

Jiří Drábek *

ELEKTRIZOVANÉ DOPRAVNÉ SYSTÉMY – PERSPEKTÍVA DOPRAVY PRE 3. TISÍCROČIE

ELECTRIFIED TRANSPORT SYSTEMS – PERSPECTIVE OF TRANSPORT FOR THE THIRD MILLENNIUM

V súčasnom svete je energetika a doprava založená väčšinou na využívaní zdrojov fosílnych palív (nafty, uhlia, zemného plynu). Ich obrovská spotreba spôsobuje emisie CO₂ a NO_x a globálne otepľovanie atmosféry. Zdroje fosílnych palív sú do budúcnosti obmedzené najmä pri naftě, užívané v spalovacích motoroch cestných vozidiel a lietadiel. Za týchto okolností sú jazdnou dráhou vedené dopravné systémy s elektrickým pohonom energeticky a ekologicky vhodným riešením rýchlej a bezpečnej dopravy budúcnosti, lebo elektrickú energiu je možné získavať aj z obnoviteľných zdrojov (potenciálu vody, vetra, slnečnej energie) alebo z jadrovej energie bez zmienených emisií.

1. Energetické zdroje a spotreba energie vo svete

Štatistiky a merania hodnotiace dostupné energetické zdroje vo svete sa často líšia v jednotlivých číslach. Nejaké zdroje sa môžu v budúcnosti objaviť, avšak tendencia vedúca k vyčerpaniu zdrojov predovšetkým nafty je krátkom čase celkom zrejmalá. Predpokladané svetové zásoby zdrojov energie [1] sú uvedené v tab. 1.

Doba do vyčerpania svetových energetických zásob Tab. 1

Zdroj energie	Využitelné zásoby [roky]	Geologické zásoby [roky]
Ropa	40	140
Zemný plyn	55	100
Uhlie	250	1700
Urán ¹⁾	90	140
Urán ²⁾	5400	8400

Pri využití v: ¹⁾ pomalých ²⁾ rýchlych nukleárných reaktoroch

Využitie týchto energetických zdrojov je v rôznych častiach sveta veľmi nerovnomerné. Tab. 2 [1] uvádza prehľad spotreby energie v rozvinutých kapitalistických (C), bývalých socialistických (S) a rozvojových krajinách „tretieho sveta“ (D).

Podobne nerovnomerné rozdelenie vidieť z tab. 3 [1], ktorá udáva spotrebu energie na jedného obyvateľa.

Energetics and transport in the contemporary world are based mostly on exploitation of fossil fuels (petroleum, coal, natural gas). Enormous consumption of fossil fuels causes emissions of CO₂ and NO_x and global atmosphere warming. The supply of fossil fuels in the future is mainly limited by petroleum used for combustion machines of road vehicles and aeroplanes. Under these circumstances, the electric-propelled guided transport systems (electrified railways, maglev) are energetically – and ecologically-suitable solutions for quick and safe transport in the future because electrical energy can be produced also from renewable sources (water potential, wind, sun energy) or from nuclear energy without above-mentioned emissions.

1. Energy sources and energy consumption in the world

Statistics and documentation evaluating available energy sources in the world often differ in single numbers. Some new sources can be discovered in the future, but the trend leading especially to the exhaustion of world petroleum sources in the near future is quite obvious. The assumed world energy sources [1] are shown in Tab. 1.

Time until the exhaustion of world energetic sources Tab. 1

Sort of energy source	Usable sources [years]	Geological sources [years]
Petroleum	40	140
Natural gas	55	100
Coal	250	1700
Uranium ¹⁾	90	140
Uranium ²⁾	5400	8400

Utility in: ¹⁾ slow ²⁾ quick nuclear reactors

Utilization of these energetic sources is extremely unequal in different parts of the world. Table 2 [1] gives a review of energy consumption in developed capitalist (C), former socialist (S) and developing “third-world” countries (D).

A similarly unequal distribution can be seen in the Tab. 3 [1] where energy consumption per one inhabitant is given.

* Doc. Ing. Jiří Drábek, PhD.

Department of Electric Traction and Energetics, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, SK-01026 Žilina, Slovak Republic, Tel./Fax ++421-89-5254963, drabek@kete.utc.sk, drabek@fel.utc.sk

Rozdelenie spotreby energie vo svete

Tab. 2

Štáty	C	S	D (s Čínou)
Obyvateľstvo [% obyvateľov sveta]	15	8	77
Spotreba primárnych energetických zdrojov sveta [%]	50	25	25
Podiel na svetovej spotrebe elektrickej energie [%]	55	22	19

Spotreba energie na obyvateľa za rok

Tab. 3

Spotreba na obyvateľa a rok	C	S	D
Primárna energia [TO = ekv. 1 t nafty]	5,1	5,0	0,5
Elektrická energia [kWh]	7800	5400	500

Najväčšia časť fosilných palív sa spotrebúva na výrobu elektrickej energie a vykurovanie obydľí. Avšak pri naftě, ktorej spaľovanie produkuje vo svete asi 35 % emisií CO_2 , sa najväčší podiel využíva na dopravu vo vysoko rozvinutých krajinách, hlavne na individuálne jazdy automobilmi.

