

KONŠTRUKCIA ZARIADENIA PRE SAMOČINNÉ BRZDENIE VOZIDIEL PRI NÁRAZOVÝCH SKÚŠKACH

CONSTRUCTION OF DEVICE FOR AUTOMATIC VEHICLE BRAKING IN CRASH TESTS

Doc. Ing. Eduard Kolla, PhD.

*Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
Kontakt: kolla@uniza.sk*

Ing. Lukáš Szabo

*Školská 26/39, 955 01 Nemčice
Kontakt: lukas.szabo9702@gmail.com*

Bc. Patrik Szabo

*Školská 361/41, 955 01 Nemčice
Kontakt: patrik.szabo259@gmail.com*

ABSTRAKT

Nárazové skúšky s cestnými vozidlami sú cenným spôsobom získavania forenzne vyťažiteľných údajov. Pri príprave a realizácii nárazových skúšok je nutné zabezpečiť nielen objektívne zadokumentovanie týchto skúšok, ale aj ich bezpečný a reprodukovateľný priebeh. V rámci tejto požiadavky je okrem uvedenia vozidla do pohybového stavu a zabezpečenia jeho smerového vedenia do oblasti nárazu nutné zabezpečiť aj následné zastavenie skúšobného vozidla. Predkladaný príspevok sa zaoberá predstavením návrhu, konštrukcie a funkčnej verifikácie elektromechanického brzdiaceho systému cestného vozidla kategórie M1/N1 pre potreby forenzných nárazových skúšok.

Kľúčové slová: nárazová skúška, brzdenie, forenzné inžinierstvo, dopravná nehoda

ABSTRACT

Crash tests with road vehicles are a valuable way of obtaining forensically relevant data. When preparing and conducting crash tests, it is necessary to ensure not only that these tests are objectively documented, but also that they are conducted in a safe and reproducible manner. As part of this requirement, in addition to placing the vehicle in motion and providing directional guidance into the impact area, it is necessary to ensure that the test vehicle is subsequently stopped. The present paper deals with the presentation of the design,

construction and functional verification of the electromechanical braking system of a M1/N1 category road vehicle for the purpose of forensic crash testing.

Key words: crash test, braking, forensic engineering, traffic accident

1 ÚVOD

Nárazové skúšky plnia v rámci forenzného výskumu cestných dopravných nehôd nezastupiteľnú funkciu. Umožňujú v reálnom svete simulovať rôzne varianty nehodových scenárov, ktoré je možné objektívne zadokumentovať meracou technikou, ako aj video a foto technikou. Následne pri analýze týchto skúšok je možné okrem iného identifikovať a kvantifikovať forenzne využiteľné stopy, ktoré je potom možné využiť pri rekonštrukcii a analýze reálnych dopravných nehôd.

Forenzné nárazové skúšky sú zväčša realizované bez prítomnosti živého vodiča, pričom uvedenie vozidla do pohybového stavu je zabezpečené externým spôsobom (napr. cez roztáhovacie zariadenie) alebo prostredníctvom vlastného pohonu vozidla cez dodatočné technické zariadenie ovládajúce akcelerátor. V prípadoch nárazových skúšok bez výrazného rizika zranenia pre vodiča vozidla (napr. nárazového skúšky s figurínami chodcov pri nižšej hodnote nárazovej rýchlosti) je možné uviesť skúšobné vozidlo do pohybového stavu aj živým vodičom.

V rámci všetkých uvedených módov uvedenia skúšobného vozidla do pohybového stavu je nutné zabezpečiť aj možnosť zabrzdenia vozidla spĺňajúce najmä nasledovné požiadavky:

- Bezpečné a kontrolované zastavenie vozidla vo výbehovej fáze nárazovej skúšky, t.j. po náraze do objektu nárazu, najmä pre nárazové skúšky s figurínami zraniteľných účastníkov cestnej premávky.
- Možnosť prerušenia testu ešte pred nárazom do objektu nárazu.
- Opakovateľná a reprodukovateľná iniciácia brzdzenia vozidla v rámci série nárazových skúšok, tak aby bolo možné v rámci tejto skúšok variovať len sledovanú premennú veličinu (napr. nárazovú rýchlosť).
- Okrem primárneho spôsobu iniciácie brzdzenia aj možnosť záložnej (sekundárnej) iniciácie brzdzenia vozidla pre prípad zlyhania primárnej iniciácie.

