

## PORIJEKLO FOSILNIH GORIVA

«*Ulje*» koje se u malim količinama već od IX. stoljeća pridobivalo iz zemlje uglavnom je služilo u medicinske svrhe i nazvano se je «*ulje iz stijene*».

*Nafta i plin predstavljaju prirodne fosilne gorive tvari – rude. Pored njih, u prirodi susreću se i druge slične tvari, kao kameni i smeđi ugljen, bituminozni i ugljeviti škriljavci, asfalt. Skupni naziv za te tvari je » kaustobioliti ».*

*Riječ kaustobioliti sastavljena je od grčkih riječi: *kaustos* = onaj koji gori; *bios* = život; *lithos* = stijena, kamen. Naziv, ne samo što ukazuje na njihovu sposobnost gorenja već i na njihovo organsko porijeklo, jer kaustobioliti su taložne stijene organskog porijekla koje gore. Prema fizikalnim svojstvima kaustobioliti se dijele u tri osnovne grupe: plinovite u koje se ubrajaju plin iz naftnih i ugljenih ležišta te močvarni plin; kapljevite u koje se ubraja nafta; i krute u koje se ubrajaju fosilni ugljeni, bituminozni škriljavci, asfalti.*

Uobičajeni naziv za kapljevite kaustobiolite je **nafta**, koji i u hrvatskom jeziku rabimo u približno izvornom obliku.

U engleskom jeziku naziv je “**petroleum**” - latinski *-petra* = stijena i *oleum* = *ulje*» - što etimološki znači “*ulje u stijeni*”, “*zemno ulje*” ili “*mineralno ulje*”.

Međutim, u naftnoj industriji pod nazivom “**petroleum**” podrazumijeva se sirovi kapljivi materijal, iz kojeg se rafiniranjem dobiva stotine različitih proizvoda. <sup>Purdy</sup>

Hrvatski naziv za **petroleum** je **petrolej** prema ranoj uporabi iz XIX. stoljeća kad su se nafta i naftni proizvodi rabili samo za rasvjetu.

Danas, uobičajeni naziv za petrolej je **sirova nafta** – (engl. *crude oil*) ili jednostavno **nafta** (*oil*). Sirova nafta je naziv za ugljikovodike koji su u kapljevitom stanju pri normalnim uvjetima tlaka i temperature.

U prirodi se ugljikovodici pojavljuju u: **plinovitom, kapljivom ili polukapljivom, te krutom ili čvrstom stanju.**

- **u plinovite** ugljikovodike ubrajaju se :- *zemni i naftni plin,*
- **u kapljive i polukapljive** ugljikovodike ubrajamo: - *naftu, zemni katran, malter, smole,*
- **u krute ili čvrste** : - *fosilni ugljeni, bituminozni škriljci, asfalti.*

## **Porijeklo nafte**

Porijeklo nafte u stijenama koje su stare od deset do četiri stotine milijuna godina, proces njenog postanka kao i porijeklo ishodišnog materijala još uvijek je pitanje istraživanja i konačni odgovori se tek trebaju pronaći.

Način na koji je nafta nastala i uvjeti u kojima se stvarala izvanredno su komplikirani. Bilo koja teorija o postanku nafte treba se promatrati s više aspekata, prema pristupu na primarni izvorni materijal od kojeg je nastala, **organski** ili **anorganiski**, s kemijskog i geološkog aspekta.

Porijeklo nafte iz **neorganiskog** materijala – **anorganiski** pristup.

*Kao najraširenija varijanta te teorije je, da se porijeklo nafte nalazi u užarenoj utrobi Zemlje. Ugljik i vodik iz užarene Zemljine mase prodirali su u tvrdnu Zemljinu koru, djelovanjem visokog tlaka i temperature i uz prisutnost nekih materija kao katalizatora, spajali su se u različite ugljikovodike od kojih se i sastoji nafta. Ovako nastala nafta u velikim dubinama, kasnije se probijala kroz pukotine u više dijelove Zemljine kore, bliže površini, i nakupljala se u šupljikavim i propusnim slojevima gdje ju i danas nalazimo.*

*Osim toga znano je da neki planeti kao Jupiter, Saturn i neki sateliti sadrže metu, pa tako astronomi se slažu da nafta ima kozmičko porijeklo.*

*Mendeljev 1877.g.-“sinteza ugljikovodika” - “Voda je prodirala u dubinu Zemlje i reakcijom s užarenim metalima i metalnim karbidima stvarala je smjesu naftnih i vodenih para. Takva smjesa se po pukotinama premještala u hladnije dijelove Zemljine sfere. Jedan dio smjese zasićivao je stijene i stvorio uljne škriljavce, drugi dio je oksidirao i stvorio produkte slične asfaltima, a veći dio je na jedan ili drugi način izgarao i stvarao  $CO_2$  i  $H_2O$ . Naftne pare ako nisu imale neposredan izlaz do zemljine površine, dolazile su do hladnjih slojeva gdje su se hladile i pod tlakom gore ležećih slojeva ispunile su slojeve pijeska”.*

*Sokolov 1892.g. - “Kozmičko porijeklo nafte; ugljikovodici dokazani u sastavu meteorita”.*

*“Ugljikovodici su u Zemlji od njenog postanka, nastali su kondenzacijom plinskih komponenti u periodu hlađenja zemlje i sakupljali su se u stijenama”.*

Spomenute teorije čitav problem promatraju jednostrano, samo s kemijskog stanovišta, dok se geološki uvjeti zanemaruju.

Iako se umjetnim sintezama pokušalo oponašati pretpostavljene prirodne uvjete, nisu postignuti rezultati većeg značenja.

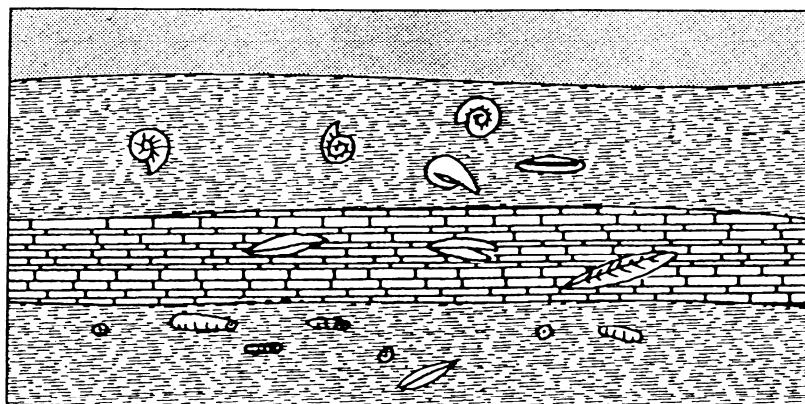
### **Porijeklo nafte iz organskog materijala**

Danas se u Zemljinoj kori nalazi mnoštvo transformiranih ostataka nakadašnjih živih bića pa se tako i nafta smatra jednom vrstom takvog ostatka. Dosadašnja istraživanja ukazuju na to da je nafta nastala od tvari biogenog porijekla.

