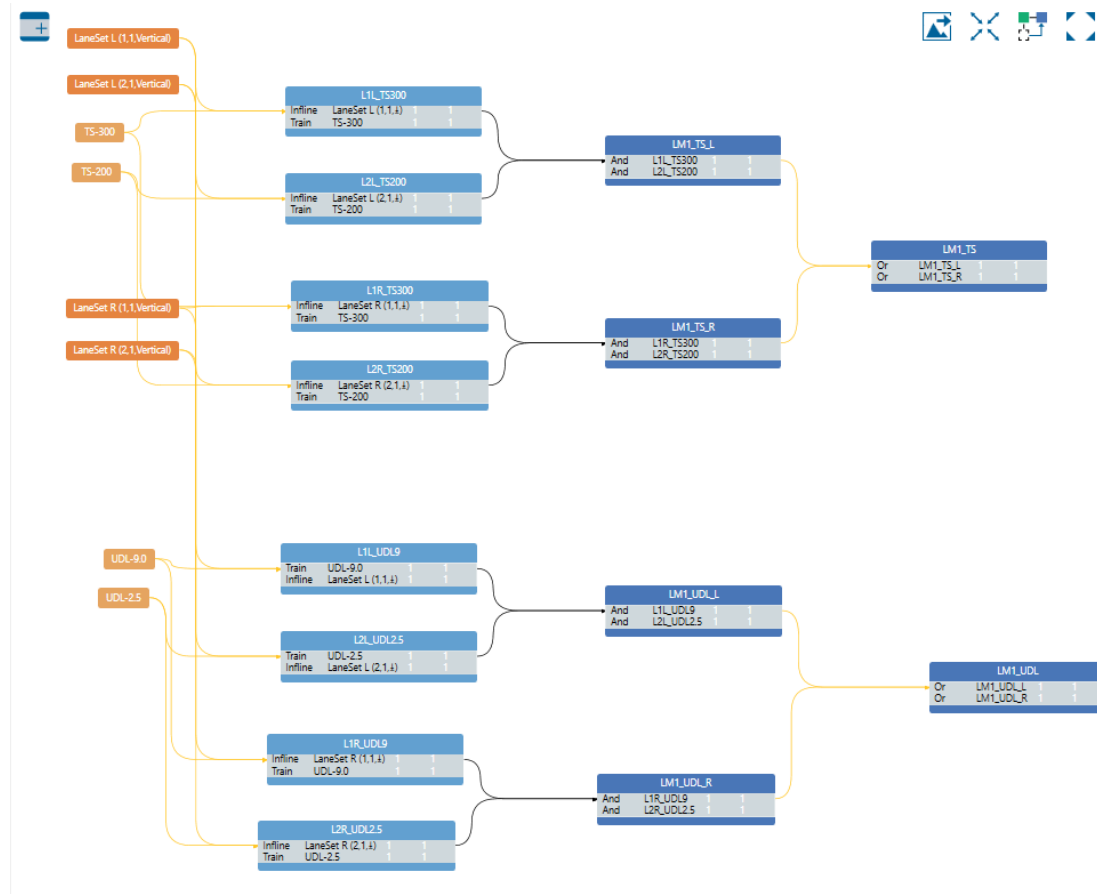
Tada je moguće provesti analizu konstrukcije mosta čiji rezultat je prikaz 3D dijagrama i tablica s unutarnjim silama, naprezanjima i progibima.

3.5.7. Visual scripting (VS)

Visual scripting je alat stvoren za jednostavniji i brži unos podataka. Ima vrlo široku primjenu, od programiranja i kodiranja, raznih animacijskih radova i konačno u građevinarstvu. Kad se koristi u građevinarstvu, *visual scripting* omogućava projektantu da stvori niz poveznica između operacija koje su prikazane na ekranu. Ovaj pristup omogućava brzo mijenjanje ulaznih podataka i njihovo povezivanje kako bi dobili konačne izlazne podatke.

Jedan od primjera primjene visual scriptinga, korišten za potrebe ovog diplomskog rada, je kombiniranje opterećenja i stvaranje anvelopa. Primjer je prikazan na slici 41.

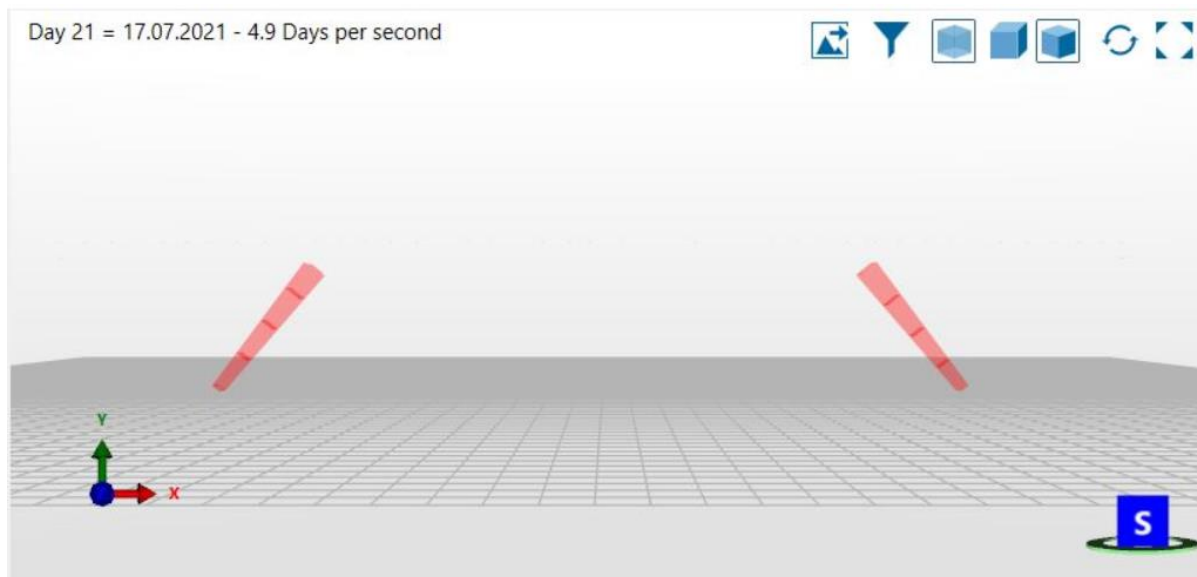
Neke od prednosti vezane uz arhitekturu i građevinu su da korištenjem visual scriptinga postaje lakše modificirati i kasnije dijeliti podatke zbog postizanja veće preglednosti. Također, tijekom procesa izrade modula jednostavno se uoči i ispravi greške.



Slika 41. Primjer modula za promatrani most

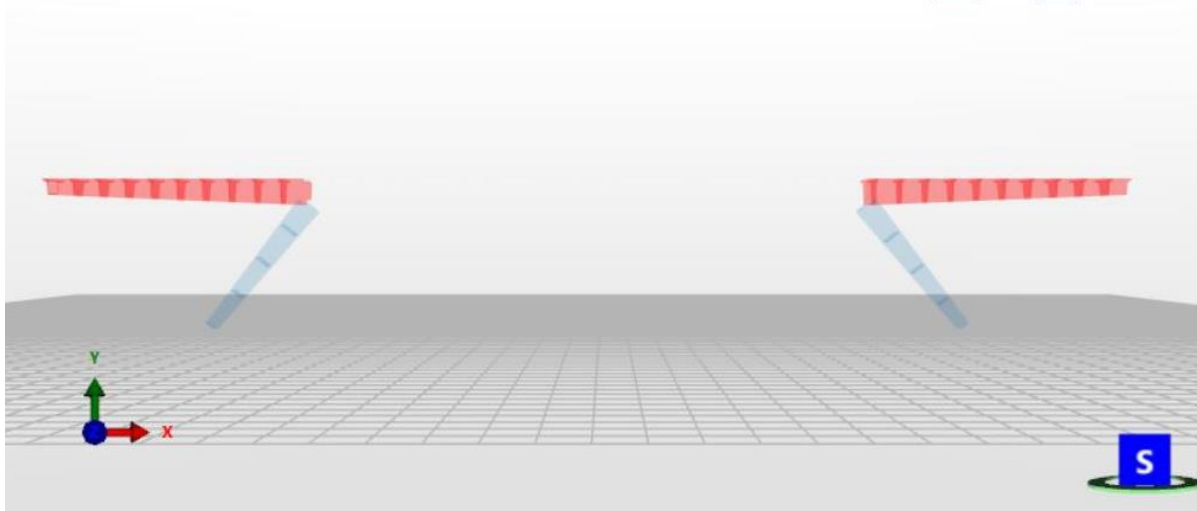
4. PLAN IZGRADNJE KONSTRUKCIJE MOSTA

Plan izvedbe je još jedna opcija u AllPlan Bridge-u koja omogućuje detaljnu izradu i prikaz točnog plana izgradnje, odnosno plana izvedbe mosta. Unutar programa može joj se pristupiti putem kartice 'Izgradnja' u kojoj se definiraju faze izgradnje od prve do posljednje. Definiraju se pojedine faze kao što su lijevanje, sušenje i njega betona, zatim postavljanje i prednapinjanje natega, postavljanje nosača i stupova i još mnoge. Dio proračuna prikazanog mosta uključuje izradu plana izgradnje mosta kao i prikaz gantograma. Plan izgradnje započinje betoniranjem stupova što predstavlja prvu fazu i uključuje lijevanje i stvrđavanje betona, a sljedeća faza je betoniranje lijevog i desnog raspona glavnog nosača mosta duljine 50 metara do spoja sa stupom. Treću fazu predstavlja betoniranje srednjeg raspona glavnog nosača u koji se zatim postavljaju natege i izvodi prijenos sile predapinjanja. Zatim slijedi postupak betoniranja rubnjaka i vijenaca te konačno asfaltiranje kolnika i postavljanje ograda. Nakon završetka plana izgradnje AllPlan Bridge generira gantogram radova i omogućuje animaciju u kojoj je prikazan cijeli tijek izgradnje. Plan izgradnje po fazama i gantogram radova prikazani su na slikama 42, 43, 44 i 45.



