

MEHATRONIČKI SISTEMI KOD MOTORA I VOZILA

LAMBDA SENZOR ZA MJERENJE KONCENTRACIJE KISEONIKA U IZDUVNIM GASOVIMA

Spring 2018

by

Slobodan Lubura

<https://www.youtube.com/watch?v=Fl3aD1qJrEg>

EGO - LAMBDA SENZOR

- Koncentracija kiseonika u izduvnim gasovima motora koristi se za indirektno mjerenje odnosa usisnog zraka i goriva
- Za kvalitetno i potpuno sagorijevanje goriva treba ostvariti pravilan (stehiometrijski) odnos goriva i zraka u usisnoj smjesi (približno 14,7 kilograma zraka na jedan kilogram goriva).
- Tada je i faktor zraka lambda (λ) jednak jedinici.
- Jedan od najvažnijih senzora u motoru je upravo senzor postotka kiseonika u izvuvnim gasovima (EGO).

$$\Phi = \frac{(\text{zrak} / \text{gorivo})}{(\text{zrak} / \text{gorivo} @ \text{stehiometrijski})}$$

- Ovaj se senzor često naziva i lambda senzor, jer se grčko slovo lambda (λ) obično koristi za označavanje omjera odnosa usisnog zraka i goriva

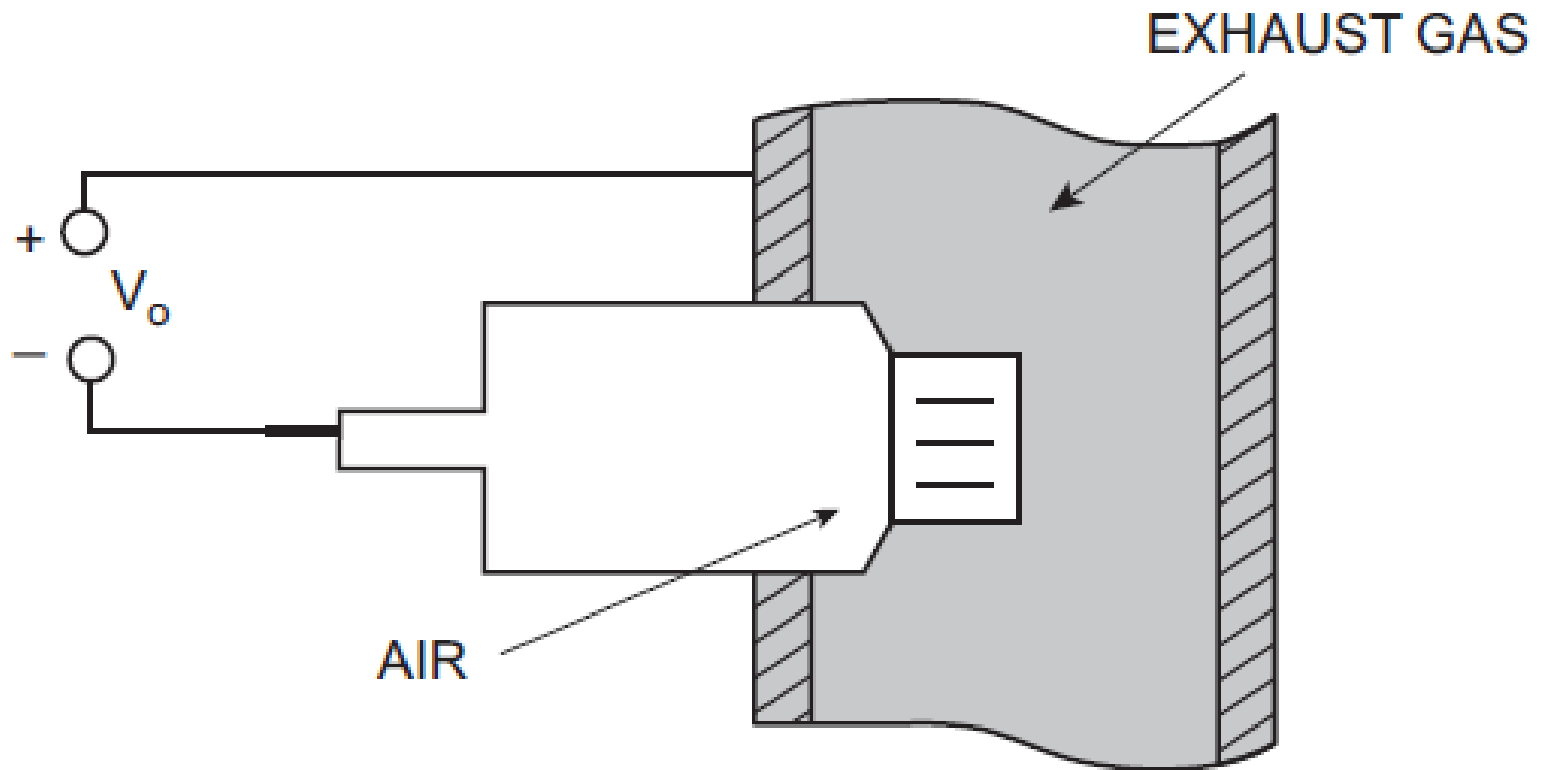
EGO - LAMBDA SENZOR

- Kada je mješavina zrak/gorivo siromašna onda je $\lambda > 1$ i obrnuto, kada je mješavina zrak/gorivo bogata onda je $\lambda < 1$.
- Za gradnju EGO senzora koriste se dvije vrste materijala cirkonijum dioksid (ZrO_2) i titanijum dioksid (TiO_2)
- EGO senzori sa cirkonijum dioksid (ZrO_2) danas se više koriste
- Izgled EGO senzora prikazan je na slici



