

Sigurnosni sustavi u modernim cestovnim tunelima predstavljaju vrhunac prometne inženjerije, gdje je svaki element, od rasvjete do ventilacije, integriran u jedinstveni sustav upravljanja. U tom povezanom sustavu, ulazne rampe nisu tek fizičke prepreke, već čine sustav izvršnih mehanizama kritičnih sigurnosnih protokola. Tehnička arhitektura sigurnosnih sustava radi na principu od detekcije do reakcije u što kraćem vremenu. Srce sigurnosnog sustava čini korelacija između senzora koji nadziru ambijentalne uvjete i automatskih izvršnih naredbi.

Za razliku od točkastih javljača, u tunelima poput Svetog Roka koriste se senzorski kabeli s optičkim vlaknima. Oni koriste princip Ramanove spektroskopije za mjerenje temperature duž cijele duljine tunela. Ako sustav detektira anomaliju (npr. porast od 10 °C unutar 15 sekundi), automatski locira požar s preciznošću od jednog metra. Optički senzori dima i mjerila vidljivosti su uređaji koji upotrebljavaju infracrvene zrake za mjerenje apsorpcije svjetlosti. Dim se najčešće javlja prije kritičnog porasta temperature, stoga ovi senzori služe kao sustav ranog upozorenja koji aktivira predalarme. Povezanost s rampama je trenutačna. U trenutku kada detektori topline ili dima prijeđu postavljeni prag, sustav automatski šalje impuls motoru rampe. Rampa se spušta kako bi se spriječio ulazak novih vozila u "dimnu zamku", čime se direktno smanjuje broj potencijalnih žrtava i omogućuje slobodan prostor za manevriranje hitnih službi.

Integracija AID (Automatic Incident Detection) sustava u videonadzor ključna je za suvremene tunele gdje napredni algoritmi u realnom vremenu analiziraju video i prepoznaju potencijalnu opasnost:

- zaustavljeno vozilo koje je najčešći uzrok lančanih sudara
- vožnju u suprotnom smjeru
- prisutnost pješaka ili predmeta na kolniku
- iznenadno usporavanje prometa.

Analiza videa u stvarnom vremenu omogućuje operateru u nadzornom centru da uoči incident prije nego što senzori topline reagiraju, što je ključno za preventivno spuštanje rampi u dugim tunelima gdje se incident može dogoditi kilometrima od ulaza. Kada se potvrdi požar ili teška nesreća, nadzorni centar aktivira automatizirani niz operacija koji je osmišljen da maksimizira šanse za preživljavanje:

Zatvaranje pristupa tunelu: Na portalima tunela pali se crveno svjetlo na semaforima, a rampe se spuštaju.

Upravljanje ventilacijom u tunelu: Ventilatori (mlazni ili aksijalni) prebacuju se u maksimalni režim rada kako bi "potisnuli" dim u smjeru vožnje ili ga izvukli kroz odsisne kanale (ovisno o tipu ventilacije).

Informiranje korisnika u tunelu: Preko RDS sustava (radijske frekvencije) i razglasa unutar tunela emitiraju se upute: "Požar u tunelu, ugasite motore, napustite vozila, pratite svjetleće oznake za izlaz."

Istovremeno se aktiviraju automatski sustavi za gašenje (ako postoje) i podiže se razina pripravnosti dežurnih vatrogasnih postrojbi.

Kod tunela dužih od 5 km, poput Svetog Roka, izazov je enormna masa zraka koju treba kontrolirati usmjeravanjem prema izlazima tunela. Poprečni prolazi za pješake nalaze se svakih 250 m i za vozila (svakih 800 m) povezuju dvije tunnelske cijevi. U slučaju spuštanja rampe na jednoj cijevi, druga cijev služi kao evakuacijski put i za pristup hitnih službi. Precizna koordinacija rampi na oba ulaza osigurava ubrzano pražnjenje cijevi od ljudi i vozila i priprema za siguran prihvat evakuiranih osoba.