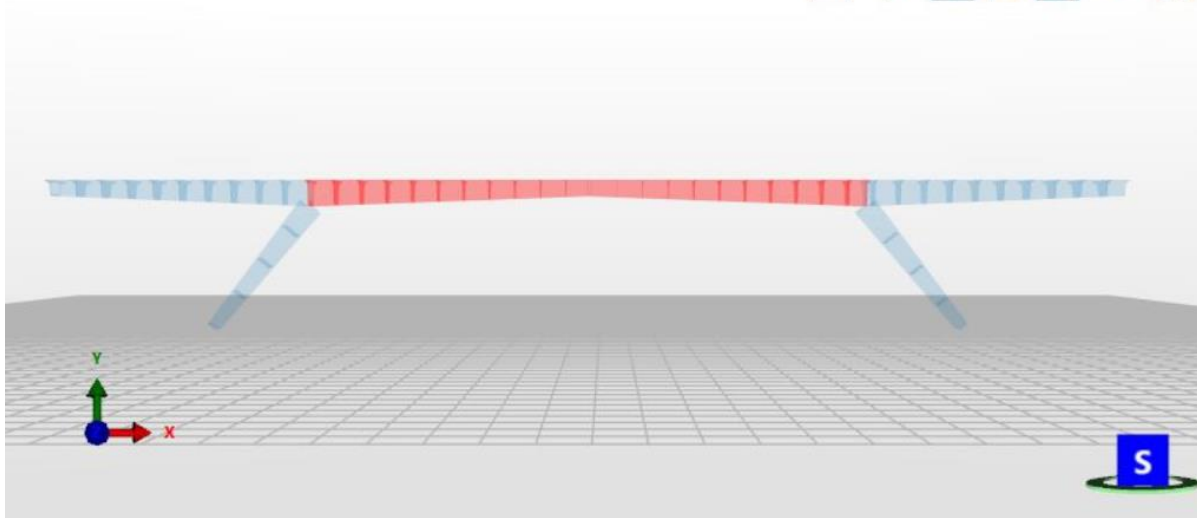
Slika 42. Prikaz prve faze izgradnje mosta

Day 35 = 31.07.2021 - 4.2 Days per second

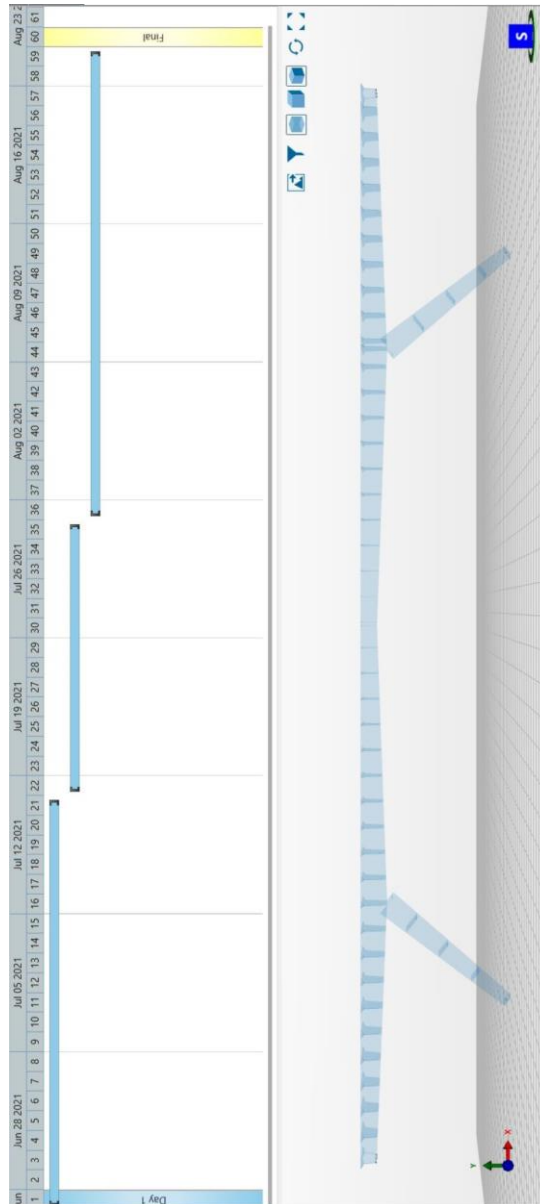


Slika 43. Prikaz druge faze izgradnje mosta

Day 59 = 24.08.2021 - 4.3 Days per second



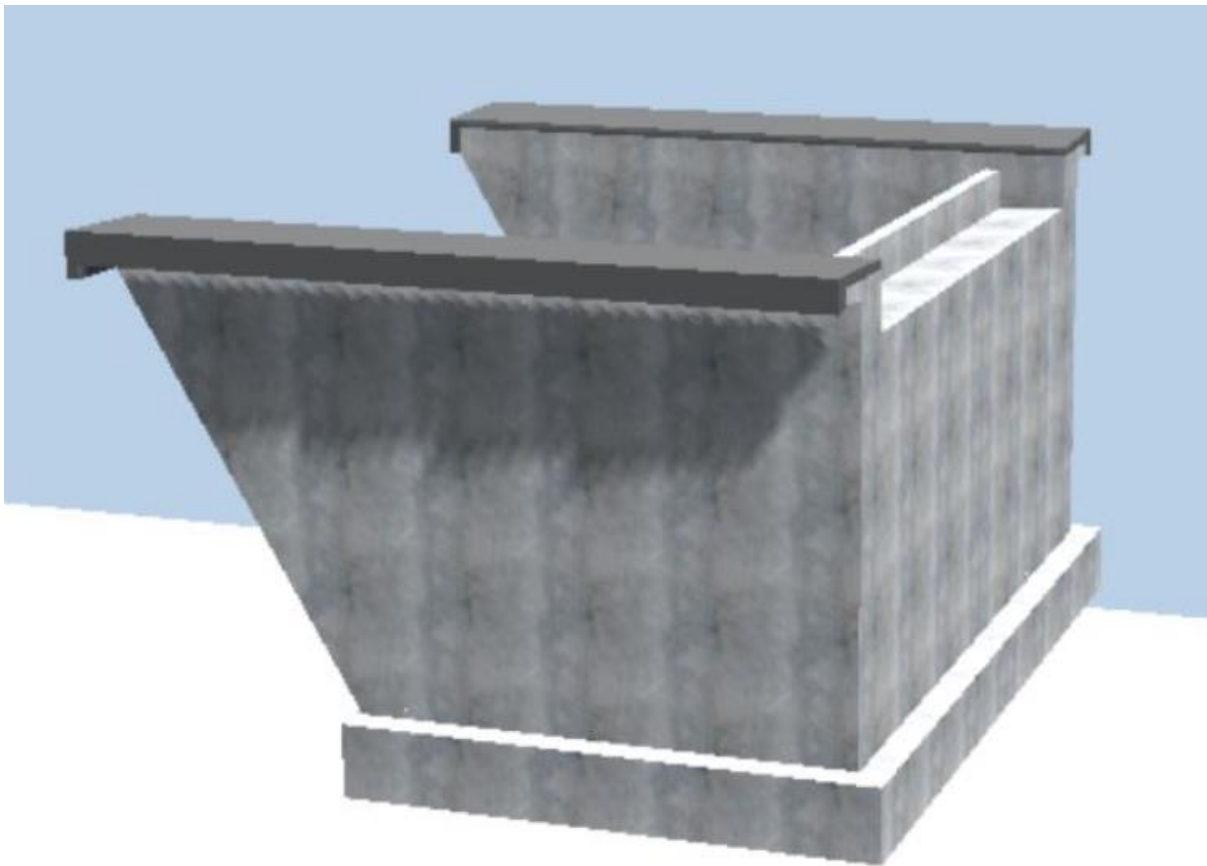
Slika 44. Prikaz treće faze izgradnje mosta



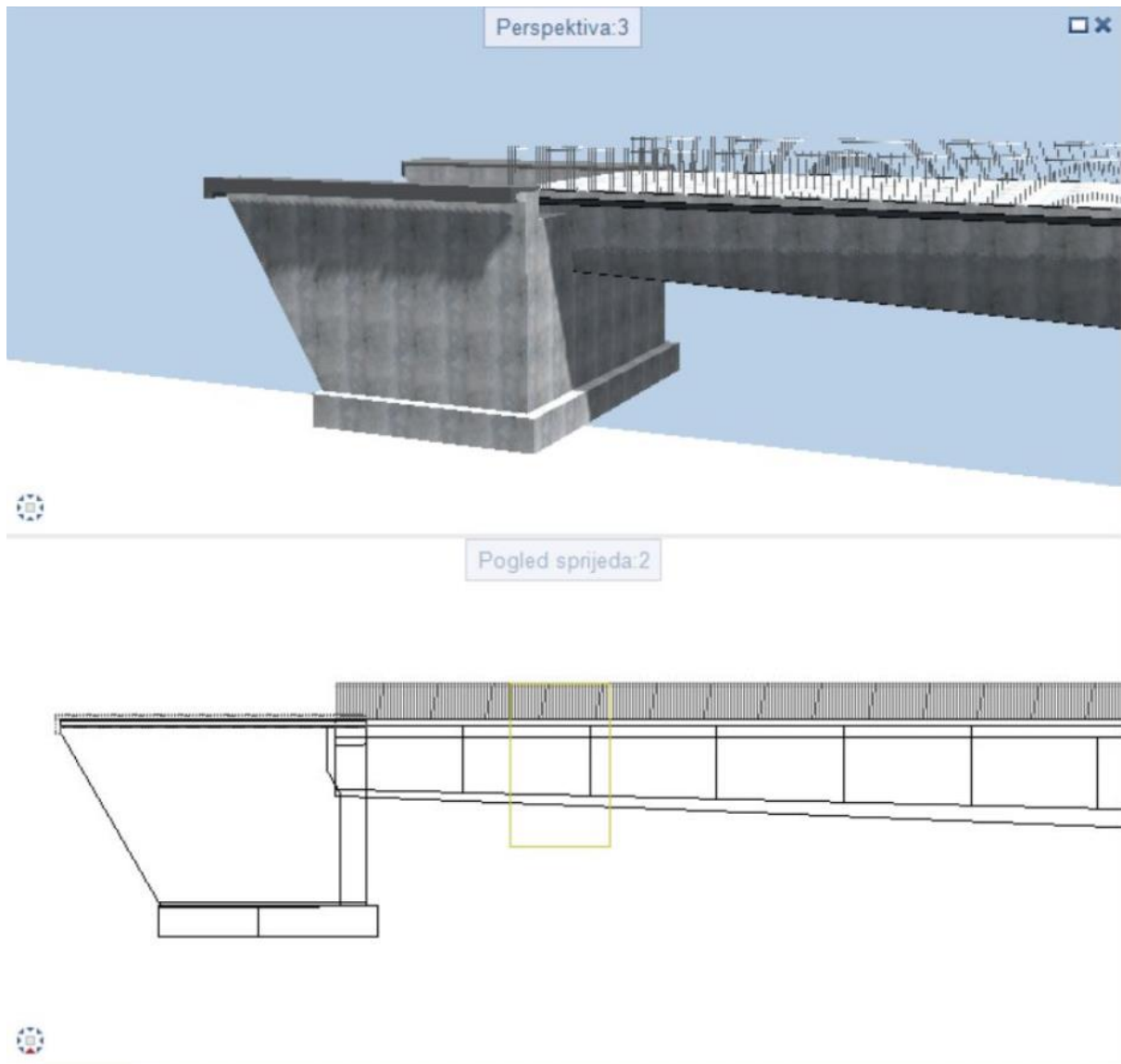
Slika 45. Prikaz gantograma za sve faze izgradnje modeliranog mosta

