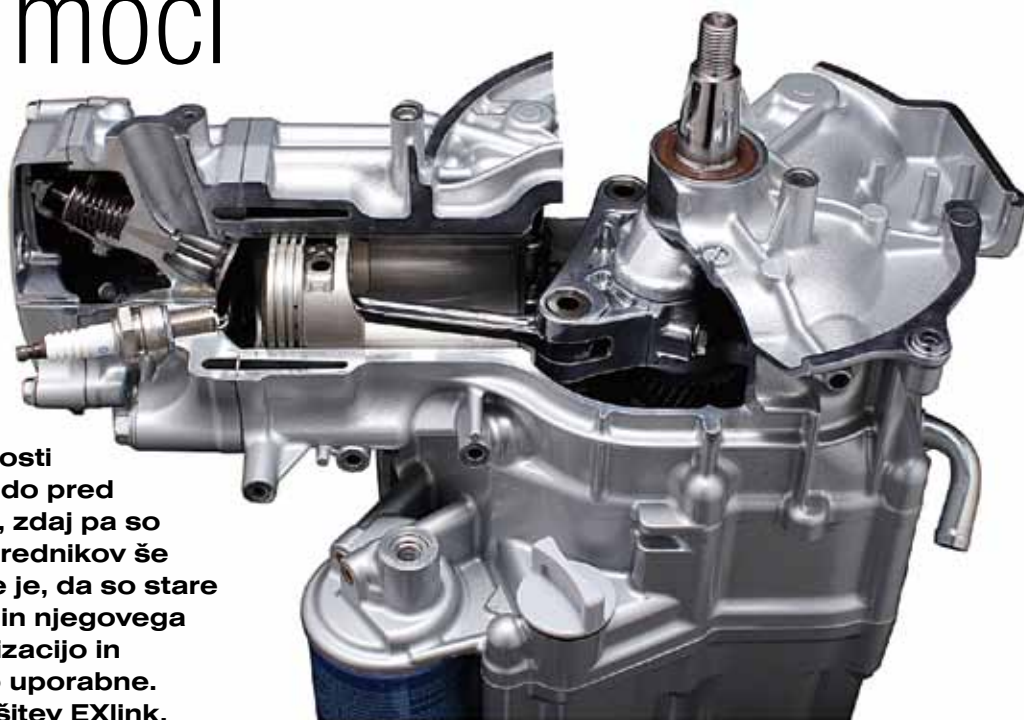


# EXlink: spremenljivi hod bata daje več moči

Manj goriva za več pridobljenega dela je cilj vsakega inženirja, ki v razvoju išče sinergije za nove in nove prihranke. Mnoge stare zamisli, rešitve in pristopi na motorju z notranjim zgorevanjem zaradi premajhnih zmogljivosti in predrage proizvodnje še do pred kratkim niso bile uporabne, zdaj pa so lahko mnoga darila naših prednikov še kako uporabna. Izkazalo se je, da so stare ideje za krmiljenje motorja in njegovega toplotnega procesa, hibridizacijo in elektrifikacijo vozil še kako uporabne. Dokaz je konstrukcijska rešitev EXlink.



**MATEJ OZEBEK**  
Foto *Exlink, Honda*

V 19. stoletju je angleški inženir James Atkinson izumil krmilni mehanizem batnega motorja, ki je imel takrat 18-odstotno termično učinkovitost. Atkinsonov izum je prišel le desetletje za Nikolausom Augustom Ottom, ki je bil nemški inženir in je izumil motor, ki se po njem imenuje Ottov motor.