Napríklad v USA [2] každý občan cestuje ročne (v priemere) 27 000 km autom a 3500 km lietadlom a vyžaduje 20 000 tkm dopravných prác v nákladnej doprave.

Súčasné pravdepodobne použiteľné zásoby nafty vo svete sú asi 1000 miliárd barelov. Svetová denná spotreba je asi 66 miliónoch barelov; v USA je to 18 miliónoch barelov (27,3 %), z ktorých 2/3 (12 miliónoch) sa užívajú na účely dopravy! Podobná situácia je v ostatných rozvinutých krajinách.

Vyššie uvedené zásoby nafty môžu vydržať (pri súčasnej výške spotreby) na budúcich 40 rokov. Životná úroveň v krajinách „tretieho sveta“ však rastie. Ak by tam bola rovnaká spotreba nafty ako v USA, denná spotreba nafty vo svete by vzrástla na 200 miliónoch barelov a zásoby nafty by sa vyčerpali už za 13 rokov.

Elektrifikované dráhou vedené dopravné systémy (EDVDS) poskytujú rozumnú alternatívu k dopravným prostriedkom spotrebujúcim naftu. Valivý odpor kolo/kolajnica je pri týchto systémoch niekoľkokrát nižší (alebo pri magleve nulový) ako pri cestných motorových vozidlách, takže merná energetická spotreba je pri EDVDS podstatne nižšia a účinnosť vyššia. Vysokorýchlostné železnice premávajú dnes rýchlosťou až 300 km.h^{-1} , skúšajú sa systémy maglevu na rýchlosť až 500 km.h^{-1} . Žiadny automobil a dokonca ani lietadlo (pri kratších vzdialenostiach) nemôže dosiahnuť takú prevádzkovú rýchlosť. A elektrická energia bude určite k dispozícii v celom budúcom tisícročí.

2. Porovnanie vlastností dopravných systémov

Hlavné charakteristiky základných dopravných systémov užívaných v súčasnosti a v budúcnosti sú porovnávané v tab. 4 [2], [3], [4].

Distribution of energy consumption in the world

Tab. 2

Countries	C	S	D (incl. China)
Inhabitants [% of the world inhabitants]	15	8	77
Consumption of primary world energy sources [%]	50	25	25
Consumption of produced electrical energy [%]	55	22	19

Energy consumption per one inhabitant in a year

Tab. 3

Consumption per 1 inhabitant and year	C	S	D
Primary energy [TO = eq. to 1 ton of oil]	5,1	5,0	0,5
Electrical energy [kWh]	7800	5400	500

The greatest part of fossil fuels is used for electrical energy production and house heating. But for oil, the combustion process of which produces some 35 % of world emissions of CO_2 , the greatest amount is utilized for transport in high-developed countries, mainly for the individual automobile usage.

In the United States, e.g. [2], every citizen travels (in average) 27 000 km by car, 3500 km by plane, and requires 20,000-ton kilometres of freight movement per year.

The current available world petroleum resources are about 1000×10^9 barrels. The daily world consumption is 66 million barrels; in the United States it is 18 million barrels (27,3 %), of which two-thirds (12 million) is used for transport purposes! A similar situation exists in other developed countries.

The above-mentioned petroleum resources can last (by the current consumption rate) for another 40 years. But the living standard in the "third-world" countries is rising. If oil consumption there was the same as in the United States, then the world daily consumption would increase to 200 million barrels and the oil resources would be exhausted in only 13 years.

Electrified guided transport systems (EGTS) give the wise alternative to oil fuel-consuming transport means. The roll resistance rail/wheel is many times lower (or zero by maglev) by EGTS than that of automobiles, so the specific energy consumption by EGTS is essentially lower, and its efficiency is higher. High-speed railways operate at up to 300 km.h^{-1} today and maglev systems are tested at 500 km.h^{-1} . No car or plane (by shorter distances) can reach this operating speed. And the electrical energy would surely be available throughout the next millennium.

2. Comparison of transport system characteristics

The main characteristics of basic transport systems currently used and in future are compared in Tab. 4 [2], [3], [4].

Porovnanie niektorých vlastností elektrizovaných
traťových a cestných dopravných systémov

Tab. 4

Parameter	Doprava železničná : cestná	Poznámka
Valivý odpor koleso/ koľaj : pneu/cesta	1 : (5 až 10)	Maglev: 0
Merná spotreba paliva [dm ³ /tkm]	1 : (4 až 6)	Pre železničnú motorovú trakciu
Stredná merná spotreba vzťahovaná na energetický potenciál primárneho zdroja energie [kJ/tkm], elektrické dráhy : cestné vozidlá	1 : 5 1 : 10	Napájanie z tepel- ných elektrární Napájanie z vod- ných elektrární tkm = tonokilo- meter
Priemerná cestovná rýchlosť	(2 až 3) : 1 (4 až 5) : 1	Na vysokorýchlost- ných tratiach Pre maglev
Riziko nehody v prevádzke	Veľmi nízke : veľmi vysoké	USA - cesty: 45 000 mŕtvych/rok
Negatívny vplyv na prostredie	Malý/veľmi malý : veľmi veľký	Tepelné, jadrové/ vodné elektrárne

