

MANFRED VOHLA*, ANDREAS SCHÖBEL

HIBRIDNI SISTEMI VUČE ZA ŽELEZNICU CILERTAL U AUSTRIJI

HYBRID TRACTION SYSTEMS FOR THE ZILLERTAL RAILWAY IN AUSTRIA

UDK: 656.2+629.4

REZIME:

Na mnogim sporednim prugama, pa čak i na nekim glavnim železničkim prugama, i dalje se obavlja dizel vuča. Čim su se dizel motori približili kraju svog životnog veka, postavilo se pitanje o alternativnim pogonskim sistemima. To se dogodilo 2017. godine na uskološečnoj pruzi od Jenbaha do Majrhofena u Tirolu, u Austriji. Pokušaj uvođenja vozova na vodonični pogon propao je 2023. godine. Sledeće istraživanje o najprikladnijem dekarbonizovanom snabdevanju energijom za vuču i pomoćnu upotrebu još jednom je pokazalo da samo zajednička i sinhrona optimizacija vozila, infrastrukture i rada vodi do globalnog optimuma. Različiti scenariji su upoređeni i ocenjeni na osnovu tehničkih, komercijalnih i vremenskih faktora. Realizacija električne železnice sa kontaktnom mrežom može izazvati lokalni otpor. Pokazaćemo kako je to rešeno u konkretnom slučaju. Plan mobilnosti sa 18% manje vremena putovanja biće ispunjen na osnovu simulacionog proračuna, a rezultate su već razmotrile lokalne vlasti.

Ključne reči: baterijski hibridni vozovi, elektrifikacija, dizel vozovi

SUMMARY:

Many branch lines and even some main railway lines are still operated with diesel engines. As soon as these engines came close to their end of life, the question about alternative drive systems will come up. This happened in 2017 for the narrow gauge railway from Jenbach to Mayrhofen in Tyrol, Austria. The attempt to introduce hydrogen empowered trains failed in 2023. The following investigation about the best suitable decarbonized energy supply for traction and auxiliary usages taught once again that only the common and synchronous optimization of vehicle, infrastructure, and operation leads to a global optimum. The various scenarios are compared and rated for technical, commercial, and timeline factors. To realize an electric operated railway with a catenary may cause local resistance. We will show how it was solved in the specific case. The mobility plan with 18% less travel time will be fulfilled based on simulation calculation, the results have already been considered by the local authorities.

Keywords: Battery-hybrid-trains, Electrification, Diesel trains

* Manfred Vohla, 1TU Wien, FH Technikum Wien, Austria, manfred.vohla@aon.at

1. POČETNA SITUACIJA

Detaljno istraživanje različitih sistema vuče za železnicu u Cilertalu već je predstavljeno pre godinu dana [1]. Ovde ćemo dati kratak rezime i najnovija ažuriranja ovog tekućeg procesa dekarbonizacije ovih železničkih pruga kao studiju slučaja.

1.1. Period od 1860. do 2018. godine

Železnica do prelepog Cilertala u Tirolu, Austrija, bila je predmet rasprava od kasnih 1860-ih zbog zaista loših prevoznih sredstava. Nakon odluke austrijskog cara 1872. godine da izgradi standardnu kolosečnu glavnu prugu sa dva koloseka od Salzburga do Inzbruka „Gizelaban“ (da bi se zaobišla Bavarska) preko prevoja Hohfilcen i Kicbila, izbegavajući dugačak bazni tunel ispod prevoja Gerlos, Cilertal je ponovo izolovan od svetske mreže železnica.

Lokalne vlasti su iskoristile narednih dvadeset godina za diskusije i 1892. godine osnovale su „železnički komitet“ kako bi rešile problem transporta. Zbog hroničnog nedostatka sredstava, doneta je odluka da se izgradi uskokolosečna pruga po nacionalnom standardu koloseka od 760 mm, tzv. „bosanskom koloseku“, potpuno kompatibilnom sa svim ostalim uskokolosečnim prugama u Austrijskoj monarhiji. Ovo je bilo vođeno samo troškovima, jer topografija Cilertala nije zahtevala ni tunele ni uske krivine, a dva glavna mosta su bila projektovana za teške terete za prevoz teretnih vagona standardnog koloseka.