Izkoristki toplotnih strojev izhajajo iz razmerja med pridobljenim in vložnim delom, ki jo preprosto ponazarja površina

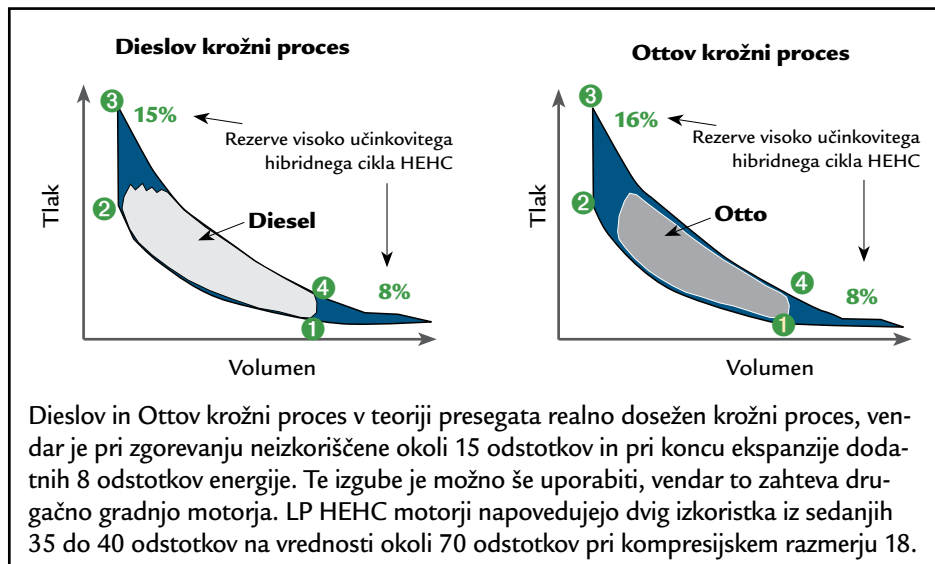
krožnega procesa. Na razne realne in idealne krožne procese so s svojimi izumi pripevali Joule in Rudolf Diesel in N.A. Otto, ki so konec 19. stoletja nadaljevali ideje Thomasa Newcomna in Jamesa Watta, ki sta izumitelja in izboljševalca parnega stroja iz 18. stoletja, ko so za energent večinoma uporabljali premog.

S tekočimi in plinastimi gorivi se je ukvarjal tudi manj znani Miller, ki je ob Atkinsonu vplival na dosežen termodinamični izkoristek, pri čemer sta oba izhajala iz spremenljivih hodov bata. Te idejne reši-

tve vplivajo na razvoj motorjev še danes, ko skušajo konstruktorji poleg mehanskega dela izkoristiti tudi toplotni del motorjev z notranjim zgorevanjem.

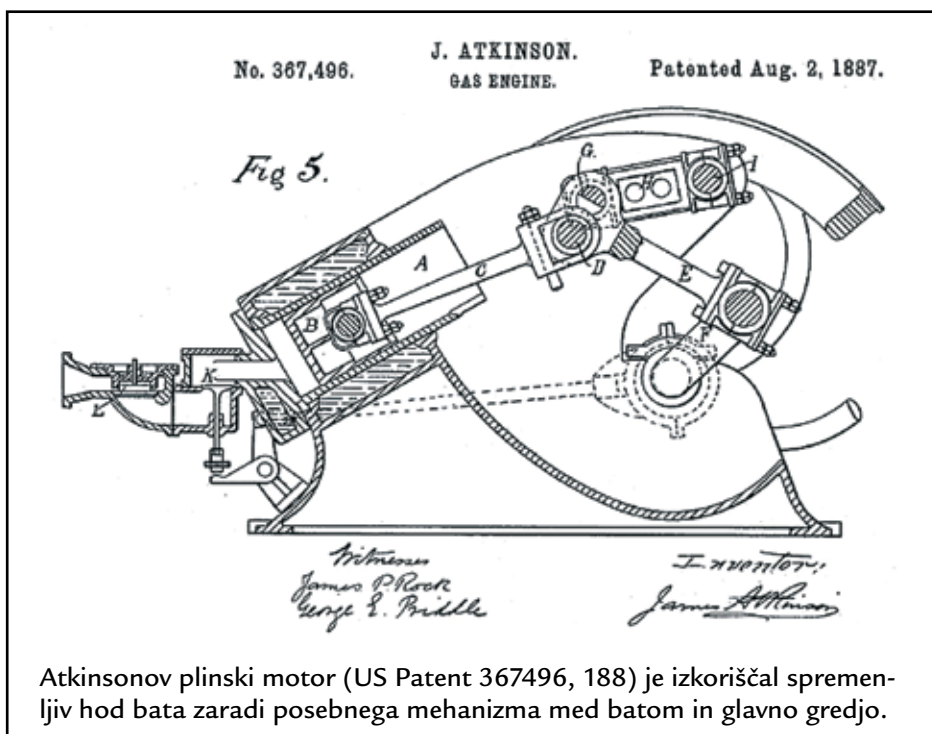
Gibanje bata v Atkinsonovem motorju nima enakega hoda pri vsakem vrtljaju glavne gredi. Med batom in glavno gredjo je več ojnici podobnih elementov ali ročic, ki dosežejo učinek, da se bat vsak drugi gib pomakne za ugodnejši hod, kar je glavna značilnost Atkinsonove ideje. Spremenljiv hod bata pripomore k temu, da se skrajšajo neugodna kompresija in sesanje, podaljša pa se koristna ekspanzija.