EGO - LAMBDA SENZOR

- Način montaže EGO senzora prikazan je na slici



Sensor mounted in exhaust manifold

EGO - LAMBDA SENZOR INSTALACIJA

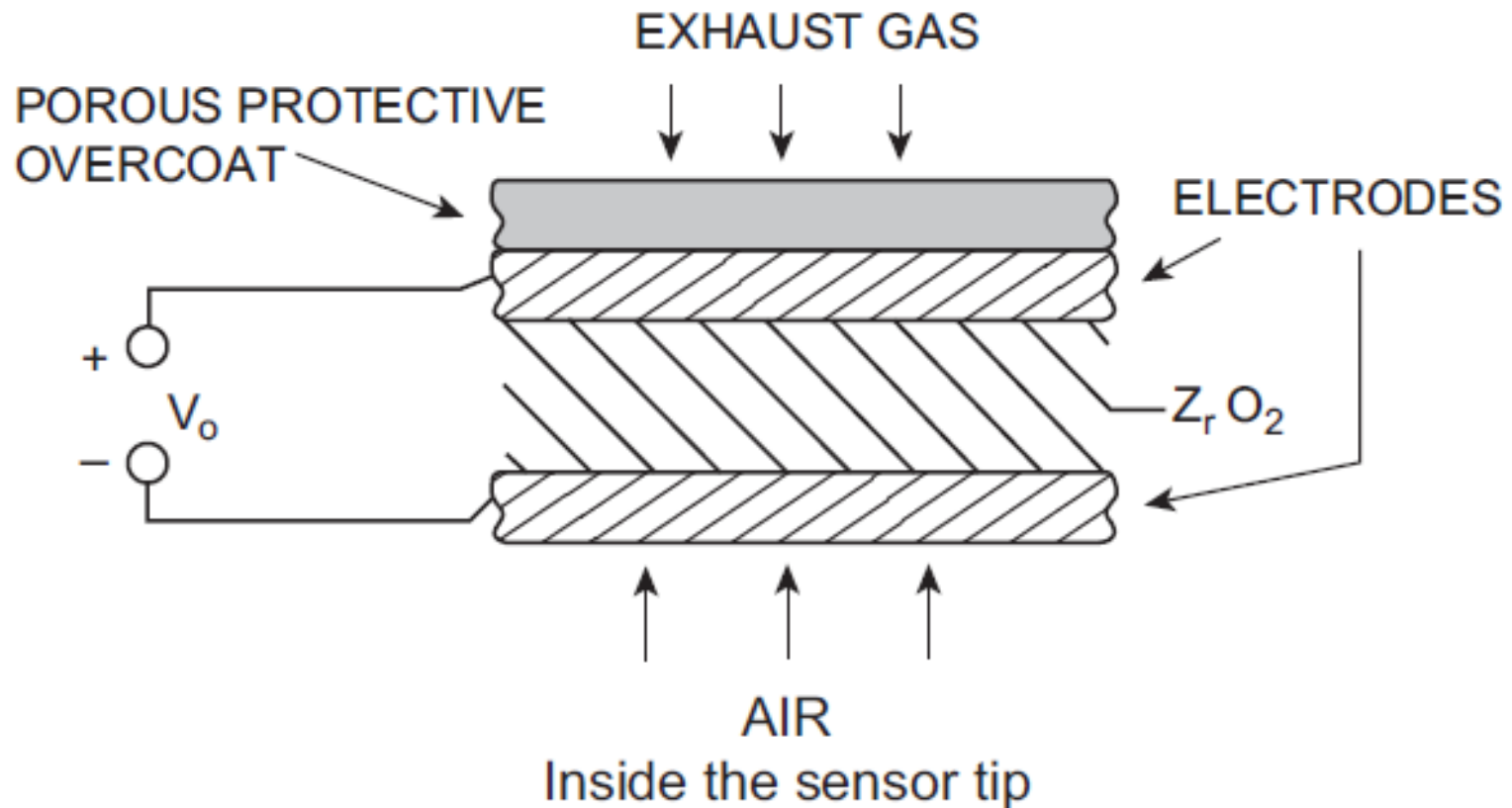


EGO - LAMBDA SENZOR

- Princip rada EGO senzora zasniva se na poređenju koncentracije kiseonika u izduvnim gasovima u odnosu na koncentraciju kiseonika u atmosferi.
- Na izlazu senzora pojaviće se napon (mV) koji je proporcionalan razlici koncentracija kiseonika u izduvnim gasovima u odnosu na koncentraciju kiseonika u atmosferi.
- Izlazni napon EGO senzora kreće se u granicama od 100 – 900 mV
- Bogate smješe (malo kiseonika) će proizvesti veći napon, dok siromašne smješe (više kiseonika) daju manji napon na izlazu senzora
- Signal sa ovog EGO senzora vodi se kao povratna sprega u sistem za kontrolu smješe u motoru
- EGO senzor je jedna vrsta „galvanske ćelije“ (baterije).
- Senzor se sastoji sadrži dvije platinaste elektrode sa elektrolitom cirkonijum dioksid (ZrO_2) između njih.

EGO - LAMBDA SENZOR

- Na slici ispod dat je šematski prikaz pojedinih komponenti EGO senzora i način na koji izduvni gasovi djeluju na EGO senzor



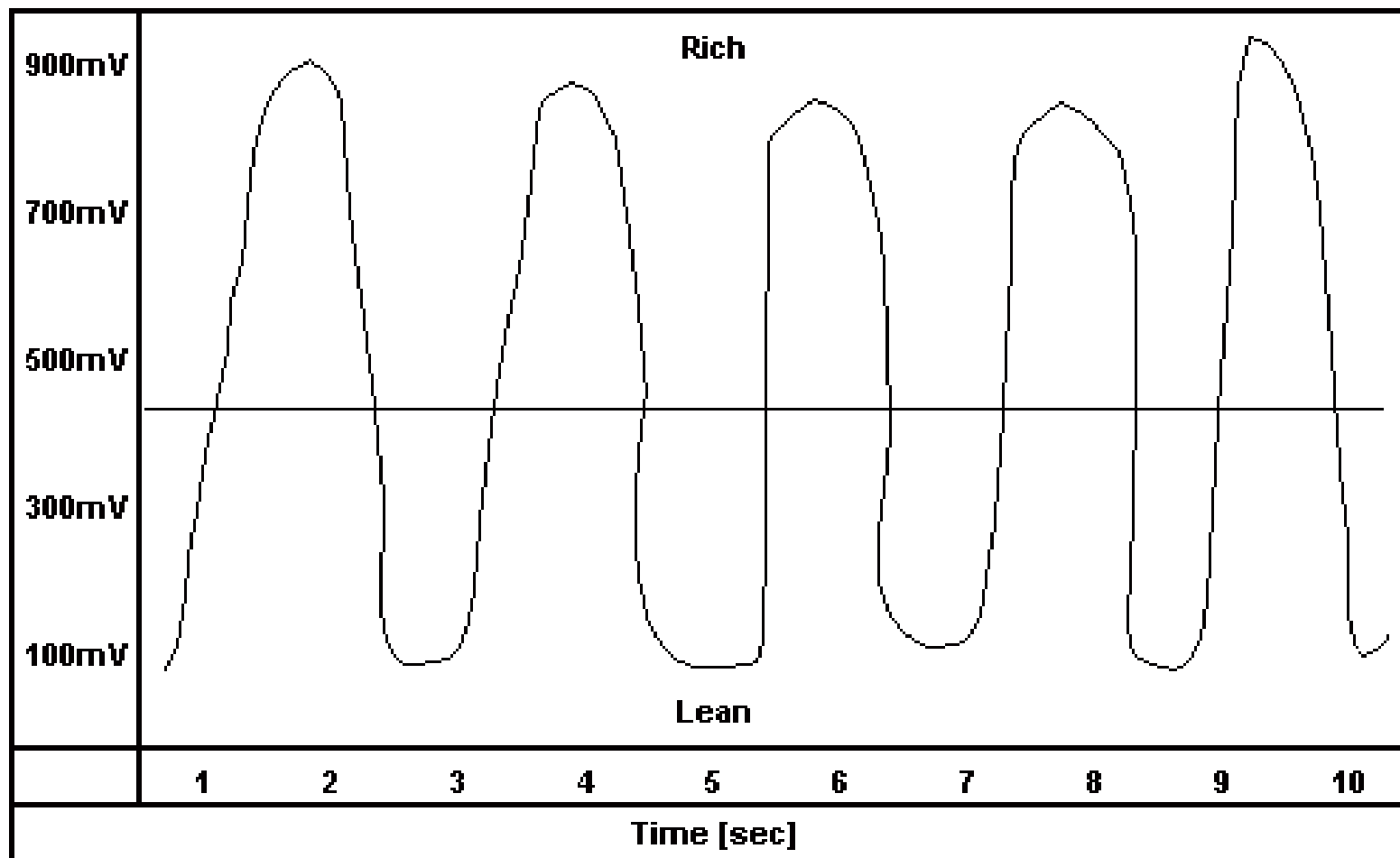
EGO - LAMBDA SENZOR

- Princip rada EGO senzora zasniva se na raspodjeli jona kiseonika na elektrodama od platine.
- Joni kiseonika imaju viška dva elektrona tako da su negativno naelektrisani, pa ZrO_2 ima tendenciju privlačenja ovih jona i oni se akumuliraju na površini ovih elektroda od platine.
- Referentna elektroda od platine koja je postavljena prema atmosferi izložena je mnogo većoj koncentraciji negativnih jona kiseonika od elektrode koja se nalazi na strani izduvnih gasova.
- Zbog toga će ona biti negativnija od elektrode koja se nalazi na strani izduvnih gasova, pa će se između ovih elektroda pojaviti napon (razlika potencijala) v_0
- Dakle, elektrode koja se nalazi na strani izduvnih gasova je pozitivnija od referentne elektrode koja je postavljena prema atmosferi
- Da bi što prije nastali negativni joni kiseonika u atmosferi, zrak je potrebno zagrijati i za tu namjenu u ovim senzorima koristi se grijač

EGO - LAMBDA SENZOR

- Kao referentna vrijednost koncentracije kiseonika u atmosferi uzima se 21%
- Bogata smješa ima 0% kiseonika, dok siromašna smješa sadrži od 3-4% kiseonika
- U toku normalnog rada motora napon na izlazu EGO senzora će oscilovati između 100mV - 900mV, jer se sadržaj smješa brzo mijenja između bogate i siromašne
- Srednja vrijednost napona na izlazu senzora je $\sim 450 \text{ mV}$ što odgovara optimalnom odnosu smješe zrak/gorivo od 14.7:1 ($\lambda = 1$)