Koncesija je odobrena 2. decembra 1899. godine, građevinski radovi su počeli 1900. godine, a 31. jula 1902. godine pruga je konačno otvorena (31,7 km, jednokolosečna). Vuču su obavljale razne parne lokomotive. Godine 1967, Cilertalban je kupio prvi putnički voz na dizel motor koji se sastojao od dva električna tramvajska vagona od 750 V jednosmerne struje iz 1954. godine, nemačkog tipa ET195.

Godine 1967, ova kompozicija je stigla u Cilertal i preuređena je na kolosek od 760 mm. Bio je to prvi putnički voz na električni pogon. Bio je u upotrebi

do 1997. godine (videti sliku 1).



Slika 1. Prvi električni voz u Cilertalu, pokretan dizel generatorskim vagonom 1967 © 1980 wikipedi-ja, prvobitno je saobraćao u Ravensburgu. Nakon obustave rada tamo, došao je u RTM (Roterdamski tramvajski voz Maatšapij), gde je dodat srednji dizel generatorski vagon da bi radio bez kontaktne mreže. Širina koloseka je promenjena sa 1000 mm na 1067 mm.



Slika 2. Cilertalov voz sa tri vagona, pokretan dizel lokomotivom © MfV, 240315_1243

Početkom 1980-ih, Cilertalban je počeo da kupuje nove dizel-električne vagona. 7 vagona, 2 vagona sa kabinom i 5 putničkih vagona pušteno je u rad do 1998. godine. Vidi sl. 2.

Od 2004. do 2009. godine naručene su 4 nove dizel-hidraulične lokomotive, 5 putničkih vagona i 3 vagona sa kabinom, a još jedan vagon iz salcburškog Pincgaubana stigao je 2013. godine. 2018. godine, bila je dostupna flota od 6 kompletnih dvotaktnih vozova, svi na dizel pogon. 2018. godi-

ne, najstariji vagon je imao 34 godine i zamena je postala hitna. Vidi sl. 3.



Slika 3. Cilertalov voz sa 3 vagona, pokretan dizel lokomotivom © MfV, 240315_1326

1.2. Period od 2018. do 2025. godine

Razmišljajući o potpunoj zameni zastarelog voznog parka, ideje za izbor vozova na dizel pogon više nisu bile zadovoljavajuće. Nove mogućnosti su počele da se otvaraju zahvaljujući raznim test motorima kao što su lokomotive i vagoni standardnog koloseka:

- pogoni na gorivne ćelije,
- pogoni na baterije,
- potpuno električni pogoni (konvencionalni).

Pri čemu je ova uobičajena reč „pogoni“ malo netačna, sva tri tipa imaju električne pogonske motore. Razlika je u tome odakle dolazi električna energija.

U prvom i drugom slučaju, električna energija se skladišti unutar voza, bilo u obliku tečnog vodonika (350 ili 700 bara) ili u obliku baterija (približno 9 metričkih tona za jednu vožnju u jednom smeru) ili u trećem slučaju izgradnjom kontaktne mreže duge 31,7 km (približno 45 km ukupne dužine kontaktne mreže i nekoliko trafo stanica).

Plan je da se Cilertal promoviše kao region inovacija korišćenjem jeftine električne energije tokom noćnih sati u Majrhofenu, kraju pruge. Dakle, odluka je doneta u korist korišćenja vodonika, lokalno proizvedenog zelenom elektrolizom tokom noći. Izvesna prekomerna proizvodnja vodonika trebalo bi da

se koristi i za autobuse na vodonik i ratare.