Biogeno porijeklo nafte je široko prihvaćeno temeljem geokemijskih studija, jer kemizam vrlo sličan ugljikovodicima posjeduju **organske** tvari koje se nalaze u živim organizmima.

Tijekom milijuna godina djelovanjem topline, tlaka, te prirodnih katalizatora koji su se nalazili u stijenama, nastaje proces kemijskih promjena i pretvorbe organske tvari u naftu.

Kako se nafta povezuje sa stijenama marinskog porijekla, dva su glavna izvora *organske* tvari od koje je nastala: *životinjski* i *biljni* svijet iz mora i to uglavnom *alge, fito i zoo plankton*, te ostaci kopnenih biljaka koje su vodenim tokovima donašane na mjesto taloženja.



#### S1.1. Istaloženi organski materijal

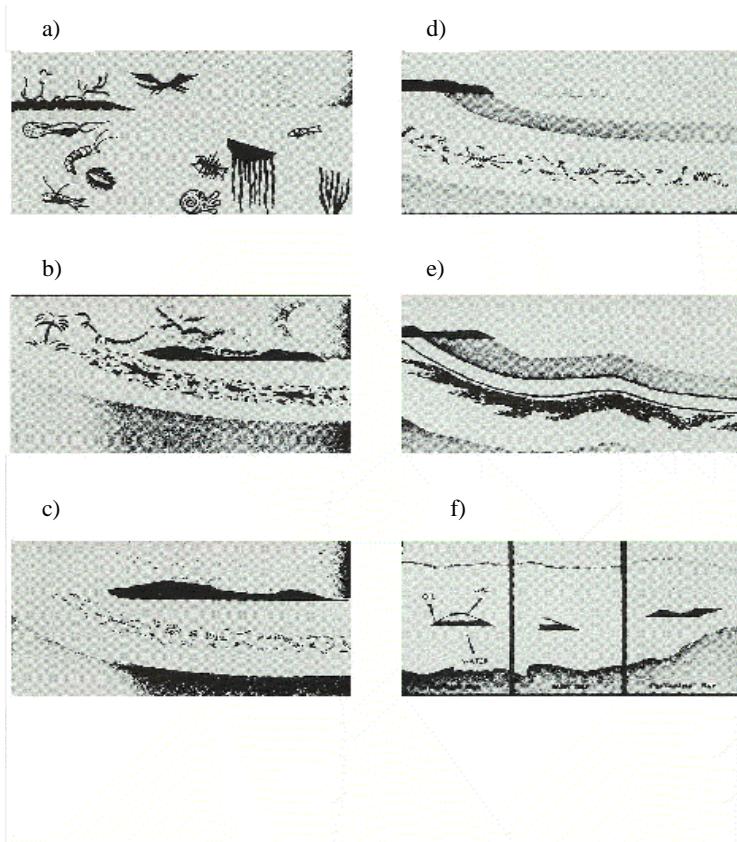
Vodeni organizmi, naročito oni mikroskopskih veličina, u neograničenom broju su živjeli i ugibali u prostranim, mirnim, toplim, morima uz rub kontinenata.

Ostaci uginulih organizama služili su kao hrana drugim živim bićima, ili ako je organska tvar bila istaložena u uvjetima s puno kisika (**aerobni** uvjeti), tada bakterije koje žive u mulju razgrađuju taj materijal u jednostavnije kemijske spojeve. Kad raspadanje organske tvari nastaje na površini procesom oksidacije, tada tako razgrađena materija nije mogla biti uključena u procese nastajanja nafte.

Međutim, ako je istaložen organski materijal brzo prekriven sitnozrnatim sedimentima, prije početka raspadanja, i zakapan sve dublje, ili je istaložen na dno mora gdje nema prisustva kisika (**anaerobni** uvjeti), moglo je doći do očuvanja organske materije. Očuvanje

organske materije nastalo je u vodama u kojima nedostaje kisika (npr. ustajale lagune) ili u vodi u kojoj je sedimentacija sitnih anorganskih čestica dovoljno brza da izolira organski materijal od pristupa kisika, pa nema oksidacije i bakterijski će procesi biti ograničeni na one koji se odvijaju u ***anaerobnoj*** okolini.

Bakterije, koje žive bez prisustva kisika pretvarale su organski materijal *fermentacijom* i *sapropelizacijom* u stabilne oblike ne razarajući ga. Kako su bujice i rijeke donosile sobom velike količine biljnog materijala, blata i pijeska, težina akumuliranih sedimenata se povećavala pa dno mora polako tone, stvarajući i očuvajući debele slojeve mulja, pijeska i karbonata.



- a) Stvaranje nafte započelo je prije više stotina milijuna godina u vrijeme kad su sitni morski organizmi vrveljili u prastarim morima i njihovoj blizini.
- b) Uginuli morski organizmi taložili su se na dno mora gdje su prekrivani slojevima mulja silta i pijeska.
- c) Organski materijal u mulju siltu i pijesku postupnom pretvorbom, djelovanjem topline, tlaka i bakterija preobrazio se u plin ili naftu.
- d) Tijekom milijuna godina utjecajem tlaka duboko zakopani slojevi mulja silta i pijeska sabijeni su u čvrste slojeve.
- e) Djelovanjem potresa i drugih prirodnih sila Zemlje slojevi stijena su deformirani.
- f) Nafta plin i voda uzlazno migriraju kroz poroznu stijenu sve dok ih ne zaustavi sloj nepropusnih stijena.

Sl. 2. Stvaranje nafte

Pretvorba i očuvanje organskog materijala odvija se kako vrijeme prolazi, a s povećanjem dubine povećava se temperatura i tlak u sedimentima. U evoluciji organskog materijala postoje tri glavne faze koje odgovaraju dubini na kojoj je on bio zakapan i to:

- *dijogeneza*, koja se odvija u plitkim pod površinskim uvjetima pri normalnim uvjetima temperature i tlaka, metan, ugljik dioksid i voda stvaraju se iz organskog materijala zatim,
- *katageneza* pojavljuje se na većim dubinama kako se zakapanje nastavlja uz povećanje temperature i tlaka te,

- *metageneza* nastaje uz visoke temperature i tlakove, ugljikovodici koji se stvaraju je metan.