Rampa na ulazu u tunel je vizualni simbol prestanka normalnog odvijanja prometa. Iza njezinog spuštanja stoji kompleksna mreža različitih senzora i algoritama čiji je jedini cilj spriječiti veći broj vozila da postanu sudionikom nesreće. Rasvjetni sustavi u tunelima dizajnirani su kako bi osigurali optimalnu vidljivost unutar tunela u različitim uvjetima osvjetljenja. Pri ulasku i izlasku iz tunela, oči vozača trebaju prilagoditi razinu osvjetljenja između svjetline vanjskog okruženja i relativnog mraka u tunelu. Osvjetljenje je postepeno pojačano u ulaznoj zoni (adaptivna rasvjeta) primjenom LED ili natrijeve rasvjete visokog intenziteta. Unutar tunela razina svjetlosti je konstantna i dovoljno visoka za sigurnu vožnju primjenom ravnomjerno raspoređenog osvjetljenja. Sustav automatizacije rasvjete upotrebljava senzore osvjetljenja koji su postavljeni na ulazu i izlazu iz tunela i mjere intenzitet prirodnog svjetla. Sustav automatski prilagođava intenzitet unutarnje rasvjete prema vremenskim uvjetima (sunce, kiša, magla, noć).

Ventilacijski sustav uklanja ispušne plinove, regulira temperaturu i osigurava dovoljan dotok svježeg zraka, posebno u dugim tunelima. Mehanička ventilacija koristi ventilatore za osiguravanje protoka zraka cijelom dužinom tunela gurajući zrak duž osi tunela, osiguravajući izmjenu zraka. Često se koriste u kombinaciji sa sensorima koji prate razine zagađenja (CO, NOx). Kontrola kvalitete zraka koristi senzore koji mjere razinu onečišćenja mjereći koncentraciju ispušnih plinova (npr. ugljičnog monoksida i štetnih čestica). Sustav automatski uključuje ili pojačava ventilaciju ako detektira veće onečišćenje od dopuštenog.

Protupožarna ventilacija aktivira se u slučaju požara i usmjerava dim prema izlaznim zonama. Sustav automatski prebacuje ventilaciju u režim za hitne situacije, osiguravajući veću vidljivost i prohodnost za evakuaciju. Centar za upravljanje i nadzor prati cijeli sustav (rasvjeta i ventilacija) koji je integriran i gdje operateri kontinuirano prate podatke od senzora u stvarnom vremenu te automatski ili ručno prilagođavaju rasvjetu i ventilaciju prema situaciji u tunelu. U slučaju nesreće ili požara aktiviraju se posebni protokoli za spašavanje.

### Slika 1. Rampa\_Tunel

Model rampe i tunela konstruiran je pomoću osnovnih elemenata i građevnih blokova Fischertechnika čiji odabir olakšava izradu funkcionalne konstrukcije primjenjive za učenje algoritamskih rješenja i programskih izazova.

## Rampa i tunel s prometnicom – izrada automatiziranog modela

*Sastavljanje konstrukcije modela Rampe i tunela, povezivanje vodičima s međusklopom, provjera rada spojenih električnih elemenata, dodirnih senzora (izrada programskog rješenja za pokretanje dva elektromotora, dvadeset dvije LED lampice, dva tipkala i magnetskog prekidača).*

Izrada funkcionalne konstrukcije modela omogućena je provođenjem faza spajanja konstrukcijskih elemenata tijekom radnih postupaka prateći listu elemenata Fischertechnika.

### Slika 2. FT\_elementi

Izradit ćemo model rampe i tunela s prometnicom koji ima dvadeset dvije LED lampice (O7, O8), ventilator (M2) i rampu (M1). Automatsko upravljanje rasvjetom u tunelu osiguravaju: dva tipkala (I1, I2) i magnetski prekidač (I8).

Faze izrade konstrukcije modela:

- izrada funkcionalne konstrukcije modela rampe i tunela
- postavljanje rasvjetnih elemenata (LED lampica) i ventilacije na strop

c. postavljanje upravljačkih elemenata (tipkala i magnetskog prekidača)

d. povezivanje električnih elemenata vodičima, međusklopom i izvorom napajanja

e. izrada algoritama i računalnog programa za upravljanje rampom, rasvjetom i ventilacijom.

*Napomena:* Duljinu vodiča sa spojnicama izmjerite i prilagodite u odnosu na poziciju električnih elemenata i senzora od međusklopa. Pozicija međusklopa u odnosu na konstrukciju i izvor napajanja (baterija, U = 9 V) određena je udaljenošću ulaznih i izlaznih elemenata od međusklopa.

## Rampa i tunel s prometnicom – izrada konstrukcije

Inženjerski izazovi: gradivnim elementima izradite funkcionalnu konstrukciju rampe i tunela s prometnicom, rasvjetom u tunelu i ventilacijom. Električne elemente povežite vodičima, međusklopom (sučeljem), izvorom napajanja i računalom.