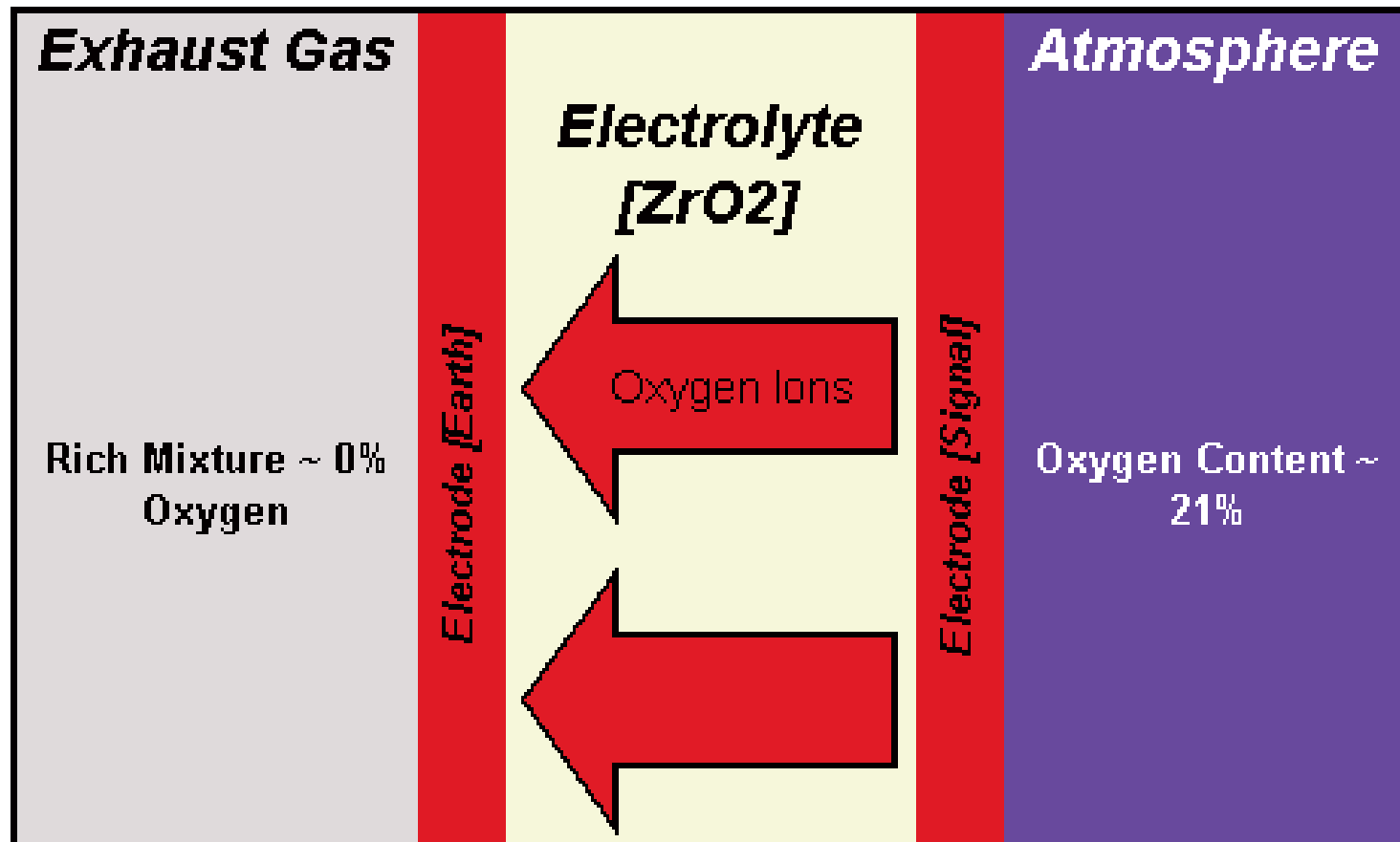
EGO - LAMBDA SENZOR



Signal na izlazu EGO senzora

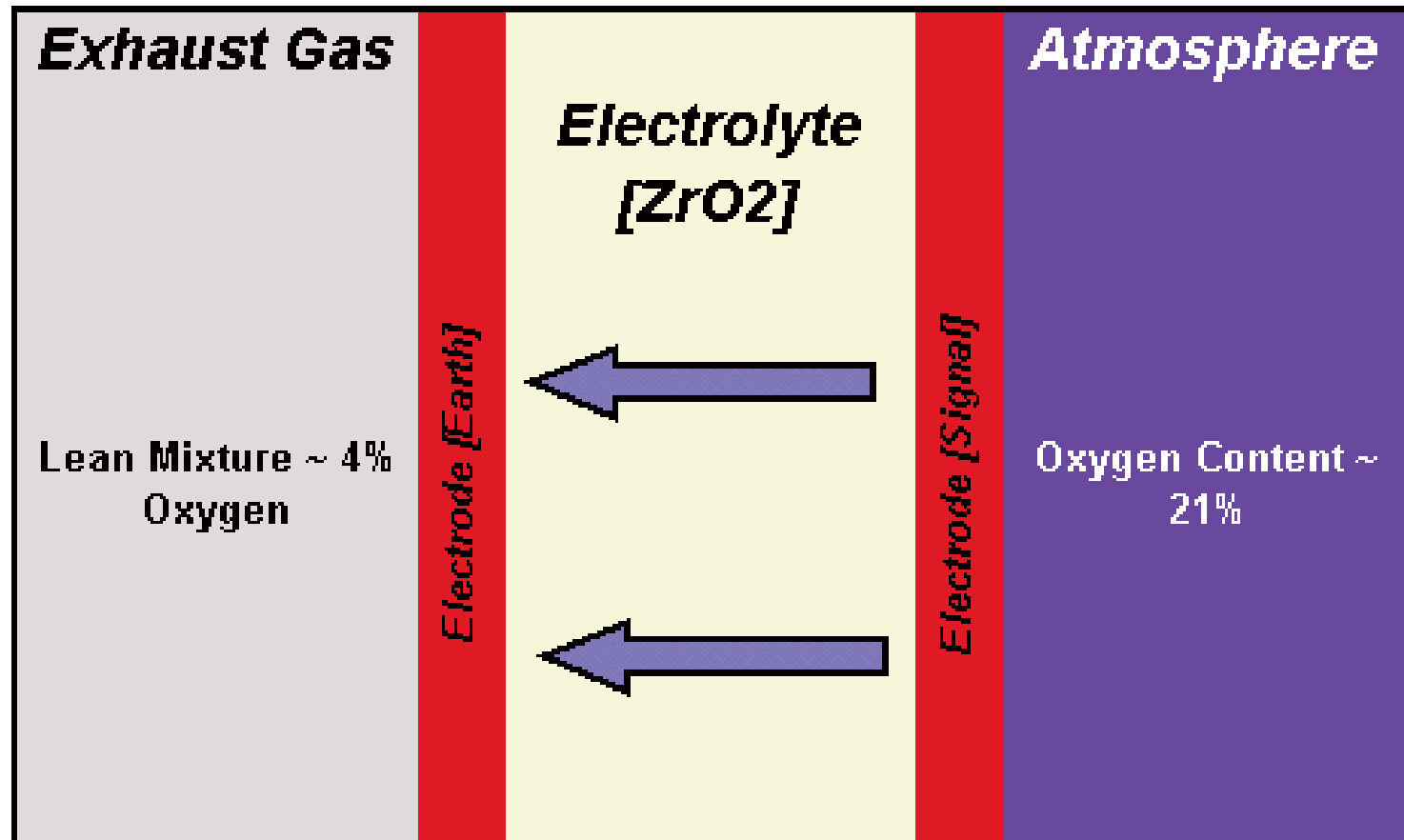
EGO - LAMBDA SENZOR

- **Bogata smješa** – velika razlika u koncentraciji kiseonika u atmosferi i u izduvnim gasovima uzrokuje provodnost u elektrolitu ZrO_2 između elektroda, a time i veliki izlazni naponom senzora $\sim 900 \text{ mV}$