Na većim dubinama uz povećanje temperature dolazi i do povećane rastvorljivosti i polikondenzacije, što je omogućilo pretvaranje organskog materijala u tvar pod imenom **kerogen**.

Pod **kerogenom** se podrazumijeva organski materijal, koji sadrži ugljikovodike i sličan je asfaltu iz plitkih ležišta. Kerogen je kemijski stabilna tvar koja je praktički netopiva u organskim otapalima (eter, aceton, benzen) i sastoji se od vrlo velikih i složenih molekula sastavljenih od **ugljika, vodika i kisika**. Kompleksnog je organskog sastava i smatra se da uglavnom potječe od vjetrom nanesenih spora i peluda biljaka te vrlo sitnih vodenih biljaka (algi) koje su se taložile zajedno s vjetrom donesenim siltom, a za njihovu fosilizaciju u kerogen bili su nužni anaerobni uvjeti i anaerobni okoliš.<sup>tišljari 112.</sup>

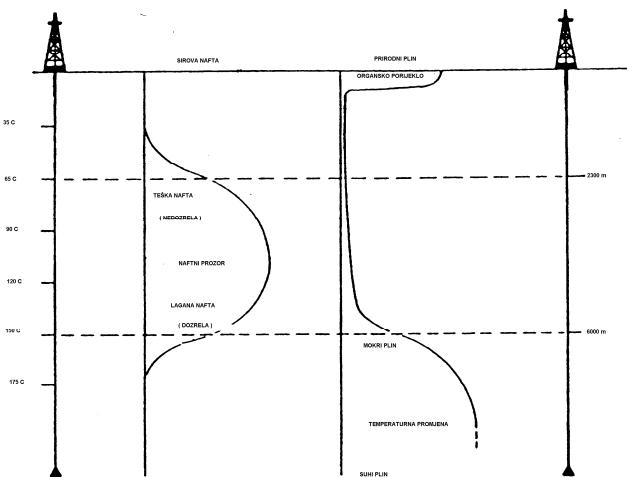
S obzirom na porijeklo organske tvari razlikuju se tri tipa kerogena:

- *algalni kerogeni* iz kojih se stvara nafta,
- *miješani kerogeni* iz kojih se stvara ili nafta ili plin i
- *humusni kerogeji* iz kojih se stvara plin.

Za preobrazbu - metamorfozu kerogena najvažniji čimbenik je **temperatura** u sedimentnim bazenima. Metamorfoza započinje onda kad se temperatura u stijeni povisi iznad  $50^{\circ}\text{C}$ . <sup>petrofiz.</sup> Na temperaturi višoj od  $60^{\circ}\text{C}$  dugački se lanci molekula kerogena počinju cijepati stvarajući manje molekule.

U tipičnim sedimentnim bazenima stvaranje nafte započinje pri temperaturi oko  $65^{\circ}\text{C}$  i završava pri temperaturi oko  $150^{\circ}\text{C}$ . Zona u zemljinoj kori gdje dolazi do stvaranja nafte, nalazila se na dubini od 2130 do 5500 metara. *Teška* nafta, nafta stvarana je pri nižoj, a *lagana* nafta pri višoj temperaturi.

Ako su se sedimentne stijene koje sadrže organsku tvar, nalazile dublje gdje je temperatura od  $150$  do  $220^{\circ}\text{C}$ , tada dolazi do stvaranja sve lakših i lakših ugljikovodika, koji su u plinovitom stanju i stvara se prirodni plin. Pri nižim temperaturama iz prirodnog plina formirao se *mokri plin*, a na većim dubinama i pri višim temperaturama stvarao se *suhı plin*.



Sl. 3. Preobrazba kerogena ovisno o temperaturi i dubini

Prijelaz od stanja u kojem dominira kapljiva faza, u stanje kad počinje prevladavati plinovita faza, poznata je kao faza *katageneze*, kada iz kerogena nastaju zнатне količine prirodnog plina. **prir.plin**

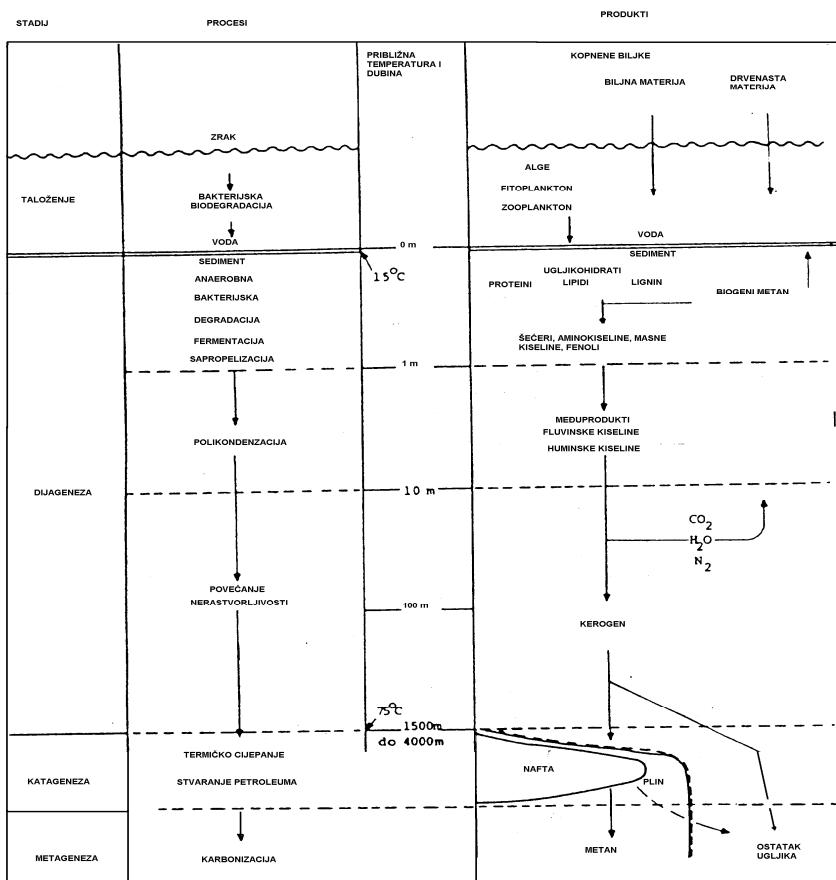
Ovisno o stupnju katageneze i o naknadnim migracijskim procesima stvarat će se akumulacije ugljikovodika različitih karakteristika:

- ležišta nafte s otopljenim plinom,
- naftna ležišta s plinskom kapom,
- plinska ležišta, odnosno plinsko-kondenzatna ležišta.