Ovo je bila pametna odluka s obzirom na znanje iz 2018. godine.

Ali ništa se nije dogodilo. Ugovori su pripremljeni, ali vozovi konačno nisu naručeni, elektrolizeri nisu izgrađeni. Stajati mirno. Ali stanovništvo i lokalni gradonačelnici su bili osetljivi da novoj pruži Cilertalban neće biti potrebna kontaktna mreža, jer bi uništila prelep pejzaž. Važno je znati ovu kontradikciju, jer se tvrdilo da je kontaktna mreža nemoguća u budućnosti. Početkom leta 2023. godine, političke stranke u opoziciji prema lokalnoj vlasti tvrdile su da će vozovi na gorivne ćelije prouzrokovati mnogo veće operativne troškove (zbog loše efikasnosti) proračunate tokom narednih 30 godina. Takođe, ideja sa ratarima je testiranjima odobrena kao neprimenljiva, jer prilično osetljive gorivne ćelije ne vole bočna kretanja i nagibe u planinama. Takođe, tehnologija autobusa je postigla veliki napredak, a probne vožnje između Majrhofena (633 m nadmorske visine) i Hintertuksa (1501 m) dovele su do odluke da se naruče ekološki prihvatljivi autobusi na baterije, koji rade „bolje nego što se očekivalo“ i postali su – nakon nekih dečjih bolesti u sistemu grejanja – veoma zadovoljavajući.

Konačno, lokalna samouprava je 2023. godine naručila novu studiju za dekarbonizaciju Cilertalbana, koju je realizovao Tehnički univerzitet u Beču [2].

Ovaj dugačak uvod je neophodan da bi se razumelo zašto ovaj „jednostavan“ projekat dekarbonizacije postaje toliko komplikovan i zašto je potrebno toliko diskusija. Nažalost, dug period diskusija uzrokuje izuzetno visoke dodatne troškove za održavanje postojećeg voznog parka u funkciji.

2 REZULTATI POREĐENJA RAZLIČITIH SISTEMA NAPAJANJA

U 2023. i 2024. godini, kada je sačinjena studija Tehničkog univerziteta u Beču [2], tehnologija je napredovala i ÖBB (Österreichische Bundesbahnen) [3] i železnička industrija prikupila je mnogo iskustva sa test vozilima.

2.1 Scenariji

Istraženo je šest scenarija, mnogo više nego 2018. godine, i svi koriste elektromehaničke pogone sa asinhronim motorima i invertorima [2]:

- Sc. 0: Dizel-električna motorna lokomotiva (DEMU) – za referencu,
- Sc. 1: Električna motorna lokomotiva (EMU) – zahteva kontaktnu mrežu na celoj deonici,
- Sc. 2: Vodonična električna motorna lokomotiva (HEMU) – originalni predlog,
- Sc. 3: Baterijska električna motorna lokomotiva (BEMU) – sa punjenjem na kraju linije,
- Sc. 4: BEMU-hibrid (BEMU-hi) – zahteva delove nadzemne kontaktne mreže,
- Sc. 5: BEMU-optimizovano (BEMU-hi-opt) – baterije višeg nivoa i razni kratki delovi kontaktne mreže (a takođe i skup podscenarija).

Konfiguracija voza je normalizovana kako bi se različiti koncepti mogli uporediti.

Elektromotorni pogonski sistemi sa rotirajućim (asinhronim) motorima su nesumnjivo najbolji tehnički izbor. Nije tako jasan odgovor, gde će se električna energija generisati: u vozilu ili stacionarno pored pruge. Vozilo ili infrastruktura? Skladištenje i proizvodnja u vozilu zahtevaju ili baterijske pakete ili rezervoare vodonika i paket gorivnih ćelija unutar voza. Stacionarno napajanje zahteva prenos energije do voza putem lokalne nadzemne kontaktne mreže ili njihove kombinacije. Glavne tehničke razlike su ukupna masa voza, broj preostalih sedišta (što znači: kapacitet), možda stope ubrzanja, gubitak vremena za punjenje ili uzimanje goriva, ali i ukupni troškovi, vreme do dostupnosti i troškovi prilagođene infrastrukture. Tabela 1 daje pregled glavnih parametara.