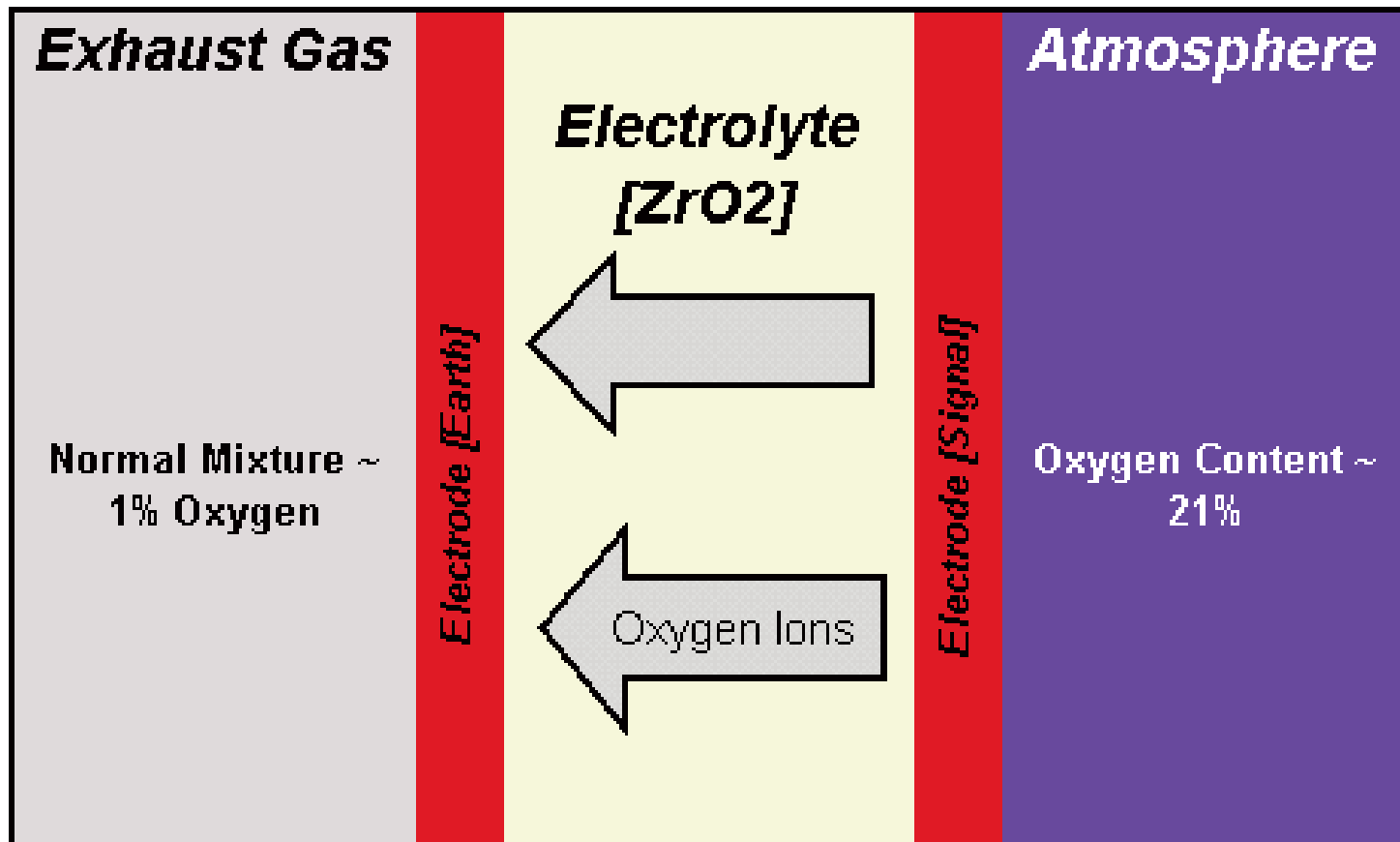
EGO - LAMBDA SENZOR

- **Siromašna smješa** – manja razlika u koncentraciji kiseonika u atmosferi i u izduvnim gasovima uzrokuje manju provodnost u elektrolitu ZrO_2 između elektroda, a time i manji izlazni naponom senzora $\sim 100 \text{ mV}$



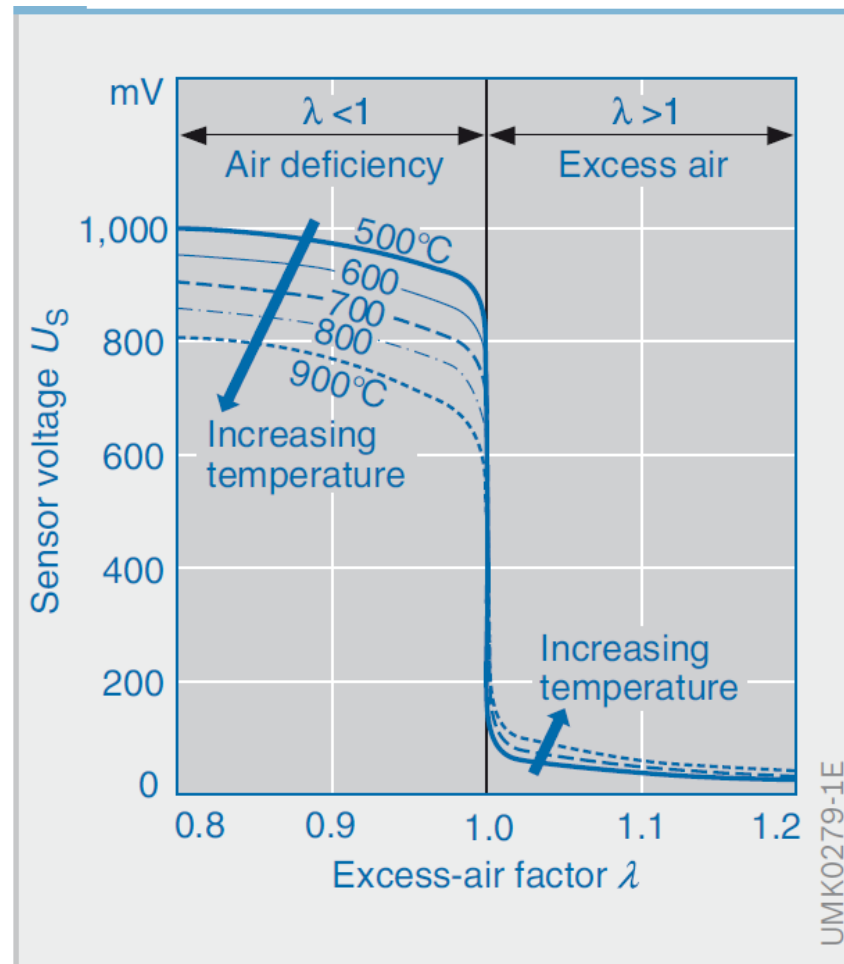
EGO - LAMBDA SENZOR

- **Optimalna smješa** ($\lambda = 1$) – kada je odnos smješe zrak/gorivo od 14.7:1, onda je izlazni naponom senzora ~ 450 mV