5. 3D PRIKAZ MOSTA U PROGRAMU ALLPLAN BRIDGE

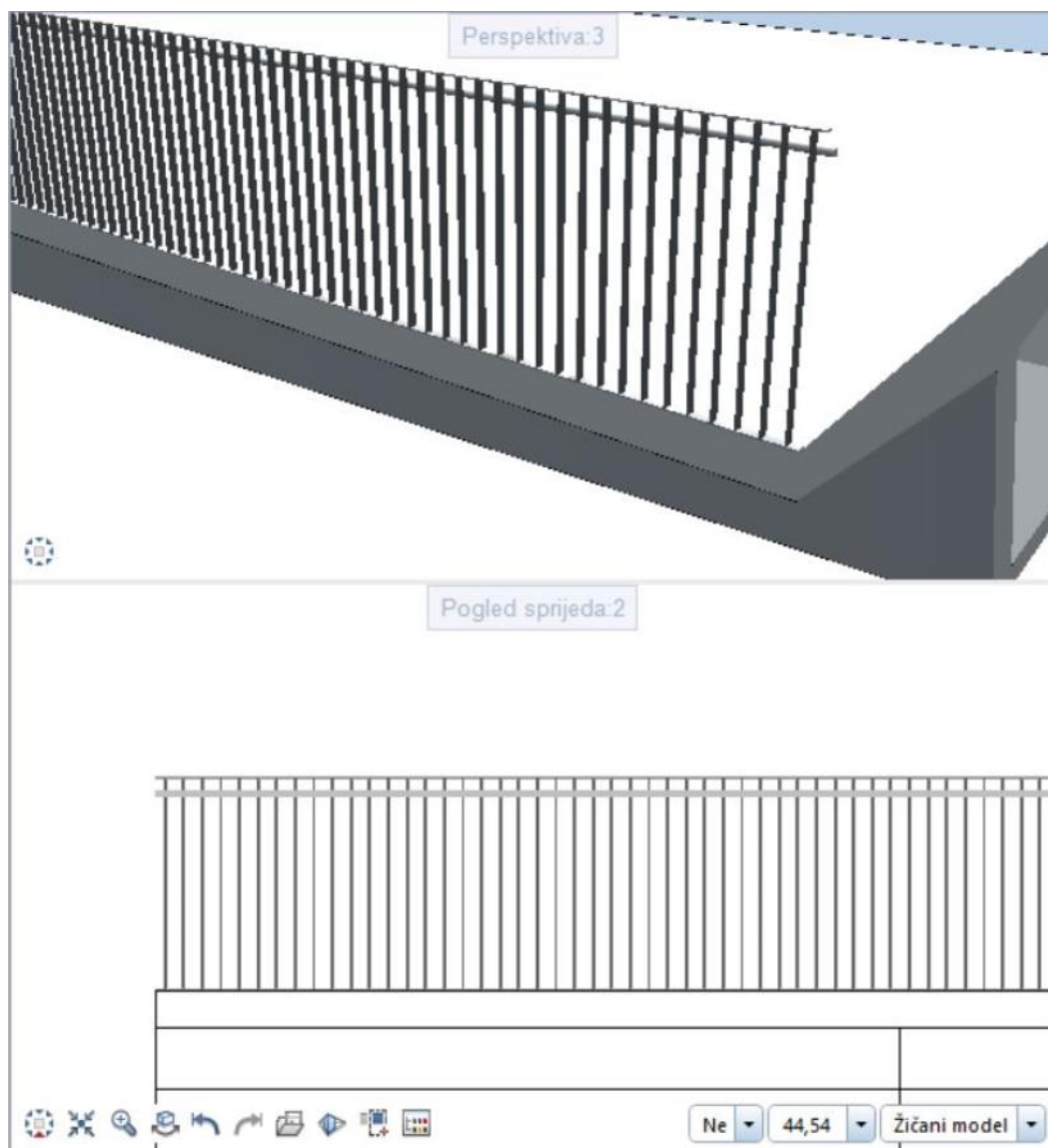
Kompletan model iz AllPlan Bridge-a može se prebaciti u AllPlan kako bi se definirali i prikazali dodatni elementi – ograda i upornjaci. Metodom ubacivanja gotovog elementa upornjaka za koji je moguće mijenjati dimenzije i gotovog elementa ograde dobiven je 3D prikaz mosta. Elementi upornjaka i pješačke ograde te 3D vizualizacija mosta prikazani su na slikama od Slike 46 do Slike 49.



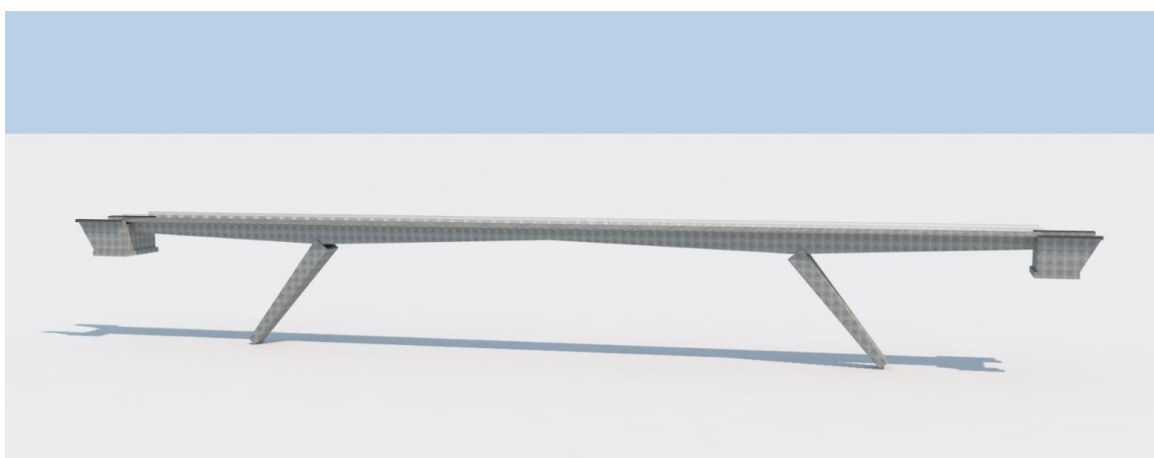
Slika 46. Prikaz upornjaka iz AllPlana



Slika 47. Prikaz upornjaka uklopljenog u most



Slika 48. Prikaz ograde uklopljene na most



Slika 49. Vizualizacija mosta s upornjacima i ogradama

6. STATIČKA ANALIZA MOSTA

Nakon postupka modeliranja i postavljanja opterećenja na most te formiranja plana izvedbe, moguće je izvršiti statičku i dinamičku analizu i dobiti njene rezultate u vidu dijagrama i tablica. U ovom poglavlju prikazat će se i objasniti neki od rezultata statičke analize i način na koji ih AllPlan Bridge prikazuje.

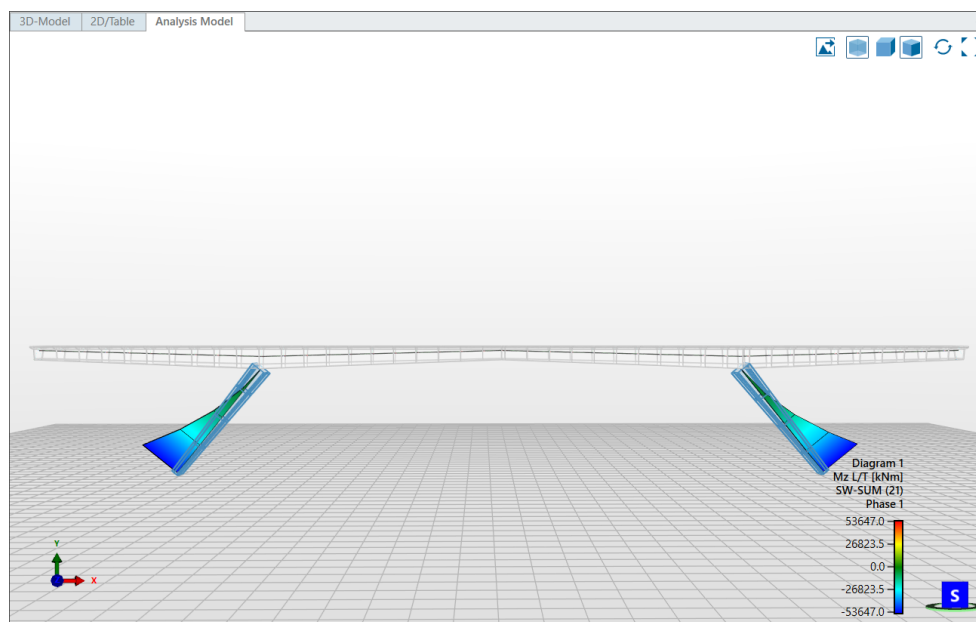
U programu AllPlan Bridge je moguće provesti i dinamičku analizu mosta po standardnom postupku proračuna opisanom u Eurokodu. To je dinamički proračun prema linearnoj teoriji primjenom projektnog spektra koji se dobije na način da se vrijednosti prosječnog elastičnog spektra odziva podijele s faktorom ponašanja q , čije je vrijednost veća od jedinice. Dakle, to bi značilo da se konstrukcija mosta treba proračunati na potresna djelovanja koja su q puta manja od onih djelovanja kad se odziv konstrukcije nalazi u elastičnom području i na taj način se unosi povoljan utjecaj nelinearnog ponašanja duktilnih konstrukcija u potresu. [6]

Za provođenje postupka dinamičke analize u programu potrebno je primijeniti spektar odziva ovisno o standardu koji se koristi u projektu, u ovom slučaju Eurokodu. To se provodi na način da se u kartici 'New Earthquake Event' odabere opcija samostalnog definiranja spektra odziva, opcija definiranja horizontalnog ili vertikalnog spektra odziva po Eurokodu. Dinamička analiza za promatrani most nije izvedena.

Statička analiza mosta provedena je po Eurokodu jer je to norma koja je odabrana unutar AllPlan Bridge-a. BIM tehnologija omogućava analizu konstrukcije i njenih dijelova u svim fazama izvođenja. Nakon modeliranja svih dijelova mosta, formiranja plana izgradnje i postavljanja svih potrebnih opterećenja, što je opisano i prikazano u prethodnim poglavljima, moguće je izvršiti statičku analizu za koju AllPlan Bridge izbacuje rezultate u vidu tablica i dijagrama. Rezultati se mogu prikazati za svaku fazu izgradnju posebno pa su tako prikazani dijagrami momenata savijanja za stupove i glavni nosač nakon prve, druge i treće faze te deformacije u svakoj fazi.

Na sljedećim slikama od Slike 50 do Slike 55 prikazane su unutarnje sile i deformacije u grafičkom obliku, a u tabličnom obliku u tablicama od Tablice 6 do Tablice 8.

Na slici 50. je prikazan dijagram momenata savijanja nakon prve faze izgradnje u trenutku nakon izvođenja stupova i prije izvođenja raspona glavnog nosača. Nakon izgradnje stupova moment je najveći na dnu i postupno se smanjuje prema vrhu stupa. Prikaz rezultata samo za prvu fazu izgradnje može se pregledati i nakon izgradnje ostalih faza što omogućuje pregled i usporedbu vrijednosti unutarnjih sila kad god je potrebno.