Tabela 1. Glavni parametri izračunatih slučajeva [1, 2]

	DEMU	EMU	HEMU	BEMU	BEMU-hy	BEMU-hy-opt
Broj kola	4	3/4	4	3/4	3/4	3/4
Dužina voza [m]	68,5	3: 57,8 4: 76,4	76,4	3: 56 4: 75,5	3: 56 4: 75,5	3: 56 4: 75,5
Broj putnika [sedišta]	323	3: 303 4: 413	373	3: 278 4: 392	3: 278 4: 392	3: 278 4: 392
Ukupna masa voza sa teretom [t]	151.4	118.4	164	121.2	122.2	120.3
Vučna težina (adhezija) [t]	58.0	88.0	90.4	86.0	87.0	85.1
Maksimalna brzina u eksploataciji [km/h]	80	100	100	100	100	100
Vučna snaga na točku [kW]	500	1400	1400	1400	1400	1400
Kapacitet baterije [kWh]	-	-	310	650	325	264
Maksimalno usporenje [m/s^2]	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Maksimalno ubrzanje [m/s^2]	0.65	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Dugoročno gledano, dvostruka vuča deset vozničkih jedinica sa tri vagona u špicu, kada je to potrebno, mnogo je efikasnija u poređenju sa šest vozničkih jedinica sa četiri vagona (prvobitno samo pet), čak i ako se glavni peroni moraju produžiti sa 80 m na 120 m. Ovo nije samo mnogo fleksibilnije u radu, već je i otpornije na sudar na jednom od preko 60 pružnih prelaza ili druge nesreće. Ovih deset vo-

znih jedinica sa tri vagona mogu se naručiti u dve serije, i to u prvom šest garnitura, a kasnije četiri garniture.

Predložena električna oprema duž pruga biće spremna da napaja voz sa dvostrukom vučom na svakoj deonici za svaki smer pri punom ubrzanju, istovremeno zadovoljava potrebe u špicu.

2.2 Procene i rangiranje

Dinamika vožnje različitih koncepata vozova i njihovi pozitivni rezultati u simulacionim proračunima osnovni su zahtevi za prihvatanje.

Vremenski raspored je obavezan kriterijum. Vozovi moraju imati ubrzanje i kočenje od 1,0 m/s² da bi ispunili zahteve za vreme rada od 45 minuta od početka do kraja (danas 55 minuta) [4]. Potrošnja energije vuče povezana je sa kasnijim troškovima rada, pri čemu se uzimaju u obzir samo različiti troškovi u odnosu na različite scenarije uopšte, ali nikada ukupni troškovi. Dakle, uzimaju se u obzir samo različiti sistemi snabdevanja energijom i njihovi različiti stepen efikasnosti, ali ne i troškovi za mašinovođu, konvencionalno održavanje ili čišćenje. Oni su nezavisni od različitih koncepata vozova. Glavni kriterijumi na koje se fokusiralo na osnovu [5] i [6], kao i [7-9] bili su:

- troškovi voznog parka,
- troškovi održavanja voznog parka,
- troškovi infrastrukture,
- troškovi održavanja infrastrukture,
- troškovi planiranog rada.

Ovi troškovi planiranog rada podeljeni su u četiri glavne grupe [2] [5] [8, 9]:

- troškovi osnovne energije,

- poseban porez na emisiju CO₂ (ili ekvivalentne mere),
- troškovi planirane, periodične zamene konceptualno specifičnih komponenti (npr. baterije za vuču, vodonične gorivne ćelije itd.),
- troškovi premije rizika (od strane dobavljača)

Troškovi za energiju za vuču, kao i specifične pomoćne komponente sistema vuče su navedeni u prvoj tački. Oni su najvažniji i najčešće ponavljani faktor zbog 30 godina rada i utiču na troškove po voznom kilometru. Oni su ključni za marginalne troškove železničkih usluga u vremenima male potražnje.