Večje razmerje med ekspanzijo in kompresijo daje motorju značilnost, da deluje bolje z manjšo porabo goriva. V teoriji to drži še iz Atkinson-Millerjevih časov, a težava je, kako zgraditi tak motor. Učinkovitost Atkinsonovega cikla je bila že pred 130 leti veliko boljša od klasičnega motorja, vendar je bila preveč zapletena, da bi motor s to značilnostjo lahko zgradili v kompaktni velikosti. Rešitev ni bila prilagojena za večje obrate in zato ni imela nobene vloge pri razvoju motorjev. Danes je mogoče z uporabo povezovalnih drogov zgraditi večz gibni ročični mehanizem batnega motorja, ki je preprostejši od Atkinsonovega in s tem bolj uporaben.



Poznavanje termodinamike in procesa delovanja motorja z notranjim zgorevanjem nam pojasni, kakšna je razlika med Ottovimi, Dieslovimi, Stirlingovimi, Atkinsonovimi in Millerjevimi delovnimi procesi pri zgorevanju goriva v štiritaktnem motorju. Brez večjih zadržkov lahko trdimo, da je višje kompresijsko razmerje dizelskega motorja razlog za večji termodinamični izkoristek in s tem nižjo porabo goriva. Toda hkrati je višja kompresija tudi glavni zaviralec delovnega procesa v štiritaktnem motorju, saj je treba za zagotovitev visoke kompresije uporabiti več energije. Za krajše komprimiranje zmesi ali zraka je potrebne manj energije, vendar je termodinamični izkoristek slabši. Obe prednosti bi lahko združili oziroma izkoristili, če bi lahko motor spreminjal svojo geometrijo glede na potrebe. Pred mnogimi leti so motor s spremenljivo geometrijo že predstavljali pri švedskem proizvajalcu SAAB, vendar se zaradi zahtevnosti gradnje niso odločili za velikoserijsko proizvodnjo.

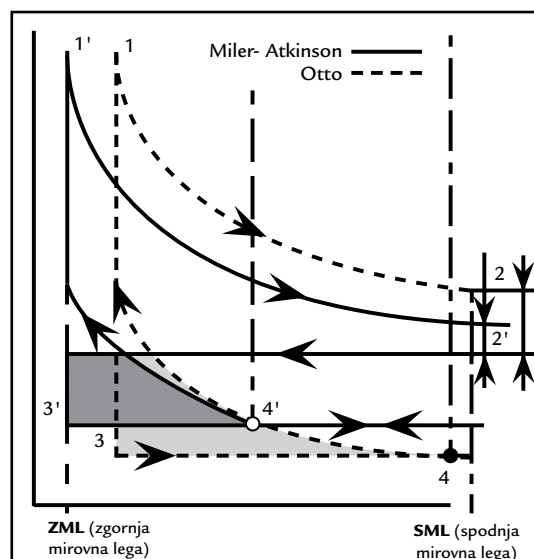
Zmanjševanje ogljikovega dioksida, ki nastaja pri zgorevanju fosilnih goriv, je osnovni cilj pri razvoju motorjev. Različne izboljšave, kot je na primer izkoriščanje delnih obremenitev, jadranje in kratkotrajno povečanja moči s hibridnimi dodatki, prinašajo prihranke goriva, a z njimi ni možno drastično izboljšati porabe goriva pri motorjih, ki delujejo pod velikimi obremenitvami. Velik izziv je, kako najti primerno rešitev, kako torej združiti prej omenjeni prednosti, ki se sicer izključujejo. Morda je ena od njih rešitev - EXlink.



