



ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Semestralni rad iz predmeta Električna vozila

Japanska MAGLEV železnica

Studenti:

Antić Radoslav 72/03

Lazić Đorđe 518/01

Beograd, januar 2008.

Sadržaj

Sadržaj.....	- 2 -
1. Uvod.....	- 3 -
2. Istorijski pregled	- 4 -
3. Pregled Maglev test vozova	- 6 -
3.1. ML-500 test vozilo.....	- 6 -
3.2. MLU001 test vozilo	- 6 -
3.3. MLU002 test vozilo	- 8 -
3.4. MLU002N test vozilo	- 9 -
3.5. MLX01 test vozilo	- 10 -
4. Maglev Test Pruge	- 13 -
4.1. Miyazaki Maglev test pruga.....	- 13 -
4.2. Yamanashi Maglev test pruga.....	- 14 -
5. Princip rada	- 18 -
6. Zaključak.....	- 21 -
7. Literatura.....	- 22 -

1. Uvod

MAGLEV ili "magnetic levitation" (magnetska levitacija) je potpuno novi pristup u pokretanju električnih vozila. Kako je za potrebe razvijanja velikih brzina potrebno smanjiti otpore kretanja a istovremeno povećati vučnu silu motora, inženjeri su pristupili rešavanju ovog problema. Posebnu pažnju je trebalo obratiti na stalne otpore kretanja (u ležajevima, usled kotrljanja pogonskog točka i usled otpora vazduha) i na povremene otpore kretanja (otpore u krivini i otpore pri usponu). Otpor vazduha je umanjen time što su vozila konstruisana tako da budu aerodinamičkih oblika i malih koeficijenta trenja u odnosu na vazduh. Rešenje za ostale otpore je viđeno u primeni magnetne levitacije, pri čemu ne postoji kontakt između voza i podloge pa samim tim nema ni sile trenja u ležajevima točka i trenja usled kotrljanja. Takođe veliki problem konvencionalnog pokretanja vozila predstavlja atezija koja nam ograničava vučnu silu koju možemo primeniti na vozilo i karakteristiku motora koju moramo imati u vučnom vozilu. Usled atezije vozilo mora imati tvrdi mehaničku karakteristiku pri polasku da ne bi došlo do proklizavanja. Za brze vozove koji se pokreću na konvencionalan način potrebno je i do 50 km da bi se ubrzalo od 0 do 300 km/h. Pošto kod magnetske levitacije ne postoji ograničenje atezije ubrzanje od 0 do 300 km/h može se postići u prvih 5 kilometara.

Maglev tehnologija poznata je već dugi niz godina. Patent na nju su dobila dva Amerikanca u oktobru 1969 godine ali prepreku daljem i razlog sporog razvoja ovog tipa prevoza predstavljale su loše karakteristike postojećih materijala i slabo, za potrebe MAGLEV-a, razvijena precizna elektronika tog vremena.

Prva svetska "pruga" na bazi magnetne levitacije koja je korišćena u komercijalne svrhe je izgrađena u Birmingham-u u Velikoj Britaniji 1985 godine. Bila je duga 600 metara i povezivala je aerodrom sa obližnjom železničkom stanicom. Mali šatl je levitirao na visini od 15 milimetara. Ipak zbog brojnih problema posle 11 godina zamenjen je običnim vozom.

Do sada najviše uspeha u uzgradnji konvencionalne MAGLEV pruge je imao nemački Transrapid koji je zaslužan za izgradnju Šangajske pruge dužine 30 kilometara koja povezuje centar Šangaja i novi šangajski aerodrom u Pudongu. Maksimalna dostignuta brzina na ovoj pruzi iznosi 501 km/h. Do 2010 planirano je produženje ove pruge na oko 160 km. To je do danas ostala jedina konvencionalna pruga sa MAGLEV tehnologijom u svetu.

Najviše uspeha u razvoju MAGLEV tehnologije imale su Nemačka i Japan. Japan kao jedna od vodećih tehnoloških sila sveta sa velikim brojem gusto naseljenog stanovništva ulaže ogromna sredstva u razvoj brzog i efikasnog prevoza. Istraživanja u Japanu u ovoj oblasti počela su još 1970 godine. Japan danas drži svetski rekord koji je postignut na jednoj pruzi i on iznosi 581 km/h. Postignut je 2 decembra 2003 godine.

2. Istorijski pregled

- **1970** - Formalni početak istraživanja elektro dinamičkih sistema levitacije koji koriste superprovedne magnete.
- **1972** - Test vozilo (LSM200) sa pogonom sa linearnim sinhronim motorom (LSM) uspešno je prošlo levitacioni test
 - Test vozilo (ML100) sa pogonom sa linearnim indukcionim motorom (LM) uspešno je prošlo levitacioni test
- **1975** - Test vozilo (ML100A) sa pogonom sa linearnim sinhronim motorom (LSM) uspešno je izvršilo perfektno beskontaktno kretanje
- **1977** - Otvoren Miyazaki test centar i izvršena prva test vožnja vozila ML-500 sa takozvanom T prugom.
- **1979** - Simulirana vožnja kroz tunel vozila ML-500
 - Ostvarena vožnja sa helijumskim hlađenjem na vozilu ML-500R
 - Postignuta brzina od 517 km/h
- **1980** - Počinju testovi na vozilu MLU001 i ugradnja pruge tipa U u Miyazaki test centru
- **1981** - Počinju testovi voza sa 2 vagona
- **1982** - Počinju testovi voza sa 2 vagona sa putnicima
- **1986** - Voz sa 3 vagona dostigao je brzinu od 352,4 km/h
- **1987** - Voz sa 2 vagona bez putnika postigao je brzinu od 405,3 km/h
 - Voz sa putnicima dostigao brzinu od 400,8 km/h
 - Počinju testovi na vozilu MLU002
- **1988** - Uspešno izvršen test sa skretnicom u stanici
- **1989** - Testirane vazdušne kočnice na vozilu MLU001
 - Postignuta brzina od 394 km/h pomoću vozila MLU002
- **1990** - Započeti testovi na prvoj pokretnoj skretnici
 - Proslava početka izgradnje Yamanashi Maglev test pruge
- **1991** - Započeti testovi na vozilima sa bočnom levitacijom
 - Započeti testovi na vozilima koji se napajaju energijom iz invertora
 - MLU002 izgoreo u incidentu sa vatrom
- **1993** - Započeti testovi na vozilu MLU002N
- **1994** - Test vozilo MLU002N dostigao brzinu od 431 km/h
- **1995** - Test vozilo MLU002N sa putnicima dostiglo brzinu od 411 km/h
- **1996** - Otvorena Yamanashi Maglev test pruga
 - Započeti testovi vozila MLX01 sa vučnom lokomotivom
- **1997** - Započeti testovi vozila MLX01 na Yamanashi Maglev test pruzi
 - Vozilo MLX01 sa putnicima dostiglo brzinu od 531 km/h
 - Vozilo MLX01 bez putnika dostiglo brzinu od 550 km/h
- **1998** - Izvršeni testovi mimoilaženja vozova pri relativnoj brzini od 966 km/h
- **1999** - Vozilo MLX01 sa 5 vagona dostigao brzinu od 548 km/h
 - Vozilo MLX01 sa 5 vagona sa putnicima dostigao brzinu od 548 km/h
 - Izvršeni testovi mimoilaženja vozova pri relativnoj brzini od 1003 km/h
- **2000** - Uprava Ministarstva Transporta Japana odlučila: "Maglev je upotrebljiv za ultra brzi masovni prevozni sistem"
 - Ukupna pređena razdaljina prešla 100000 kilometara
- **2001** - Njihovo Kraljevsko Visočanstvo Princ i Princeza Akishino iskusili su probnu vožnju Maglev vozom
- **2002** - Ukupna pređena razdaljina prešla 200000 km
 - Broj prevezenih putnika prešao 30000
 - Započeta test vožnja nove kompozicije koja uključuje MLX01-901