- Tri glavna kriterijuma za procenu definisana po opadajućem značaju [2] su:
- različiti troškovi redovnog rada [evra/voznom kilometru],
- različiti ukupni troškovi (u evrima/voznom kilometru),
- različiti ukupni troškovi (u evrima-centima/se-dište kilometru).

Treći kriterijum razmatra različite potrebe za prostorom za dodatnu energetska opremu unutar karoserije vagona. Pretpostavljeni i korišćeni parametri ovog modela upoređivanja proračuna analizirani su analizom osetljivosti, videti Tabelu 2.

Tabela 2. Modifikacije i trendovi različitih troškova kao rezultat analize osetljivosti za kriterijume za procenu 1 [2]

	DEMU	EMU	HEMU	BEMU	BEMU-hy	BEMU-hy-opt
Referentna tačka (osnovni proračun)	2,49	1,09	6,94	1,88	1,43	1,30
Investicija u kontaktnu mrežu (cena samo 50%)	2,49	1,09	6,94	1,88	1,43	1,30
Primarna energija (cena 200%)	2,49	2,17	11,49	3,26	2,70	2,47
Dvostruka vuča u špicu	2,50	1,09	7,09	2,21	1,55	1,41
Interval od 15 minuta (umesto intervala od 30 minuta)	2,50	1,09	6,32	1,96	1,47	1,34
Niska cena H ₂ (poseban ugovor)	2,49	1,09	3,78	1,88	1,43	1,30
Pogled od pre 60 godina (2. generacija vozova)	2,50	1,09	6,94	1,88	1,43	1,30
Prosek	2.49	1.17	7.07	2.13	1.64	1.49
	214%	100%	606%	183%	140%	128%

Tabela 2 prikazuje jasno najbolji scenario uzimajući u obzir današnji i budućii red vožnje, uzimajući u obzir prvi glavni kriterijum, različite operativne

troškove po voznom kilometru [2, str. 87]:

1. EMU,
2. BEMU-hi-opt,

3. BEMU-hi,
4. BEMU,
5. DMU,
6. HEMU.

Po drugom i trećem kriterijumu, redosled se može neznatno da se promeni zbog vaćih investicionih troškova za kontaktnu mrežu. Ali u analizi osetljivosti, slićno kao što je prikazano u Tabeli 1, postaje jasno da bilo kakva dodatna usluga u poređenju sa današnjim redom voćnje znaći intenzivnije korišćenje infrastrukture koje će podržati ovaj rang.

Pošto kontinuirana kontaktna mreža više nije bila primenljiva iz politićkih razloga (poglavlje 1.1), šansa za 2018. godinu je nestala (znanje je bilo dostupno od 2014. [4]), drugo najbolje i danas najbolje rešenje BEMU-hi-opt detaljno je istraćeno u drugoj studiji [10].

3. IZAZOVI KONTINUIRANE KONTAKTNE MREŽE

Na osnovu [2] i izabranog koncepta BEMU-hy-opt, bilo je potrebno detaljnije istraćivanje, koje je sprovedla građevinska firma Actes Bernard [10]. Specifikacija je imala dve faze, a glavni rezultati iz [2] su nezavisno potvrđeni.

Prvobitno, elektroenergetski sistem nije bio konaćno definisan. Četiri najverovatnija i najstandardizovanija sistema bila su:

- 1.500 V DC,
- 15 kV 16,7 Hz AC,
- 15 kV 50 Hz AC,
- 25 kV 50 Hz AC.