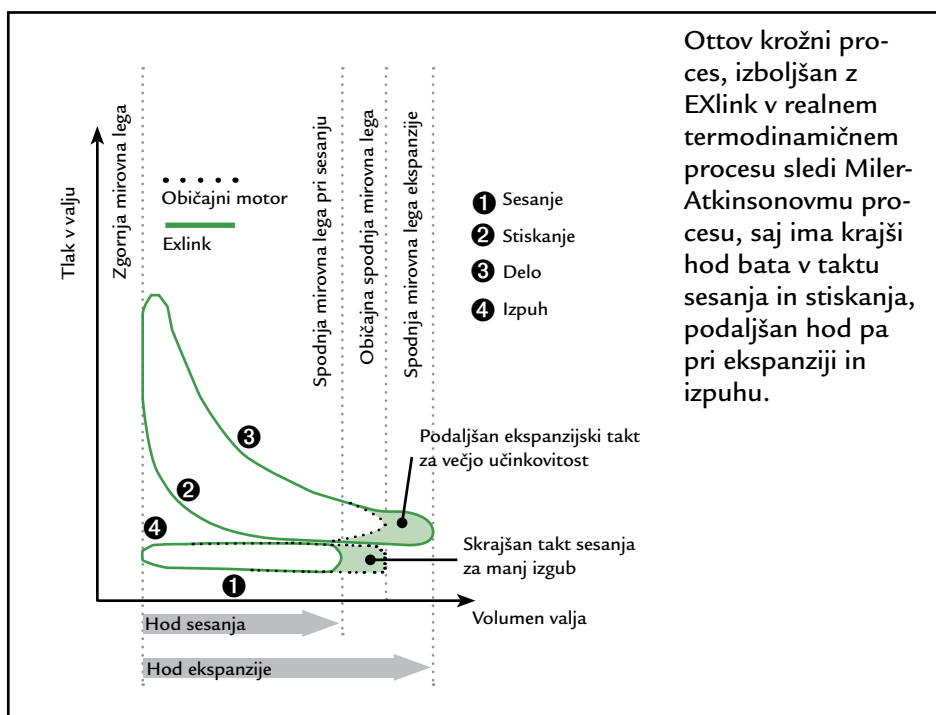
Atkinsonov plinski motor (US Patent 367496, 188) je izkoriščal spremenljiv hod bata zaradi posebnega mehanizma med batom in glavno gredjo.

### Kako do idealnejšega gibanja bata

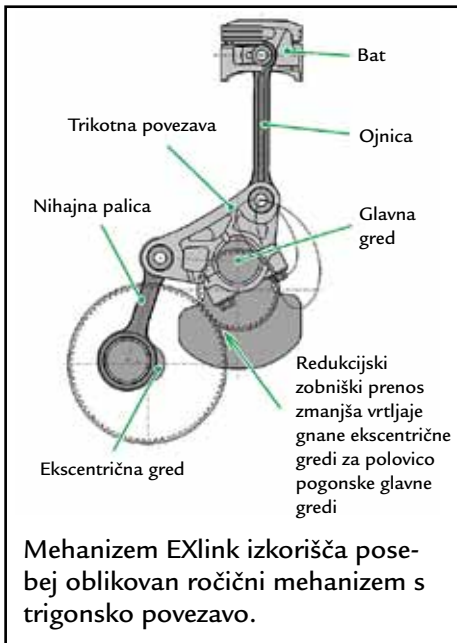
Idejo, imenovano EXlink, je razvojno začel neimenovani inženir, ki je leta 2001 v Londonu obiskal tamkajšnji muzej in opazoval razstavljen radialni motor letala. Opazoval je, kako spreminjanje dimenzij komponent ročičnega mehanizma, ki ga sestavljajo ročična gred, ojnice in bati v valju, medsebojno vplivajo na gibanje glavne in pomožne gredi. Intuitivno je zasnoval nov mehanizem, ki uporablja dodatne ročice - palice, ki niso del današnjih motorjev. S povezavo glavne drsne palice na ročično gred prek podsestav