- **2003** - Postignut maksimalni pređeni put u jednom danu od 1219 km
 - Ukupan pređeni put prešao 300000 kilometara a broj prevezenih putnika prešao 50000
 - Postignut najduži pređeni put u jednom danu od 2876 kilometara
 - Vožnja kompozicija sa troja kola i MLX01 sa putnicima dostigla brzinu od 581 km/h
- **2004** - Broj putnika Maglev vozila prešao 80000
 - Ukupan pređeni put prešao 400000 kilometara
 - Izvršeni testovi mimoilaženja vozova pri relativnoj brzini od 1026 km/h
- **2005** - Njegovo Kraljevsko Visočanstvo Princ Naruhito iskusio je probnu vožnju Maglev vozom
- **2006** - Odbor direktora centralne japanske železnice oficijalno potvrdio investicioni plan obnove i proširenja Yamanashi Maglev test pruge

3. Pregled Maglev test vozova

3.1. ML-500 test vozilo

ML-500 test vozilo kretalo se uz pomoć elektro dinamičkog sistema (EDS) i bilo je prvo vozilo testirano u Miyazaki test centru. Napravljeno 1977 godine, ML-500 bilo je vozilo bez mesta za putnike. Pruga oblika obrnuto T korišćena je u tesu. Duž vozila se nalazilo 4 kriostata (cryostat), koji su svaki ponaosob sadržali 4 superprovodna magneta (dva za vođenje i pokretanje i dva za levitaciju). Frižideri i kompresori za hlađenje helijuma nalazili su se pored pruge i kriostati vozila su punjeni helijumom pre svake test vožnje.

Tokom 3 godine ispitivanja, maksimalna brzina postignuta pomoću ML-500 vozila povećavala se samim povećanjem trase pruge kojom se kretala. Tako je ML-500 na pruzi dužine 1.3 kilometara dostiglo brzinu od 132 km/h 1977 godine, na trasi dužine 3.1 kilometara, 301 km/h 1978 godine i 517 km/h na 7 kilometara dugačkoj trasi 1979 godine. Tri cilja su postignuta ovim vozilom:

- (1) velika brzina kretanja (do 517 km/h)
- (2) merenje dinamičkih reakcije vozila na neregularnosti trase
- (3) rad sa simuliranim tunelom

Iz ovog iskustva, principi rada i dizajna LSM pogonskog sistema, elektrodinamička suspenzija, superprovodna magnetska tehnologija i sistem za napajanje električne energije su bili provereni.

Tabela 1 ML-500 test vozilo

Dimenzije voza (m) dužina x širina x visina	Težina (t)	Broj napravljenih	Kapacitet sedišta
13.5 x 3.7 x 2.9	10.0	1	-
Magnetno pobudna sila super provodnog namota (kA) x polovi x nizovi	Max. brzina (km/h)	Mesto testiranja	Godina proizvodje
Za levitaciju: 250 x 2 x 2 Za pogon, vođenje: 450 x 4 x 2	517	Miyazaki Maglev test pruga	1977



Slika 1 ML-500 test vozilo

3.2. MLU001 test vozilo

Test vozilo MLU001 bilo je prvo proizvedeno vozilo sa prostorom za prevoz putnika. Sastojalo se iz 3 dela i koristilo je sistem levitacije sa U tipom pruge pri čemu je levitacija ostvarivana pomoću magneta koji su se nalazili horizontalno duž pruge dok su se vođenje i pokretanje ostvarivali pomoću magneta ugrađenih u vertikalnim zidovima pruge pri reakciji sa LSM-om ugrađenim u vozilo. Kalemovi su pobuđivani iz spoljnog trofaznog izvora i bili su ukršteni kako bi obrazovali takozvani Null-Flux sistem za pogon i vođenje o kome će biti reči kasnije.

Vozlo MLU001 pušteno je u pogon decembra 1980 godine. Cilj je bilo testirati vozilo u nekoliko operacija. Ono je sadržalo 32 mesta za putnike. Super provodni magneti, svaki sa 700 kA magnetno pobudne sile, bili su instalirani duž svakog vagona vozila sa obe strane vagona. Svaki vagon je imao osam namotaja u dva reda, sa po 4 magneta u svakom redu. Ovakav sistem ugradnje u bočne zidove vozila pokazao je da se uz pomoć njega može postići: levitacija, vođenje i pogon.

Razni tipovi kriogenog sistema bili su testirani na MLU001 vozilu i pokazano je da se oni mogu koristiti, ali pouzdan kondenzator gasovitog helijuma u vozilu nije bio ostvaren.