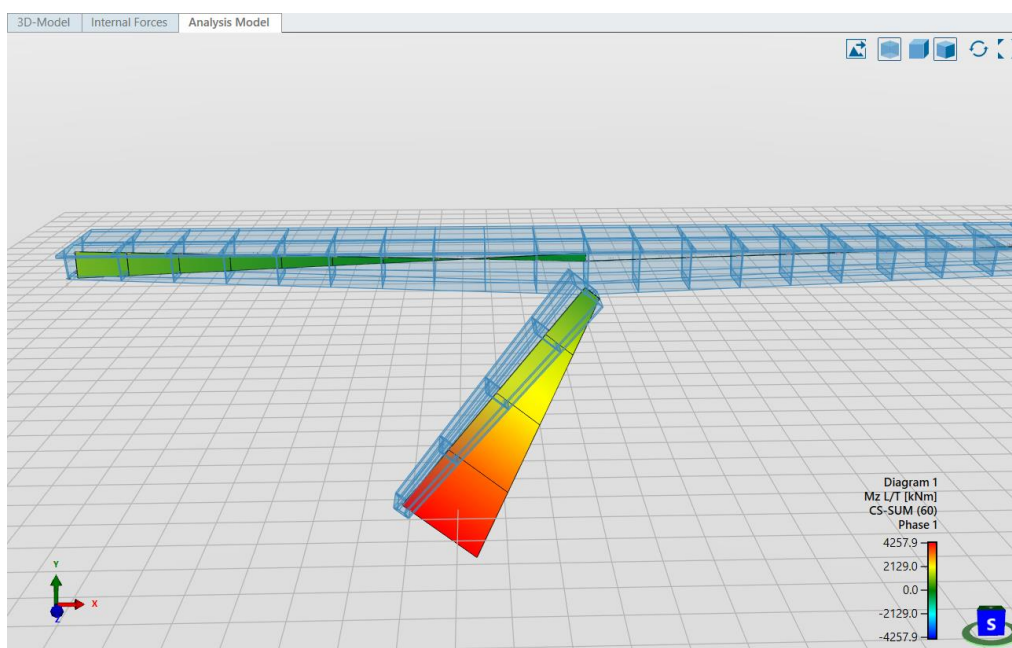
Slika 50. Prikaz sume momenta savijanja u stupovima u prvoj fazi izgradnje

Tablica 6. prikazuje unutarnje sile za stupove nakon prve faze izgradnje. U tablici je vidljivo da su unutarnje sile mjerodavne na dnu stupa, dok se prema vrhu stupa smanjuju.

Tablica 6. Tablični prikaz unutarnjih sila u stupovima po stacionažama

Internal Forces: Phase 1 SW-SUM (21) L/T								
Element	Node	Reference	Forces			Moments		
			Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
2101	2101	MG stup d:31.10000[m]:1	-4037.2	-3248.7	0,0	0,0	0,0	-53647,0
2101	2102	MG stup d:36.10000[m]:1	-3194.2	-2570.3	0,0	0,0	0,0	-30355.5
2102	2102	MG stup d:36.10000[m]:1	-3194.2	-2570.3	0,0	0,0	0,0	-30355.5
2102	2103	MG stup d:41.10000[m]:1	-2189.3	-1761.7	0,0	0,0	0,0	-12993.6
2103	2103	MG stup d:41.10000[m]:1	-2189.3	-1761.7	0,0	0,0	0,0	-12993.6
2103	2104	MG stup d:46.10000[m]:1	-1022.5	-822.8	0,0	0,0	0,0	-2600.4
2104	2104	MG stup d:46.10000[m]:1	-1022.5	-822.8	0,0	0,0	0,0	-2600.4
2104	2105	MG stup d:50.00000[m]:1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3101	2101	MG stup d:31.10000[m]:1 -> 0	-5182,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-53647,0
4101	4101	MG stup l:158.50000[m]:1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4101	4102	MG stup l:163.50000[m]:1	-1293.1	1040.5	0,0	0,0	0,0	-4236,0
4102	4102	MG stup l:163.50000[m]:1	-1293.1	1040.5	0,0	0,0	0,0	-4236,0
4102	4103	MG stup l:168.50000[m]:1	-2424.1	1950.7	0,0	0,0	0,0	-16250.8
4103	4103	MG stup l:168.50000[m]:1	-2424.1	1950.7	0,0	0,0	0,0	-16250.8
4103	4104	MG stup l:173.50000[m]:1	-3393.2	2730.4	0,0	0,0	0,0	-35004.7
4104	4104	MG stup l:173.50000[m]:1	-3393.2	2730.4	0,0	0,0	0,0	-35004.7
4104	4105	MG stup l:177.40000[m]:1	-4036.6	3248.2	0,0	0,0	0,0	-53642.1
5101	4105	MG stup l:177.40000[m]:1 -> 0	-5181.2	0,0	0,0	0,0	0,0	53642.1

Prikaz momenta savijanja nakon druge faze izgradnje za stup i nosač je prikazan na Slici 51.

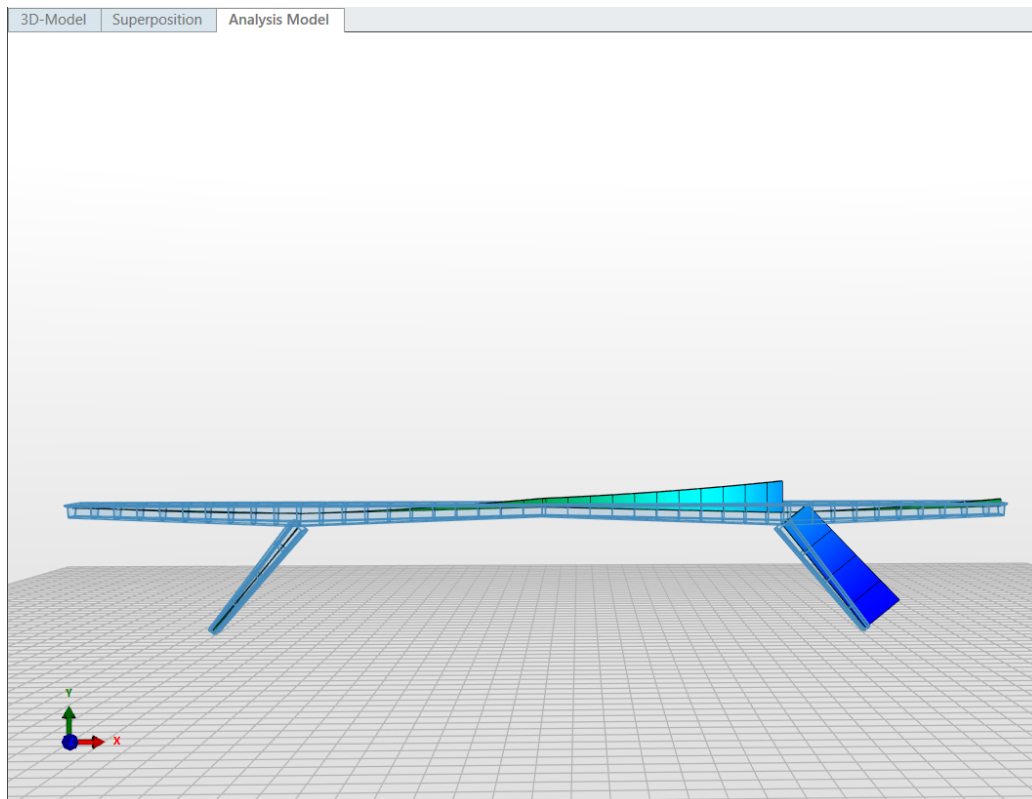


Slika 51. Prikaz momenta savijanja u stupu za drugu fazu izgradnje

Tablica 7. prikazuje unutarnje sile u glavnom nosaču i lijevom kosom stupu nakon druge faze izgradnje pri čemu je vidljivo da su na lijevom rasponu nosača najveći momenti na početku raspona.

Tablica 7. Tablični prikaz unutarnjih sila za prvu fazu izgradnje mosta

Internal Forces: Phase 1 CS-SUM (60) L/T								
Element	Node	Reference	Forces			Moments		
			Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
101	101	MG axis:0.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.4	1,0	73.9	1120.3
101	102	MG axis:5.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.4	1,0	66.8	974.3
102	102	MG axis:5.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.6	0.6	73.5	973.8
102	103	MG axis:10.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.6	0.6	65.7	827.8
103	103	MG axis:10.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.7	0.3	71.7	827.3
103	104	MG axis:15.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.7	0.3	63.2	681.2
104	104	MG axis:15.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.9	0.1	68.5	680.6
104	105	MG axis:20.00000[m]:1	166.7	29.2	-1.9	0.1	59.1	534.6
105	105	MG axis:20.00000[m]:1	166.7	29.2	-2.1	-0.1	63.7	534,0
105	106	MG axis:25.00000[m]:1	166.7	29.2	-2.1	-0.1	53.2	388,0
106	106	MG axis:25.00000[m]:1	166.7	29.2	-2.4	-0.1	57,0	387.5
106	107	MG axis:30.00000[m]:1	166.7	29.2	-2.4	-0.1	45.2	241.6
107	107	MG axis:30.00000[m]:1	166.7	44225,0	-2.7	-0.2	47.9	241.1
107	108	MG axis:35.00000[m]:1	166.7	44225,0	-2.7	-0.2	34.6	95.4
108	108	MG axis:35.00000[m]:1	166.7	44225,0	-3,0	-0.2	35.9	94.9
108	109	MG axis:40.00000[m]:1	166.7	44225,0	-3,0	-0.2	44459,0	-50.6
109	109	MG axis:40.00000[m]:1	166.7	29,0	-3.4	-0.2	44216,0	-50.9
109	110	MG axis:45.00000[m]:1	166.7	29,0	-3.4	-0.2	3,0	-196.1
110	110	MG axis:45.00000[m]:1	166.7	29,0	-3.9	-0.2	-0.7	-196.1
110	2105	MG axis:50.00000[m]:1	166.7	29,0	-3.9	-0.2	-20.4	-340.9
2101	2101	MG stup d:31.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-5.7	4257.9
2101	2102	MG stup d:36.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-6.8	3341.3
2102	2102	MG stup d:36.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-6.8	3341.3
2102	2103	MG stup d:41.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-7.9	2424.8
2103	2103	MG stup d:41.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-7.9	2424.8
2103	2104	MG stup d:46.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-9,0	1508.2
2104	2104	MG stup d:46.10000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-9,0	1508.2
2104	2105	MG stup d:50.00000[m]:1	-124.2	114.9	-0.1	-15.9	-9.9	793.3
3101	2101	MG stup d:31.10000[m]:1 -> 0	-24.8	167.4	-0.1	-15.9	44352,0	4257.9