Tokom istraćivanja, eliminisani su sistemi 15 kV 16,7 Hz i 25 kV 50 Hz, jer nisu imali ozbiljne razlike u poređenju sa druga dva AC sistema u pogledu infrastrukture. Izolaciona rastojanja ostaju nepromenjena prema mećunarodnim standardima. Za vozila, 50 Hz je bolje od 16,7 Hz (lakši transformatori) i jednosmerna struja je bolja od naizmenićne (bez transformatora), ali samo da bi

se podržala sinergija sa drugim uskokolosećnim železnicama u Salzburgu, Štajerskoj i Donjoj Austriji, jednosmerna struja je kasnije odbaćena. Stoga, glavni sistem istraćivanja ostaje 15 kV 50 Hz naizmenićne struje.

3.1 Faza 1 – tehnićka izvodljivost

U Fazi 1, cela linija od 31,7 km je podeljena na deonice dućine 200 m. Svaka deonica je ispitana da bi se ispunilo 6 kategorija:

- 0. Izvodljivo (bez ikakvih ogranićenja),
- 1. Izvodljivo (prelazak preko strane infrastrukture (kablovi, gasovodi), vegetacije, zahteva veću paćnju u planiranju, ali bez znaćajnih ogranićenja ili troškova u realizaciji),
- 2. Izvodljivo (neka ogranićenja, zahteva dodatna ulaganja ili odobrenja, može zahtevati prilagoćavanje strane infrastrukture,
- 3. Tehnićki izvodljivo, neke neizvesnosti, može prouzrokovati kašljenje ili znaćajne dodatne troškove,
- 4. Tehnićki izvodljivo, veliki napor ili izuzetno visoki troškovi i kašljenje,
- 5. Nije izvodljivo.

Da bi se proverila pruga, uraćeno je detaljno istraćivanje na lokalnim mapama, rutama pruge dobavljaća infrastrukture i foto dokumentovana voćnja voza (oko mašinovoće) u oba smera. Rezultat je bio zadovoljavajuć:

0	24%	2,	11%	4	0%
1	62%	3	3%	5	0%

86% pruge može da nosi kontaktnu mrežu bez ikakvih problema, 97% uz dodatni napor u planiranju i odobravanju. Samo 3% ili taćno 4 lokacije zahtevaju dodatno odrćavanje. Oni su:

- Podvoćnjak drćavnog autoputa A12 dućine 40 m na km 1+400 ogranićene je visine, posebno za prevoz teretnih vagona standardnog koloseka na uskokolosećnu prugu. Spuštanje pruge nije moguće, jer se pored podvoćnjaka nalazi most preko reke In. Promena profila slobodnog hoda za teretne vagone sa tipa G2 (4650 mm) na tip G1 (4280 mm) pomaće. Vidi sliku 4.



Slika 4. Podvožnjak državnog autoputa A12 na km 1+400 © MfV, 240315_1338

- Podvožnjak dužine 13 m na glavnom putu B169 u Cilertalu u km 2+800, veoma je blizu severnog portala tunela Bretfal dugog 1336 m. Pruga se može spustiti za približno 0,5 m. Vidi sliku 5.



Slika 5. Podvožnjak B169 u km 2+800 © MfV, 240315_1336

Podvožnjak visokonaponskih vodova 220 kV kompanije APG (Austrijska elektroenergetska mreža) između km 30+600 i 30+800, gde najveća visina pod najgorim uslovima nije dovoljna da ispuni zahteve za izolaciju od kontaktne mreže od 15 kV. Ovde se kontaktna mreža može ogoliti, ali mora biti uzemljena.