Tabela 2 MLU001 test vozilo

Dimenzije vozila (m) dužina x širina x visina	Težina (t)	Broj napravljenih	Kapacitet sedišta
Vodeća kola: 10.1 x 3.0 x 3.3 Srednja kola: 8.2 x 3.0 x 3.3	10.0	Prednja kola: 2 Srednja kola: 1	Prednja kola: 8 Srednja kola: 16
Magnetno pobudna sila super provodnog namota (kA) x polovi x nizovi	Max. brzina (km/h)	Mesto testiranja	Godina proizvodje
700 x 4 x 2	Voz sa 2 vagona: 405 Voz sa 3 vagona: 352	Miyazaki Maglev test pruga	1980-82



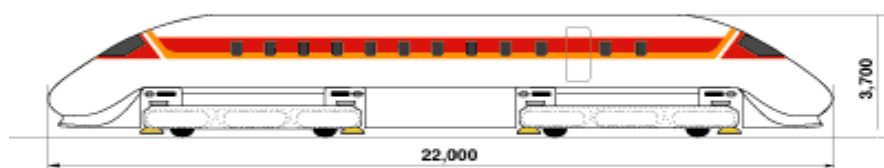
Slika 2 MLU001 test vozilo

3.3. MLU002 test vozilo

Test vozilo MLU002 konstruirano je 1987. godine. Glavna razlika između prototipa MLU001 i MLU002 jest to što su kod MLU002 vozila superprovodni kalemovi bili vezani odvojeno od same konstrukcije voza i vezani za takozvane nezavisne viseće delove i mogli su se nezavisno pokretati od vagona, slično konvencionalnim točkovima. Usled toga, broj superprovodnih magneta bio je smanjen što se odrazilo na povećanje snage polja superprovodnih magneta koji su se koristili. Ovo je rezultiralo smanjenju težine vozila i povećanju prostora za prevoz robe ili putnika.

Tabela 3 MLU002 test vozilo

Dimenzije vozila (m) dužina x širina x visina	Težina (t)	Broj napravljenih	Kapacitet sedišta
22.0 x 3.0 x 3.7	17.0	1	44
Magnetno pobudna sila super provodnog namota (kA) x polovi x nizovi	Max. brzina (km/h)	Mesto testiranja	Godina proizvodnje
700 x 6 x 2	394	Miyazaki Maglev test pruga	1987



Slika 3 MLU002 test vozilo



Slika 4 MLU002 test vozilo

3.4. MLU002N test vozilo

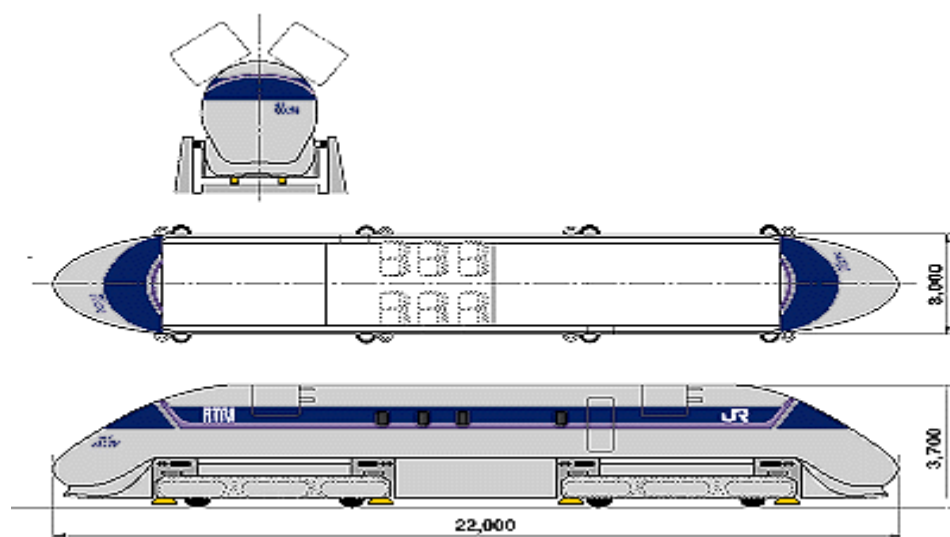
Test vozilo MLU002N je razvijeno 1992. godine nakon incidenta sa požarom u test vozilu MLU002. Konstrukcija ovog vozila je gotovo ista kao i vozila MLU002. Ipak ovo vozilo je sjedinilo i neke inovacione detalje, među kojima je i protivpožatni detektori. Novo test vozilo se sastojalo iz sledeceg:

- (1) telo od legura aluminijuma
- (2) hidraulički pokretane aerodinamičke kočione panele
- (3) 10 mesta za putnike ali ne i prednje staklo na kompoziciji
- (4) Sekundarni sistem vešanja
- (5) Točkove za sletanje od negoruće legure aluminijuma
- (6) Senzore za unutrašnji pritisak u gumama i vodećim točkovima
- (7) Kameru koja je zamenjivala prednje prozorsko staklo
- (8) Novo-dizajnirani superprovodni magnet sa kriostatnim hlađenjem unapređenih performansi

16 vodećih očkova je ugrađeno sa strane vozila, od kojih je polovina od legure aluminijuma i korist se samo u slučaju opasnosti. Osam točkova korišćeno je za sletanje i vožnju bez levitacije.

Tabela 4 MLU002N test vozilo

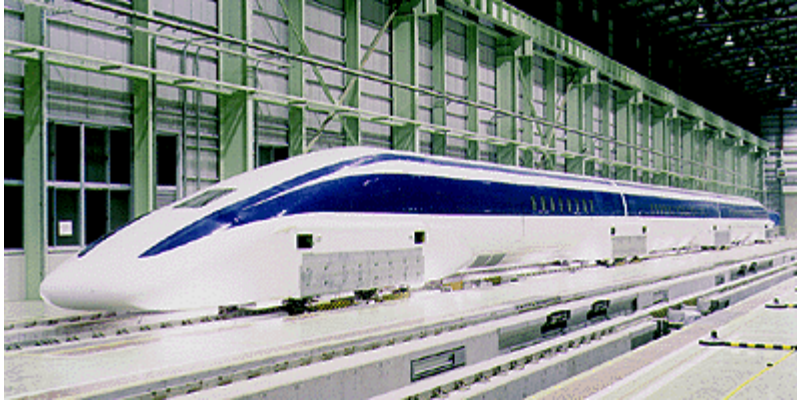
Dimenzije vozila (m) dužina x širina x visina	Težina (t)	Broj napravljenih	Kapacitet sedišta
22.0 x 3.0 x 3.7	19.0	1	12
Magnetno pobudna sila super provodnog namota (kA) x polovi x nizovi	Max. brzina (km/h)	Mesto testiranja	Godina proizvodje
700 x 6 x 2	Bez putnika: 431 Sa putnicima: 411	Miyazaki Maglev test pruga	1993



Slika 5 MLU002N test vozilo

3.5. MLX01 test vozilo

Danas se u ispitivanjima koriste 3 tipa MLX01 test vodećih kola, takozvanih: MLX01 vodeća kola, aero-poluga (aero-wedge)



Slika 6 MLX01 vodeća kola, dupli šiljak (double cusp)



Slika 7 MLX01-901 vodeća kola, dizajnirana specijalno za smanjenje otpora vazduha pri velikim brzinama