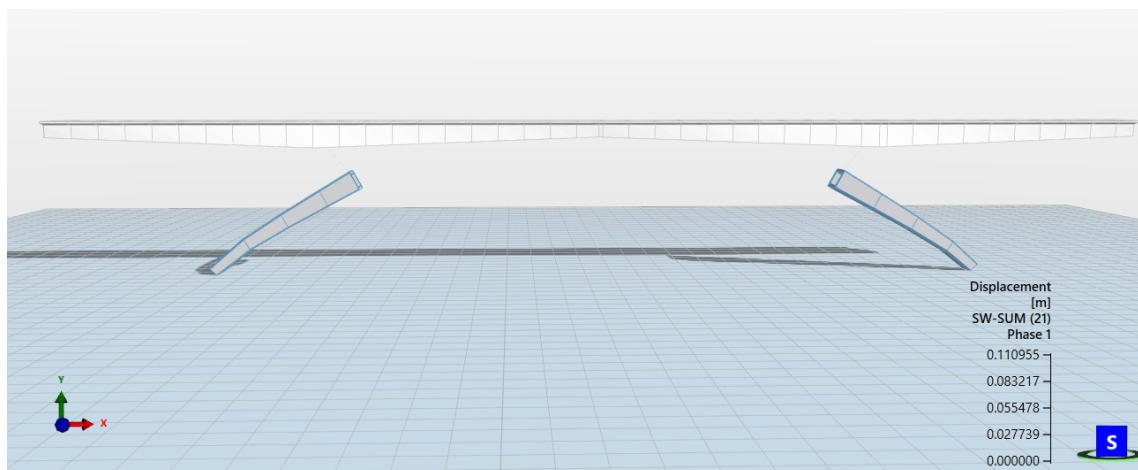


Slika 52. Prikaz sume momenata savijanja za most u zadnjoj fazi izgradnje

Tablica 8. Tablični prikaz unutarnjih sila po stacionažama

Internal Forces: Phase 1 SW-SUM (59) L/T								
Element	Node	Reference	Forces			Moments		
			Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
101	102	MG axis:5.00000[m]:1	3595.6	-5711.6	171.1	-126.0	44230.0	-23312.9
102	102	MG axis:5.00000[m]:1	3596.4	-5709.7	211.4	-116.8	-155.7	-23312.4
102	103	MG axis:10.00000[m]:1	3566.4	-4597.3	167.6	-116.8	793.2	2490.7
103	103	MG axis:10.00000[m]:1	3566.8	-4595.6	202.3	-117.7	811.3	2484.8
103	104	MG axis:15.00000[m]:1	3535.1	-3420.3	147.4	-117.7	1687.1	22558.5
104	104	MG axis:15.00000[m]:1	3535.2	-3418.9	175.5	-124.3	1865.9	22544.4
104	105	MG axis:20.00000[m]:1	3501.7	-2180.0	107.7	-124.3	2575.6	36573.6
105	105	MG axis:20.00000[m]:1	3501.7	-2179.0	127.6	-133.5	2895.0	36549.7
105	106	MG axis:25.00000[m]:1	3466.4	-876.0	44.9	-133.5	3328.3	44217.1
106	106	MG axis:25.00000[m]:1	3466.4	-875.6	54.3	-143.2	3760.9	44182.4
106	107	MG axis:30.00000[m]:1	3429.4	491.9	-46.0	-143.2	3783.6	45169.3
107	107	MG axis:30.00000[m]:1	3429.4	491.3	-50.8	-151.7	4287.4	45124.2
107	108	MG axis:35.00000[m]:1	3390.7	1923.7	-172.0	-151.7	3732.5	39112.2
108	108	MG axis:35.00000[m]:1	3390.8	1921.2	-196.3	-158.3	4239.6	39060.5
108	109	MG axis:40.00000[m]:1	3350.3	3418.7	-342.5	-158.3	2894.7	25733.8
109	109	MG axis:40.00000[m]:1	3350.6	3412.9	-394.7	-162.1	3290.8	25686.1
109	110	MG axis:45.00000[m]:1	3308.4	4975.3	-571.6	-162.1	877.6	4736.3
110	110	MG axis:45.00000[m]:1	3308.8	4963.5	-664.3	-162.7	966.3	4719.0
110	2105	MG axis:50.00000[m]:1	3264.9	6590.2	-879.5	-162.7	-2890.7	-24147.2
111	111	MG axis:50.00000[m]:1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
111	112	MG axis:55.00000[m]:1	40.5	1629.2	-216.7	0,0	-545.4	-4100.5
112	112	MG axis:55.00000[m]:1	40.6	1632.8	-188.1	0.5	-473.4	-4109.5
112	113	MG axis:60.00000[m]:1	79.7	3202.8	-369.0	0.5	-1869.4	-16228.2
113	113	MG axis:60.00000[m]:1	79.8	3207.9	-322.1	44318,0	-1632.3	-16253.8
113	114	MG axis:65.00000[m]:1	117.4	4718.1	-473.8	44318,0	-3625.4	-36100.6
114	114	MG axis:65.00000[m]:1	117.7	4723.6	-415.2	44293,0	-3177.1	-36142.9

Nakon prve faze izgradnje prikazuje se progib u stupovima. Na Slici 53. u uvećanom mjerilu prikazan je najveći progib koji se događa u točki na vrhu stupa koji je nepridržan, dok je najmanji progib na dnu stupa gdje je pridržan upornjakom. Tablica 9. prikazuje brojčane vrijednosti progiba po stacionažama te je iz tablice vidljivo kako veličina progiba pada od vrha stupa prema dnu.

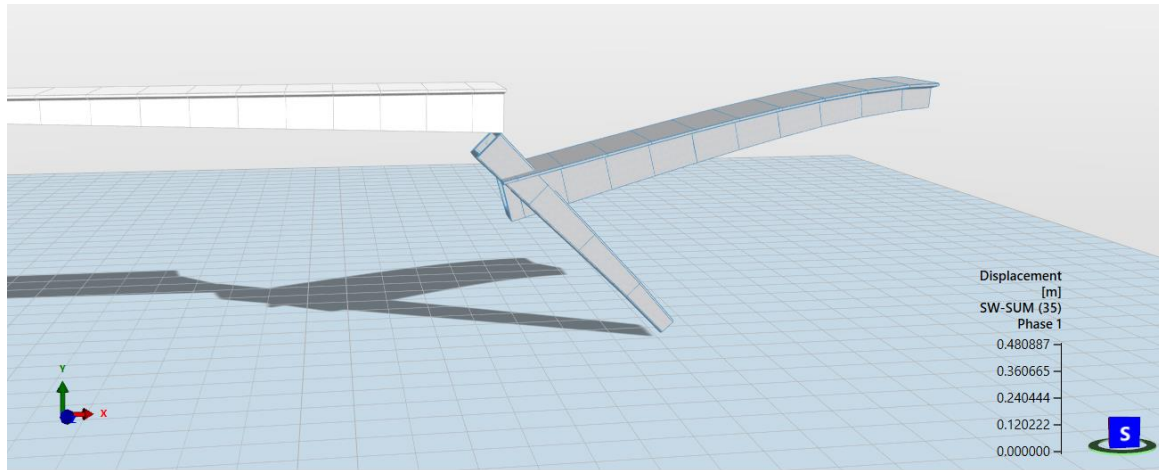


Slika 53. Prikaz progiba stupova u prvoj fazi izgradnje

U Tablici 9. prikazani su progibi u smjeru x, y i z za postavljene stacionaže stupa. Iz tablice je vidljivo da su progibi najveći na vrhu stupa u stacionaži 50,0 metara.

Tablica 9. Tablični prikaz progiba za prvu fazu izgradnje

Displacements: Phase 1 SW-SUM (21) G					
Element	Node	Reference	Displacements		
			ux [m]	uy [m]	uz [m]
2101	2102	MG stup d:36.10000[m]:1	0,096273	-0,118570	0,000000
2102	2102	MG stup d:36.10000[m]:1	0,137533	-0,118570	0,000000
2102	2103	MG stup d:41.10000[m]:1	0,154396	-0,125648	0,000000
2103	2103	MG stup d:41.10000[m]:1	0,154396	-0,125648	0,000000
2103	2104	MG stup d:46.10000[m]:1	0,260756	-0,117484	0,000000
2104	2104	MG stup d:46.10000[m]:1	0,260756	-0,117484	0,000000
2104	2105	MG stup d:50.00000[m]:1	0,344944	-0,155151	0,000000
3101	2101	MG stup d:31.10000[m]:1 -> 0	0,000000	-5.2E-05	0,000000
4101	4101	MG stup l:158.50000[m]:1	-0,323616	-0,103440	0,000000
4101	4102	MG stup l:163.50000[m]:1	-0,222268	-0,071212	0,000000
4102	4102	MG stup l:163.50000[m]:1	-0,222268	-0,071212	0,000000
4102	4103	MG stup l:168.50000[m]:1	-0,123324	-0,073680	0,000000
4103	4103	MG stup l:168.50000[m]:1	-0,123324	-0,073680	0,000000
4103	4104	MG stup l:173.50000[m]:1	-0,092750	-0,052393	0,000000
4104	4104	MG stup l:173.50000[m]:1	-0,092750	-0,052393	0,000000
4104	4105	MG stup l:177.40000[m]:1	0,000000	-5.1E-05	0,000000
5101	4105	MG stup l:177.40000[m]:1 -> 0	0,000000	-5.1E-05	0,000000