Primerjava Miller Atkinsonovega z Ottovim krožnim procesom pokaže krajše sesanje in kompresijo v Atkinsonovem procesu (med 4' in 3'). Ottov proces s konstantno daljšim hodom (od 4 do 3) porabi več energije za sesanje in stiskanje. Pridobljeno ali porabljeno delo se v krožnem procesu prepozna po smeri krožnega procesa (levi - porabljeno in desni - pridobljeno delo). Manjša temno siva površina predstavlja manjše Atkinsonovo porabljeno delo (levi krožni proces) za sesanje in kompresijo, ki je sorazmerno manjše ravno zaradi krajšega hoda bata. Ottov cikel v realnosti porabi več dela zaradi polnitve in stiskanja. Označena večja svetlo siva površina označuje nekoristno, a nujno porabljeno delo, da teče krožni proces štiritaktnega motorja.



Ottov krožni proces, izboljšán z EXlink v realnem termodinamičnem procesu sledi Miller-Atkinsonovmu procesu, saj ima krajši hod bata v taktu sesanja in stiskanja, podaljšán hod pa pri ekspanziji in izpuhu.



### Kot nagiba ojnice



#### Običajni motor

Velik kot ojnice glede na os valja povzroči veliko stransko silo, ki močno potisne bat ob steno valja



#### Exlink

Majhen nagib ojnice povzroči majhno stransko silo bata ob steno valja

Nagib ojnice je v klasičnem motorju povezan z njeno dolžino. Ugodnejša je daljša ojnica, vendar mora biti dosežen optimum z njeno maso in višino motorja. EXlink povzroči minimalen odklon ojnice, kar pomeni močno zmanjšanje stranske sile na bat in prav to povzroči manj trenja in manj hrupa.

ne palice in s premikanjem po povezavi je mogoče omogočiti idealnejše gibanje bata, kar je postala izhodiščna točka za zasnovano nenavadno oblikovanega, večz gibnega ročičnega mehanizma batnega motorja.

### Trigonska povezava

Na osnovi te ideje je stekla raziskava mehanizmov batnega motorja. Pripravljeni so bili različni koncepti, ki temeljijo na aksialnem batnem motorju. Iskali so preprost mehanizem z nameščanjem nove "trigonske povezave" med ojnico in ojničnim čepom na ročni gredi. Pri običajnem motorju naj bi