Okrem vyššie uvedených požiadaviek je v rámci realizácie forenzných nárazových skúšok výhodné, ak je predmetný brzdiaci systém relatívne jednoduchý s kompaktným zdrojom energie na vyvodenie brzdneho účinku.

Najčastejšie býval v minulosti v rámci konštrukcie brzdiacich systémov cestných vozidiel pre nárazové skúšky používaný pneumatický [1], hydropneumatický [2] alebo hydraulický [3] princíp. Vo všetkých troch koncepčných riešeniach je ich nevýhodou priestorová náročnosť uskladnenia zásobníkov hnacieho média brzdového systému a možnosť úniku hnacieho média z okruhu brzdiaceho systému.

Článok sa venuje konštrukcii zariadenia pre samočinné brzdenie cestného vozidla kategórie M1/N1 pri nárazovej skúške, ktoré je založené na elektromechanickom princípe.

2 METODIKA A POUŽITÉ NÁSTROJE

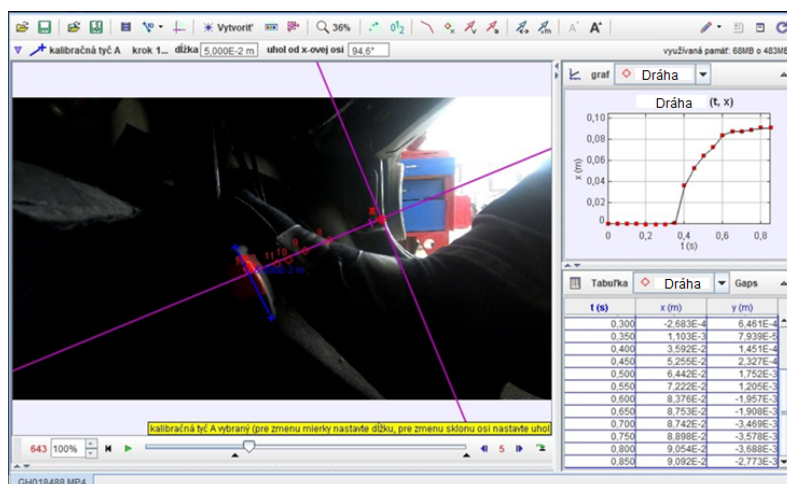
Proces návrhu a konštrukcie brzdiaceho systému vozidla pre nárazové skúšky pozostávala z niekoľkých fáz.

V prvej fáze bolo potrebné ustáliť požiadavky na koncepciu aktivácie brzdenia skúšobného vozidla. Ako najvhodnejší bol zvolený princíp elektromechanického aktuátora pracujúceho pri jednosmernom napätí 12 V a pôsobiaceho priamo na pedál prevádzkovej brzdy. Toto konštrukčné riešenie nevyžaduje zásah do brzdového okruhu vozidla a rovnako nevyžaduje objemný externý zásobník hnacieho média, ale len pripojenie na zdroj jednosmerného napätia. Pri takejto koncepcii je možné minimalizovať veľkosť zdroja energie v podobe kompaktných akumulátorov elektrickej energie, resp. priamo pripojením na vozidllovú sieť.

Ďalej bolo vykonané meranie na vzorovom skúšobnom vozidle v podobe osobného automobilu Peugeot 307 SW za účelom určenia dĺžky dráhy pedálu prevádzkovej brzdy medzi jeho hornou a dolnou úvraťou. Pre tento účel bola použitá metóda kvantitatívnej video analýzy pohybu brzdového pedálu zo záznamu akčnej kamery GoPro 6 a s použitím softvérového programu Tracker [4]. Na základe video analýzy bolo zistené, že dráha pedálu prevádzkovej brzdy bola do cca 0,1 m (obrázok 1).

Ďalej bolo nutné určiť vhodné silové parametre aktuálneho prvku brzdiaceho systému determinované ovládacou silou pôsobiacou na pedál prevádzkovej brzdy. Podľa ustanovení

predpisu EHK č. 13-H je najvyššia prípustná ovládacia sila na pedál prevádzkovej brzdy osobného automobilu 500 N [5].