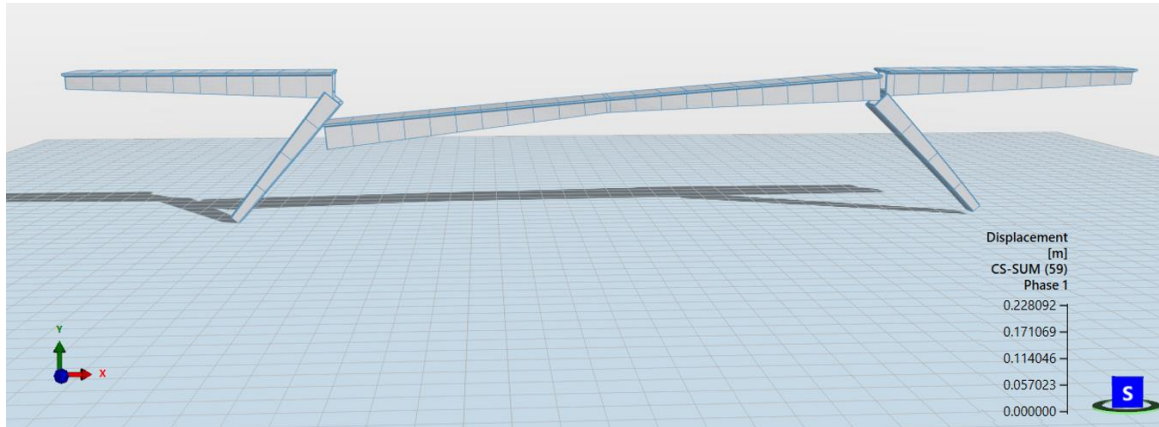


Slika 54. Prikaz progiba stupa i grede u drugoj fazi izgradnje

Tablica 10. Tablični prikaz progiba za drugu fazu izgradnje

Displacements: Phase 1 SW-SUM (35) G					
Element	Node	Reference	Displacements		
			ux [m]	uy [m]	uz [m]
101	101	MG axis:0.00000[m]:1	0,000000	0,000000	0,000000
101	102	MG axis:5.00000[m]:1	1.5E-05	-0,016070	-4.9E-05
102	102	MG axis:5.00000[m]:1	1.5E-05	-0,016070	-4.9E-05
102	103	MG axis:10.00000[m]:1	-1.4E-05	-0,047120	-0.00015
103	103	MG axis:10.00000[m]:1	-1.4E-05	-0,047120	-0.00015
103	104	MG axis:15.00000[m]:1	-4.5E-05	-0.00776	-0,002540
104	104	MG axis:15.00000[m]:1	-4.5E-05	-0.00776	-0,002540
104	105	MG axis:20.00000[m]:1	-5.6E-05	-0,099650	-0,003320
105	105	MG axis:20.00000[m]:1	-5.6E-05	-0,099650	-0,003320
105	106	MG axis:25.00000[m]:1	-3.9E-05	-0,110050	-0,003650
106	106	MG axis:25.00000[m]:1	-3.9E-05	-0,110050	-0,003650
106	107	MG axis:30.00000[m]:1	0,000008	-0,108430	-0,003470
107	107	MG axis:30.00000[m]:1	0,000008	-0,108430	-0,003470
107	108	MG axis:35.00000[m]:1	8.1E-05	-0,096240	-0,002810
108	108	MG axis:35.00000[m]:1	8.1E-05	-0,096240	-0,002810
108	109	MG axis:40.00000[m]:1	0,001720	-0.00761	-0,001760
109	109	MG axis:40.00000[m]:1	0,001720	-0.00761	-0,001760
109	110	MG axis:45.00000[m]:1	0,002740	-0,051390	-4.9E-05
110	110	MG axis:45.00000[m]:1	0,002740	-0,051390	-4.9E-05
110	2105	MG axis:50.00000[m]:1	0,003760	-0,025950	7.9E-05
134	134	MG axis:158.50000[m]:1	0,128680	-0,480417	-0,015693
134	135	MG axis:160.00000[m]:1	0,123930	-0,462612	-0,015087
135	135	MG axis:160.00000[m]:1	0,123930	-0,462612	-0,015087
135	136	MG axis:165.00000[m]:1	0,108090	-0,403277	-0,013069
136	136	MG axis:165.00000[m]:1	0,108090	-0,403277	-0,013069
136	137	MG axis:170.00000[m]:1	0,092240	-0,344071	-0,011058
137	137	MG axis:170.00000[m]:1	0,092240	-0,344071	-0,011058
137	138	MG axis:175.00000[m]:1	0,076480	-0,285283	-0.00907
138	138	MG axis:175.00000[m]:1	0,076480	-0,285283	-0.00907
138	139	MG axis:180.00000[m]:1	0,060940	-0,227449	-0,007131
139	139	MG axis:180.00000[m]:1	0,060940	-0,227449	-0,007131
139	140	MG axis:185.00000[m]:1	0,045890	-0,171452	-0,005282
140	140	MG axis:185.00000[m]:1	0,045890	-0,171452	-0,005282
140	141	MG axis:190.00000[m]:1	0.00317	-0,118663	-0,003576
141	141	MG axis:190.00000[m]:1	0.00317	-0,118663	-0,003576
141	142	MG axis:195.00000[m]:1	0,018950	-0,071165	-0,002088
142	142	MG axis:195.00000[m]:1	0,018950	-0,071165	-0,002088
142	143	MG axis:200.00000[m]:1	0.00085	-0,032106	-0,000912
143	143	MG axis:200.00000[m]:1	0.00085	-0,032106	-0,000912
143	144	MG axis:205.00000[m]:1	0,001630	-0,062830	-0,000172
144	144	MG axis:205.00000[m]:1	0,001630	-0,062830	-0,000172
144	145	MG axis:208.50000[m]:1	0,000000	0,000000	0,000000

Na Slici 55. prikazan je progib nakon treće faze izgradnje za srednji raspon mosta u uvećanom mjerilu. Trenutni prikaz pretpostavlja prometno opterećenje u početnoj točki srednjeg raspona pa je progib u toj točki najveći i smanjuje se prema kraju raspona.



Slika 55. Prikaz progiba srednjeg raspona grede u trećoj fazi izvedbe

Tablica 11. prikazuje progib za srednji raspon mosta nakon treće faze izgradnje i prikazuje progibe u smjeru osi x, osi y i osi z. Progib u određenoj točki može se dobiti tako da se postavi dodatna stacionaža u tu točku i iz tablice iščita vrijednost progiba u bilo kojem smjeru.

Tablica 11. Tablični prikaz progiba za treću fazu izgradnje

Displacements: Phase 1 SW-SUM (59) G					
Element	Node	Reference	Displacements		
			ux [m]	uy [m]	uz [m]
111	111	MG axis:50.00000[m]:1	-0,051425	-0,038285	-0,022072
112	112	MG axis:55.00000[m]:1	-0,051847	-0,228570	-0,020626
113	113	MG axis:60.00000[m]:1	-0,052270	-0,205046	-0,019181
114	114	MG axis:65.00000[m]:1	-0,052694	-0,194969	-0,017737
115	115	MG axis:70.00000[m]:1	-0,053118	-0,184897	-0,16298
116	116	MG axis:75.00000[m]:1	-0,053543	-0,174833	-0,14866
117	117	MG axis:80.00000[m]:1	-0,053968	-0,164784	-0,013446
118	118	MG axis:85.00000[m]:1	-0,054392	-0,154760	-0,12045
119	119	MG axis:90.00000[m]:1	-0,054814	-0,144775	-0,010671
120	120	MG axis:95.00000[m]:1	-0,055233	-0,134851	-0,009335
121	121	MG axis:100.00000[m]:1	-0,055647	-0,125018	-0,008049
122	122	MG axis:104.25000[m]:1	-0,055992	-0,116766	-0,007010
123	123	MG axis:105.00000[m]:1	-0,055932	-0,019605	-0,006831
124	124	MG axis:110.00000[m]:1	-0,005553	-0,017988	-0,005697
125	125	MG axis:115.00000[m]:1	-0,055140	-0,164019	-0,004655
126	126	MG axis:120.00000[m]:1	-0,054753	-0,148440	-0,0371
127	127	MG axis:125.00000[m]:1	-0,054373	-0,013313	-0,002869
128	128	MG axis:130.00000[m]:1	-0,053998	-0,118086	-0,002136
129	129	MG axis:135.00000[m]:1	-0,053630	-0,103290	-0,001517
130	130	MG axis:140.00000[m]:1	-0,005327	-0,008874	-0,001017
131	131	MG axis:145.00000[m]:1	-0,052914	-0,074420	-0,000638
132	132	MG axis:150.00000[m]:1	-0,052565	-0,060335	-0,000039
133	133	MG axis:155.00000[m]:1	-0,052223	-0,046476	-0,000267

7. POSTUPAK DIMENZIONIRANJA I ARMIRANJA

AllPlan Bridge također nudi opciju dimenzioniranja i armiranja presjeka mosta. Dimenzioniranje se provodi kao dio postupka statičke i dinamičke analize dok je za armiranje potrebno presjek vratiti u AllPlan i tamo ga armirati.

Dimenzioniranje presjeka provodi se preko opcije 'Design Report' pomoću koje se definira uvjet za provjeru potrebne armature. Prvo je potrebno definirati element za koji se određuje armatura, a zatim označiti proračun po graničnom stanju nosivosti i uporabljivosti. Zatim je potrebno označiti koji tip armature je potrebno proračunati i tu se može izabrati armatura za savijanje, torziju, pukotine ili potresna armatura. Još je potrebno postaviti granice unutar poprečnog presjeka elementa u kojima će se armatura postaviti i označiti smjer postavljanja armature.

Kad su svi uvjeti dobro postavljeni, potrebno je provesti statičku analizu mosta kako bi se dimenzioniranje u potpunosti provelo. Dobiveni rezultati dimenzioniranja prikazani su tablično i prikazuju potrebnu armaturu po stacionažama, kao i minimalnu i maksimalnu potrebnu armaturu.

Armiranje se provodi u programu AllPlan tako da je presjek koji se armira potrebno učitati u taj program, a zatim se u modulu 'Konstrukterstvo' pomoću opcije 'Armiranje' može postaviti potrebna poprečna i uzdužna armatura. Prvo se izabiru vrste šipki, njihov promjer, zaštitni sloj i ostala potrebna svojstva, a zatim se potreban broj šipki polaže na predviđeno mjesto na potrebnom razmaku šipki.

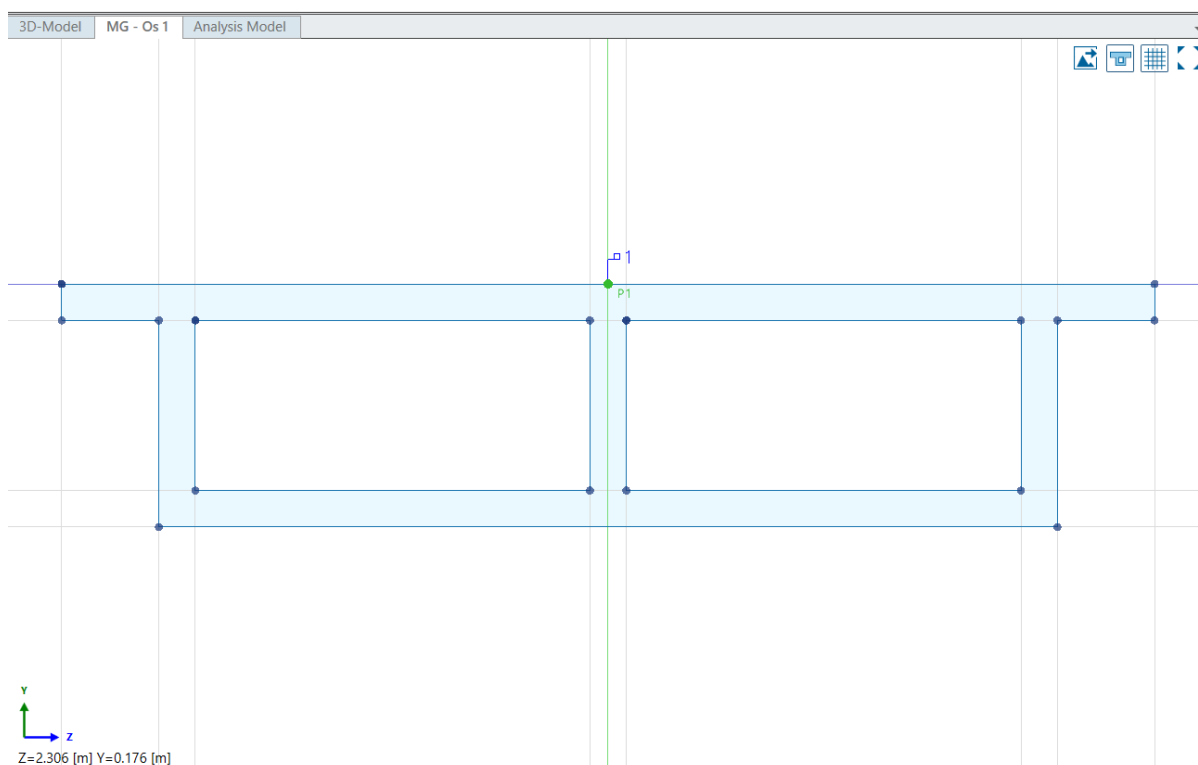
Dimenzioniranje i armiranje nije napravljeno u sklopu rada.

8. SPECIFIČNOSTI MODELIRANJA RAZLIČITIH STATIČKIH SUSTAVA

Kako bi se dodatno prikazao način rada AllPlan Bridge-a, na dosad opisani način su modelirane još dvije konstrukcije mosta različitih statičkih sustava – lučni i viseći most. Svaki tip ima nekoliko specifičnosti u samom postupku parametarskog modeliranja koje su opisane u ovom dijelu.