Slika 3. konstrukcijaA

Slika 4. konstrukcijaB

Slika 5. konstrukcijaC

Slika 6. konstrukcijaD

Slika 7. konstrukcijaE

Slika 8. konstrukcijaF

Osnovnu jedinicu postavite uzduž i okomito na podlogu. U šesti red podloge na lijevu i desnu stranu umetnite crni građevni (30 mm) blok kao nosivu gredu koja osigurava stabilnost konstrukcije tunela i ravnomjeran raspored mase i pozicionirajte uz lijevi i desni rub veliki crni građevni blok koji ima ulogu nosivog potpornog stupa. Iznad njih postavite veliki savitljivi plosnati nosač 120 mm. Kutni element s dva spojnika od 60° umetnite na vrh plosnatog nosača i spojite s drugim kutnim elementom s dva spojnika od 60°. U gornji utor kutnog elementa umetnite mali spojnik i spojite pokrovnu pločicu 15 x 30 x 5 mm s 3 utora. Poziciju dva utora postavite prema gore i u vanjski utor umetnite građevni element 15 x 30 x 5 mm s utorom i jednim spojnikom. Iznad u njegove uture umetnite jednu crvenu ploču 30 x 90 mm sa spojnica koja zatvara vrh tunela i osigurava čvrstoću spojeva ostalih gradivnih i spojnih elemenata konstrukcije. U unutrašnji donji dio konstrukcije na kutni element s dva spojnika od 60° pozicionirajte i spojite pokrovnu pločicu 15 x 30 x 5 mm s 3 utora.

*Napomena:* Dva utora okrenuta prema osnovnoj podlozi omogućuju umetanje dvije LED lampice sa svake strane prometnice.

Slika 9. konstrukcijaG

Spajanje ostalih konstrukcijskih nosivih elemenata tunela izvedite primjenjujući iste faze rada i provjerite čvrstoću svih spojnih elemenata. Udaljenost između nosivih crnih građevnih (30 mm) blokova iznosi jedan red. Broj redova i pripadajućih elemenata odredite proizvoljno ovisno o prostoru na osnovnoj jedinici (podlozi). Nakon sastavljanja osnovne konstrukcije umetnite LED lampice u nosače pokrovne pločice 15 x 30 x 5 mm s 3 utora ispod konstrukcije stropa tunela. LED lampice osiguravaju izvrsnu vidljivost na prometnici čime je povećana razina sigurnosti. Dvadeset LED lampica proizvodi veliku količinu svjetlosti koja omogućava sigurno kretanje vozila brzom prometnicom.

Slika 10. konstrukcijaH

Slika 11. konstrukcijaI

Slika 12. konstrukcijaJ

Završni nosivi luk tunela izradite u produžetku podloge. Na osnovnu jedinicu pozicionirajte sa svake strane veliki

crni građevni blok. Iznad učvrstite veliki savitljivi plosnati nosač 120 mm i na njega umetnite kutni element s dva spojnika od 60°. Iznad plosnatog nosača međusobno spojite dva kutna elementa s dva spojnika. U gornji utor kutnog elementa umetnite mali spojnik i spojite pokrovnu pločicu 15 x 30 x 5 mm s 3 utora. Poziciju dva utora postavite prema gore i u vanjski utor umetnite građevni element 15 x 30 x 5 mm s utorom i jednim spojnikom. Iznad u njegove uture umetnite jednu crvenu ploču 30 x 90 mm sa spojnica koja zatvara vrh tunela i osigurava čvrstoću spojeva ostalih gradivnih i spojnih elemenata konstrukcije. U unutrašnji donji dio konstrukcije na kutni element s dva spojnika od 60° umetnite kutni blok V 15 mm s obje strane luka tunela. Između dva kutna bloka umetnite jedan crni građevni blok 15 mm okomito u odnosu na osnovnu jedinicu i povežite s crnim građevnim blokom s jednim utorom 5 mm. U središnji dio osnovne jedinice umetnite male narančaste spojnike koji odjeljuju dvije trake prometnice unutar tunela. Puna crta dijeli cestu na dva jednaka dijela. Ovim je omogućeno sigurno odvijanje prometa dvjema trakama.

*Napomena:* Nosivi element osigurava spajanje stropne konstrukcije i elektromotora s propelerom koji je dio ventilacijskog sustava tunela.