Slika 8 prednji aero dinamični kraj vozila

Napravljeno je takođe i 2 tipa kola srednjeg dela, u kojima postoje mesta za putnike. Tehnički podaci o vozilima dati su u sledećoj tabeli:

Tabela 5

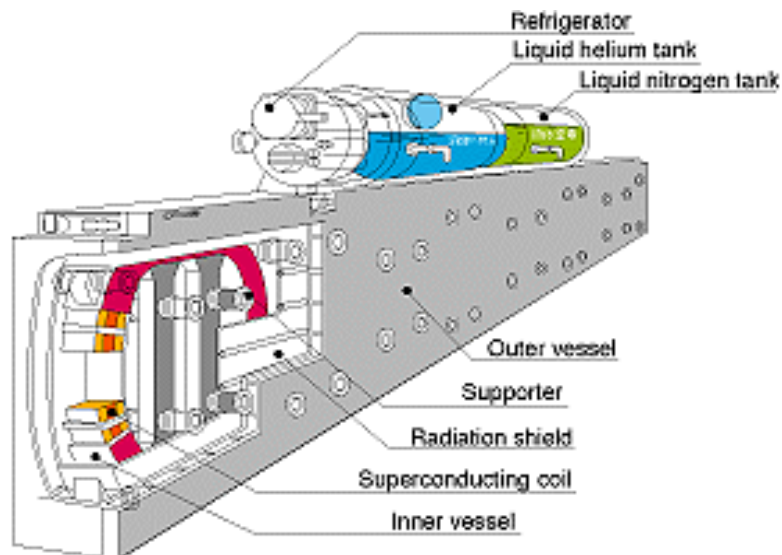
Dimenzije vozila (m) dužina x širina x visina	Broj napravljenih	Kapacitet sedišta
Vodeća kola: 28.0 x 2.90 x 3.32 Standardna srednja kola: 21.6 x 2.90 x 3.32 Duga srednja kola: 24.3 x 2.90 x 3.32	Vodeća kola: 5 standardna srednja kola: 2 Duga srednja kola: 2	Duga srednja kola: 68
Magnetno pobudna sila super provodnog namota (kA) x polovi x nizovi	Max. brzina (km/h)	Godina proizvodnje
700 x 4 x 2	581	1996-2002

Svaka od navedenih tipova kola sadrže po 2 super provodna magnetna SCM (Super Conducting Magnet) i oni predstavljaju jezgro ovog sistema. Svaki do super provodnih magnetna sastoji se iz 4 super provodna kalema. Oni su se pokazali kao visoko pouzdani i izdržljivi prilikom testova na modelima MLU001 i MLU002 na Miyazaki Maglev test pruži.



Slika 9 Slika SCM (Super Provodni Magnet)

Na vrhu super provodnog magnetna nalaze se cilindrične posude u kojima se čuvaju kondenzovani helijum i azot. Helijum se koristi kao rashladno sredstvo za hladjenje super provodnih kalema kako bi oni pri sniženoj temperaturi od svega 50 do 100 kelvina imali svoje super provodne karakteristike. U donjem delu super provodnog magnetna nalaze se super provodni kalemovi koji naizmjenično generišu N i S magnetski pol. Na vrhu se također nalazi rashladni uređaj koji služi kao bi kondenzovao helijum koji je ispario u procesu apsorpcije toplote sa kalema super provodnog magnetna.



Slika 10 Izgled superprovodnog magneta

Podaci o superprovodnom magnetu dati su u sledećoj tabeli:

Tabela 6 Superprovodni magnet

Visina pola	Oblik	Prilagodena visina
1.35 m	4-pola, 2-reda (simetrično sa obe strane)	0.57 m (visina sredine superprovodnog kalema u toku vožnje na točkovima)
Magnetno pobudna sila	Rastojanje s leva na desno	Dimenzije super provodnog magneta dužina x širina
700 kA	2.98 m	1.07 m x 0.5 m
Rashladni sistem montiran na kolima		
Kružni sistem sa rekondenzovanjem direktnim hlađenjem		

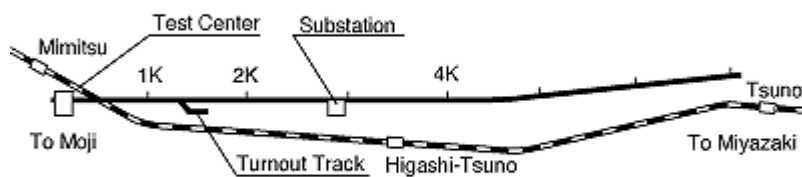
4. Maglev Test Pruge

4.1. Miyazaki Maglev test pruga

Miyazaki Maglev test pruga se nalazi u gradu Hyuga, koji se nalazi u oblasti Miyazaki. Otvorena je aprila 1977 godine i bila je pruga T tipa. Bila je dugačka 1.3 kilometara i prvo vozilo testirano na ovoj pruzi bilo je ML-500. Već u julu iste godine postignuta je brzina od 132 km/h. Pošto se sistem pokazao kao vrlo uspešan već je naredne godine došlo do produženja pruge na 3.1 kilometar i tada je dobiven novi rekord brzine od 301 km/h. Svoju konačnu dužinu od 7 kilometara dobija 1979 godine i tada je pomoću test vozila dobijena nova rekordna brzina od 517 km/h.

Sa razvojem novih tehnologija Magleva dolazilo je i do modifikacija na samoj Miyazaki test pruzi pa je tako 1980 godine došlo do promene tipa pruge koja je preobraćena u prugu tipa U koja je imala horizontalno orijentisane kalemove za levitaciju i vertikalno orijentisane kalemove koji su se nalazili u bočnim zidovima pruge za vođenje i pogon. Pruga je sadržala 20000 kalemova za levitaciju i 10000 kalemova za pogon.

Kanije je pruga modifikovana i u njenu strukturu su uključeni takozvani kalemovi u obliku osmice bez fluksa (figure-eight-shaped null-flux coils) koji su ugrađeni u bočne zidove i koristili su se za levitaciju i vođenje.