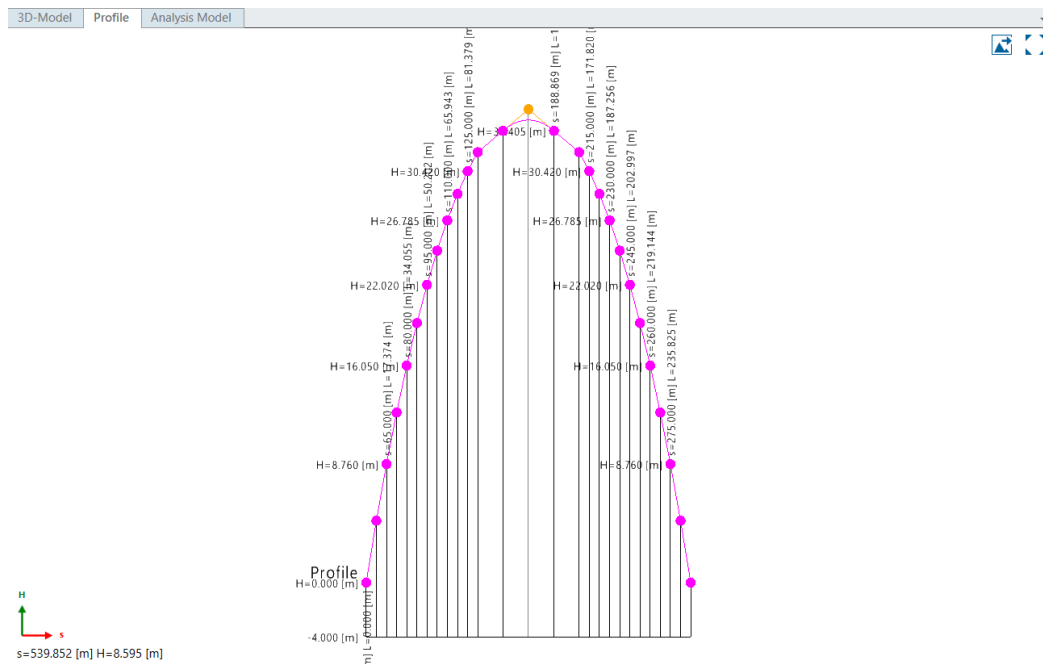
8.1. Primjer lučnog mosta

Kao primjer lučne konstrukcije s kolničkom konstrukcijom gore modeliran je Paški most. Ukupna duljina raspona glavnog nosača mosta iznosi 340 metara, a poprečni presjek je sandučasti s dvije komore što je vidljivo na slici 56.

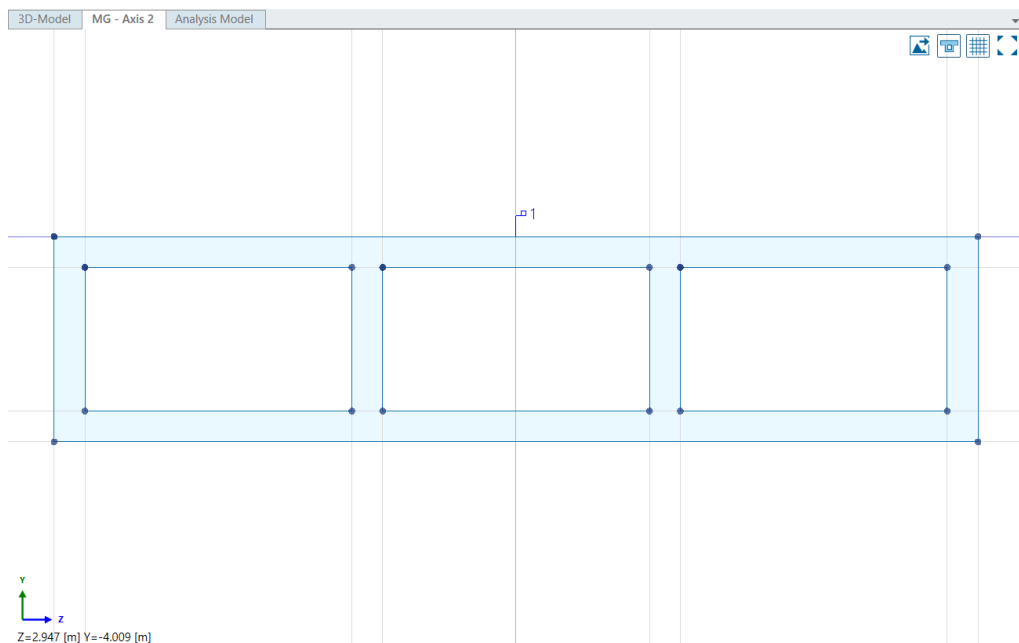


Slika 56. Prikaz poprečnog presjeka glavnog nosača

Specifičnost u modeliranju se pojavljuje pri modeliranju osi luka. Potrebno je postaviti os luka na način da se pri definiranju visinskog profila postavi čim više visinskih točaka kako bi se postigla što veća točnost oblika i zakrivljenosti luka što je prikazano na Slici 57. Sam luk je raspona 190 metara i strelice 28 metara. Vidljivo na slici 58, luk se sastoji od tri komore, u sredini raspona je vanjskih dimenzija 10x4 metra te se prema petama blago širi, a visina luka se smanjuje prema petama 2,3 metra.

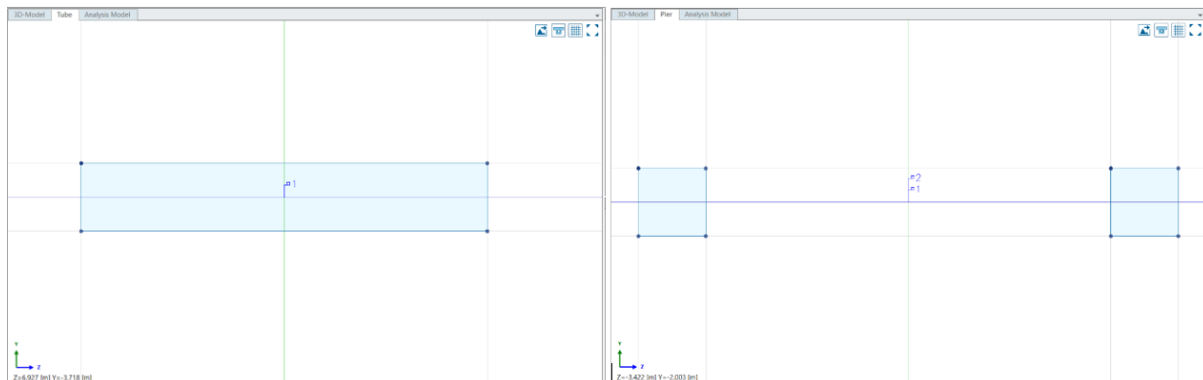


Slika 57. Prikaz postavljenih točaka u visinskom profilu

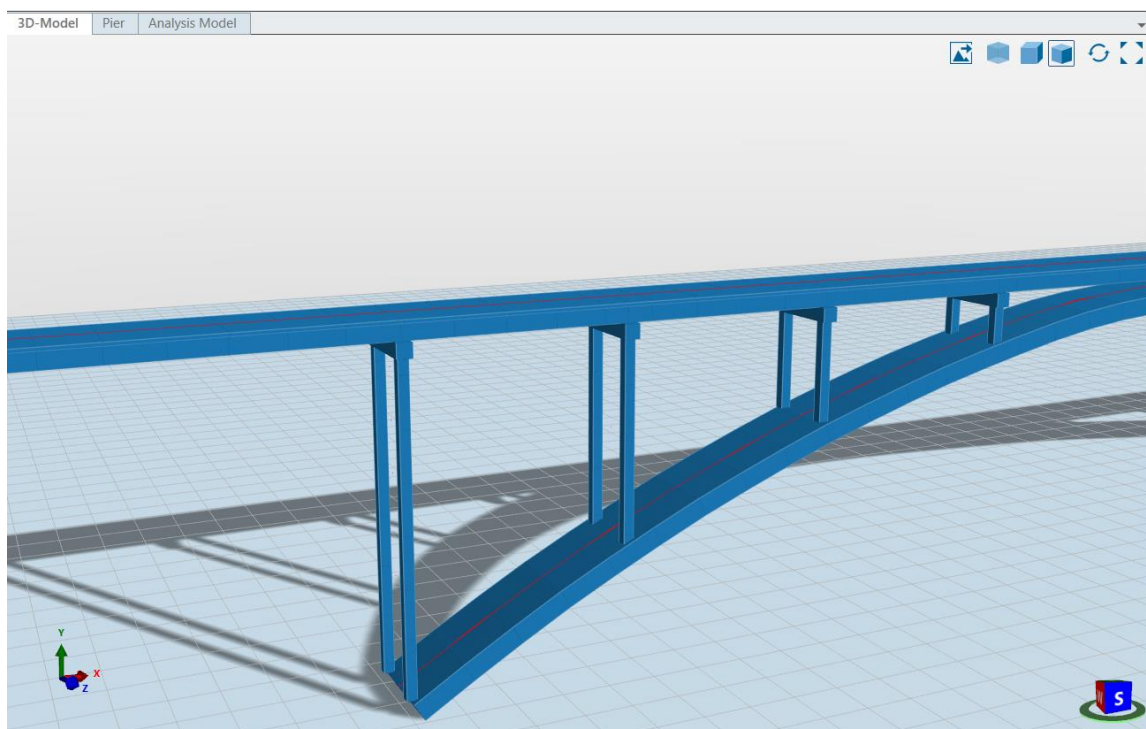


Slika 58. Poprečni presjek lučne konstrukcije mosta

Također je potrebno definirati pravokutne poprečne presjeka naglavnih greda i stupova koji se zatim povezuju s glavnim nosačem i lučnom konstrukcijom što je vidljivo na slici 59 i 60.

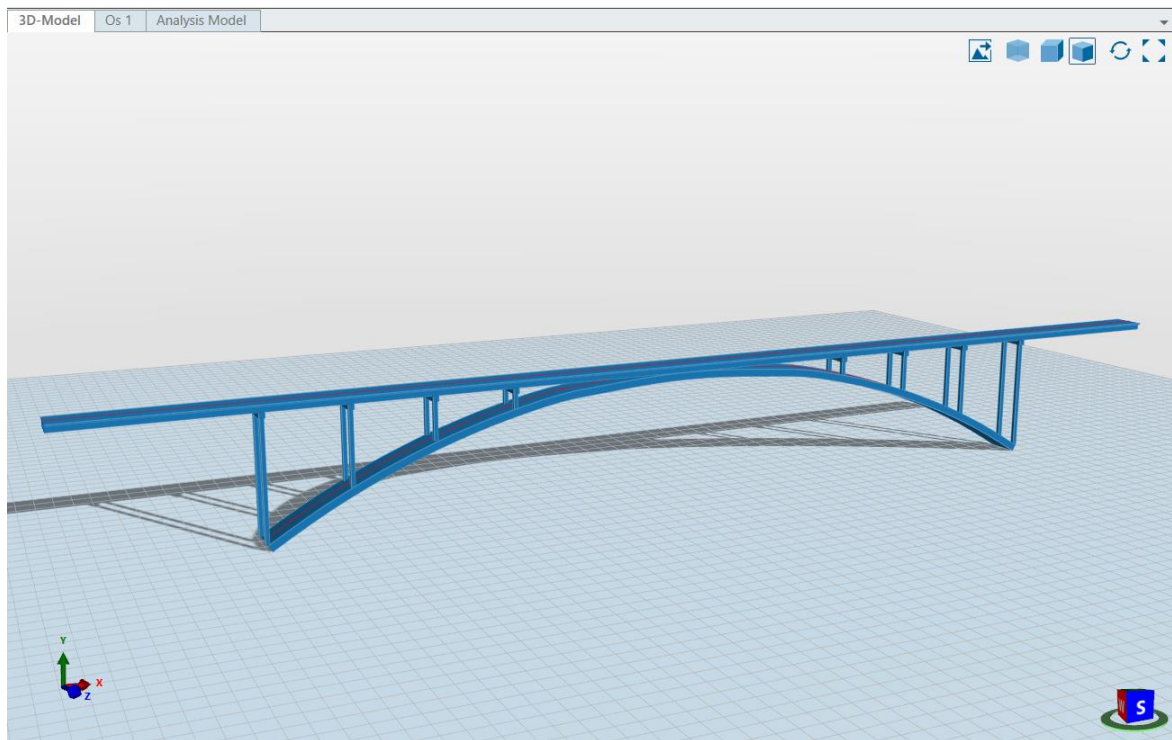


Slika 59. Prikaz poprečnih presjeka naglavnih greda i stupova



Slika 60. Prikaz naglavnih greda i stupova

Daljnji postupak modeliranja mosta slijedi iste principe kao postupak modeliranja grednog mosta Rječina. Nakon što se cijeli postupak parametarskog modeliranja završi, dobije se konačan prikaz mosta u 3D prostoru što je prikazano na slici 61.