Uz kerogen, stvaraju se i manje količine materijala topivog u organskim otapalima i taj materijal naziva se *bitumen ili asfalt*. Molekule bitumena prijelazni su oblik, jer se one dalje cijepaju te tvore lančane alkanske, naftenske i aromatske ugljikovodike koji su sastojci nafte. Pri još višoj temperaturi iznad  $225^{\circ}\text{C}$  i dubinama većim od 5500 metara samo ostaje ugljik u obliku grafita tj. dolazi do pretvaranja nafte u grafit procesom koji je sličan procesu kreiranja u rafineriji.

Očuvanje organske tvari u sedimentima ovisi o prilikama na mjestu taloženja, o vrsti istaloženog organskog materijala te o brzini razlaganja tog materijala.

Najpovoljnija područja taloženja su ona u kojima se pojavljuje obilje organskog materijala i gdje je stupanj očuvanja tog materijala dovoljno visok. To su delte rijeka, jezera i zatvorene lagune u kojima dno relativno brzo tone. Ostaci uginulih organizama pomiješani s anorganskim materijalom i istaloženi na dno mirnog mora stvaraju *sitno-zrnate* sedimente.



Sl.4.Evolucija kerogena

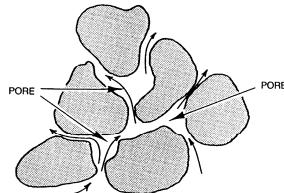
Konačno, postoji mnogo dokaza da naftni ugljikovodici mogu nastati na različite načine od organske materije. Prirodni procesi nastanka nafte, međutim, još uvijek ostaju tajna prirode.

Glavna značajka teorije o organskom porijeklu nafte je ta, što se postanak nafte vezuje uz prirodne čimbenike formiranja nafte.

Pretvorba morskih organizama u naftu najvjerojatnije se odvija i u sadašnje vrijeme. Komercijalne količine nafte pronađene su u stijenama starim milijune godina, no tragovi nafte pronađeni su i iz uzorka stijena ne starijih od stotinjak godina u Meksičkom zaljevu.<sup>Purdy</sup> Pretpostavlja se, da tragovi nafte koji su nastali prije tek nekoliko desetaka godina ukazuju na to da se prirodni procesi nastajanja nafte odvijaju još i danas. Iako su količine naftnih ugljikovodika iz uzetih uzoraka bile male, ipak te količine ukazuju na to da bi kubična milja sedimenata u Meksičkom zaljevu mogla sadržavati preko *pet milijuna barela* naftnih ugljikovodika. Tako u kratkom vremenu, prirodnim procesima nastaju sićušne, dispergirane čestice nafte, koje kroz milijun godina prerastaju u naftno polje.

## LEŽIŠTA NAFTE I PLINA

Suprotno popularnom vjerovanju, nafta i plin ne nalaze se u jezerima i rijekama ispod površine zemlje, već se pojavljuju kao kapljevita faza koja ispunjava porne prostore u sedimentnoj stijeni.



Sl. 5. Šupljiksvi prostor stijene

Ležišta nafte i plina ustanovljena su u gotovo svim dijelovima Zemljine kore, unutar kontinenata u priobalnim i morskim područjima.

Za nakupljanje nafte i plina potrebni su određeni geološko-tektonski uvjeti, pa se za ocjenu perspektivnosti nekih područja treba detaljno i svestrano istražiti stratigrafski razvoj zastupljenih naslaga.

**Ležište** nafte i plina definira se kao **jedinična akumulacija** kapljevitih i/ili plinovitih ugljikovodika gospodarske vrijednosti, zatvorena u **šupljikavoj i propusnoj** stijeni, koja je okružena barijerama **nepropusnih** stijena koje se nazivaju **izolacijske ili pokrovne** stijene.

Prema tome definicija **ležišta** uključuje:

- **prirodno nakupljanje** ugljikovodika u stijeni,
- petrofizikalna svojstva stijene - **šupljikavost/propusnost**
- **pokrovne** ili **izolacijske** stijene, odnosno barijera s **vodonosnim** horizontom
- stanje **prirodnog tlaka i temperature** u ležištu prije proizvodnje.

Stijene koje su “*impregnirane-natopljene s ugljikovodicima*” dijele se na **slojeve, razine, ili litološke** jedinice.

**Naftno polje** čini jedno ili više ležišta nafte.

**Regije/naftne provincije** su široka i velika područja u suvremenoj građi zemlje, koja su karakterizirana dugotrajnim tonjenjem i taloženjem naslaga velikih debljina .

## Matične stijene

Matične stijene su kompaktni sedimenti koji sadrže izvorni **organski i biljni** materijal u količini iz kojeg mogu nastati pri određenim geološkim uvjetima veće količine ugljikovodika. Udio organske tvari u sedimentima može biti vrlo različit. Bogatstvo organskog materijala u

stijeni ovisi i o vrsti i intenzivnosti života na Zemlji u doba nastanka stijena, odnosno o geološkom razdoblju formiranja stijena. U glinovitim je sedimentima ili u finozrnim vapnencima 80 do 99 posto organske tvari u obliku kerogena. Udio kerogena u sedimentnoj stijeni znatno ovisi o veličini zrna sedimenta, jer finiji sediment (mulj) bolje zaštičuje organski materijal tijekom taloženja od razgradivanja.

Matične stijene su sitnogranulirani nepropusni glinoviti škriljavci i vapnenci.

*Naftu najčešće ne nalazimo na mjestu njenog postanka.*

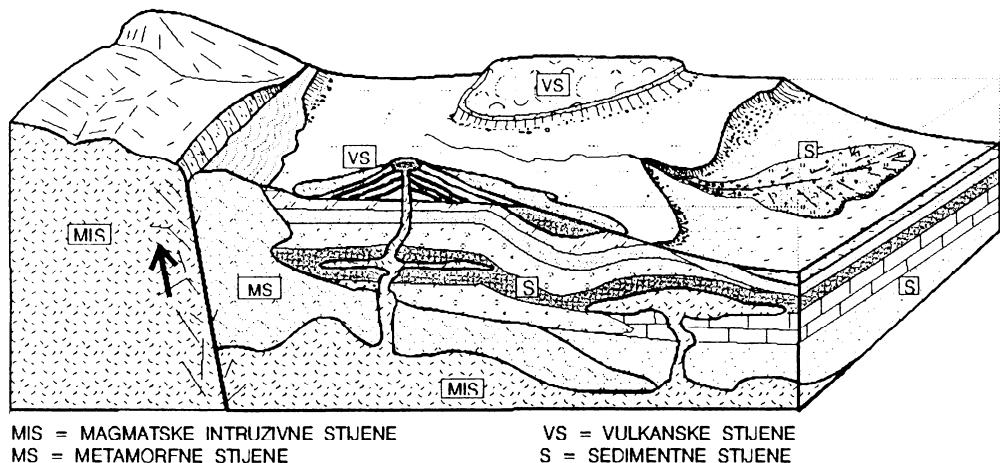
### Kolektorske ili ležišne stijene

Stijene litosfere su prema načinu svog postanka podijeljenje na:

- eruptivne,
- **sedimentne** ili taložne i
- metamorfne ili preobražajne.