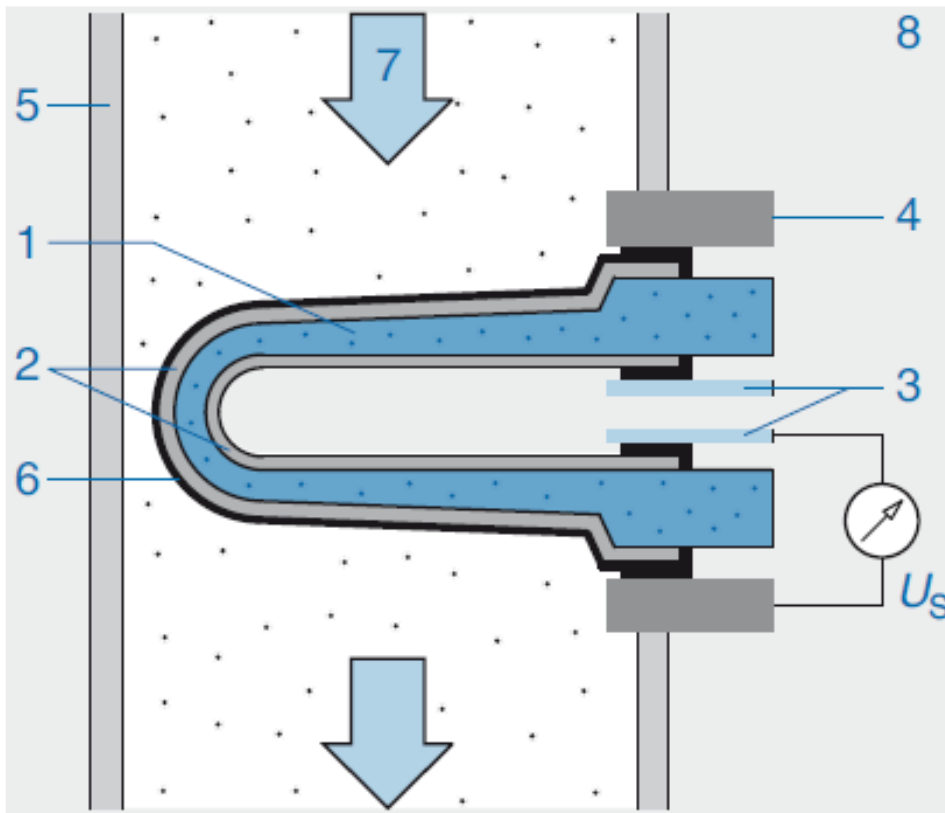
EGO - LAMBDA SENZOR

- Temperatura elektrolita ZrO_2 znatno utiče na njegovu sposobnost provođenja jona kiseonika, a samim tim i na oblik krive izlaznog napona senzora.



PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA - LSH25 Bosch

- LSH 25 EGO senzor izgrađen je u obliku prsta



1- keramički osjetilni element sa elektrolitom ZrO_2

2 – elektrode

3 – kontakti

4 – nosač ERG senzora

5- izduvana cijev

6 – porozni keramički omotač

7 – izduvni gasovi

8 – atmosfera

U_s – napon na izlazu senzora

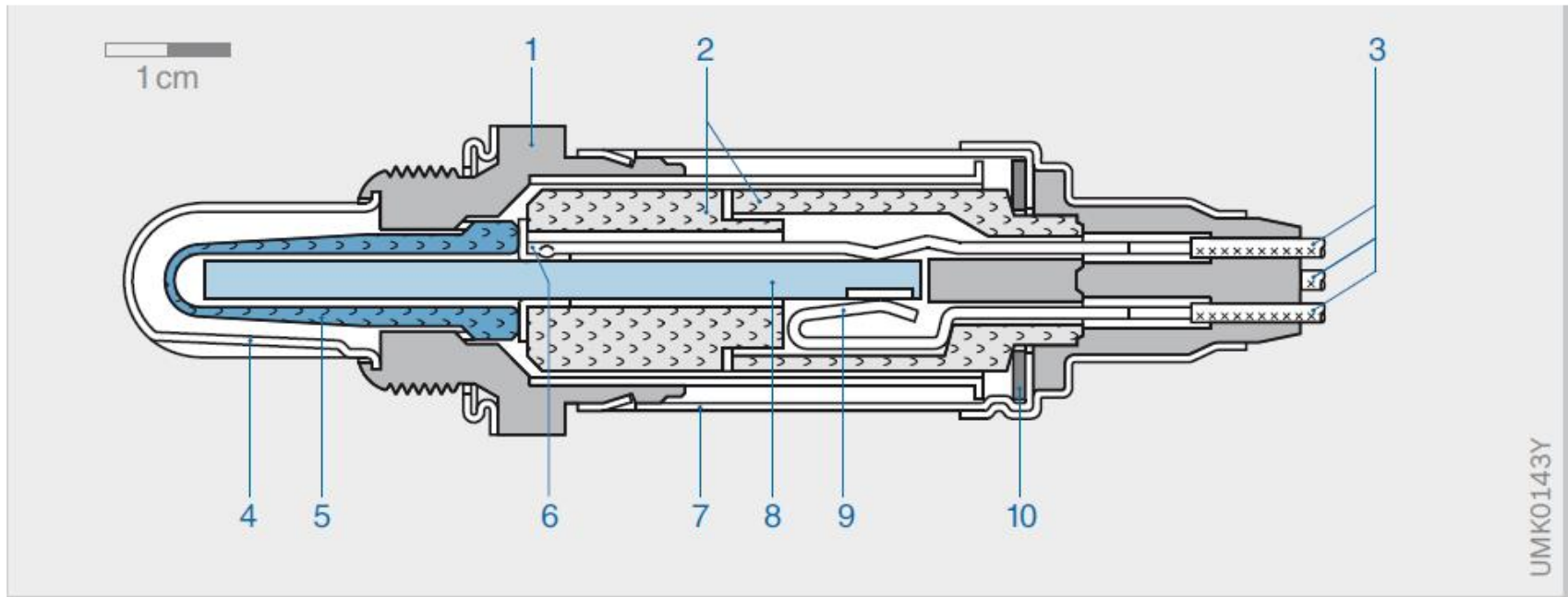
PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA - LSH25 Bosch

- Keramički element je mješavina cirkonijuma oksida ZrO_2 i itrijuma Y u čvrstom stanju i nepropusan za gasove
- Ovaj element napravljen je u obliku izdužene potkovice
- Sa obje strane keramičkog elementa postavljene su tanke elektrode izrađene od mikroporoznog plemenitog materijala (platina)
- Keramički element postavljen je u izduvnu cijev, tako da platinska elektroda koja je izložena izduvnim gasovima na svojoj vanjskoj površini djeluje kao katalizator, tj. prikuplja negativne jone kiseonika iz izduvnih gasova
- Druga platinska elektroda koja je u atmosferi prikuplja prikuplja jone kiseonika iz atmosfere.
- Pošto u atmosferi ima više negativnih jona nego u izduvnim gasovima, ova elektroda je negativnija od druge pa se između njih javlja napon U_s

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA - LSH25 Bosch

- Strana keramičkog elementa koja je izložena izduvnim gasovima ima poroznu keramičku višeslojnu zaštitu od prljavine i erozivnih oštećenja.
- Dodatno keramički element je postavljen u mehaničku cijev koja ga štiti od mehaničkih udara i termičkih naprezanja
- Ovi senzori u sebi imaju ugrađen i električni grijač koji služi za zagrijavanje keramičkog osjetilnog elementa.
- Da bi EGO senzor korektno radio pri malom opterećenju motora i niskoj temperaturi izduvnih gasova, temperatura keramičkog elementa treba da bude dovoljno velika
- Zagrijavanjem senzora brzo se dostiže optimalna radna temperatura keramičkog elemenata koja je oko 350 °C
- Pomoću ovog grijača ERG senzor dostigne radnu temperaturu 20 do 30 s nakon pokretanja motora