Slika 11 Izgled Miyazaki Maglev test pruge

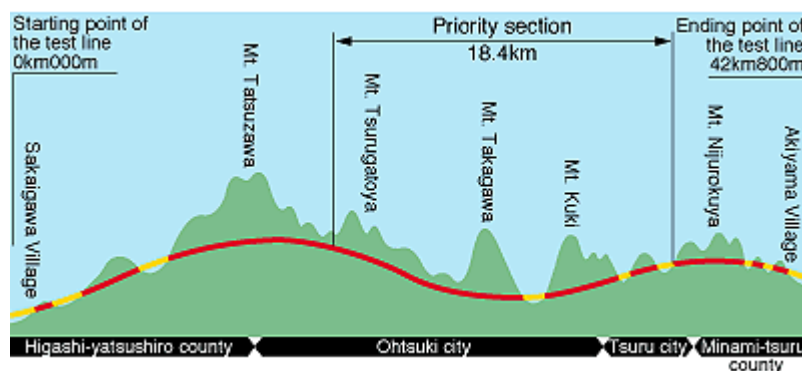
Pruga je imala deo sa nizbrdicom sa strminom od 0.5% i krivinu radijusa 10 kilometara. No njoj je takođe napravljeno prva skretnica konstruisana 1990 godine. Bila je dugačka 80 metara i sastojala se iz 6 spojnika. Prava linija se mogla preobraziti u krivinu pomoću ovih 6 spojnika koje bi među sobom stale pod određeni ugao.



Slika 12 Izgled skretnice

4.2. Yamanashi Maglev test pruga

1990 godine dolazi do prekretnice razvoja Maglev vozova u Japanu. Ministarstvo Transporta Japana proglašava maglev projekat nacionalnim interesom Japana i odobrava izgradnju nove test pruge nedaleko od Tokija na kojoj bi se konačno potvrdila praktična upotreba maglev tehnologije u brzom transportu robe i putnika. Yamanashi Maglev test pruga otvorena je 3. aprila 1997. godine i danas se koristi u test vožnjama. Prostire se 18.7 kilometara između gradova Sakaigawa i Akiyama u oblasti Yamanashi.



Slika 13 Yamanashi Maglev test pruga

Sama pruga Yamanashi Maglev test pruge analogna je konvencionalnoj pruzi dok su kalemovi analogni onima koji se koriste u konvencionalnim motorima.



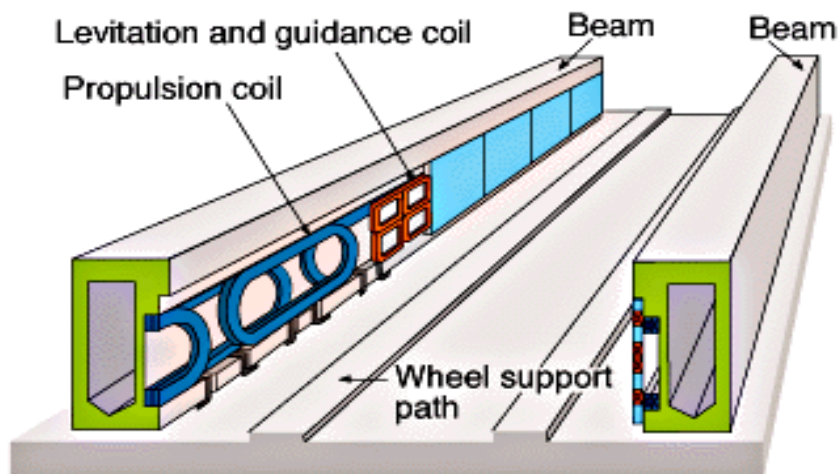
Slika 14 Izgled koloseka

To je i ključ uspeha Yamanashi Maglev test pruge pošto su time znatno smanjene investicije potrebne za izgradnju maglev pruge.

Danas se koriste tri načina instalisanja kalemova za levitaciju vođenji pogon. Kasnije će za konvencionalnu upotrebu najbolje pokazana vrsta kalemova biti upotrebljena.

(1) Metod nosača

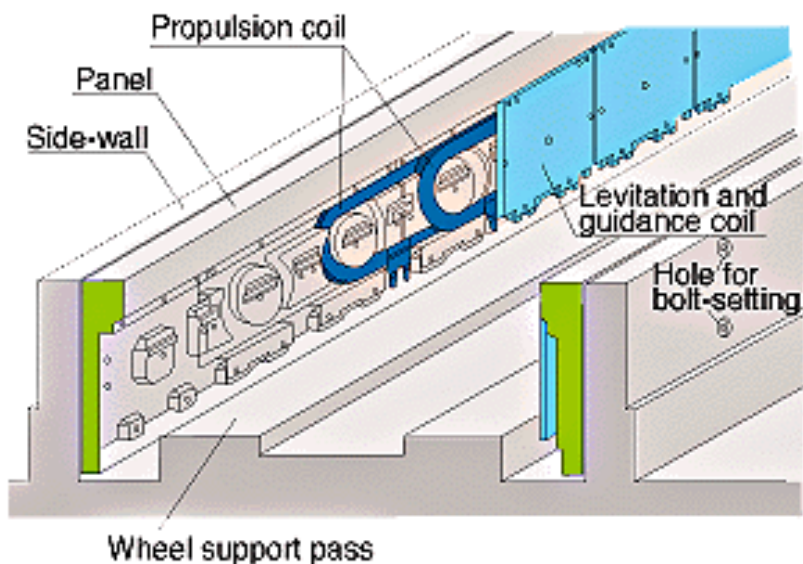
Kod ovog metoda bočni zidovi pruge izgrađeni su isključivo od betonskih nosača. Celokupan betonski zid sa kalemovima proizvodi se u fabrikama i isporučuje se i ugrađuje na unapred postavljenom betonskom postolju.



Slika 15 Izgled namotaja Metod nosača

(2) Metod panela

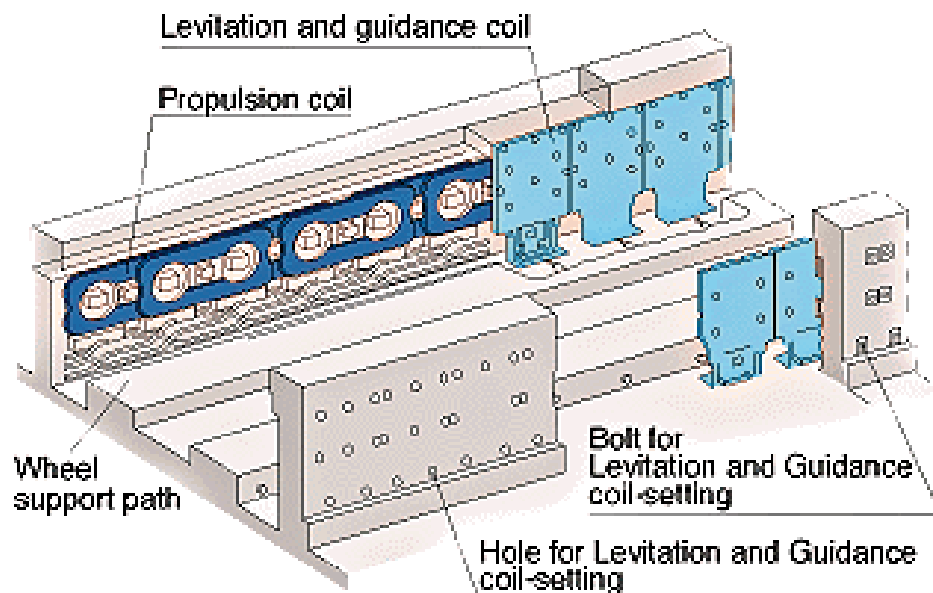
U fabrici se proizvode betonski paneli i u njih se ugrađuju kalemovi. Zatim se paneli prevoze na mesto instalacije i pričvršćuju se za prethodno izgrađeni betonski zid pomoću 10 gvozdrenih klinova.