Približno od 85 do 90 posto svih mineralnih sirovina u svijetu dobiva se iz **sedimentnih** stijena.

Pod pojmom **sedimenti** podrazumijevaju se mekani rasuti i nelitificirani talozi iz kojih kompleksnim fizikalnim, kemijskim i geološkim diagenetskim procesima nastaju sedimentne stijene.



Sl. 6. Tipovi stijena kamene kore Zemlje

Sedimentne ili taložne stijene (od lat. **sedimentum**=talog) već prema nazivu govori da su to stijene nastale taloženjem u moru, slatkim vodama ili na kopnu, materijala prirodnog podrijetla: *neorganskog i organskog* čvrstog ili iz vodenih otopina tek izlučenog materijala.

Međutim, pod sedimentnim se stijenama razumijevaju i stijene nastale *dijagenetskim* kemijskim procesima a da nisu izravno nastale taloženjem.

*Dijageneza* odnosno litifikacija ili *okamenjivanje* je složen skup fizikalnih i kemijskih procesa kojima mekani, rasuti, vodom zasićeni i nevezani talozi postupno postaju čvrste sedimentne stijene. Među bitne dijagenetske procese ubrajaju se *kompakcija ili zbijanje i cementacija*.<sup>tišljari</sup> Sedimentnog su postanka i nalaze se samo u sedimentima, osim u nekim posebnim slučajevima sva mineralna goriva: **nafta, prirodni plin, ugljen i naftni šejlovi**.

Stijene u Zemljinoj kori koje mogu *primiti* i *akumulirati* veće količine plina, nafte ili vode i iz kojih ih je moguće, makar djelomice iscrpsti nazivaju se *ležišne ili kolektorske stijene*. Migraciju kroz kolektorske stijene i akumulaciju u njima omogućuje njihova šupljikavost i propusnost.

Kolektorske ili ležišne stijene moraju posjedovati *šupljine - pore* koje služe kao skladišni prostor za akumulaciju ugljikovodika, kao i mogućnost njihovog *propuštanja*, tj. gibanja fluida prema bušotini.

Litološka svojstva stijena *šupljikavost* i *propusnost* vrlo su važna, jer njihovo poznavanje omogućuje približnu procjenu kapaciteta i stupnja njihova iskorištavanja.

## **Poroznost**

Stijena je ispunjena milijunima sitnih prostora i međuprostora, šupljina nazvanih *porama*. *Pore* su prostori između individualnih zrna sedimenata koja čine ležišnu stijenu. Neke stijene sadrže velike, a neke male šupljine, pore.

*Šupljikavost* ili *porozitet* stijene je omjer volumena šupljina (praznina) u stijeni, prema ukupnom volumenu stijene i izražava se u postocima ili dijelovima cijelog.

Dobar pješčenjak može imati poroznost preko 30 posto, dok gusti vapnenci mogu imati malu poroznost od 5 posto.

Veći postotak pornog volumena, znači veći kapacitet stijene za akumulaciju velikih količina ugljikovodika.

## **Propusnost**

Za pronalazak raspoloživog pornog prostora, ugljikovodici moraju biti sposobni pokretati se iz pore u poru i možda migrirati prema površini zemlje.

Propusnost je svojstvo stijene da kroz svoje šupljine propušta fluide, odnosno, lakoća kojom se fluid pokreće kroz porni prostor stijene (mrežu povezanih pora), naziva se *propusnost*.

Stijena s većom propusnosti, odražava lako pokretanje ugljikovodika iz pore u poru unutar stijene. Propusnost se iskazuje količinom fluida jedinične viskoznosti koju propusti jedinični obujam stijene u jedinici vremena uz jediničnu razliku tlakova.

Propusnost ili nepropusnost nije mjerilo za akumulaciju fluida u stijeni, već ukazuje na sposobnost premještanja (migracije, nakupljanja) i otpuštanja (istjecanja) fluida iz stijene. *Propusnost ovisi o poroznosti*, ali tjesne povezanosti jedne o drugoj nema.

Vrlo porozne stijene mogu biti nepropusne, a neznatno šupljikav pješčenjak može biti dobro propusan. Međutim, svaka dobro propusna stijena mora biti porozna, dok porozna stijena na mora biti propusna. Propusnost je jedna od najvažnijih osobina slojeva i bez njenog poznavanja nemoguće je riješiti racionalnu razradu ležišta ugljikovodika.

Teoretski nafta se može pojaviti u svim stijenama, jer sve stijene posjeduju šupljine ili pore. Glavni nosioci nafte su *poluvezani pijesci, krupnozrnati pješčenjaci, konglomerati i breče te šupljikavi vapnenci i dolomiti*, a nalaze se u istim regijama gdje i matične stijene.

### **Pokrovne - izolacijske stijene**

Nepropusne stijene koje sprječavaju dalje uzlazno kretanje fluida nazivaju se pokrovne stijene. Zajedno s kolektorskim stijenama čine prirodne spremnike, pokrovne su stijene jedan od bitnih elemenata zamki za ugljikovodike koji omogućuju stvaranje akumulacija.

To su praktički **nepropusne** stijene koje sprječavaju gubljenje ugljikovodika nakon njihove akumulacije i gravitacionog odvajanja. Pokrovne stijene nastaju sedimentnim procesima u uvjetima mirne sedimentacije, najčešće daleko od izvora materijala koji se taloži. To su uglavnom središta sedimentnih bazena, lagune, rubni dijelovi delta i riječnih tokova, te sedimenti u dubokim morima.

Tipične pokrovne stijene su *glinovite i škriljave stijene* u kojima su šupljine daleko manje i sitnije, pa time posjeduju i daleko manju propusnost od kolektorskih stijena.

Većina matičnih stijena za ugljikovodike imaju ujedno i svojstva pokrovnih stijena.

### **MIGRACIJA UGLJIKOVODIKA**

Proces **premještanja, koncentracije i smještanja** akumulacija ugljikovodika u litosferi naziva se **migracijom**.