Slika 13. konstrukcijaK

Slika 14. konstrukcijaL

Slika 15. konstrukcijaM

Slika 16. konstrukcijaN

Osnovnu jedinicu postavite okomito na podlogu. Pozicionirajte s lijeve strane podloge dva građevna elementa s dva spojnika jedan pored drugog. Njihova je uloga osigurati stabilnost elektromotora koji pokreće mehanizam za podizanje rampe. Elektromotor umetnite na građevne elemente s dva spojnika. Getribu s prijenosnim mehanizmom pozicionirajte u utor velikog crnog građevnog elementa i u žlijeb elektromotora. Namjestite zupčanik getribe u krajnji položaj tako da je u dodiru s rotorom elektromotora. Prijenosni mehanizam sa zupčanicima vrši prijenos gibanja tijekom vrtnje elektromotora i usporava njegovu rotaciju. Na drugi kraj zupčanika za getribu umetnite spojnik koji omogućuje spajanje osovine s graničnicima i njenu rotaciju. Ovim je osigurano smanjenje vibracija pri radu oba elektromotora. Postavljanje nosača u ravnini prijenosnog mehanizma getribe iznad građevnog elementa s utorom i spojnikom pričvršćenim na podlogu omogućuje stabilnost elektromotora s getribom tijekom vrtnje. U produžetak spojnika zupčanika getribe umetnite osovinu od 75 mm i spojite osovinu s graničnim elementom.

Pužni vijak provucite i učvrstite na osovinu s dva graničnika koja je pozicionirana u produženom dijelu spojnice na getribi. Pužni vijak je učvršćen za osovinu pomoću stezne matice stegnute navojem koji je smješten na njemu. Osovina prolazi kroz otvore vanjskog zgloba koji je pričvršćen na građevni blok s jednim spojnikom iza elektromotora. Na drugom kraju osovine s graničnicima je učvršćena spojnikom koji osigurava stabilnost pri rotaciji. Umetnite na podlogu mali crni građevni blok sa spojnikom od 15 mm i pozicionirajte ga u ravninu s osovinom s graničnicima. Na njega umetnite vanjski zglob kroz koji ćete provući osovinu i umetnite spojnik na kraj.

*Napomena:* Usporavanje brzine vrtnje pogonskog dijela ostvarujemo redukcijom broja okretaja pogonskog zupčanika s brojem okretaja gonjenog zupčanika.

Reduktor je strojni element koji mehaničkim prijenosom smanjuje brzinu vrtnje pogonskog vratila uz stalnu brzinu vrtnje elektromotora. Pozicioniran je između elektromotora i pogonskog dijela stroja ili vozila. Njegova uloga je da se

tijekom rotacije elektromotora brzina vrtnje, a samim tim i broj okretaja, smanjuje, a zakretni moment se povećava.

Slika 17. konstrukcijaN

Slika 18. konstrukcijaO

Slika 19. konstrukcijaP

Slika 20. konstrukcijaQ

Slika 21. konstrukcijaR

Slika 22. konstrukcijaS

Slika 23. konstrukcijaŠ

Slika 24. konstrukcijaT

Slika 25. konstrukcijaU

Dva velika građevna bloka pozicionirajte jedan nasuprot drugom između pužnog vijka. Na nosive elemente postavite građevne blokove od 5 mm s jednim spojnikom i građevne elemente od 5 mm s dva spojnika. Iznad njih umetnite građevni blok od 15 mm s rupom i dvije spojke. Provucite kroz središte obiju rupa osovinu s dva graničnika od 45 mm i na nju provucite zupčanik, pozicionirajte u položaj koji osigurava interakciju zupčanika i pužnog vijka te ga čvrsto stegnute vijkom leptir-matice. Ovim je osigurana prikladna duljina prepreke kraka rampe koja otvara i zatvara prolaz na kolnik tunela.

*Napomena:* Krak rampe radi na principu poluge. Potrebno je osigurati interakciju prijenosnih elemenata zupčanika i kraka rampe primjenom spojnih elemenata te povezivanje s osovinom.

Umetnite osovinu od 45 mm u provrt zupčanika te ju provucite kroz vanjski zglob. Umetnite na spojnici vanjskog zgloba s rupom crveni građevni element 15 x 30 x 5 mm s utorom i jednim spojnikom. Krajeve osovine osigurajte graničnicima. Osovina s dvije spojke je pozicionirana između zupčanika i stupa te omogućuje rotaciju osovine s dva graničnika. Postupak ponovite s istim elementima na drugom sklopu mehanizma rampe. Pozicionirajte i učvrstite elektromotor u utor crnog građevnog bloka od 15 mm i postavite ga usporedno s podlogom. Umetnite na rotor elektromotora propeler s četiri kraka s osovinom za propeler koja je dio ventilacijskog sustava.