Na doplnenie tab. 4, merná spotreba elektrickej energie [kJ/osobokilometer] systémov maglev v porovnaní s leteckou dopravou činí len asi 1/4 až 1/8 pri rýchlosti maglevu 350 km.h⁻¹ a asi 1/2 pri rýchlosti 500 km.h⁻¹ [2]. Priame spojenie mestských centier je ďalšou prednosťou maglevu, šetriacou čas. Súpravy maglevu nemajú „hluché“ doby počas prevádzky na rozdiel od lietadiel, ktorých motory musia pracovať pred štartom, po pristáti aj pri čakaní na letiskách a vo vzduchu.

3. Elektrizované vysokorýchlostné železnice

Vlaky prevádzkované rýchlosťou 200 km.h⁻¹ alebo vyššou sú vysokorýchlostné (VR) vlaky. Prvé VR elektrické jednotky pomenované Shinkansen boli uvedené do pravidelnej prevádzky 1. 10. 1964 medzi Tokiom a Ósakou (Tokaido-line, 25 kV, 60 Hz) v Japonsku. V Európe jazdili rušne DB typu E 03 s vlakmi od roku 1966 medzi Mnichovom a Augsburgom a neskôr na niektorých ďalších častiach siete DB, rýchlosťou 200 km.h⁻¹ (napájanie 15 kV, 16 2/3 Hz); prvá trať určená na vysoké rýchlosti TGV-PSE (Paríž - Lyon, Francúzsko) bola otvorená v roku 1981. Dvojsystémové (1,5 kV jednosmerné a 25 kV, 50 Hz) jednotky TGV-PSE tam prebávajú s maximálnou rýchlosťou 260 km.h⁻¹.

Odvtedy sa sieť vysokorýchlostných tratí rozšírila v Japonsku, krajinách EÚ a tieto trate sa stavajú aj inde, v Rusku, Južnej Kórei, na východnom pobreží USA, atď. Svetový rekord 513 km.h⁻¹ dosiahol TGV-A vo Francúzsku a prevádzková rýchlosť stúpila na 300 km.h⁻¹ (a má vzrásť na 350 km.h⁻¹). Jazdný komfort, bezpečnosť a krátke doby jazdy sú atraktívnejšie ako pri automobiloch alebo lietadlách (pri tých do prepravnej vzdialenosti asi 1000 km). Čo sa týka bezpečnosti, jediná veľká nehoda za celú éru prevádzkovania VR vlakov sa stala v Eschede, Nemecko; každoročne však

Comparison of some electrified guided
and road transport systems characteristics

Tab. 4

Parameter	Transport on railway : road	Note
Roll resistance wheel/ rail : tyre drag	1 : (5 to 10)	By maglev: 0
Specific fuel consump- tion [dm ³ /tkm]	1 : (4 to 6)	For railway diesel traction
Average specific energy consumption re-calculated on primary fuel potential [kJ/tkm], electric railway : road cars	1 : 5 1 : 10	Supply from therm- al power stations Supply from hydro- electric plant tkm = ton kilometer
Average running speed	(2 to 3) : 1 (4 to 5) : 1	By high speed railways By maglev
Operating accidents risk	Very small : very high	USA - 45 000 died/ year on roads
Negative environment- al influences	Small/very small : very large	Thermal, nuclear/ water power stations

In addition to Tab. 4, the specific energy consumption [kJ/passenger kilometer] of maglev systems compared with the air transport is only about 1/4 to 1/8 by the 350 km.h⁻¹ maglev speed and about 1/2 by the 500 km.h⁻¹ speed [2]. The direct city centres connection is another time-saving maglev advantage. The maglev train sets have no “dead” time during their operation, contrary to aeroplanes, whose motors must operate before start, after landing and while waiting at airports and in the air.

3. Electrified high-speed railways

Trains operating at a running speed of 200 km.h⁻¹ or higher are the “high-speed” (HS) trains. The first HS electric motor units (EMU) called Shinkansen were set in normal operation on October 1, 1964 between Tokyo and Osaka, Japan (Tokaido-line, 25 kV, 60 Hz). In Europe, DB-locomotives E 03 have been operating since 1966 between München und Augsburg and later on in some other parts of the DB-net at 200 km.h⁻¹ (supply 15 kV, 16 2/3 Hz); the first special high-speed line TGV-PSE (Paris - Lyon, France) opened in 1981. The two-system (1,5 kV DC and 25 kV, 50 Hz) units TGV-PSE operate at a 260 km.h⁻¹ maximum speed.

Since the net of high-speed railways has widely spread in Japan, EU countries and such lines have also been built in other countries like in Russia, South Korea, on the United States' East Coast, etc. The speed record 513 km.h⁻¹ was reached by TGV-A in France, and the operating speed has increased up to 300 km.h⁻¹ (and it ought to increase up to 350 km.h⁻¹). The ride comfort, safety and short-travelling times are more attractive than by car or air transport (by the latter up to about 1000 km travelling distance). In regard to safety, the only major accident of high-speed train operation era happened in Eschede, Germany, but 45,000 people

zomiera 45 000 ľudí v USA a vyše 40 000 v krajinách EÚ na cestách a státisíce utrpia zranenia. Aj počet leteckých nehôd je vysoký.