Slika 16 Izgled namotaja Metod panela

(3) Metod direktne ugradnje

Kod ovog metoda betonski zidovi su napreavljani na mestu pruge i direktno na njih se pričvršćuju kalemovi za levitaciju i pogon. Ovaj metod ima veliku ekonomsku prednost u odnosu na prethodne dve metode yato što ne postoje transportni i proizvodni troškovi u fabrikama, međum njegova mana je sto se eventualne neregularnost pri proizvodnji betosnkog zida mogu vrlo malo kompenzovati ugradnim kalemovima, što nije slučaj kod prethodnih metoda.



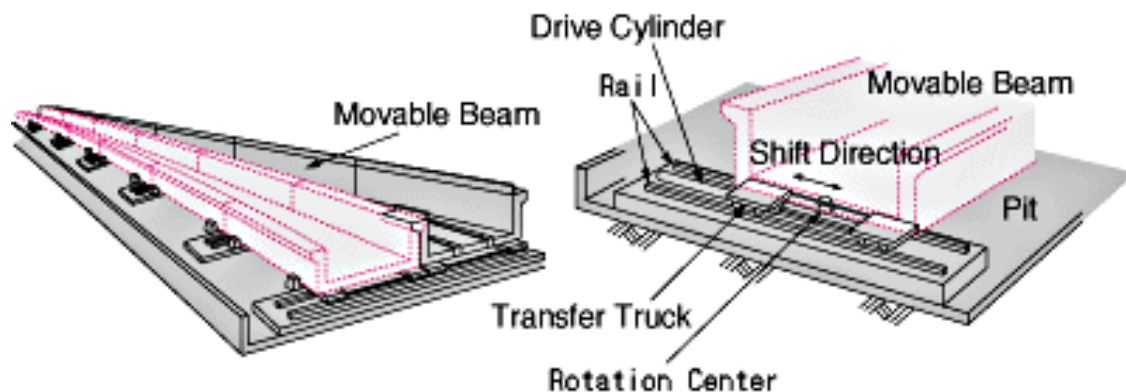
Slika 17 Izgled namotaja Metod direktne ugradnje

Skretnice su neophodan deo svakog konvencionalnog železničkog sistema. Rangirajući se prema brzini kojom voz može da se kreće kroz njih, skretnice na Yamanashi Maglev test pruzi dele se na 3 vrste:

(1) Visoko brzinske skretnice

Pokretni penosnik montiran je da promeni pravac kretanja voza na ravnoj pruzi pri velikim brzinama i levitaciji voza ili na iskrivljenom delu pruge kojom se kreće voz pri malim brzinama na točkovima.

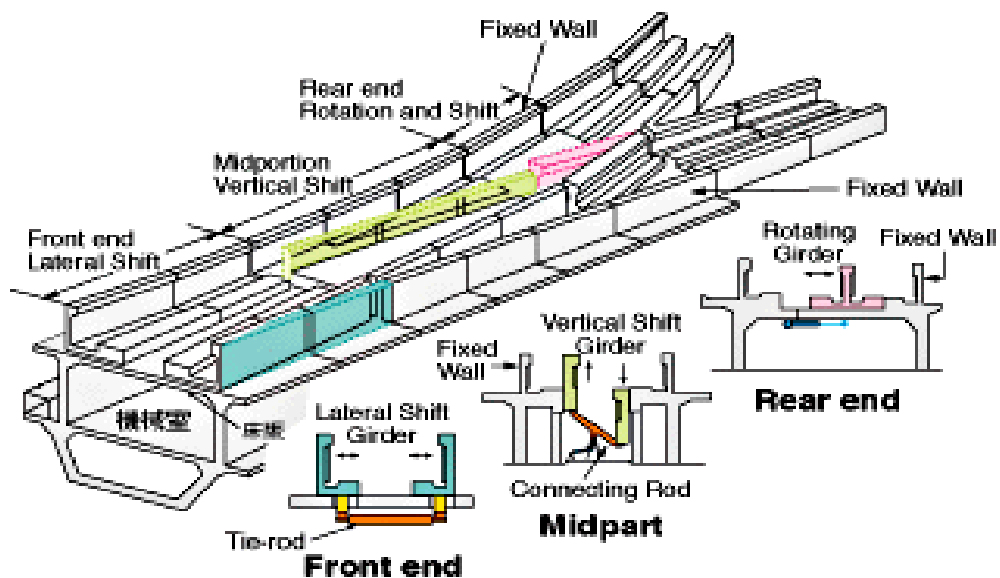
Na Yamanashi Maglev test pruzi testiraju se dva tipa brze skretnice, električni i hidraulični.