Slika 26. konstrukcijaV

Slika 27. konstrukcijaZ

Slika 28. konstrukcijaY

Slika 29. konstrukcijaX

Slika 30. konstrukcijaW

Slika 31. konstrukcijaQ

Pozicionirajte s lijeve strane elektromotora za podizanje kraka rampe dva građevna elementa s dva spojnika jedan pored drugog i umetnite u njih TXT međusklop. Ovim je omogućen čvrsti spoj i stabilnost TXT međusklopa koji je postavljen na lijevoj strani modela tunela. Pozicija TXT međusklopa olakšava nesmetan pristup USB priključku i bolju preglednost pri spajanju električnih elemenata s digitalnim ulazima i izlazima. Izvor napajanja (bateriju) smjestite iza TXT međusklopa u bočni vanjski utor crnog građevnog bloka od 30 mm. Baterija je smještena iza TXT međusklopa radi lakšeg spajanja s priključnicama vodiča.

*Napomena:* Ulazne i izlazne električne elemente pravilno spojite s međusklopom i provjerite njihov rad s alatom u programu RoboPro.

Slika 32. konstrukcijaXY

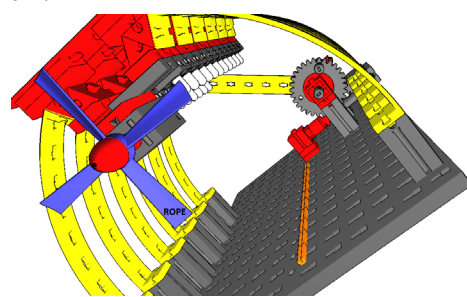
Slika 33. konstrukcijaXW

Slika 34. konstrukcijaXQ

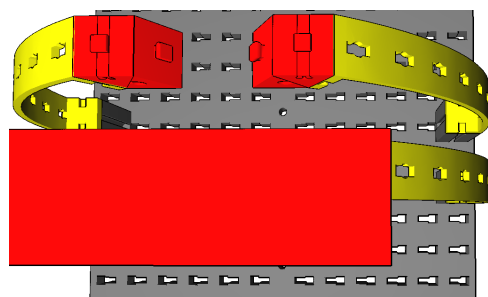
Slika 35. konstrukcijaYW

Oba tipkala umetnite s lijeve strane međusklopa radi lakšeg spajanja na ulaze (I1, I2). U uture međusklopa umetnite dva građevna elementa 15 x 30 x 5 mm s utorom i jednim spojnikom i na njih učvrstite dva dodirna senzora (tipkala) kojima upravljamo rasvjetom i ventilacijom.

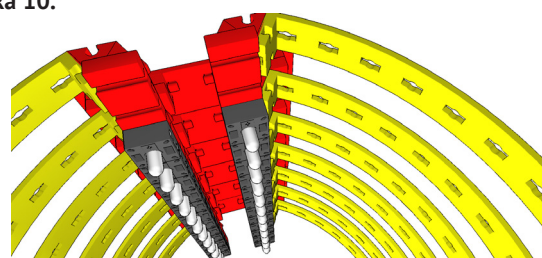
Slika 1.



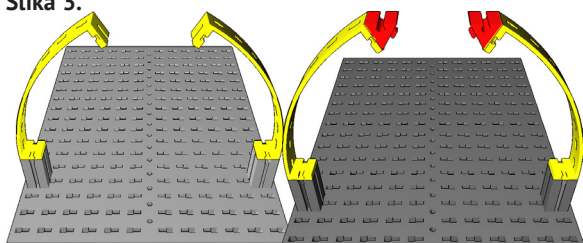
Slika 6.



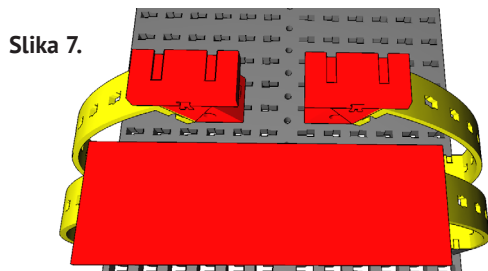
Slika 10.



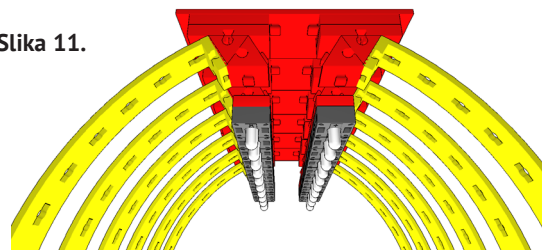
Slika 3.