Tvrdí sa, že investičné náklady na výstavbu VR trati sú vysoké. Je to pravda, ale treba povedať aj to, že pravdepodobne ešte vyššie náklady na cestnú dopravu platia priamo majitelia automobilov v cenách vozidiel, paliva a poplatkoch. Napríklad [4], merná spotreba energie na osobu a 100 kilometrov zodpovedá pri systéme TGV asi 1,5 dm³ ekvivalentu nafty pri rýchlosti jazdy 300 km/h. To nedokáže žiadne cestné vozidlo. Prepravná kapacita dvojkoľajnej železnice so súpravami TGV-Duplex (300 km.h⁻¹, 1100 cestujúcich v súprave, následný interval vlakov 3 minúty) je 2 × 22 000 cestujúcich/h. Na rovnakú prepravnú kapacitu by sa musela postaviť diaľnica s 2 × 7 dopravnými pruhmi, so všetkými zlými ekologickými vplyvmi, zabierajúca obrovskú plochu pôdy. Avšak celá trať TGV-PSE zaberá plochu adekvátnu ploche len jedného veľkého letiska v Paríži.

Tab. 5 dáva prehľad o VR tratiach a vlakoch v Európe a Japonsku v roku 1995.

Od roku 1995 sa samozrejme vybudovali, budujú a plánujú nové trate; napr. trate Tohoku a Tokuriku (dlhé 270 resp. 118 km)

die in the United States and more than 40,000 in EU countries on roads every year, and hundreds of thousands sustain injuries. The number of aeroplane catastrophes is also high.

The railway freight transport running speed has increased, and now, it is 160 km.h⁻¹ on many lines.

It is said that the investment costs for building high-speed railway lines are high. It is true, but it must also be said that even higher costs for road transport are paid directly by car owners in prices of cars, fuel and taxes. For example [4], the specific energy consumption per passenger and 100 kilometres by TGV-system at 300 km.h⁻¹ corresponds to an equivalent of 1.5 dm³ of oil fuel. No road vehicle can reach it. The transport capacity of a two-way railway with TGV-Duplex sets (300 km.h⁻¹, 1100 passengers per set, train interval 3 minutes) is 2 × 22,000 passengers/h. For the same transport capacity of road transportation, it would take a speedway of 2 × 7 traffic lanes with all its ecological defects and taking enormous area of soil. But the whole TGV-PSE line Paris - Lyon takes the area corresponding to only one major airport in Paris.

Tab. 5 introduces a review about HS lines and trains in Europe and Japan in 1995.

However, since 1995 new lines have been or are being built or projected; e.g. Tohoku and Tokuriku lines (270 and 118 km long)

Vysokorychlostné trate a súpravy

Tab.5

Európske VR železnice [km]		Vysokorychlostné vlaky v Európe				
		Železničná správa	Typ vlaku	V _{max} [km.h ⁻¹]	Počet vlakov	Sedadíel vo vlaku
SNCF	1255	SNCF	TGV-PSE,-A, -N, -D	270 - 300	293	368 - 545
DB	427					
RENFE	471	BR	IC 225	225	31	550
FS	268	SNCF, SNCB, BR	Eurostar	300	38	794
BR	22					
Európa celkove	2446	DB	ICE	280	60	615
Japonské trate Shinkansen		RENFE	AVE	300	24	329
Japan Railways Group	1836	FS	ETR 450, 460, 500	250 - 300	55	396 - 693
Japonsko + Európa	4282	SJ	X 2000	210	20	198

High-speed railway lines and train sets

Tab. 5

European HS railways [km]		High speed trains in Europe				
		Railway	Train type	V _{max} [km.h ⁻¹]	Number of trains	Seats in a train
SNCF	1255	SNCF	TGV-PSE,-A, -N, -D	270 - 300	293	368 - 545
DB	427					
RENFE	471	BR	IC 225	225	31	550
FS	268	SNCF, SNCB, BR	Eurostar	300	38	794
BR	22					
Europe total	2446	DB	ICE	280	60	615
Japanese Shinkansen railways		RENFE	AVE	300	24	329
Japan Railways Group	1836	FS	ETR 450, 460, 500	250 - 300	55	396 - 693
Japan + Europe	4282	SJ	X 2000	210	20	198

v Japonsku; TGV-Méditerranée a TGV-Est vo Francúzsku (300 a 460 km); 1451 km nových tratí (po roku 2000) v Nemecku; Paríž – Brusel – Kolín/Amsterdam v EÚ. Aj železnice v krajinách strednej Európy hodlajú zvyšovať maximálnu rýchlosť na svojich tratiach. Všetky tieto nové VR trate sú napájané vysokonapäťovými systémami striedavého prúdu. Nové VR trakčné vozidlá sú poháňané asynchrónnymi trakčnými motormi napájanými z meničov a opatrené moderným riadiacim a zabezpečovacím zariadením. Vo všeobecnosti, v elektrickej trakcii nachádzajú uplatnenie najmodernejšie technológie a naopak, toto odvetvie podnecuje vedecký a technický vývoj v elektrotechnike.