Pod migracijom ugljikovodika, podrazumijeva se njihovo *vertikalno i lateralno gibanje* kroz matične stijene, zatim pokretanje iz tih stijena u propusnije kolektorske stijene, te dalje sve do prirodnih prepreka koje sprječavaju njihovo dalje uzlazno gibanje i omogućavaju njihovu akumulaciju, odnosno stvaranje ležišta ugljikovodika.

Sedimenti u kojima se danas nafta nalazi, u većini slučajeva nisu matične stijene u kojima je ona nastala. Nafta zaliže u sekundarnim ležištima, gdje je dospjela kasnije tj. nalati se u kolektorskim stijenama.

Proces **migracije** odvijao se od vremena nastajanja ugljikovodika, pa sve do zadnjih poremećaja i prestrukturiranja naftonosnih i plinonosnih naslaga, a odvija se i danas u područjima gdje postoje povoljni uvjeti za to.

Na koji je način nafta migrirala iz **matičnih** u **ležišne**-kolektorske stijene još uvijek nije potpuno razjašnjeno. Brojne teorije nastoje objasniti taj proces.

Nafta je najvjerojatnije, bilo da se u matičnim stijenama nalazila kao već formirana kapljevina ili kao organski materijal od kojeg će prirodnim procesima tek nastati, bila istisnuta iz sedimenata prilikom njihove konsolidacije tj. pretvaranja u stijene. Kako svako ležište sadrži vodu, tako je problem migracije vezan uz hidrologiju i hidrauliku, tj. uopće uz kretanje podzemne vode.

Također i plin (koji nastaje nakon stvaranja nafte) kao i velike količine pradavne zarobljene morske vode istisnuti su iz stijene zajedno s naftom.

Voda, nafta i plin imali su snagu pomicanja, te su se kretali kroz pore pješčenjaka i pukotine vapnenaca sve dok ih na njihovom putu nije zaustavila neka nepropusna stjenska struktura, ili dok nisu doprli do površine ostavljajući za sobom ležišta asfalta.

Koje sile ili prirodni procesi su izazvali premještanje fluida u samim stijenama, kao i u kakvom fizičkom obliku su se probijali kroz stijene do danas nije potpuno razjašnjeno.

Mehanizmi zaslužni za *migraciju* i akumulaciju ugljikovodika su:

- **kompakcija** sedimenata – tj. pretvorba taloga u stijenu, uslijed litifikacije smanjuje se volumen pora, nestanakom plastičnosti stijene, nastaju pukotine, lomovi, rasjedi koji predstavljaju puteve za migraciju.
- **uzgon** kao pokretač individualnih kapljica,
- **gravitacija**, kretanje nafte i plina uslijed sile teže,
- **otapanje ugljikovodika** u vodi koja je istisnuta iz matične stijene,
- **hidraulički tlak** u podpovršinskim kanalima, površinska napetost vode tri puta je veća nego nafte, ugljikovodici su prisiljeni na kretanje iz manje poroznih stijena u stijene većeg poroziteta (tlak u malim porama je veći od onog u velikim),
- **kapilarnost**, koja uslijed površinske napetosti između nafte i vode rezultira njihovim odvajanjem i koncentracijom nafte u većim porama stijene,

- **tlak** kao rezultat deformacije Zemlje, hidrostatski-dubina zalijeganja i dinamički-tektonski tlakovi, proboj intruziva,
- premještanje **kontinuirane ugljikovodične faze**; kao posljedica mehaničkih sila tijekom dijageneze glina; premještanje kroz mikrofrakture u matičnoj stijeni.

Međutim, pri traženju ugljikovodika akumuliranih u gospodarski isplativim količinama ipak je važno znati kako se migracija ustvari odvijala.

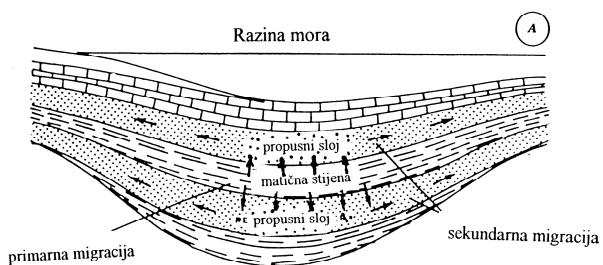
Istiskivanje nafte i plina iz matičnih stijena naziva se *primarnom* migracijom, dok se kretanje fluida kroz kolektorske stijene do prirodnih zamki naziva *sekundarnom* migracijom.

**Primarna migracija** obuhvaća sve procese kretanja tj. migriranja ugljikovodika u matičnim stijenama, zatim izlazak iz njih uslijed sabijanja matične stijene na većoj dubini. Istiskivanje fluida iz njih javlja se kao posljedica smanjenja volumena stijene tj. smanjenja njenog pornog prostora.

Kretanje fluida kroz kompaktne nepropusne stijene ako nisu razložljene, praktički je nemoguće. Postoje, međutim, snažne sile koje uzrokuju istiskivanje fluida iz finozrnatih nepropusnih sedimenata u krupnozrnate propusne stijene. Osim toga, djelovanjem kapilarnih sila nafta se nastoji kretati kroz vodom natopljene sedimente različite granulacije u smjeru najbržeg porasta veličine zrna, odnosno, iz siltozno-glinovitih sedimenata prema pjeskovitim sedimentima. Smjer kretanja nije uvjetovan gravitacijom, pa se fluid može kretati prema krovini, podini ili prema kolektoru koji je bočno od matične stijene. Kapilarne sile djeluju na svim dubinama.

Primarnom migracijom voda i ugljikovodici koji su prvobitno istisnuti iz *matične* stijene (glina i glineni škriljavci) ekstremno *male propusnosti* dospjeli su u stijenu veće *šupljikavosti i propusnosti* a koja je s njom u *neposrednom kontaktu* (okolni pješčenjaci vapnenci i dolomiti) Smjer takvog migriranja može biti *bočni, okomit ili vodoravan* ali udaljenosti su *relativno male*.

Proces primarne migracije još uvijek nije sasvim razjašnjen.

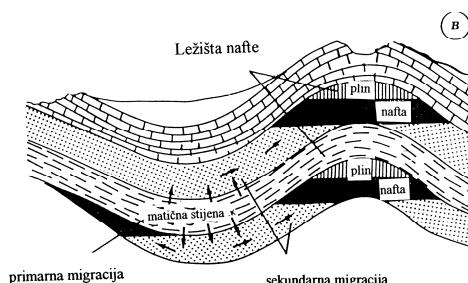


S1.7a. Primarna migracija

**Sekundarna migracija** – je kretanje ugljikovodika kroz propusne stijene u ležište. To je kasnije premještanje ugljikovodika uslijed geotektonskih pokreta, kojim su slojevi pomaknuti iz prвobitnog položaja u ma koji drugi. Kretanje fluida se odvijalo bočno, kroz iste kolektore, paralelno sa slojevitošću, ili vertikalno i koso na slojevitost.