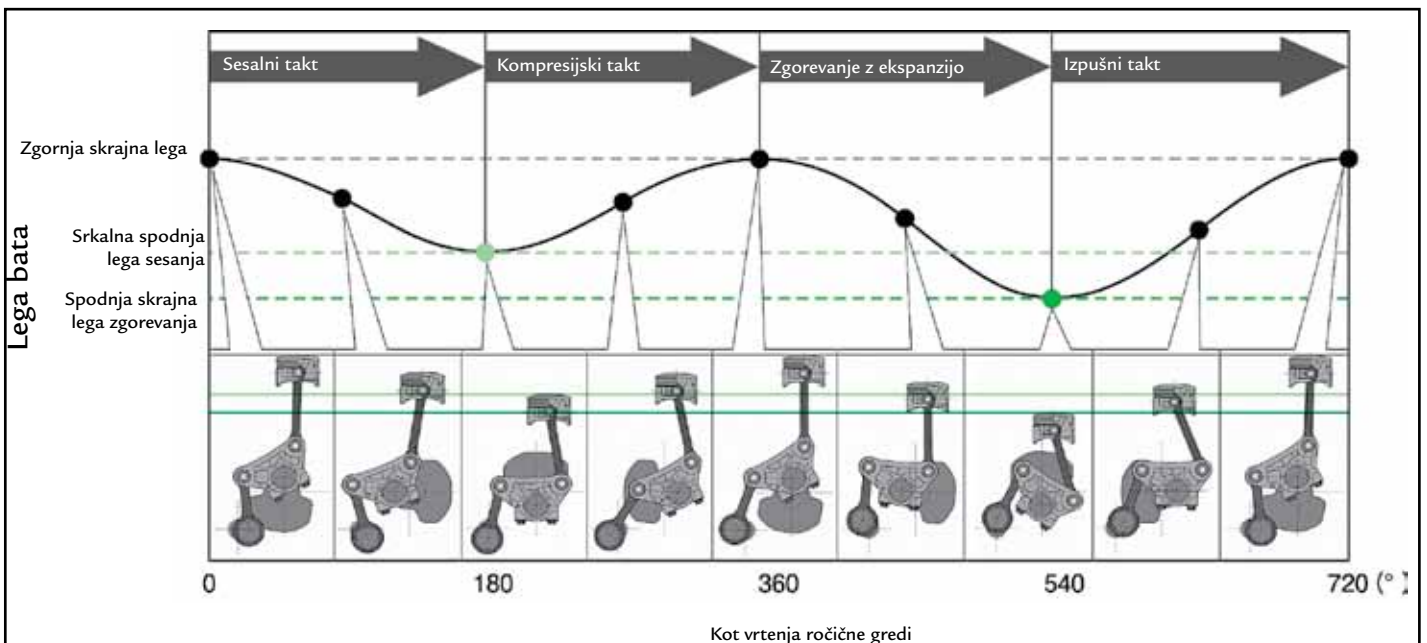
z obračanjem dodane nihajne palice pri različnih vrtljajih motorja lahko spremenili hod bata za vsak obrat glavne gredi. Zamisel in izdelava takega večstopenjskega mehanizma naj bi omogočila spreminjanje kompresijskega volumna. Prvi prototip je bil preizkušen decembra 2001; čeprav je ekipa dvomila, da bo mehanizem deloval, je motor oživel in s krasnim zvokom pospremil delovanje.

Dokazali so, da je osnovna konstrukcija pravilna, a se je prvi motor kmalu pokvaril, saj je bil ta motor le spremenjen konvencionalen motor. Na novo zasnovan drugi prototip je bil prav tako problematičen, saj so se nepričakovane ravni vibracij in hrupa še naprej pojavljale in s tem oteževale zmogljivostne teste. Ekipa se je odločila začeti

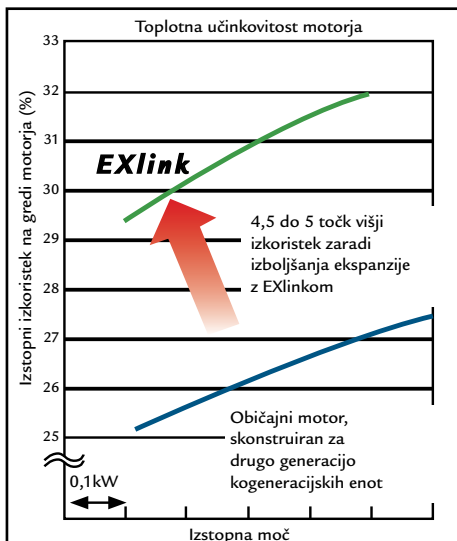
od začetnega izhodišča, da bi natančno preučili specifikacije mehanizma. Zgradili so tretji prototip, ki je prinesel iskrico upanja po skupaj enoletnem delu. Četrty poizkus, da bi izdelali prototip, je ponovno trajal leto dni.

Od oblikovanja drugega prototipa je bila ojnica zasnovana tako, da ostane ravna med ekspanzijo in zmanjša pritisk bočne sile. Če bi bilo trenje bata manjše, bi to trenje nadomestilo trenje ostalih dodanih komponent. Trenje naj bi se izravnalo in naj bi bilo enako kot v konvencionalnem motorju. A kljub temu je bilo trenje v realnosti veliko večje.

S temeljitim raziskovanjem obremenitev in trenja med vsemi povezavami in na podlagi tribološke analize je nastal peti prototip.