4. Magneticky levitovaná doprava (maglev)

Ďalší jazdnou dráhou vedený a elektrickou energiou napájaný systém je maglev. Hnacie vozidlá maglevu sú poháňané elektrodynamicky lineárnym motorom a počas jazdy (letu) magneticky levitované. Kolesá vozidla sa užívajú na zaistenie polohy vozidla na zastávkach a nesú ho pri rozjazde a brzdení. Adhézna sila pôsobí z kolesa na jazdnú dráhu len pri núdzovom brzdení alebo pri brzdení z nižších rýchlostí. Na zrýchľovanie a prevádzkové brzdenie sa využíva elektrodynamická sila vyvíjaná lineárnym motorom. Často sa používajú supravodivé magnety na zníženie rozmerov a strát magnetov.

Boli vyvinuté systémy maglevu líšiace sa podľa druhu lineárneho motora a spôsobu levitácie. Dnes sú v prevádzke niektoré miestne trate maglevu s nižšou rýchlosťou, avšak neprítomnosť valivého odporu umožňuje vlakom maglevu napr. Transrapid v Nemecku a MLX01 v Japonsku jazdu veľmi vysokou rýchlosťou okolo 500 km.h⁻¹, takže tento systém môže konkurovať aj leteckej doprave.

4.1 Japonský systém maglevu

Hornatá konfigurácia japonských ostrovov a vysoká hustota obyvateľstva, ktoré žije prevažne vo veľkomestách na pobreží, vyvolali potrebu výkonného a rýchleho dopravného systému umožňujúceho mobilitu ľudí a tovaru v tejto priemyslovo vysoko vyspelej krajine. Požiadavky mobility nebude v budúcnosti spĺňať dokonca ani železničný systém Shinkansen s prevádzkovou rýchlosťou 300 km.h⁻¹. Preto sa začali v 60-tych rokoch experimenty so systémom maglev.

Skúšobná trať maglevu Yamanashi (Yamanashi Maglev Test Line – YMTL) neďaleko Tokia bola otvorená v roku 1997. Na tejto 42,8 km dlhej trati sa skúšali vozidlá maglevu MLX01 a v roku 1999 tu bol dosiahnutý nový svetový rýchlostný rekord súpravy 552 km.h⁻¹ a zaznamenaná

in Japan; TGV-Méditerranée and TGV-Est in France (300 and 460 km); 1451 km of new lines (after 2000) in Germany; Paris – Brussels – Köln/Amsterdam in the EU. Also railways in Central Europe countries intend to increase the maximum speed on their lines. All the new HS lines are supplied by AC high-voltage systems. New HS traction vehicles are propelled by inverter-fed asynchronous traction motors and equipped by high-tech control and signal equipment. Generally, the most modern technologies find their application in electric traction and so, on the contrary, this branch instigates the scientific and technological development in the electrotechnics.

4. Magnetic levitation (maglev) transport

Another electrical energy-supplied guided transport system is maglev. Maglev driven vehicles are electro-dynamically propelled by a linear motor and magnetically levitated during their running (or flight). Vehicle wheels are used for fixing the vehicle position on stops and for supporting by acceleration and braking. The adhesive force affects from a wheel on track or rail only by emergency mechanical braking or during braking at lower speed. For acceleration and operation braking, the electrodynamic force produced by the linear motor is used. Superconducting magnets are often used to minimize size and loss of magnets.

Maglev systems different both in the kind of linear motor and the levitation method were developed. Some local maglev lines operating at lower speed are in service today. But the absence of rolling resistance enables the maglev trains e.g. Transrapid in Germany and MLX in Japan to run at very high speeds (about 500 km.h⁻¹), so the system can even compete with air transport.

4.1 The Japanese maglev system

The mountainous configuration of Japanese islands and the high density of inhabitants living mostly in large cities on the sea coast has evoked the need for a powerful and quick transport system enabling people and goods mobility in this high industrially developed country. Even the Shinkansen railway system with 300-km.h⁻¹ – operation speed cannot fulfil the mobility requests of the future. It was the reason why experiments with maglev systems started in the 1960's in Japan.

The Yamanashi Maglev Test Line (YMTL) was opened in 1997 near Tokyo. The MLX01 maglev vehicles have been tested on this 42.8 km-long line where the new world record speed of 552 km.h⁻¹ was marked for a single train and the relative speed of two trains passing each other at



Obr. 1. Dva protiídúce vlaky MLX01 na skúšobnej trati maglevu v Yamanashi (poďakovanie: RTRI Tókió)
Fig. 1. Two passing trains MLX01 at Yamanashi Maglev Test Line (courtesy: RTRI Tokyo)

relatívna rýchlosť dvoch protiidiúcich súprav 1003 km.h^{-1} [2], [6], [7], [9], [10]. V roku 2000 sa začala nová päťročná skúšobná fáza overovania dlhodobej odolnosti aj rozličných skúšok zariadení novovyvíjaných za účelom zníženia konštrukčných nákladov v budúcnosti prevádzkovaných tratí.