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA - LSH25 Bosch



1- kućište senzora

2 – keramički nosač u obliku cijevi

3 – priključni kablovi

4 – zaptivna cijev sa prorezima

5 – keramički osjetilni element

6 – kontaktni element

7 – zaštitni naglavak

8 – grijač

9 – kontakti grijača

10 – disk opruga

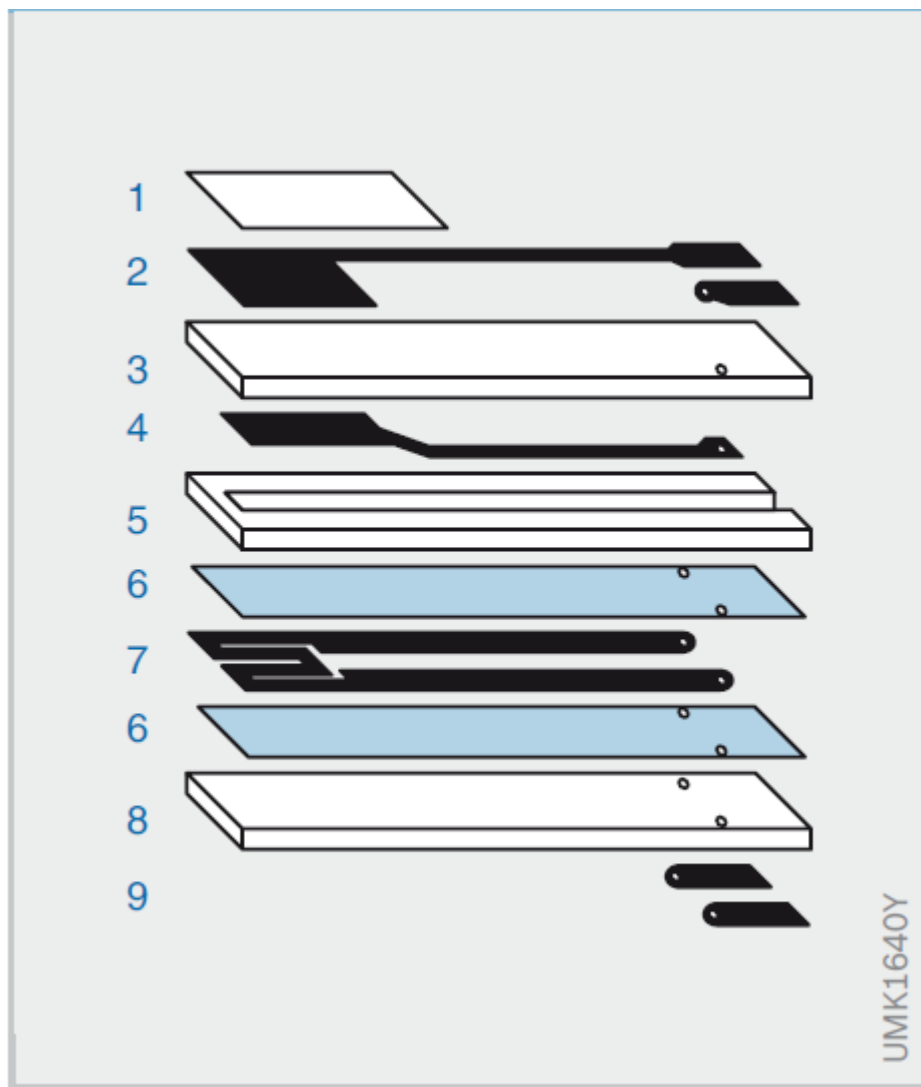
PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA - LSH25 Bosch



PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LSF4 Bosch

- Planarni EGO senzori po svojoj funkciji odgovaraju prethodno opisanim EGO senzorima (LSH25) sa ugrađenim griječem
- Kod ovog planarnog EGO senzora elektrolit kao osjetilni element sastoji se od niza laminiranih folija složenih jedna na drugu
- Od mehaničkih i toplotnih naprezanja senzor je zaštićen dvostrukom zaštitnom cijevi
- Planarni keramički element (osjetilni element i integrirani grijač) u obliku su dugačke pločice pravougaonog poprečnog presjeka
- Vanjske površine keramičkog osjetilnog elementa prekrivene su mikroporoznim slojem plemenitog metala (platina) koji čini elektrodu
- Vanjske elektroda prekrivena je poroznim keramičkim slojem koji je štiti od erozije usljed izloženosti izduvnim gasovima

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LSF4 Bosch



1- porozni keramički zaštitini sloj

2 – vanjska elektroda

3 – folija kao osjetilni element

4 – unutrašnja elektroda

5- unutrašnja folija kao osjetilni element (prema atmosferi)

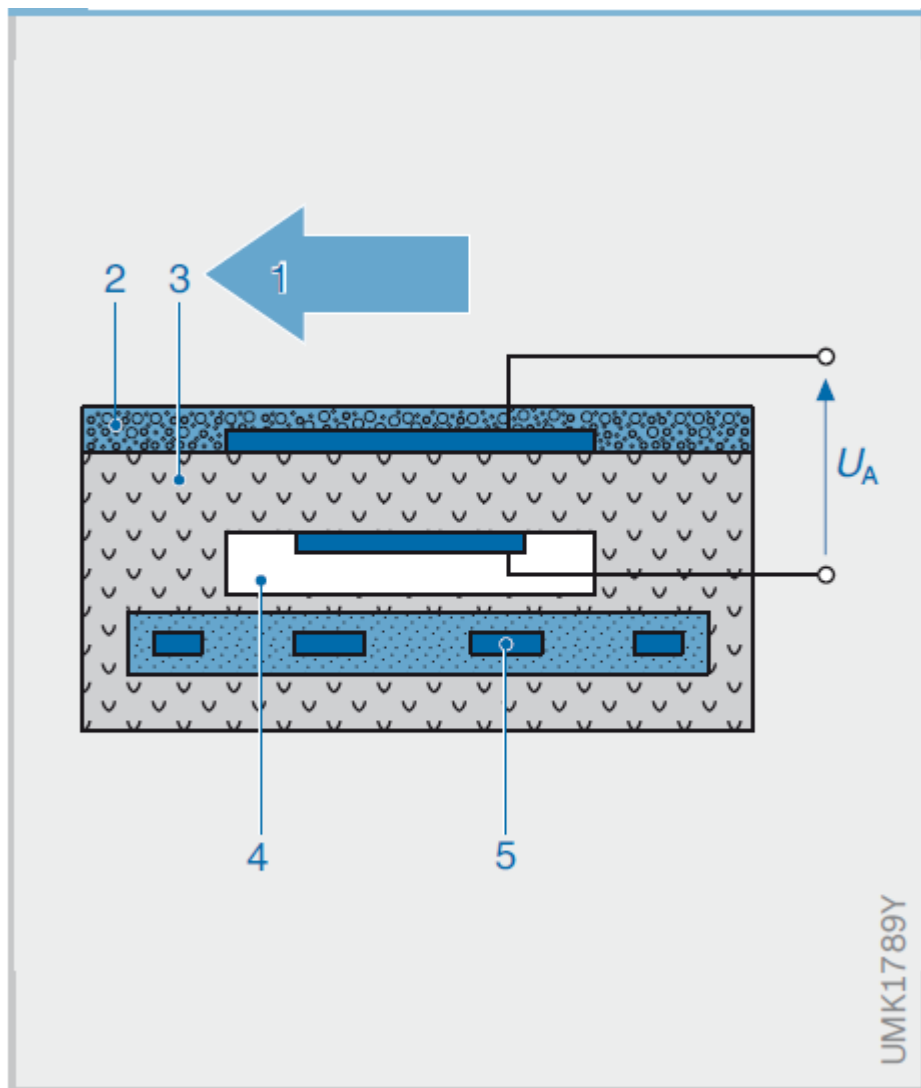
6 – izolacioni sloj

7 – grijač

8 – folija grijača

9 – priključni kontakti

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LSF4 Bosch



1- izduvni gasovi

2 – keramički porozni zaštitini sloj

3 – osjetilni element sa elektrodom od mikroporoznog plemenitog metala (platina)