Slika 18 Visoko brzinske skretnice

(2) Nisko brzinske skretnice

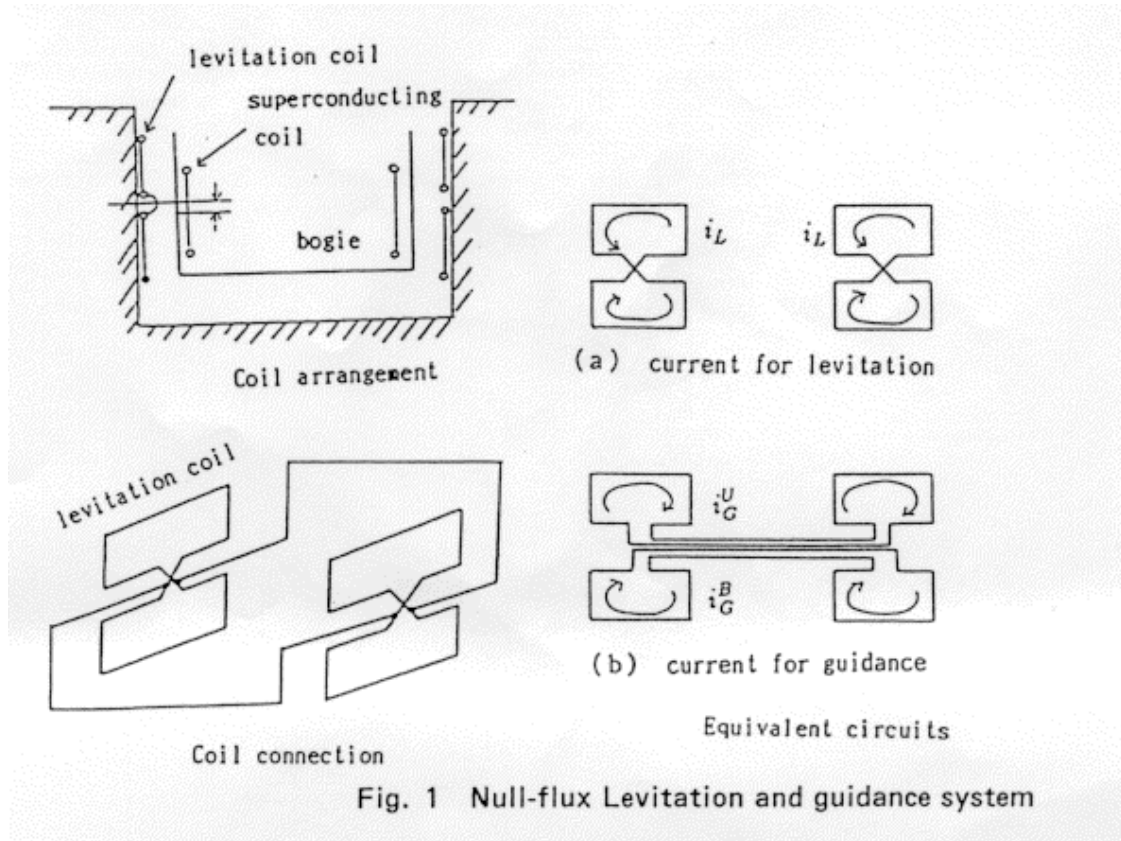
Tip pomeranja bočnih zidova se koristi na terminalima na krajnjim i početnim stanicama voza kada se on kreće sporo na točkovima. Promena pravca se dobiva prostim pomeranjem bočnih zidova pruge vertikalno ili bočno. Početni i krajnji deo bočnog zida skretnice pomeraju se bočno, dok se srednji deo bočnog zida skretnice pomera vertikalno.



Slika 19 Nisko brzinske skretnice

5. Princip rada

Levitacija sa nultim fluksom patentirana je od strane RTRI (Railway Technical Research Institute) 1988. U vertikalnim zidovima pruge nalaze se kalemovi u obliku osmice sa nultim fluksom, dok su dva naspramna kalemata spojena na sredini kao na slici.



Slika 20 Levitacija nultim fluksom

Kad super provodni magnet (SCM), koji se nalaz montiran na vagonima voza, prođe pored kalemova u obliku osmice doćiće do indukvnj elektromotorne sile u gornjem i donjem krugu namota prema sledećem obrascu:

$$e_1 = -I_s \cdot v \cdot \frac{\partial M_{s1}}{\partial x} \quad \text{i} \quad e_2 = -I_s \cdot v \cdot \frac{\partial M_{s2}}{\partial x}$$

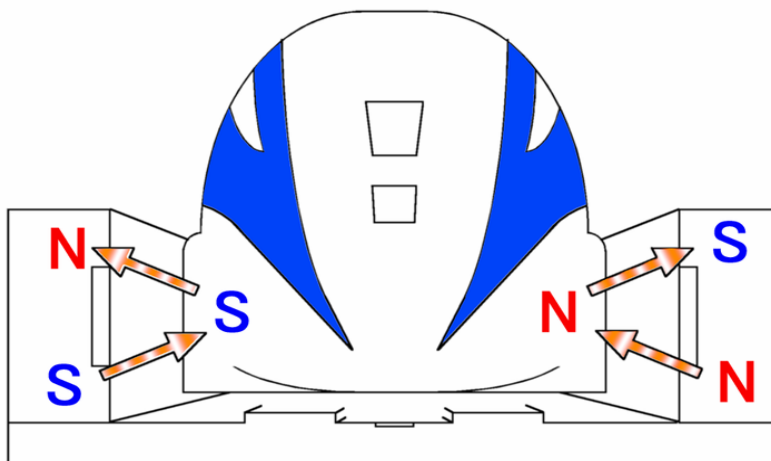
Gde I_s predstavlja struju super provodnog magneta, v predstavlja brzinu kojom se kreće super provodni magnet, odnosno vozilo dok M_{s1} i M_{s2} predstavljaju međusovnu induktivnost prvog i drugog namota kalema u odnosu na super provodni kalem represivno i x predstavlja osu kojom se kreće vozilo.

Jenačina kola kalema će biti:

$$2Ri_L + 2(L - M_{12}) \frac{\partial i_L}{\partial t} = e_1 - e_2$$

Gde su R omska otpornost kalema, L samoinduktivnost jednog kružnog dela kalema, a M_{12} međusobna induktivnost dva kružna dela kalema.

Analiziranjem date jednačine možemo utvrditi da će struja kroz kalemove postojati samo ako su induktivnosti M_{s1} i M_{s2} međusobno različite, odnosno ako su indukovane elektromotorne sile prvog i drugog kružnog dela kalema različite. Možemo zaključiti da struja u kalem u obliku osmice neće postojati onda kada se super provodni kalem kreće tačno u srednjem nivou između dva kružna dela kalema u obliku osmice. Ako se super provodni kalem ne bi kretao u tom nivou u kalem u obliku osmice indukovala bi se struja koja bi stvorila magnetsko polje jednog polariteta u gornjem namotu i suprotnog polariteta u donjem namotu, kao na slici.



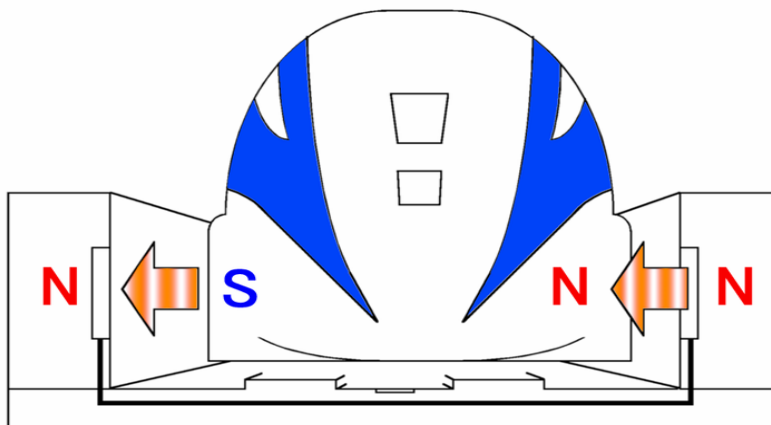
Slika 21

Mana ovog sistema je to što se pri malim brzinama ima mala indukovana elektromotorna sila e_1 i e_2 pa samim tim je i mala struja kalema u obliku osmice pa nemamo dovoljnu magnetsku silu za podizanje vozila pri brzinama manjim od 150 km/h. Zbog toga, kod ovakve vrste levitacije, moramo koristiti točkove za zaletanje i takozvano "sletanje". Ovi točkovi se pri brzinama većim od 150 km/h povlače u karoseriju vagona, slično kao kod aviona.