4.2 Nemecký systém maglevu Transrapid

Nemecká súprava maglevu Transrapid sa líši od japonskej MLX01 v princípe levitácie, ktorý je pri Transrapide elektromagnetický, kým pri MLX01 elektrodynamický. Transrapid sa skúšal na skúšobnej trati v Emslande a je konštruovaný na rýchlosť 450 km.h^{-1} [6], [8], [12]. Prvá prevádzkovaná trať v Nemecku mala spájať Hamburg a Berlín v roku 2005, pripravený projekt však dočasne pozastavili. Výhody systému Transrapid sú: nízka hlučnosť; možnosť prepravy cestujúcich aj tovaru (17 ton tovaru alebo 100 pasažierov v jednom vozidle, 2 až 10 vozidiel v súprave); bezpečnosť dopravy 700-krát vyššia ako pri cestných vozidlách a 20-krát vyššia ako pri lietadlách; o 30 % nižšia spotreba energie v porovnaní s vlakom a 3,5-krát nižšia (pri rýchlosti 400 km.h^{-1}) ako u cestných vozidiel; malá plocha pôdy potrebná pre trať maglevu [12].

4.3 Zámery dopravy maglevom pre USA

Vysokorýchlostná doprava maglevom využívaným aj v nákladnej doprave by mohla byť vhodným riešením mobility v USA po roku 2000 [2]. Myšlienkou je previesť kamióny z diaľnic na trate maglevu.

Prevádzkové náklady maglevu sú nízke, asi 2 centy/osobokm a 5 centov/tkm (bez amortizácie trate maglevu). Tieto náklady sú asi 9 centov/osobokm v leteckej doprave, 25 centov/vozidlový kilometer pre automobily a 18 centov/tkm pre kamióny.

Investičné náklady na trať maglevu sú však príliš vysoké, ak sa maglev využíva len v osobnej doprave [2]. Ale jeho vozidlá môžu byť upravené na prevoz kamiónov a naložených návesov rýchlosťou až $400 - 500 \text{ km.h}^{-1}$. Priemerná prepravná vzdialenosť v nákladnej doprave kamiónmi je asi 600 km a náklady na kamiónovú dopravu činia v USA ročne asi 200 mld USD. Za týchto 200 miliárd USD by počas asi 20 rokov bolo možné postaviť sieť tratí maglevu s dĺžkou 30 000 km, ktorá by spájala metropolitné oblasti s 95 % obyvateľov Spojených štátov. 75 % obyvateľstva by žilo vo vzdialenosti menšej ako 25 km od staníc maglevu. Kamióny prepravené maglevom by po vyložení mohli obsluhovať zákazníkov v priľahlom okolí.

Zamýšľaná sieť tratí maglevu [2] je na obr. 2.

Zmiešaný osobno-nákladný systém maglevu by mohol navrátiť investičné náklady na trať za niekoľko rokov. Napríklad pri 10 000 cestujúcich a 2000 kamiónoch denne (20 % kamiónovej dopravy Chicago – New York) je doba návratnosti trate s cenou 6 miliónov dolárov za kilometer len 3 roky.

V súčasnosti sa konštruuje 35 km dlhá trať maglevu medzi Space Coast Regional Airport a Port Canaveral (Florida). Táto

1003 km.h^{-1} was recorded in 1999 [2], [6], [7], [9], [10]. Since 2000 a new five-year phase of durability tests, as well as various tests for newly developed equipment, began to reduce construction costs of the future service line.

4.2 The German maglev system Transrapid

The German maglev train Transrapid differs from the Japanese MLX01 in the principle of levitation, which is an electromagnetic one by Transrapid but electrodynamic by MLX01. The Transrapid had been tested on the test line in Emsland and is fitted for the speed of 450 km.h^{-1} [6], [8], [12]. The first service line in Germany ought to connect Hamburg and Berlin in 2005, but this project preparation was temporary suspended. Advantages of the Transrapid system are: a low noise level; the possibility of both the passenger and freight transport (17 ton of goods or 100 passengers for 1 vehicle, 2 to 10 vehicles in a train); transport safety estimated at 700-times higher than that by road vehicles and 20-times higher than that by planes; about 30 % lower energy consumption compared with express trains and 3.5-times lower (at 400 km.h^{-1}) than that by road vehicles; and, small area of soil needed for the maglev guideway [12].

4.3 Maglev transport intention for the USA

The high-speed maglev transport used for freight transport could also be a suitable solution to mobility in the United States after 2000 [2]. The idea is to transfer trucks from expressways to maglev lines.