EXlink ročni mehanizem s trigonsko povezavo dosega spremenljiv hoda bata v vsakem drugem taktu, ki je daljši, kar omogoči podaljšano ekspanzijo. Synchroniziran pogon trigonske povezave dodatno povzroči manjše nagibanje ojnice med ekspanzijo, kar ustvari minimalne stranske sile na bat. Manjše stranske sile na bat povzročajo manj hrupa in močno zmanjšajo trenje. Video posnetek delovanja na: [www.youtube.com/watch?v=iX-KB-F7r68](http://www.youtube.com/watch?v=iX-KB-F7r68)



Izkoristek motorja s spremenljivim hodom bata EXlink in običajnim sodobnim motorjem za kogeneracijo energije pokaže do 5 odstotkov večje termične izkoristke motorja s spremenljivim hodom bata EXlink.

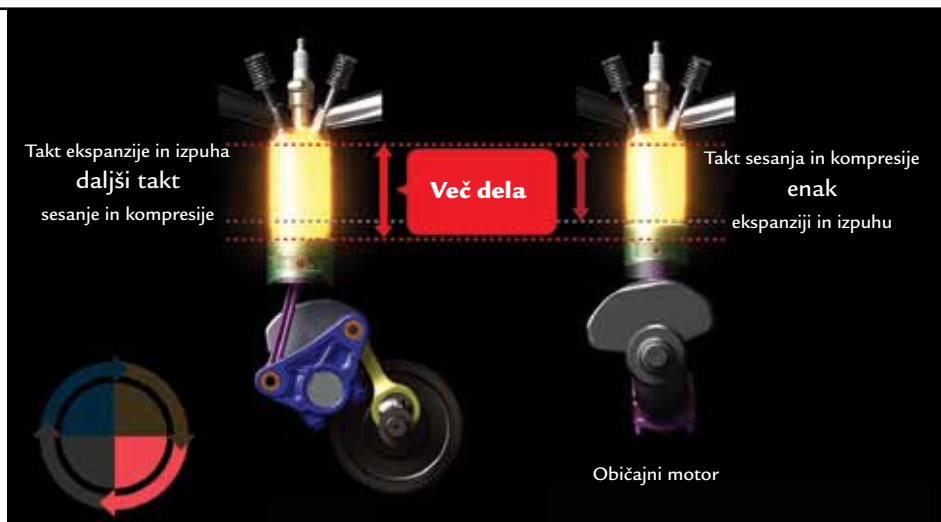
Vsaka njegova komponenta je imela zadostno togost in mazanje. Na novo je bila zasnovana gred, ki je imela manjši premer in zato manjše območje trenja. S tem so zmanjšali skupno trenje in sčasoma dosegli svoj cilj.

### Spremenljivi hod

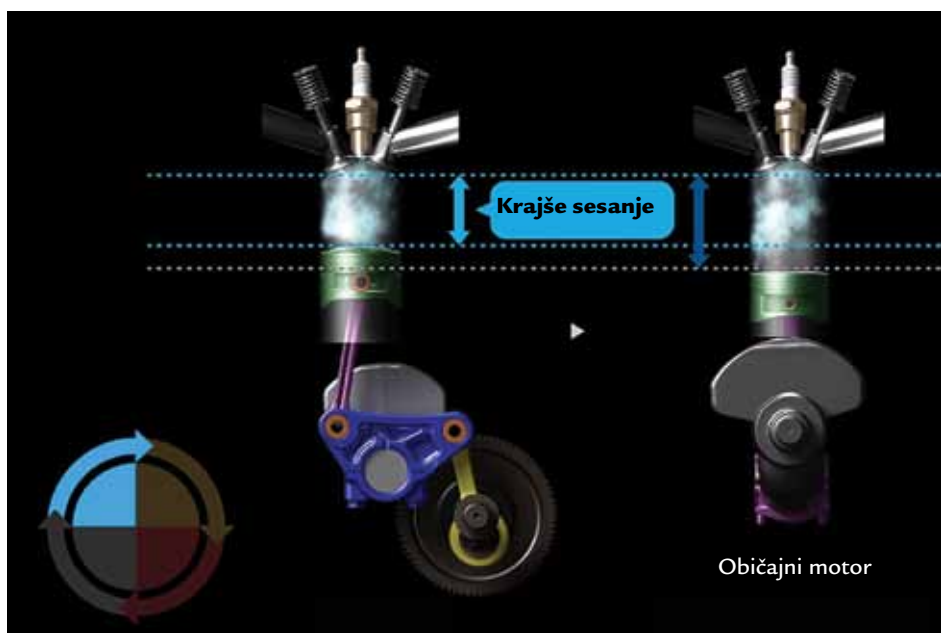
Mehanizem dodatnega trikotnega vodila je postavljen med dve razdeljeni ojnici in tako tvori petzglobni mehanizem, ki ima v fazi gnano tudi vmesno trikotno povezavo. S tem se doseže učinek, enakovreden krajšanju in daljšanju dolžine ojnice. Takšno geometrijsko spreminjanje dolžine ojnice pomembno vpliva na dolžino hoda bata, s tem pa na termodinamiko krožnega procesa.