Problem koji se javlja kod kalemova u obliku osmice su veoma male sile vođenja. Kada je vozilo u stanju ravnoteže i "leti" tačno između gornjeg i donjeg kruga kalema u obliku osmice u kalem u obliku osmice se neće pojaviti struja, pošto se super provodni kalem voza nalazi u ravnoteži. Međutim tada vozilo može nesmetano da se kreće između vertikalnih zidova pruge i udariti u sam zid što predstavlja veliku opasnost.

Da bi se rešio ovaj problem dva naspramna kalema u obliku osmice sa jedne i sa druge strane vertikalnog zida pruge dodatno se kratko spajaju po sredini kao na gornjoj slici.

Ako se voz kreće sredinom pruge na jednakom rastojanju od obe strane vertikalnih zidova pruge može se pokazati da će se u gornjem delu kalema u obliku osmice sa obe strane vertikalnog zida pruge indukovati ista elektromotorna sila pa neće do stvaranje struje i gornjem ili donjem delu kalema u obliku osmice. Međutim ako se voza nalazi bliže nekom od kalema u tom kalemu će se indukovati veća elektromotorna sila u odnosu na isti kalem na suprotnom vertikalnom zidu pruge. Pošto su ova dva kalema u obliku osmice kratko spojena po sredini, proteće će struja i_G^U kao na gornjoj slici. Pojava ove struje dovešće do stvaranja magnetskih polja kao na sledećoj slici:



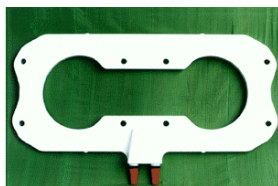
Slika 22

Možemo primetiti da se obe strane pruge indukuje magnetsko polje istog znaka što dovodi da se rezultantna sila ova dva magnetna sabira kako bi se voz vratio u središnji položaj.

Velika prednost ovog sistema je to što se voz nalazi u stabilnoj ravnoteži. Ako voz želi da se pokrene na više ili na niže doći će do pojave elektro magnetne sile koja ga teži da ga vrati u ravnotežni položaj. Isto će se desiti i ako voz hoće da krene u levo ili u desno ka bočnim zidovima pruge. Što se voz više približava nekom od bočnih zidova pruge rezultujuća elektro magnetska sila koja teži da ga vrati u ravnotežni položaj biće veća. Takođe u ravnotežnom položaju nema potrošnje energije na levitaciju i vođenje jer nema ni stuje u kalemovima u obliku osmice.

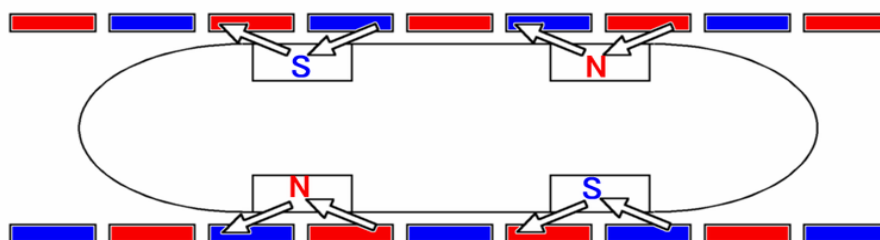
I ovde važi da za male brzine ne postoji dovoljno velika elektro magnetska sila koja bi vratila voz u središnji položaj tako da moraju postojati točkovi za vođenje sa strane svakog vagona kako bi voz mogao da se kreće po pruzi pri malim brzinama.

Za pogon koristimo linearni sinhroni motor. Izgled namota statora dat je na sledećoj slici.



Slika 23 Izgled namotaja

Sistem napajamo pomoću trofaznih invertora. Frekvencija rada invertora može se menjati od 0 do 56 Hz, pri kojoj se ima brzina od 550 km/h. Privlačna i odbojna sila magnetna koriste se za pokretanje voza. U bočnim vertikalnim zidovima pruge nalaze se namoti statora koji se napajaju trofaznim naizmeničnim sistemom napona i stvaraju linearno elektro magnetsko polje duž pruge. Magnetno polje super provodnih magnetna voza privučeni su ovom poljem što rezultira silom koja deluje na voz da se kreće u smeru kretanja linearnog polja duž pruge.



Slika 24

6. Zaključak

Zbog svojih izuzetnih karakteristika Maglev pronalazi primenu u urbanim sredinama niska buka čini ga pogodnim za povezivanje centralnih gradskih zona sa aerodromima. Dok velika brzina i udobnost omogućavaju brzo povezivanje gradova na rastojanjima do 500 km.

Japanska Železnica planira početak komercijalne primene Maglev sistema do 2025. god. Prva linija izgrađena na ovom sistemu će povezati dva velika industrijska centra Tokio i Osaku. Budući planovi su da se do 2014. god. dovrši kompletan segment Yamanashi Maglev test pruge ukupne dužine 42.8 km. Na novom segmentu pruge ispitivaće se mogućnosti smanjivanja troškova izgradnje po kilometru i razvijanje novih i jeftinijih sistema pogona i levitacije.

Tehnologija Maglev-a je dostigla stadijum komercijalne primene i brojni testovi prevoza putnika to potvrđuju tako da je japanska vlada donela odluku o pravcu razvoja u narednih nekoliko godina povežu gradove Fuefuki, Otsuki, Tsuru i Uenohara u regiji Yamanashi.

7. Literatura

<http://en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev> - on line enciklopedija

<http://www.rtri.or.jp/index.html> - Tehički Institut za Istraživanje
Železnice u Japanu (Railway Technical Research Institute)

http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?query_id=0&page=0&osti_id=10150166 - Studija Američke vlade o Japanskom
maglev sistemu (Study of Japanese electrodynamic-
suspension maglev systems)

<http://www.rtri.or.jp/infoce/wcrr97/C714/C714.html> - Odlike
kalemova pruge Yamanashi Maglev test pruge (Features of
ground coils for Yamanashi maglev test line)

<http://www.jr-central.co.jp> - Zvanični sajt Japanske Železnice