Obrázok 1 Určenie dráhy pohybu pedálu prevádzkovej brzdy

Na základe vyššie definovaných vstupných predpokladov bol ako aktuálny prvok brzdiaceho systému skúšobného vozidla zvolený elektromechanicky lineárny aktuátor LA50-1 [6] – obrázok 2. Základné technické parametre aktuátora sú uvedené v tabuľke 1.



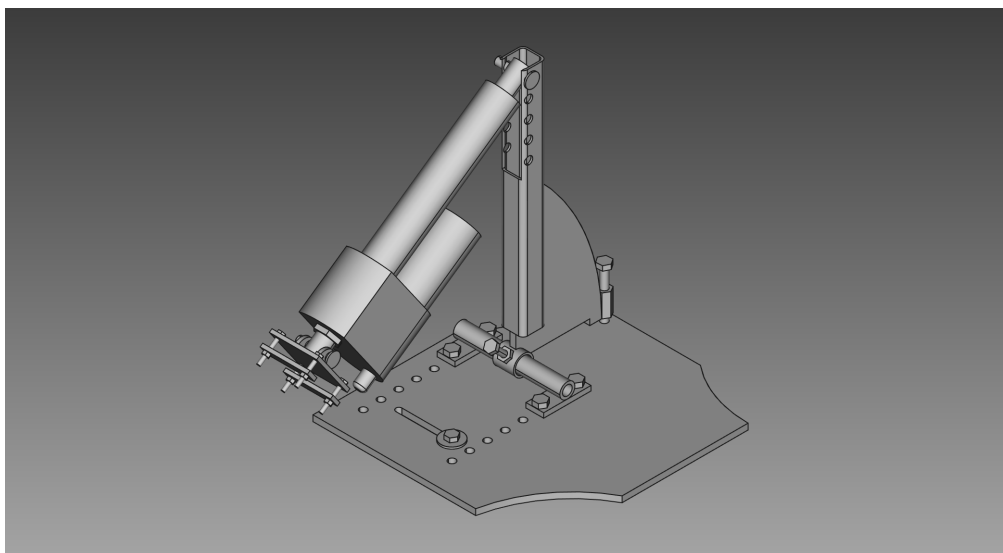
Obrázok 2 Elektromechanicky lineárny aktuátor LA50-1 [6]

Tabuľka 1: Základné parametre lineárneho elektromechanického aktuátora LA50-1 [6]

Typ	LA50-1
Maximálne prípustné zaťaženie [N]	1000
Maximálna rýchlosť pohybu piesta bez zaťaženia [m/s]	0,16
Maximálna rýchlosť pohybu piesta pri plnom zaťažení [m/s]	0,08
Maximálne prúdové zaťaženie pri napätí 12 V [A]	20
Maximálny zdvih piesta [m]	0,15
IP krytie	IP66

Následne bol zrealizovaný návrh a výroba konštrukčných prvkov slúžiacich na ukotvenie celého brzdivého systému v interiéri skúšobného vozidla a prenos silového

pôsobenia lineárneho aktuátora na pedál prevádzkovej brzdy. Konštrukčné prvky boli zrealizované z konštrukčnej ocele S235 rôznych profilov. Ukotvenie mechanických častí brzdiaceho systému vo vozidle je zrealizované cez drážku základovej platne skrutkovým spojom M10 cez prevrtaný otvor v podlahe vozidla – tento spôsob upevnenia je možný v prípade skúšobných vozidiel určených pre nárazové skúšky a nemá technicky relevantný vplyv na výsledky testov. Cez drážku základovej platne je ďalej možný posun základovej platne v smere kolmom na pozdĺžnu rovinu súmernosti vozidla. Vzájomná poloha elektromechanického lineárneho aktuátora a brzdového pedála je ďalej presne nastaviteľná s niekoľkými stupňami voľnosti prostredníctvom na to určených konštrukčných prvkov. Priestorový pohľad na mechanické časti brzdiaceho systému je zobrazený na obrázku 3.