Nizke vibracije, omejen hrup in trajnost so prav tako konstantni in na izjemo napredni ravni. Ko so zagnali motor v večje hitrosti, se je potrdilo pričakovanje, da bo njihov motor izpolnjeval tudi najstrožja merila. Ker je bolj zapleten od običajnega motorja, so kar tri leta in tri mesece delali poizkuse in odpravljali napake, a vztrajnost se je izplačala.

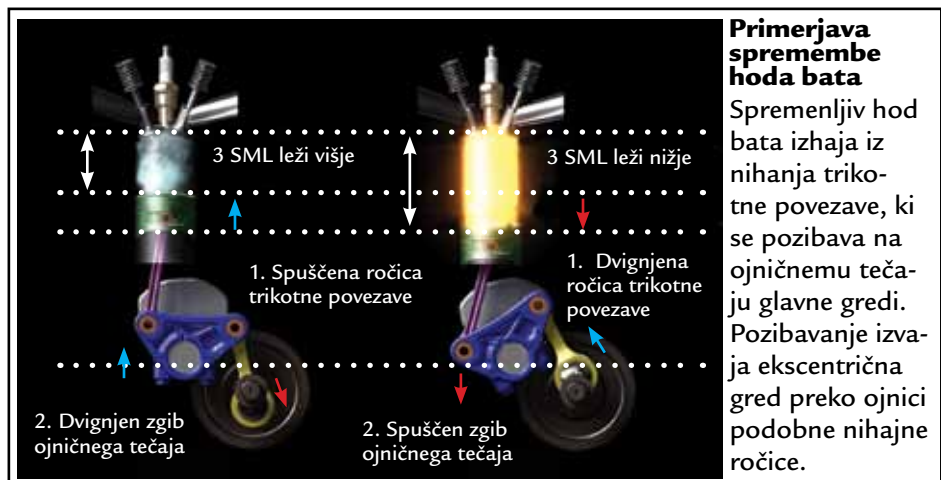
Končna primerjava motorja z EXlink mehanizmom in konvencionalnega motorja, je pokazala, da njihov motor z manj goriva opravi več dela (za 15 odstotkov) kot konvencionalni motor. S skrbnim izborom materialov in pregledom konstrukcijskih komponent so zagotovili trajnost novega mehanizma in že opravili tisoče ur vzdržljivostnih testov, ki jih je motor prestal



Podaljšana ekspanzija, ki jo omogoča daljši hod bata, omogoči pridobiti več koristnega dela iz posameznega zgorevanja v valju.



Krajše sesanje in kompresija pomenita manj potrošene energije in ju EXlink doseže s skrajšanim hodom bata.



### Primerjava spremembe hoda bata

Spremenljiv hod bata izhaja iz nihanja trikotne povezave, ki se pozibava na ojničnemu tečaju glavne gredi. Pozibavanje izvaja ekscentrična gred preko ojnici podobne nihajne ročice.

brez zapletov. Radikalno izboljšani motor z nižjo porabo goriva je načrtovan za pogon Hondinih vozil tretje generacije in je imenovan EXlink (Extended Expansion Linkage Engine - Motor z ročičnim mehanizmom za podaljšani hod ekspanzije).

Mag. Matej Ozebek je predavatelj v Šolskem centru Celje (Višješolski izobraževalni programi).