4 – kanal za protok zraka iz atmosfere sa elektrodom

5- grijač

U_A – napon na izlazu senzora

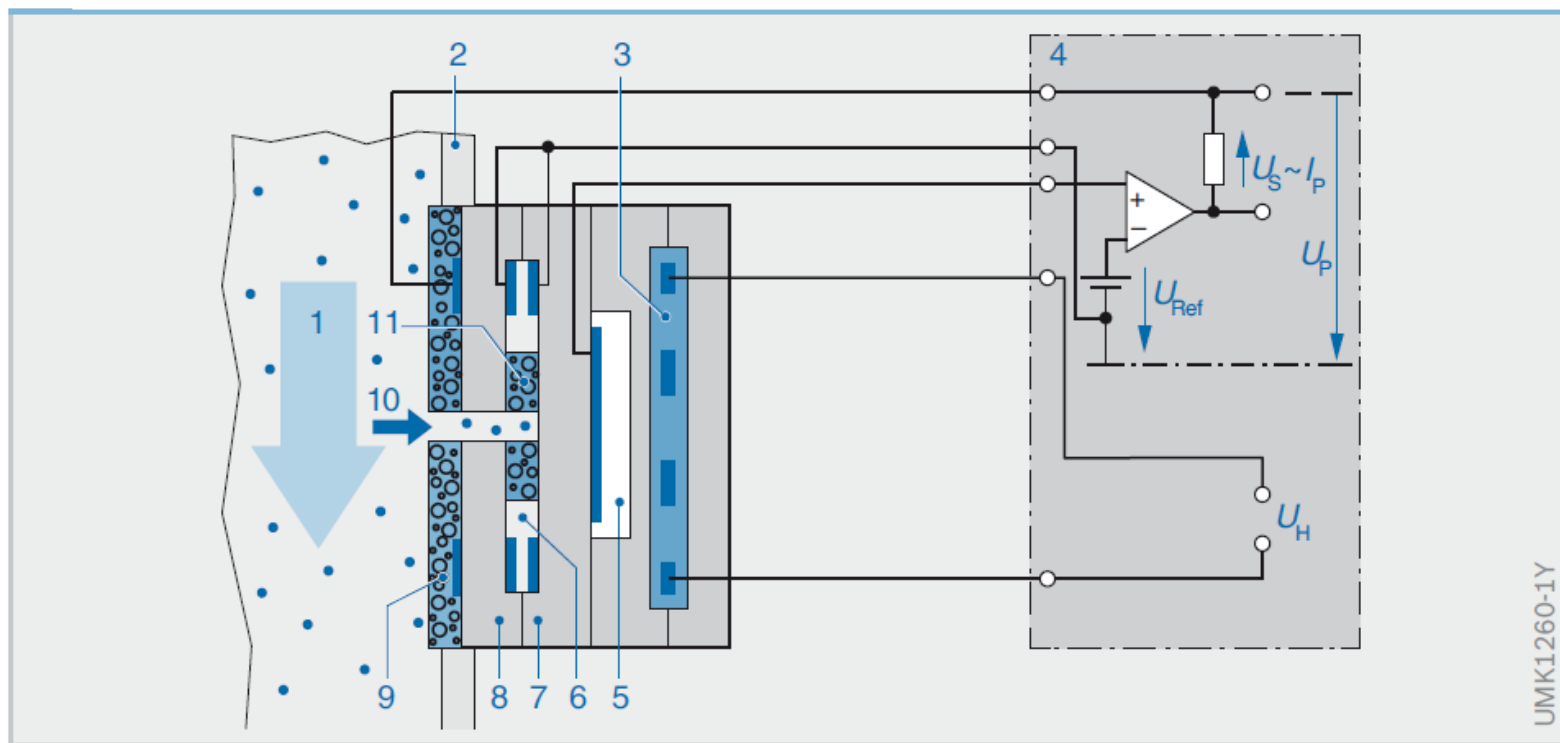
PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LSF4 Bosch

- Grijač je izrađen od plemenitog materijala u obliku spirale
- Smješten je u keramičku pločicu i osigurava brzo zagrijavanje senzora pri malom opterećenju motora i maloj temperature izduvnih gasova
- Kroz kanal za protok zraka iz atmosfere dolaze negativni joni kiseonika koji se nakupljaju na referentnoj elektrodi
- Na drugoj elektrodi nakupljaju se negativni joni kiseonika iz izduvnih gasova
- Razlika između jedne i druge koncentracije negativnih jona kiseonika manifestuje se kao pojava napona U_A između elektroda
- Kao i prethodno opisani LSH25 senzor i ovaj planarni senzor ima jako strmu karakteristiku u okolini stehiometrijske tačke, tj. kada je $\lambda = 1$

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LU4 Bosch

- Planarni LU4 senzor spada u grupu EGO senzora sa proširenim mjernim opsegom koncentracije kiseonika u izduvnim gasovima
- Pored preciznog određivanja koncentracije kiseonika u izduvnim gasovima u okolini stehiometrijske tačke, tj. kada je $\lambda = 1$, ovi senzori mogu se upotrijebiti i precizno mjerenje velike ($\lambda < 1$) i male koncentracije ($\lambda > 1$) kiseonika u izduvnim gasovima
- U kombinaciji sa odgovarajućom elektronikom ovi EGO senzori na izlazu daju kontinualni mjerni signal proporcionalan koncentraciji kiseonika u izduvnim gasovima u opsegu od $0.7 < \lambda < \infty$.
- Ova vrsta EGO senzora pogodna za primjenu kod benziskih motora sa siromašnom smješom sagorijevanja, gdje je odnos zrak/gorivo 65:1.
- Takođe, ovi EGO senzori koriste se kod dizel motora, motora pogonjenih na prirodni gas i gasnih toplana

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LU4 Bosch



1- izduvni gasovi
2 – izduvna cijev
3 – grijač
4 – upravljačka elektronika
5 – kanal za protok zraka iz atmosfere sa elektrodom

6 – difuzni procjep
7 – Nerstova ćelija
8 – kiseonička pumpa
9 – porozni keramički omotač
10 – gasni kanal
11 – porozna difuzna barijera

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LU4 Bosch

- Ima mjernu ćeliju (osjetilni element) koja je izrađena od cirkonijum-dioksid keramike (ZrO_2),
- To je kombinacija je Nernstove ćelije (7) (prethodno opisana u EGO senzoru LSH25) i dodatne pumpe za kiseonik (8) kojom se transportuju negativni joni kiseonika.
- Ćelija sa pumpom za kiseonik u odnosu na Nernstovu ćeliju smještena je tako da između njih postoji difuzni procjep (6) širine od 10 do 50 μm
- Ovaj EGO senzor ima dvije izlazne elektrode, jedna je povezana na pumpu za kiseonik, a druga na Nernstovu ćeliju
- Difuzni procijep je povezan za izduvnim gasovima preko kanala (10)
- Porozna difuzna barijera (11) služi za ograničavanje protoka molekula kiseonika iz izduvnih gasova

PRINCIP GRADNJE EGO SENZORA – LU4 Bosch

- S jedne strane, Nernstova ćelija povezana je sa atmosferom preko kanal za protok zraka (5), dok je s druge strane preko difuzionog procjepa spojena na izduvne gasove
- Za svoj rad senzor zahtijeva postojanje upravljačke elektronike koja treba da generiše upravljački signal s ciljem regulacije unutrašnje temperature senzora
- Ugrađeni grijač (3) ima mogućnost brzog zagijavanja senzora tako da on može u kratkom roku da postigne svoju radnu temperaturu od 650 do 900 ° C potrebnu za njegov normalan rad
- Na ovaj način se umanjuje uticaj temperature izduvnih gasova na rad senzora