Podvožnjak visokonaponskog voda 110 kV kompanije APG između km 30+800 i km 31+000. Izve-

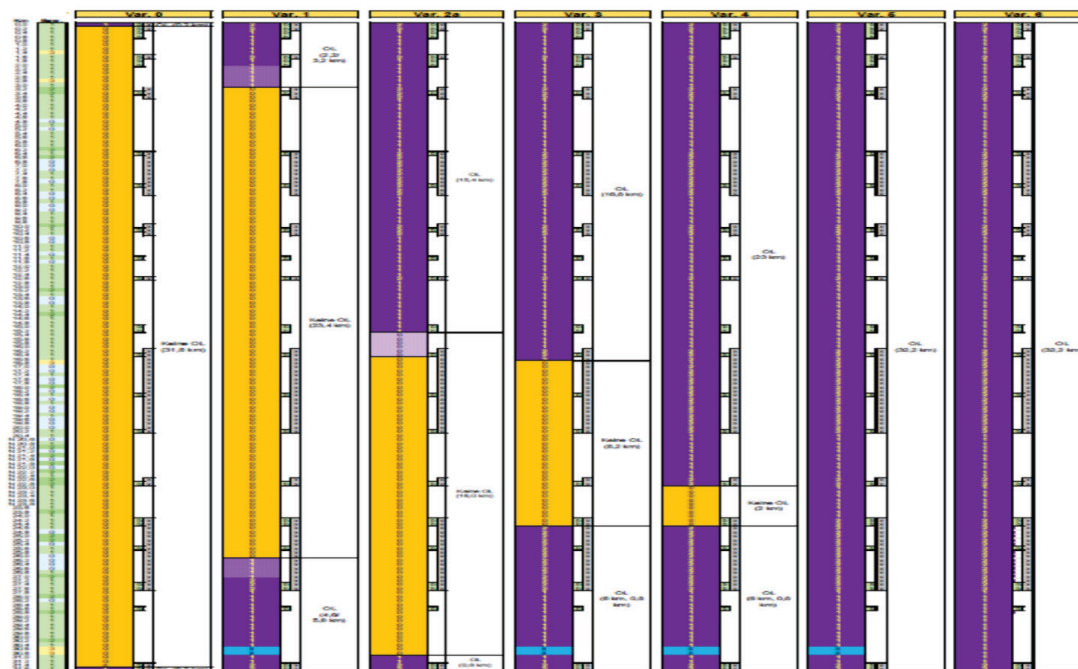
dena Rešenja mogu da se vide gore na slikama 5. i 6.

Konačno, postoji jasan rezultat: cela linija može biti elektrifikovana konvencionalnom kontaktnom mrežom. Da bi se rešio problem politički motivisanog mišljenja protiv ružnih stubova kontaktne mreže (postoje neki zaista loši primeri u Tirolu koje je izgradila ÖBB infrastruktura, tako da je nezadovoljstvo razumljivo), prvo su započeta istraživanja kako bi se minimizirala visina stubova i koristili lokalni materijali umesto betonskih stubova. Ovo je tekući inovativni proces i još nije završen.

3.2 Faza 2 – predložene deonice

U Fazi 2, studija [10] istražuje najbolje lokacije za deonicu kontaktne mreže, prateći predlog studije [2] koristeći vozove sa hibridnim baterijama. Optimizovana verzija zahteva približno 50% kontaktne mreže kao optimalnu veličinu baterije, ponašanje ubrzanja i minimalnu dodatnu masu i troškove za baterije i kontaktnu mrežu.

Optimizovana verzija zahteva približno 50% kontaktne mreže na slobodnoj liniji kao optimalnu veličinu baterije, ponašanje pri ubrzanju (brzina praznjenja baterija tokom ubrzanja u najgorim uslovima) i minimalnu dodatnu masu i troškove za baterije i kontaktnu mrežu. Ispitivano je sedam scenarija (videti Sl. 6), od punjenja samo preko kontaktne mreže u terminalnim stanicama u mirovanju (Var. 0) do pune kontaktne mreže (Var. 6). Var. 0 predstavlja BEMU, a Var. 6 EMU radi poređenja. Različite varijante nisu predmet ovog rada; Sl. 6 samo će dokumentovati vrstu pristupa. Najbolja je Verzija 2a, koja, takođe, ima samo dve deonice. Prva deonica veoma je kratka i njena dužina iznosi samo 0,8 km u Majerhofenu, pri čemu se izbegavaju podvožnjaci visokonaponskih linija. Druga deonica je dužine 16,5 kilometara ona se nalazi u blizini grada Jenbaha.