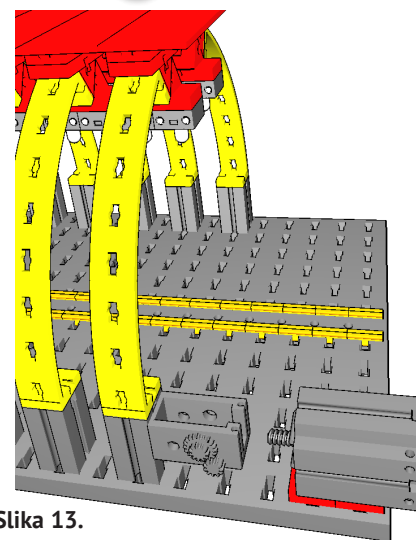
Slika 7.



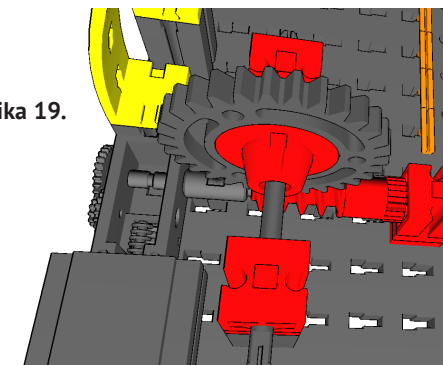
Slika 11.



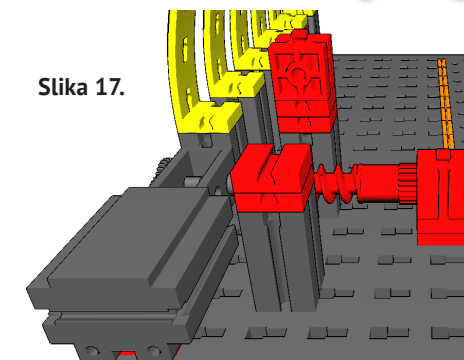
Slika 13.



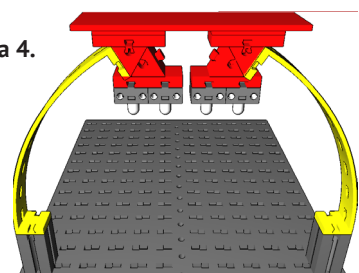
Slika 19.



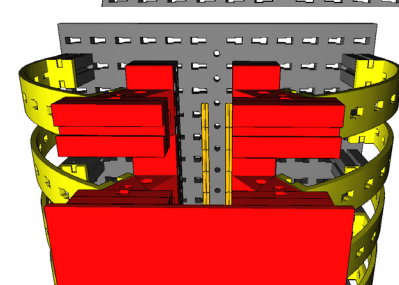
Slika 17.



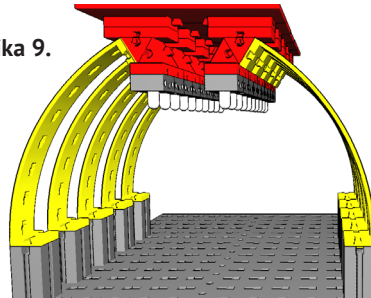
Slika 4.



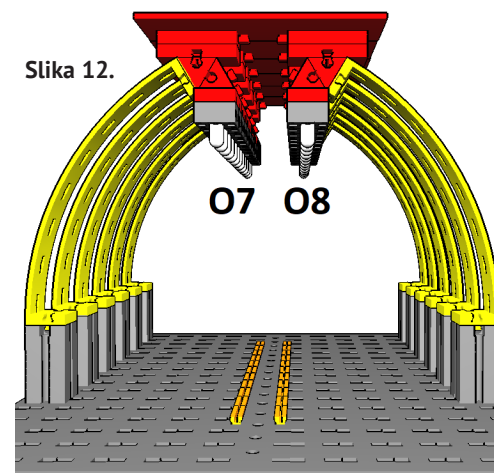
Slika 8.



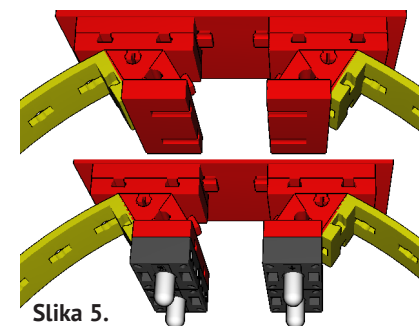
Slika 9.