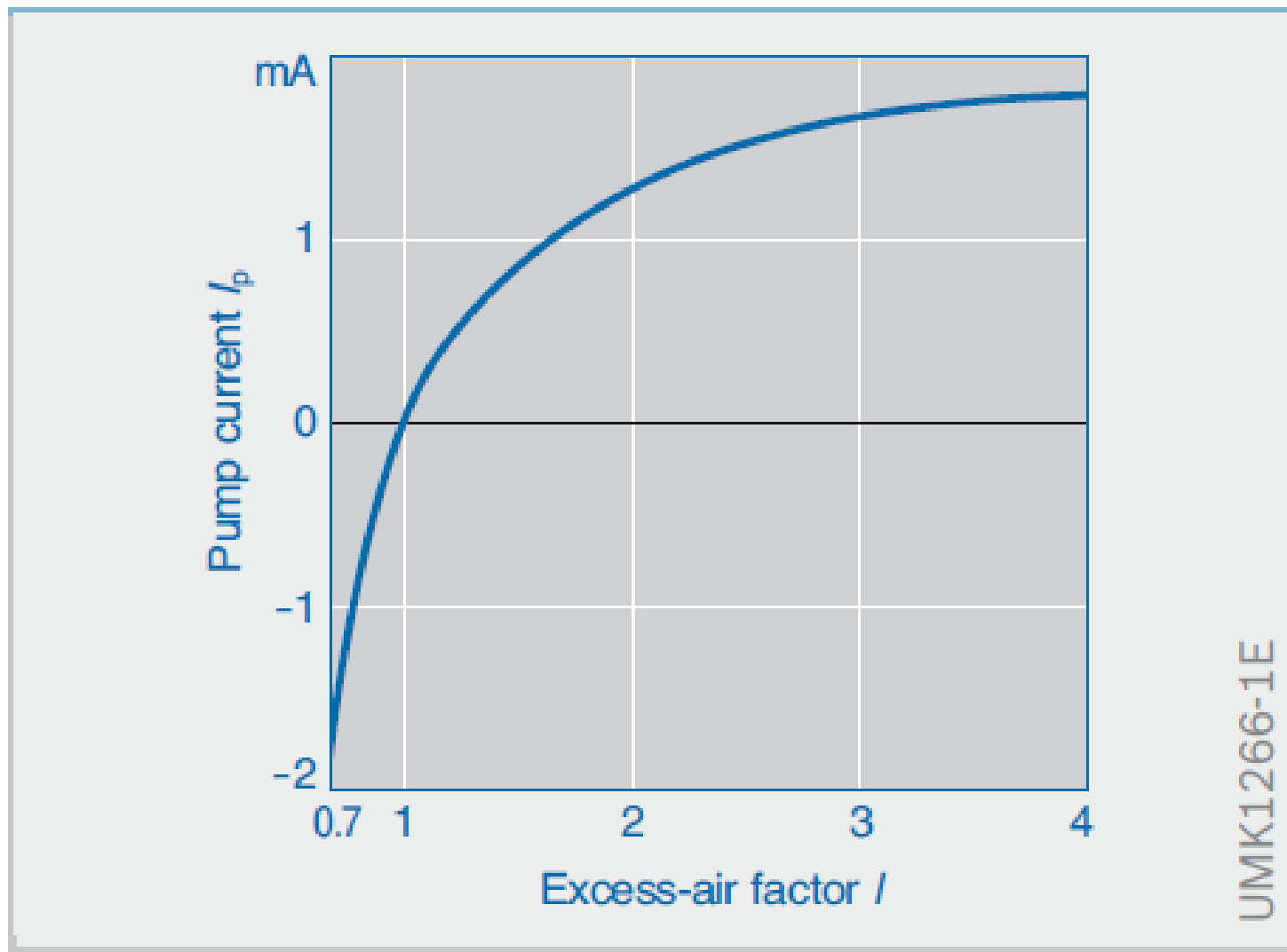
PRINCIP RADA EGO SENZORA – LU4 Bosch

- Izduvni gas ulazi u mernu komoru (difuzijski procjep) Nernstove ćelije kroz kanal (10) i mali procjep u pumpe za kiseonik (8).
- Da bi se faktor λ mogao podešavati u difuzionom procjepu, Nerstova ćelija treba da poredi koncentraciju jona kiseonika u difuznom procjepu sa njihovom koncentracijom u atmosferi
- Pretpostavimo da vrijednost faktora λ u difuznom procjepu treba biti $\lambda = 1$
- Kako ostvariti željenu vrijednost faktora λ ?
- Dovođenjem napona U_s na platinijumske elektrode pumpe za kiseonik joni kiseonika iz izduvnih gasova mogu se preko difuzne barijere ubacivati/izbacivati u/iz difuznog procjepa.
- Nerstova ćelija poredi koncentraciju jona kiseonika u difuznom procjepu sa njihovom koncentracijom u atmosferi i na izlazu daje napon proporcionalan razlici koncentracije negativnih jona kiseonika

PRINCIP RADA EGO SENZORA – LU4 Bosch

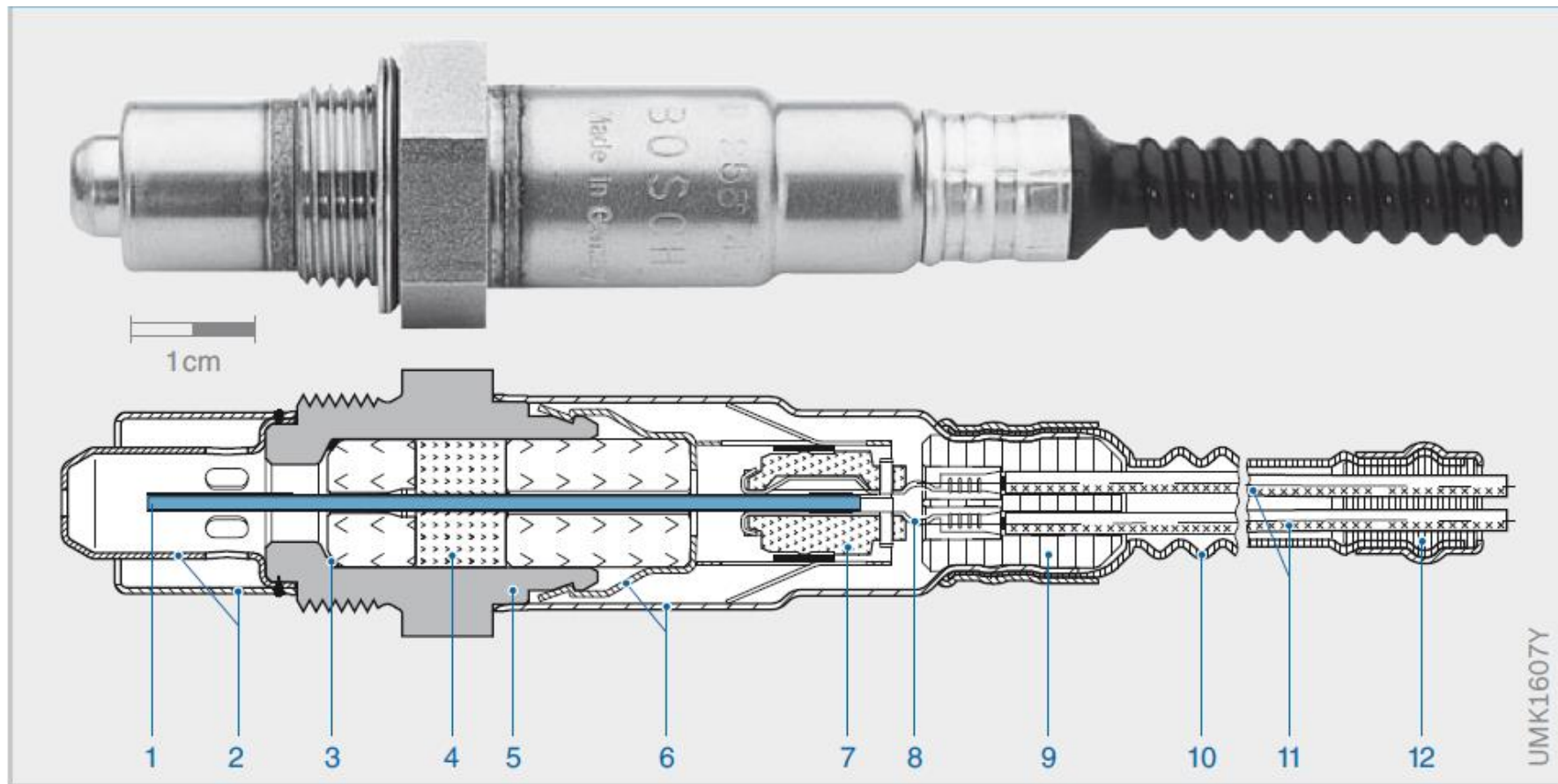
- Izlazni napon Nerstove ćelije poredi se za referentnim naponom U_{Ref} u upravljačkoj elektronici i kao rezultat dobija se napon U_s koji upravlja pumpom za kiseonik tako da se ostvari zadana vrijednost $\lambda = 1$
- Ukoliko u izduvnim gasovima nema jona kiseonika pumpa izbacuje jone kiseonika iz difuznog procjepa (pozitivna struja pumpe)
- S druge strane, ukoliko su izduvni gasovi zasićeni kiseonikom pumpa ubacuje jone kiseonika u difuzni procjep (negativna struja pumpe)
- Pri vrijednosti $\lambda = 1$ ne dešava se transport jona kiseonika pa je struja pumpe jednaka nuli.
- Struja pumpe proporcionalna je koncentraciji jona kiseonika u izduvnim gasovima i nelinearna je funkcija u odnosu na parametar λ

PRINCIP RADA EGO SENZORA – LU4 Bosch



Zavisnost struje pumpe od parametra λ

PRINCIP RADA EGO SENZORA – LU4 Bosch



Izgled i poprečni presjek EGO senzora LU4

EGO - LAMBDA SENZOR

- Pogledati na:

<https://www.youtube.com/watch?v=Fl3aD1qJrEg>