Obrázok 3 Brzdaci systém skúšobného vozidla pre nárazové skúšky

Napájanie celého brzdiaceho systému je zabezpečené buď cez na to určený 12 V akumulátor, alebo zapojením priamo na 12 V vozidlovú sieť, pričom primárna aktivácia brzdiaceho systému je zabezpečená cez tenzometrický páskový spínač (Tapeswitch Ribbon Switch 131-A [7] – obrázok 4 vľavo) nárazom do objektu nárazu (figurína chodca, druhé vozidlo, bariéra, apod.). Sekundárna (záložná) aktivácia brzdiaceho systému pre prípady, keď je skúšobné vozidlo vedené ľudským vodičom v prípade nárazových skúšok s figurínami zraniteľných účastníkov cestnej premávky je zabezpečená prostredníctvom ovládacej jednotky umiestnenej na stredovom paneli vozidla (obrázok 4 vpravo). Sekundárnu aktivačnú ovládaciu jednotku brzdiaceho systému ja zároveň možné ovládať ľudským operátorom mimo vozidla pričom s brzdiacim systémom je spojená prostredníctvom dostatočne dlhého káblového vodiča – v takomto prípade je zabezpečená možnosť zabrzdenia vozidla ľudským operátorom mimo skúšobného vozidla.



Obrázok 4 Vľavo – primárna aktivácia systému, vpravo – sekundárna aktivácia systému

Umiestnenie kompletného brzdiaceho systému v osobnom automobile je znázornené na obrázku 5.



Obrázok 5 Brzdiaci systém umiestnený v skúšobnom vozidle

3 VERIFIKÁCIA FUNKČNÝCH VLASTNOSTÍ SYSTÉMU

Pre verifikáciu brzdiacich schopností celého systému boli v prvej fáze vykonané brzdné skúšky s vozidlom Peugeot 307SW na asfaltovom povrchu. Povrch bol prevažne suchý, s občasnými vlhkými oblasťami. Vozidlo bolo vybavené meracím systémom DSD PicDAQ5 [8], ktorý bol umiestnený na prístrojovej doske. Merací prístroj pozostáva z 2 trojosých akcelerometrov (merací rozsah $\pm 1,5$ g a ± 200 g) a jedného trojosého gyroskopu (merací rozsah ± 300 °/s). So skúšobným vozidlom bolo vykonaných 8 jázd, v rámci ktorých došlo k zabrzdzeniu vozidla prostredníctvom vyvinutého brzdiaceho systému jeho aktiváciou cez sekundárny spôsob aktivácie (t.j. ovládacou jednotkou umiestnenou na stredovom paneli) a 8 jázd, pri ktorých zabrzdil vozidlo vodič zošliapnutím brzdového pedálu. V obidvoch

případoch bolo vozidlo uvedené do pohybu na rýchlosť cca 40-50 km/h a smerovo vedené ľudským vodičom. Výsledky vyhodnotených meraní sú uvedené v tabuľkách 2 a 3.

Tabuľka 2: Verifikačné brzdné skúšky – brzdiaci systém skúšobného vozidla

Pokus č.	Rýchlosť na začiatku plného brzdneho účinku [km/h]	Dráha brzdienia [m]	Čas nábehu brzdneho účinku [s]	Plné brzdné spomalenie [m/s ²]	Priemerné plné brzdné spomalenie [m/s ²]	Priemerný čas nábehu brzdneho účinku [s]
1	48,22	11,15	0,52	8,04	7,56	0,48
2	45,84	10,32	0,49	7,86		
3	43,83	9,60	0,5	7,72		
4	44,88	10,73	0,47	7,24		
5	44,04	9,98	0,46	7,50		
6	45,74	11,13	0,39	7,25		
7	46,40	11,22	0,51	7,40		
8	42,13	9,16	0,48	7,48		