Slika 6. Varijante deonice kontaktne mreže od Varijante 0 do Varijante 6, ljubičasta = kontaktna mreža, žuta = baterija, Jenbah na vrhu, Majrhofen na dnu, svetlo ljubičasta = samo za 1,5 kV DC, siva = dvokolosečna deonica. Predložena Varijanta 2a je treća kolona s leva [7]

4 STVARNO STANJE I IZGLED

Glavna istraživanja za dekarbonizaciju austrijske CilertalBahn pruge završena su, tehnička izvodljivost je odobrena i prihvaćen koncept sa 50% kontaktnom mrežom od 15 kV 50 Hz AC i baterijsko-hibridnim voznim garniturama. Glavni parametri vozova su specificirani, kontaktna mreža je izvodljiva duž cele linije, a podstanice za napajanje su definisane. Troškovi investicija za vozila i za kontaktnu mrežu i podstanice odobreni su. Vozovi imaju duže vreme isporuke od kontaktne mreže, tako da su njihova specifikacija i tender hitni kao sledeći korak. Kontaktna mreža biće detaljno isplanirana nakon naručivanja voza.

LITERATURA

- [1] Vohla M., Schöbel A., Rüger B.: Analysis of Different Traction Systems For The ZillertalBahn, Proceedings of CETRA Conference 15.-17.05.2024., 75-81, (2024) <https://doi.org/10.5592/CO/CETRA.2024.1621>.
- [2] Vohla, M., Emberger, G., Rüger, B.: Bewertung unterschiedlicher Konzepte zur

Dekarbonisierung der ZillertalBahn in Tirol, Wien, Vienna University of Technology, 03/2024.

- [3] Tisch, H., Gerstenmayer, T.: Hybrid Rail Systems, ÖBB, FHTW, 18.09.2023.
- [4] Schöbel, A., Schreiner, H., Baltram, S.: Design of Railway Infrastructure with OpenTrack in Austria, 7th International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA 2022, Pula, Croatia, 11-13 May 2022.
- [5] Rippert, J., Vohla M.: Konzepte für emissionsfreien Personenverkehr auf nicht elektrifizierten Zahnradbahnen, Masterarbeit, Wien, FHTW, 21.5.2003.
- [6] Vohla M., Rippert J.: Konzepte für emissionsfreien Personenverkehr auf nicht elektrifizierten Zahnradbahnen, Presentation, Wien, St. Pölten, 12.07.2023.
- [7] S. Jesper, Bewertung alternativer Antriebskonzepte für Schienenfahrzeuge des Personennahverkehrs bei Einsatz auf nicht- oder teilweise elektrifizierten Strecken in Österreich, Masterarbeit, Wien, FHTW, 15.09.2021
- [8] M. Spreitzer, Erarbeitung eines Nachhaltigkeitskonzeptes durch Dekarbonisierung aktueller

Bestandsfahrzeuge unter Berücksichtigung bestehender Infrastruktur in Norwegen, Masterarbeit, Wien FHTW, 19.09.2022.

- [9] M. Vohla und M. Spreitzer, Erarbeitung eines Nachhaltigkeitskonzeptes durch Dekarbonisierung aktueller Bestandsfahrzeuge unter Berücksichtigung bestehender Infrastruktur in Norwegen (Vortrag ÖVG), Wien: FHTW, 20.12.22 / 26.01.2023
- [10] Jorthan S., Forthuber, S., e.a.: Variantenprüfung für Lade- und Versorgungseinrichtungen der Zillertalbahn, Studie für das Land Tirol, Actes Bernard Gruppe, Wien, 05. 05. 2025.