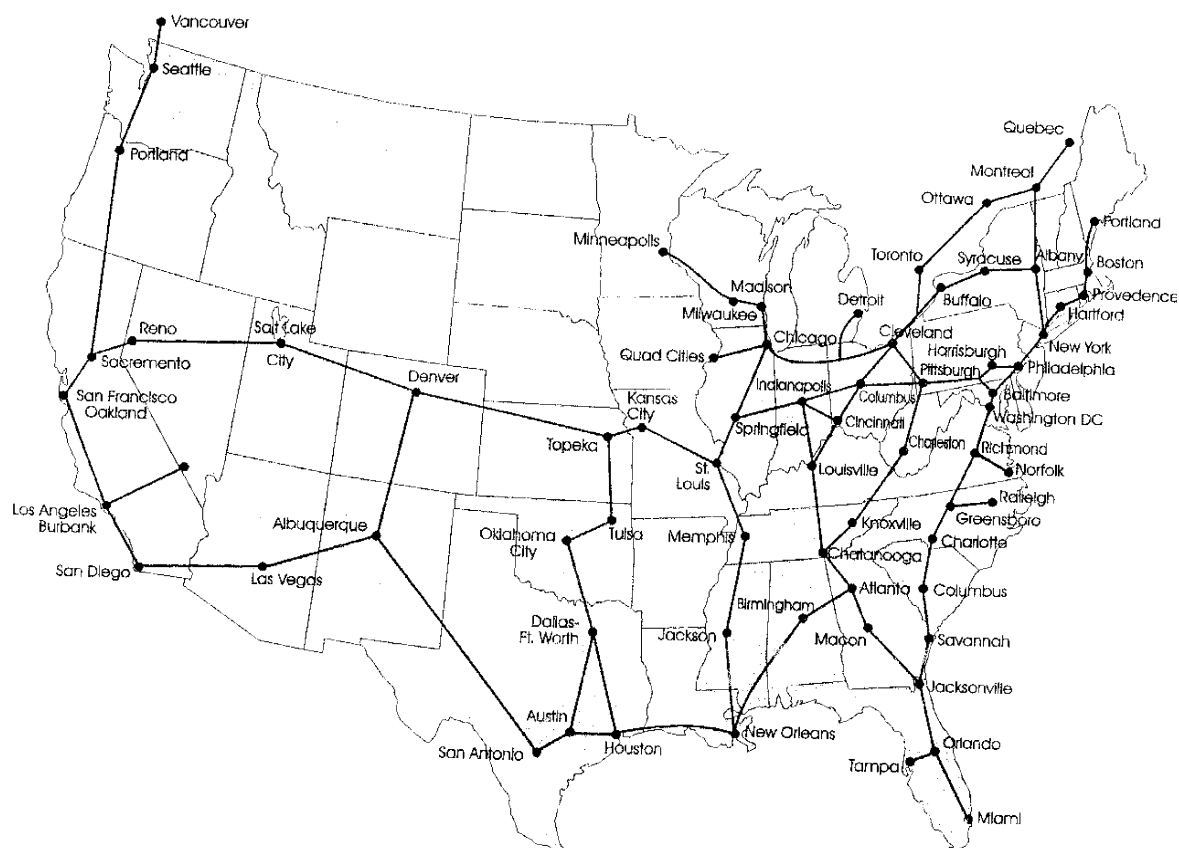
The operating costs of maglev are low, some 2 cents/passenger/km and 5 cents/tons.km (without the amortization of maglev track). These costs are about 9 cents/passenger/km in air transport, 25 cents/vehicle/km with automobiles and 18 cents/tons.km with trucks.

The investment costs of the maglev track, however, are too high if the maglev is utilized for passenger transport only [2]. But its vehicles can be configured to carry trucks and loaded trailers at the speed up to $400 - 500 \text{ km.h}^{-1}$. The average distance by freight trucks is about 600 km, and the costs of trucking are 200 milliard USD yearly in America. For these 200 milliard USD, it would be possible to build a 30,000 km-long net of maglev lines connecting metropolitan areas with 95 % of U.S. inhabitants over 20 years. Seventy-five percent of inhabitants would live less than 25 km from maglev stations. Trucks transferred by maglev could attend to customers in an adjacent station area after their detraining.

The intended maglev line net [2] is shown in Fig. 2.

A dual passenger-freight maglev system could pay back the guideway capital cost in a few years. For example, with 10,000 passengers and 2000 trailers daily (20 % of the Chicago – New York truck traffic) the payback time for a guideway costing six million dollars per km is only 3 years.

Currently, the 35 km-long maglev line is designed between Space Coast Regional Airport and Port Canaveral (Florida). The



Obr. 2. Plánovaná sieť tratí maglevu v Severnej Amerike
Fig. 2. The planned net of maglev lines in the North America

trať umožní získať skúsenosti s dopravou maglevom a urobiť ju atraktívnu a populárnejšou.

5. Elektrická mestská hromadná doprava

Pohyb obyvateľstva vo veľkomestách a aglomeráciách je nepredstaviteľný bez výkonných prostriedkov mestskej hromadnej dopravy. Len elektrifikované trate električiek, metra, mestských ľahkých a rýchlych železníc sú schopné prepraviť množstvo cestujúcich rýchlo a bezpečne v mestách, ktorých ulice a cesty sú preplnené automobilmi. Na rýchle spojenie letísk s mestskými centrami sa stavajú špeciálne železnice. Výhodami týchto systémov sú nulové exhalácie a nízka hladina hluku.