Napuštanjem matične stijene, uz pogodan *šupljikavi* i *propusni* put kroz stijene u neposrednom kontaktu, ugljikovodici i voda migrirati će u smjeru prema gore, sve dok ne naiđu na izolacijske stijene kojima se zaustavlja njihova dalja migracija. To su prirodne prepreke koje se nazivaju *zamkama* (antiklinalne strukture, isklinjenja propusnih slojeva, rasjedi ), a gdje će kretanje fluida biti zaustavljen i biti stvoreni uvjeti za nastanak akumulacije ugljikovodika.

U zadnjoj fazi sekundarne migracije, kretanje ugljikovodika kroz porni prostor stijene događao se uglavnom pod utjecajem hidrodinamičkog protoka uzrokovanih silama uzgona. U svim akumulacijama ugljikovodici su raskriveni u manje ili više propusnim stijenama koje su pokrivene nepropusnim slojem. Akumulacije nafte i plina većinom su nastale **sekundarnom** migracijom. <sup>Petrof.lit.41</sup>



### SI7.b. Sekundarna migracija

*Lokalna migracija*- ograničenog je dometa, vezana na užu lokalnost. Tom migracijom može nastati nekoliko ležišta unutar jednog polja.

*Regionalna migracija* – šireg dometa, njom nastaju brojna ležišta i više polja unutar jedne zone.

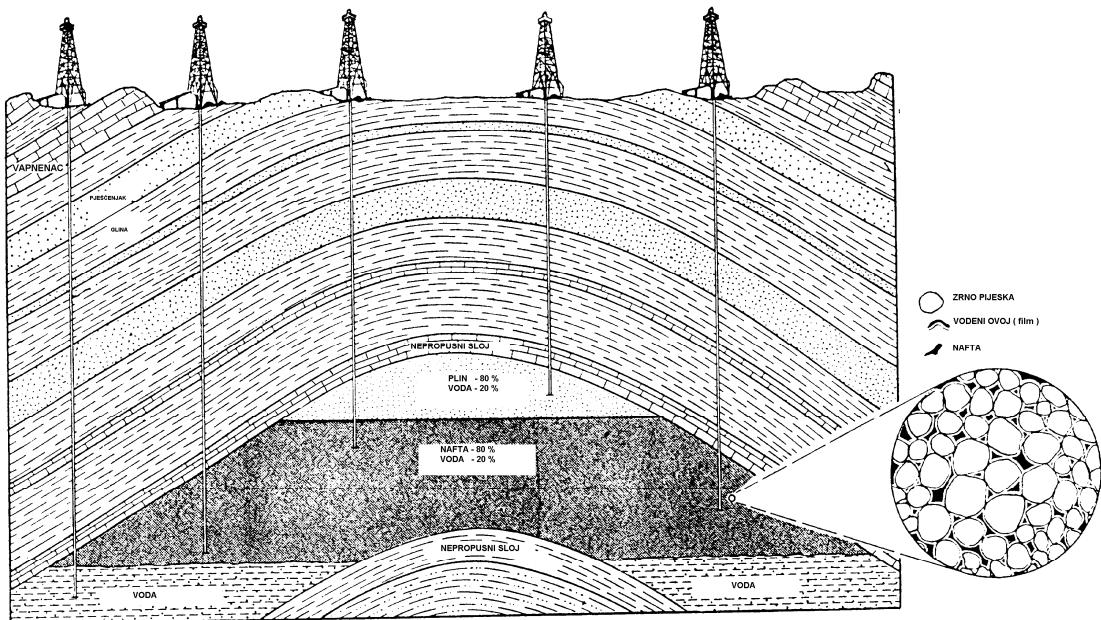
*Migracija izvan ležišta* – kretanje nafte i plina po dobro propusnim stijenama.

*Migracija unutar ležišta* – premještanje nafte i plina unutar kolektorskih stijena ležišta.

U sekundarnoj migraciji važnu ulogu igra *gravitacija*. Zbog, različitih gustoća, djelovanjem gravitacije, odvajaju se voda, plin i nafta. To razdvajanje započinje već tijekom migracije, a u potpunosti se ostvaruje u stacionarnim uvjetima koji vladaju u zamkama.

Faza odvajanja - “*segregacije*” odnosno, raspodjela fluida u ležištu ovisi o njihovoj gustoći, i kapilarnim svojstvima stijene.

Tako se tipično naftno ležište sastoji se od:



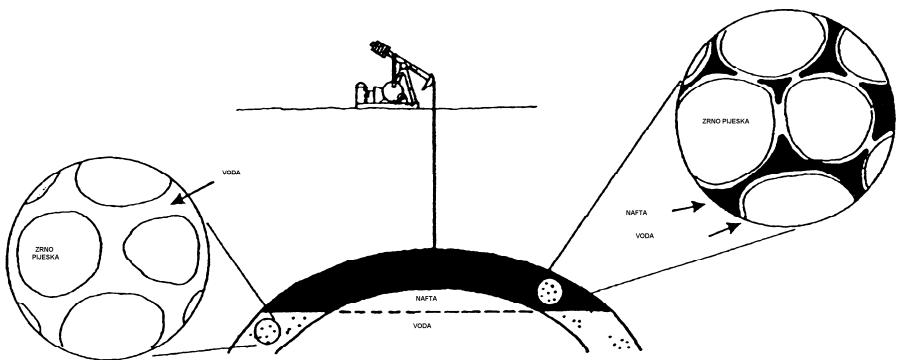
### S1.8. Tipično naftno ležište

- **plinske kape** gdje su u vršnom dijelu zamke pri određenom odnosu tlaka i temperature smješteni najlakši **plinovitii** ugljikovodici,
- **naftne zone** tj. dio koji leži ispod plinske kape i sadrži **kapljive** ugljikovodike (nafta s otopljenim plinom) i od podinskog dijela, odnosno na bokovima ležišta nalazi se
- **vodonosni horizont**, tj. najdublji dio podzemne strukture u kojem pore sadrže samo **vodu**, s velikom količinom neorganskih soli.

Između različitih zona, u rasponu od visoko naftom zasićene zone do zone slobodne vode, postoji i prijelazna zona.