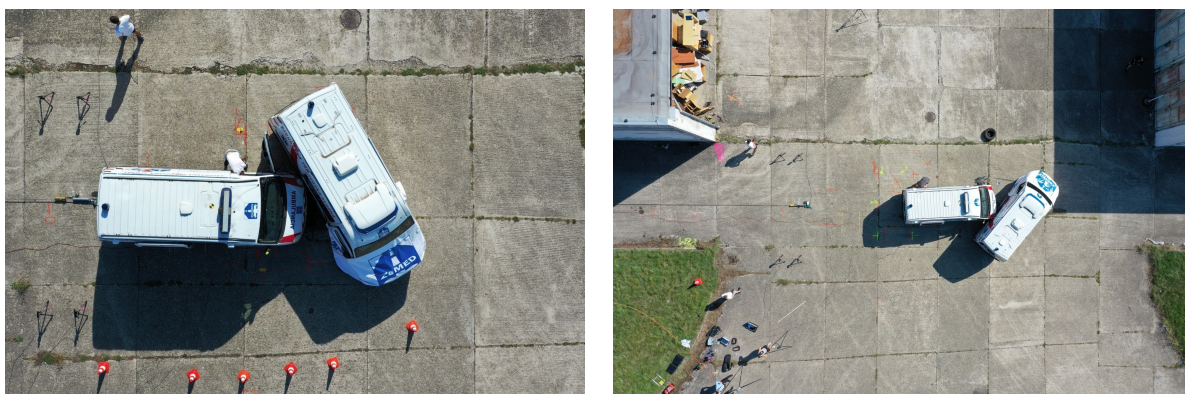
Tabuľka 3: Verifikačné brzdné skúšky – vodič

Pokus č.	Rýchlosť na začiatku plného brzdneho účinku [km/h]	Dráha brzdienia [m]	Čas nábehu brzdneho účinku [s]	Plné brzdné spomalenie [m/s ²]	Priemerné plné brzdné spomalenie [m/s ²]	Priemerný čas nábehu brzdneho účinku [s]
1	48,48	11,92	0,23	7,61	7,85	0,24
2	46,67	10,49	0,25	8,01		
3	44,61	10,01	0,22	7,67		
4	50,48	13,02	0,22	7,55		
5	48,96	11,88	0,17	7,79		
6	50,76	12,75	0,25	7,80		
7	48,32	11,41	0,28	7,89		
8	48,86	11,55	0,25	7,97		

Z porovnania nameraných hodnôt je zrejmé, že hodnoty dosiahnutého plného brzdneho spomalenia sú porovnateľné medzi variantom zabrzdienia vozidla vyvinutým brzdiacim systémom a variantom zabrzdienia vozidla ľudským vodičom. Je technicky prijateľné, že vplyv na rozdiel cca 4 % v hodnotách dosiahnutého plného brzdneho spomalenia medzi oboma testovacími sériami mal aj povrch na ktorom boli skúšky realizované (pri druhej sérii meraní došlo už k čiastočnému vyschnutiu vlhkých miest povrchu). Ďalej je z porovnania zrejmé, že nábeh brzdneho účinku je v prípade brzdienia

vyvinutým brzdiacim systémom dvojnásobný oproti variantu brzdenia vodičom. Tento fakt je spôsobený rýchlostnými parametrami zvoleného lineárneho aktuátora (tabuľka 1) a vzhľadom na účel použitia vyvinutého brzdiaceho systému nepredstavuje technický problém.

V druhej fáze verifikácie funkčných vlastností brzdiaceho systému bol tento umiestnený v rámci nárazových skúšok do vozidla Renault Master II, ktoré bolo na to určeným technickým zariadením uvedené do pohybu a smerovo vedené do bočnej časti staticky stojaceho vozidla Renault Master III. Boli vykonané dve nárazové skúšky – pri prvom teste vozidlo Renault Master II narazilo rýchlosťou cca 19 km/h do pravej strany vozidla Renault Master III (obrázok 6 vľavo), pri druhom teste vozidlo Renault Master II narazilo rýchlosťou cca 39 km/h do ľavej strany vozidla Renault Master III (obrázok 6 vpravo). V oboch prípadoch bol na aktiváciu brzdiaceho systému použitý primárny spôsob aktivácie, pričom ľudský operátor mimo vozidla obsluhoval pre prípad potreby ovládaciú jednotku sekundárneho spôsobu aktivácie.