Vzrastajúca urbanizácia vo svete si vynúti široký rozvoj elektrifikovanej mestskej hromadnej dopravy.

6. Cestné vozidlá s elektrickým pohonom

Aj v budúcnosti bude cestná doprava dôležitá. Elektrickou energiou napájané cestné vozidlá sa dnes menej požívajú, aj keď trolejbusy a elektromobily premávajú v mnohých mestách. Ale výskum výkonnejších batérií a moderných pohonov s motormi na striedavý prúd (asynchrónnymi, s permanentnými magnetmi, reluk-

line enables experience with the maglev transport and to make it attractive and more popular.

5. Electric city mass transport

The inhabitants' movement in large cities and agglomerations cannot be imagined without powerful mass transport means. The electrified lines of trams, undergrounds, urban light and express railways are only able to move the mass of passengers quickly and safely in cities with their streets and roads overfilled by cars. Special railway lines are built for the quick connection of airports with city centres. No pollution and a low noise level are advantages of these systems.

The improving urbanisation of the world will enforce a large development of the electrified city mass transport.

6. Road vehicles with electric drive

The road transport will also be very important in the future. The electrical energy-supplied road vehicles are less used today; though, trolleybuses and electromobiles are in service in many cities. But the research of more powerful batteries and modern drives with AC (asynchronous, permanent magnet, reluctance)

tančnými) pre elektromobily úspešne pokračuje. Všetky veľké svetové automobilové a elektrické zariadenia vyrábajúce spoločnosti pripravujú vlastné projekty v tomto priemyslovom odvetví, aby boli pripravené na rozmach výroby elektrických cestných vozidiel očakávaný v budúcnosti.

7. Závery

Dopravné systémy spotrebúvajúce naftu nemôžu zvládnuť rastúce nároky na dopravu v 21. storočí. Elektricky napájané systémy vysokorychlostnej a mestskej dopravy sú schopné tieto požiadavky riešiť energeticky, ekologicky a ekonomicky prijateľnejšie ako existujúce systémy. Prirodzene, ak bude svetová (nielen) dopravná politika predvídať zmeny v zdrojoch energie očakávané v budúcich desaťročiach.

motors for electromobility goes on successfully. All big automobile and electric equipment-producing companies in the world prepare their projects in this industry branch to be ready for the boom expected in electric road vehicle production in the future.

7. Conclusions

The improving transport demands in the 21st century and later cannot be met by transport systems consuming fossil fuels. Electrically powered systems both of high speed and city mass transport are able to solve these demands in a more energy-, ecologically- and economically-friendly way than existing systems. Naturally, if the world (not only) transport policy anticipates expect changes in energy resources in the next few years.

Literatúra - References

- [1] MARŠÁLEK, O.: *Vliv současné energetické situace na rozvoj elektrického vytápění*. Elektrotechnik č. 4/90, s. 85-87.
- [2] DANBY, G., POWELL, J.: *The Development of Maglev - Yamanishi and Beyond*. Proceedings of papers read by occasion of opening the Yamanashi Maglev Test Line on April 4th, 1997, p. 4-19.
- [3] DRÁBEK, J.: *Energetická náročnost dieselelektrické vozby*. Železniční technika č. 12/1982, s. 13-18.
- [4] LACÔTE, F.: *Die TGV-Fahrzeugfamilie der SNCF*. Elektrische Bahnen Nr. 5/1992, S. 176-179.
- [5] DRÁBEK, J.: *Pozemní vedená vysokorychlostní doprava v Japonsku*. Nová železniční technika č. 3/1997, s. 66-69.
- [6] DRÁBEK, J.: *Vysokorychlostní doprava soupravami s magnetickou levitací v Japonsku*. Nová železniční technika č. 4/1997, s. 98-101.
- [7] Hirota, T.: *The Second Train Set for the Yamanashi Test Line*. Quarterly Report of RTRI Tokyo, Feb. 1998.
- [8] KRETSCHMAR, R.: *Das Magnetschnellbahn-Projekt Berlin - Hamburg und die Einsatzmöglichkeiten des Transrapid in den Pan-Europäischen Verkehrskorridoren*. Zborník konferencie Budúcnosť vysokorychlostnej dopravy na Slovensku v európskom kontexte, Stará Lesná 9. - 11. 10.1997, s. 6-16.
- [9] www.rtri.or.jp - web site of the Railway Technical Research Institute (RTRI) Tokyo.
- [10] HASEGAWA, H.: *Maglev vehicles MLX01 attained 1003 km/h relative speed of two trains passing on the Yamanashi Test Line*. Quarterly Report of RTRI Tokyo Nr. 2/2000.
- [11] SEKI, A.: *The JR-Maglev System after Three Years Evaluation Tests*. Quarterly Report of RTRI Tokyo Nr. 2/2000.
- [12] PALEČEK, J., PALEČEK, L.: *TRANSRAPID - nová dimenze v dopravní technologii*. Nová železniční technika č. 1/1998, s. 2-4.