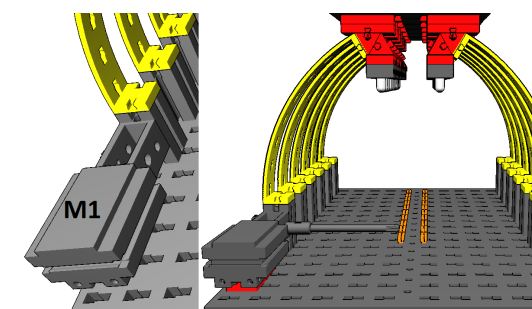
Slika 12.



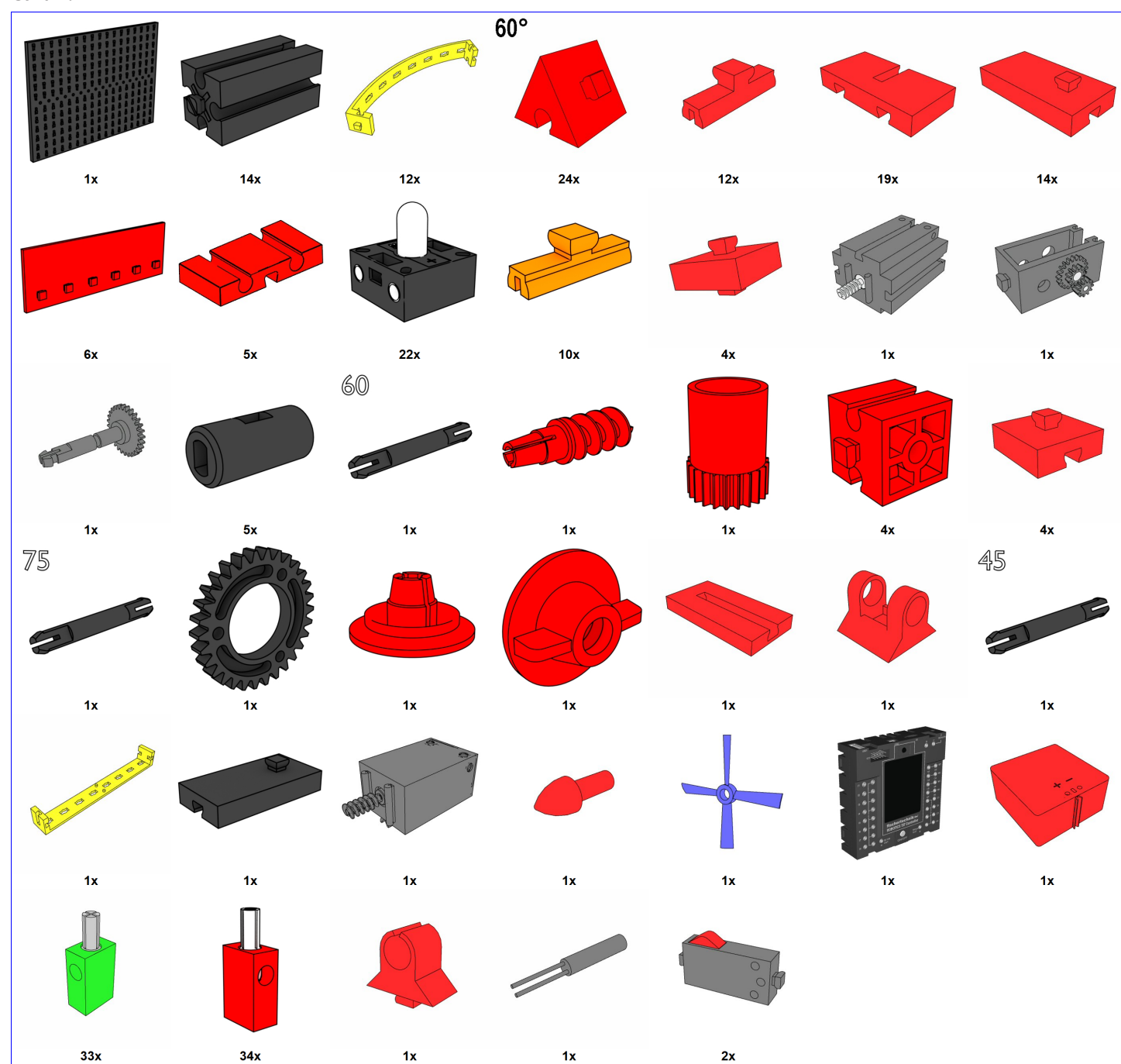
Slika 5.



Slika 14.



Slika 2.