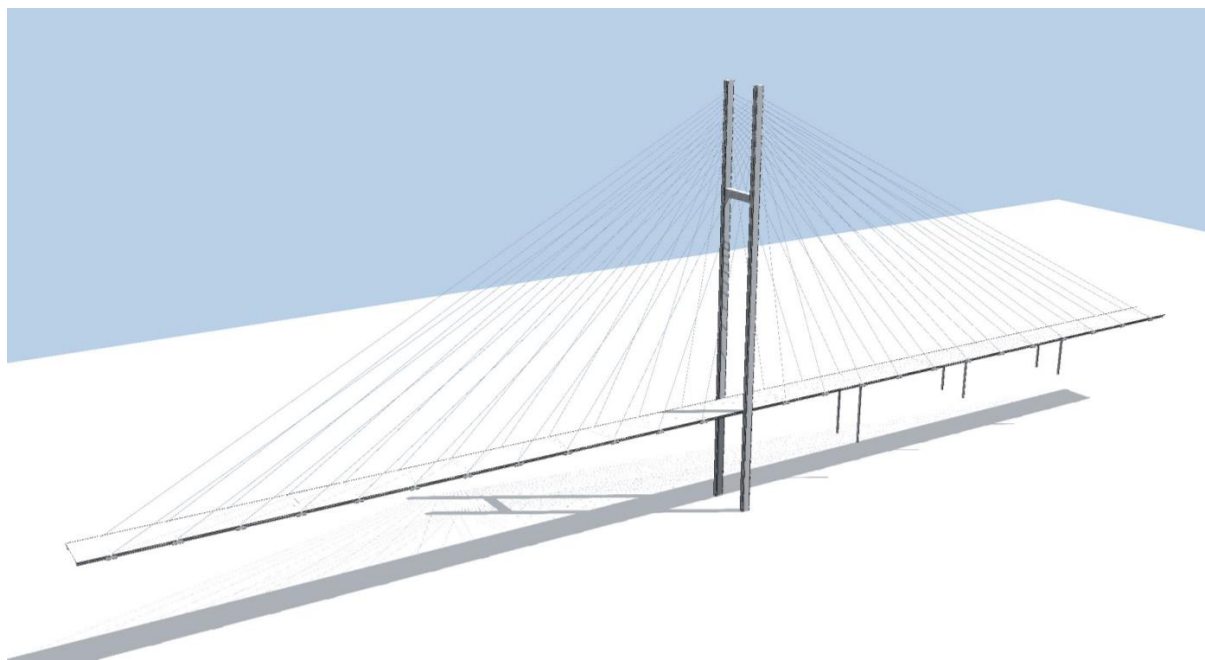
Slika 61. Prikaz 3D vizualizacije mosta

8.2. Primjer ovješnog mosta

Kao primjer visećeg mosta modeliran je most Nordhordland koji se nalazi u centralnoj Norveškoj. Glavni raspon mosta je duljine 172 metra dok je visina mosta 32 metra, a visina H-stupa na koji su ovještene natege iznosi 99 metara. Na mostu je ukupno 48 natega, 12 sa svake strane stupa za lijevu i desnu stranu kolnika, od kojih se svaki sastoji od 67 do 230 isprepletenih kabela.

Budući da trenutno u programu AllPlan Bridge ne postoji opcija modeliranja natega koje se nalaze izvan poprečnog presjeka, to je potrebno napraviti u programu AllPlan i prikazano je na slici 62. Natege se u AllPlan-u modeliraju tako da se odabere cijevni ili kružni profil za koji je potrebno definirati dimenzije i materijal koji simulira natege. Zatim se naredbom 'Krovna greda' taj profil može postaviti od početne točke (na glavnom nosaču mosta) do konačne točke (na vrhu H stupa) po kosini. Kad se postave sve natege s jedne strane stupa, u programu je moguće zrcaliti natege tako da se postave s druge strane. Na spoju natege s kolnikom potrebno je modelirati spoj koji postoji kao gotovi element u AllPlan-u.

Horizontalne natege postoje kao gotovi elementi kojima se definira geometrija i može ih se ubaciti u presjek, ali zbog postavljanja pod kutem to ovdje nije moguće.



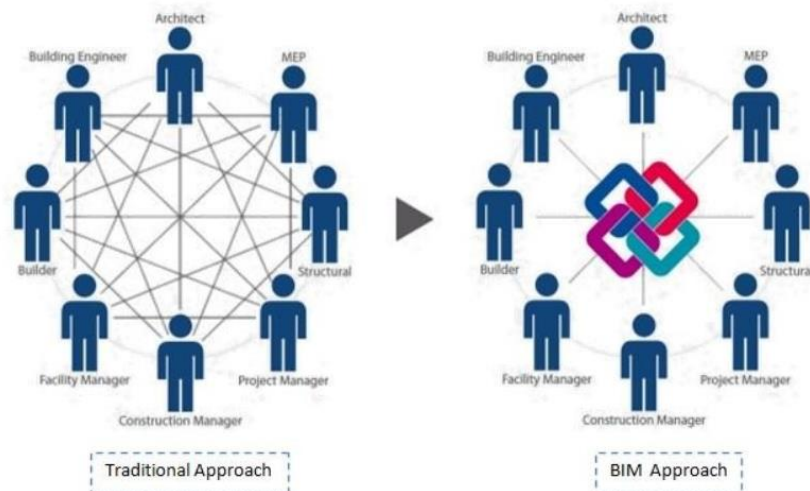
Slika 62. Prikaz modeliranog visećeg mosta u AllPlan-u

9. USPOREDBA BIM-a I TRADICIONALNOG PRISTUPA

Korištenjem BIM tehnologije omogućilo se povezivanje projekta u svim fazama te povezivanje građevinskog dijela rada sa ostalim inženjerskim granama uključenim u projekt, tako da svi dionici projekta imaju dostupne standardizirane podatke unutar BIM modela čim se one događaju. Umjesto korištenja više specijaliziranih dokumenata koji sadrže arhitektonske nacрте, uređenje okoliša, izgradnju ili proračune instalacija, kao i procjenu troškova i količine materijala, prednost BIM tehnologije je što koristi jedan 3D model s bazom podataka koja sadrži sve prethodno navedene podatke koji su potrebni za projekt. Takvim pristupom projektnoj dokumentaciji koji omogućava jednostavan pristup informacijama svim dionicima projekta ubrzava se postupak od početka do samog kraja projekta. Primjer ove prednosti vidljiv je u samom parametarskom modeliranju koje omogućuje izmjene nacрте u 3D modelu koje su odmah vidljive svim dionicima.

Provjera korisnosti implementacije BIM tehnologije pratila se na stvarnom projektu izgradnje kompleksa zgrada, a u projekt je bilo uključeno 10 inženjera koji su simultano radili na projektu. Procjena je da je proces proračuna bio 10% brži i 80% točniji u odnosu na tradicionalni pristup projektiranju, pri čemu je bilo dosta manje promjena i revizija u projektu. Vrijeme utrošeno na dokumentaciju se smanjilo za procijenjenih 30% što je rezultat rada na jednom modelu u odnosu na tradicionalni pristup rada u više CAD modela. [7]

Grafička reprezentacija načina rada s BIM tehnologijom u odnosu na tradicionalni pristup prikazana je na Slici 63. Tradicionalni pristup prikazuje da svaki dionik projekta mora biti povezan sa svim ostalim dionicima i svaku promjenu u projektu evidentirati, dok su u BIM pristupu svi dionici povezani preko jednog standardiziranog modela unutar kojeg svi mogu unositi promjene vidljive ostalima.



Slika 63. Prikaz usporedbe tradicionalnog i BIM pristupa [2]

10. ZAKLJUČAK

U građevinarstvu uvijek postoji težnja za bržim i ekonomičnijim načinom projektiranja i izvedbe građevina koje će ispunjavati svojstva funkcionalnosti i trajnosti. Nova BIM tehnologija nudi velike mogućnosti da se građevine izgrade u najkraćem roku, s najvećom točnošću i uz zadovoljavajuću cijenu.

Način parametarskog modeliranja građevina koji je prikazan u ovom radu na primjeru južnog mosta Rječina prikazuje prednosti fleksibilnog modeliranja u kojem se brzo i jednostavno unose promjene unutar modela koje su vidljive svim sudionicima projekta. Jedna od prednosti je mogućnost razmjene podataka između različitih dionika u preglednom obliku. Program AllPlan Bridge uvelike olakšava i ubrzava projektiranje mostova putem parametarskog modeliranja budući da su sve promjene unutar modela izravno spremljene i odmah vidljive svim dionicima projekta, a povezanost s programom AllPlan također predstavlja prednost u vidu 3D vizualizacije samog mosta i postavljanja gotovih elemenata, što je u radu vidljivo na primjeru upornjaka i pješačke ograde mosta. AllPlan Bridge korisniku nudi mogućnost preglednog ispisa rezultata analize u vidu dijagrama i tablica.

Međutim, BIM tehnologija još uvijek je u procesu razvoja te ne omogućava modeliranje i proračun za svaki tip statičkog sustava kao što je prikazano na primjeru visećeg mosta. BIM i BrIM tehnologija se vremenom također razvija i poboljšava pa će se u budućnosti ta tehnologija moći u potpunosti implementirati i koristiti u projektiranju i analizi mostova.

11. LITERATURA

- [1] AllPlan Bridge Manual: <https://www.allplan.com/products/bridge/>
- [2] Jurčević, M., Pavlović, M., Šolman, H.: Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu, Zagreb, 2017
- [3] AllPlan Bridge Baldini Studio: <https://www.baldinistudio.hr/konstrukterstvo/allplan-bridge>
- [4] HRN EN 1991: 2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije
- [5] Radić, J.: Masivni mostovi, Zagreb, 2007
- [6] Čaušević, M.: Dinamika konstrukcija, Zagreb, 2005
- [7] Czmocho, I., Pekala, A.: Traditional Design versus BIM Based Design, Varšava, 2014.
- [8] Šavor, Z., Gukov, I., Bleiziffer, J., Hrelja, G., Kalafatić, I., Franetović, M.: Most Rječina na južnom kolniku riječke obilaznice, Građevinar, Zagreb, 2009