Obrázok 6 Konečné polohy vozidiel: vľavo – nárazová skúška 1; vpravo – nárazová skúška 2

V obidvoch prípadoch došlo k úspešnej aktivácii brzdiaceho systému primárnym spôsobom aktivácie a k zastaveniu vozidla Renault Master II (spomalenie vozidla bolo spôsobené okrem brzdenia aj nárazom do druhého vozidla).

4 ZÁVER

Predložený príspevok sa zaoberal návrhom, konštrukciou a verifikáciou funkčnosti brzdiaceho systému pre účely forenzných nárazových skúšok. Hlavná výhoda vyvinutého systému oproti doposiaľ používaným konceptom spočíva v minimalizácii zdroja hnacej energie. Systém je možné napájať kompaktným zdrojom jednosmerného napätia 12 V s prúdovým zaťažením minimálne 20 A (napr. 3 do série zapojené Li-Ion akumulátory Samsung INR21700-40T) alebo priamo pripojením na vozidlóvú sieť 12 V. Takýto systém je

menej priestorovo náročný ako pneumatický, hydropneumatický alebo hydraulický systém, bez objemného zásobníka hnacieho média, bez nutnosti existencie systému dopravy a regulácie hnacieho média do aktuátora a bez rizika úniku hnacieho média z celého systému. Vyvinutý systém je ďalej možné využiť pri ďalších konštrukčných návrhoch regulácie rýchlosti skúšobného vozidla aj v rámci jazdných skúšok nakoľko jeho regulácia je relatívne jednoduchá – rýchlosť pohybu piestu aktuátora je možné regulovať reguláciou napätia a vektor pohybu piesta aktuátora je regulovateľný zmenou polarita napätia.

Vyvinutý brzdiaci systém je možné aktivovať primárny spôsobom aktivácie nárazom na tenzometrický páskový spínač alebo manuálne ľudským operátorom prostredníctvom ovládacej jednotky sekundárnej aktivácie brzdiaceho systému. Budúca práca bude zameraná na vývoj riadiacej jednotky (a pridružených senzorických a regulačných prvkov), ktorou by bolo možné aktivovať brzdiaci systém nielen nárazom, alebo manuálne ľudským operátorom, ale aj prostredníctvom vopred nadefinovaných okrajových podmienok - napr. aktivácia brzdiaceho systému v určitom konštantnom časovom intervale pred nárazom tak, aby v okamihu nárazu už bolo vozidlo intenzívne brzdené.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0626. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-20-0626: Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenzej analýzy cestných dopravných nehôd.

Autori touto cestou ďakujú spoločnosti ZaMED, s.r.o za spoluprácu pri príprave a realizácii nárazových skúšok.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

[1] VILLALOBOS, D. E., GARZÓN, C. A., GÓMEZ, J. A., OVALLE, J., C., 2013. Braking mechanism for the RCAR protocol in vehicle crash-test trials. In: *TECCIENCIA*. Volume 7(14), s. 23-31, DOI: 10.18180/tecciencia.2013.14.3

[2] Messring Hydropneumatic Vehicle Brake System, (2024), cit. [11-24-2024]. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/products/passive-safety/hydropneumatic-vehicle-brake-system/>

- [3] Messring Hydraulic Vehicle Brake System, (2024), cit. [11-24-2024]. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/products/passive-safety/hydraulic-vehicle-brake-system/>
- [4] Physlets Tracker, (2024), cit. [11-24-2024]. Dostupné z: <https://physlets.org/tracker/>
- [5] Predpis Európskej hospodárskej komisie Organizácie Spojených národov (EHK OSN) č. 13-H; Jednotné ustanovenia pre homologizáciu osobných automobilov z hľadiska brzdenia / Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to braking, (2024), cit. [11-26-2024]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42023X0401>
- [6] Elektromechanický lineárny aktuátor LA50-1, (2024), cit. [11-24-2024]. Dostupné z: https://www.gomotorworld.com/pd?product_id=56
- [7] Tenzometrický páskový spínač Tapeswitch Ribbon Switch 131-A, (2024), cit. [11-24-2024]. Dostupné z: <https://www.tapeswitch.com/store/proddetail.php?prod=1200>
- [8] Merací prístroj DSD PicDAQ5, (2024), cit. [11-24-2024]. Dostupné z: https://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=16:pic-daq&catid=37&Itemid=159&lang=en