LED lampice spajamo na izlaze (07,08) TXT međusklopa pomoću unaprijed pripremljenih vodiča sa spojnicama. Dvadeset dvije LED lampice međusobno spajamo u seriju sa zajedničkim vodičem koji je umetnut u uzemljenje (zelena spojnica) i u izlaze međusklopa.

**Napomena:** Vodič koji povezuje uzemljenje na međusklopu s LED lampicama osigurava njihov pravilan rad. Zajednički spoj na uzemljenje smanjuje broj vodiča i osigurava bolju preglednost spojeva.

**Slika 36. TXT**

**Spajanje električnih elemenata s TXT međusklopom:**

- a. motor rampe spojite na izlaz (M1)
- b. motor ventilacije spojite na izlaz (M2)
- c. LED lampice spojite na (07, 08) izlaze (crvena) i zajedničko uzemljenje (-, zelena)
- d. senzore dodira (tipkala) spojite na ulaze (I1, I2)
- e. magnetski prekidač spojite na ulaz (I8)
- f. spojite izvor napajanja (baterija U = 9 V) s TXT međusklopom.

**Napomena:** Sva trošila povežite prije spajanja izvora napajanja (baterija).

**Provjera rada trošila provodi se prije izrade algoritma i programa:**

- a. povezivanje TXT međusklopa s računalom, ulazim i izlaznim elementima
- b. provjera ispravnog rada električnih elemenata: dva tipkala, magnetski prekidač, dva elektromotora i dvadeset dvije LED lampice
- c. provjera komunikacije između TXT međusklopa i programa RoboPro.

**Napomena:** Pri povezivanju međusklopa s električnim elementima modela pazite na odabir boja spojnica vodiča, uredan raspored spajanja i optimalnu dužinu vodiča elektromotora, LED lampica, magnetskog prekidača i tipkala.

**Napomena:** Završna kontrola spojeva vodiča nužan je korak prije pokretanja alata za testiranje programa. Ovim provjeravamo ispravnost rada ulaznih i izlaznih električnih elemenata. Uredno postavljanje vodiča u vodilice osigurava preglednost u slučaju kvara pojedinih trošila.

**Slika 37. Rampa\_Tunel1**

**Izrada algoritama i programskih rješenja**

**Zadatak\_1:** Napiši algoritam i dijagram tijeka (program) koji omogućava upravljanje LED rasvjetom i ventilacijskim sustavom na prometnici koja prolazi kroz tunel.

Pokretanjem programa ventilacijski sustav (M2) i LED rasvjeta (07 i 08) su isključeni sve dok glavni inženjer ne aktivira (pritisne) istovremeno oba tipkala (I1 i I2).

Aktivacijom oba tipkala (I1 i I2), uključi se rasvjeta u tunelu koja obasjava obje strane kolnika svjetlošću dvadeset dvije LED lampice (07 i 08 = on). Rasvjeta je uključena neprekidno sve dok ne pritisnemo tipkalo (I1 = 1) i program se zaustavi te isključi LED rasvjetu (07 i 08 = off).

Istovremeno, upravljanje ventilacijom u tunelu omogućeno je tipkalom (I2). Pritiskom tipkala (I2 = 1) uključi se ventilacija u tunelu koja omogućuje brži protok i izmjenu onečišćenog zraka. Ponovnom aktivacijom tipkala (I2 = 1) isključi se ventilacija i program se zaustavi.

**Slika 38. FT\_RT1**

Pokretanjem programa istovremeno se izvršava program koji aktivira LED rasvjetu ili ventilaciju u tunelu.

Potprogram *OUT\_off* isključuje sve izlaze i izvršava se samo na početku pokretanjem programa.

Potprogram *ventilator\_M2* postepeno uključuje motor ventilatora i ubrzava njegovu vrtnju svake sekunde dok ne dostigne maksimalnu brzinu. Ventilacija radi dok ne aktiviramo tipkalo (I2 = 1) i program se zaustavi.

**Zadatak\_2:** Napiši algoritam i dijagram tijeka (program) koji omogućava upravljanje LED rasvjetom i ventilacijskim sustavom na prometnici koja prolazi kroz tunel kao u *Zadatku\_1*. Ako dođe do požara, kvara ili sudara, automatski se aktivira upozorenje dispečeru koji je zadužen za sigurnost. Dispečer zaustavlja promet kroz tunel aktivacijom magnetske kartice (magnetski prekidač, I8 = on) koja spušta krak rampe ispred ulaza u tunel i zaustavlja promet. Rampa je spuštana dok se ne otkloni opasnost i tek tada se uspostavlja nastavak vožnje kroz tunel ponovnom aktivacijom magnetske kartice (I8 = on).