U prirodi nema oštrog kontakta nafta – voda, nego samo zona s postupnim mijenjanjem udjela vode i ugljikovodika koja se naziva **prijelazna** zona.

Ipak, u praktičnim slučajevima određeni sadržaj vode pod nazivom **ireducibilo zasićenje** vodom - pojavljuje se iznad prijelazne zone. Veličina ireducibilnog zasićanja vodom i visina prijelazne zone ovisi o veličini pora i teksturi stijene. Veliko zasićenje ireducibilnom vodom ukazuje na malu veličinu pora, dok prijelazna zona odgovara različitom zasićenju vodom.



Sl. 9. Zasićenje vodom u pornom prostoru

Podzemne vode koje su u početku ispunjavale sav porni prostor stijena, tijekom perioda migriranja i akumuliranja ugljikovodika u ležišne zamke, djelomično su iz njega istisnute.

Ipak, kretanjem nafte i plina u više dijelove strukture sva voda nije potisnuta prema dolje, pa tako porni prostor ispunjen naftom i plinom može sadržavati i vodu u čak do 50 posto svojeg volumena. Relativne količine nafte, plina i vode koje se nalaze u pornom prostoru variraju od ležišta do ležišta, što se naziva *zasićenje* ležišta fluidima a prikazuje u postocima.

Dva tipa vode raspoznaju se ispod površine zemlje po načinu njihovog zalijeganja i to kao: *slobodna voda* i *vezana voda* u šupljinama stijena.

Slobodna voda kreće se slobodno kroz šupljikavi prostor ovisno o razlici tlaka.

Voda koja se zadržala u stijenama od njihova postanka naziva se ***konatna***, ili ***vezana voda***.

Nije pokretna vezana je kao tanak film uz zrna minerala i uglavnom se uvijek nalazi u kolektorskim stijenama. Ona se smatra ekvivalentom morskoj vodi uhvaćenoj u pore sedimanata tijekom taloženja i litifikacije, puno prije migracije nafte u kolektorske stijene. Količina konatne vode varira od 100 posto ispod naftne zone do teoretske nule iznad razine slobodne vode. Vezana voda razlikuje se od morske i po koncentraciji soli i kemijskom sastavu. Collins(20) definira *vezanu* vodu kao originalnu fosilnu vodu koja nije bila u kontaktu s vodom iz drugih izvora.

## DUBINSKE STRUKTURE POGODNE ZA AKUMULACIJU UGLJIKOVODIKA

Nafta i plin ne mogu se akumulirati ako za to ne postoji pogodna ***dubinska struktura*** tj. ***zamka*** koja je sposobna zaustaviti njihovu dalju migraciju. U slučaju kada plin, nafta i voda nisu doprli do površine, ostali su zarobljeni u zamkama.

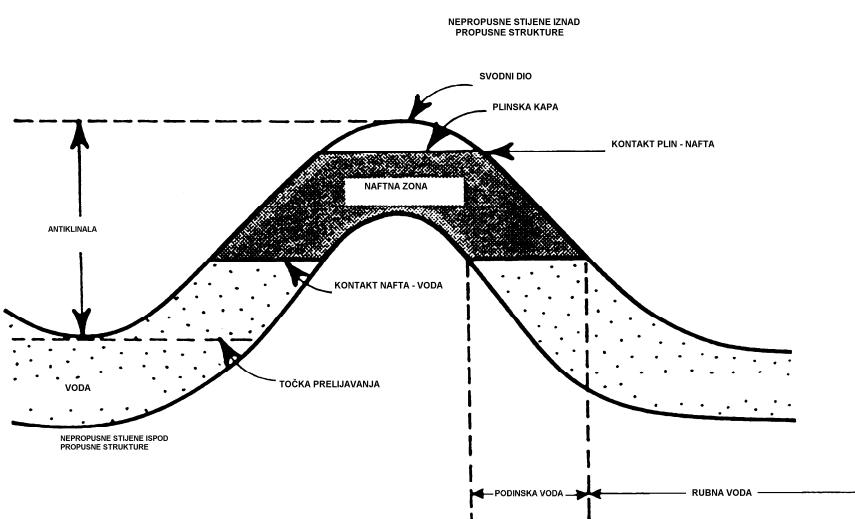
***Zamke*** (engl. - *trap*), su takve dubinske strukture gdje su nafta i plin prirodnim preprekama zaustavljeni pri svom kretanju kroz podzemlje uz mogućnost stvaranja njihovih akumulacija. Za stvaranje akumulacija ugljikovodika zamka mora biti zatvorena u krovinskom dijelu tj. u

smjeru *uzgona*, te u horizontalnim smjerovima tj. u podinskom dijelu gdje postoji vodonosna barijera. Zamke nastaju tektonskim deformacijama sedimentnog slijeda, sedimentacijskim i dijagenetskim procesima ili njihovom kombinacijom.

Nafta se **ne** nalazi u podzemnim jezerima ili bazenima, iako se naziv «*naftni bazen*» vrlo često rabi za opis akumulacije nafte.

Zamke su različitih tipova, veličina i oblika, pojavljuju se na bilo kojoj dubini, od onih ispod same površine zemlje do kilometrima duboko. Često nema površinskih naznaka o njihovom postojanju. Stvarne forme su vrlo različite.

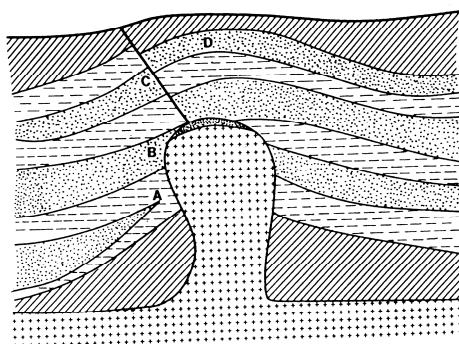
**Antiklinala** je najpoznatiji oblik zamke, čine ju naborani šupljikavi i propusni slojevi koji se konveksno uzdižu a nastali su deformacijom zemljine kore. Sile koje uzrokuju migraciju ugljikovodika, nastoje ih smjestiti uglavnom u gornje dijelove, posebno u *svodni dio* antiklinale.



Sl. 10. Antiklinala

Kupoliki oblik **antiklinale** predstavlja razmak između svodnog dijela bore i najniže točke zamke koja može sadržavati ugljikovodike. U većini slučajeva zamka nije potpuno ispunjena ugljikovodicima do najniže točke tj. točke preljevanja. Unutar zamke produktivni dio predstavlja vertikalni razmak između vrha antiklinale i kontakta nafta/voda.

Ipak, za nakupljanje fluida ustanovljeno je da i nije potrebno neko osobito povijanje slojeva, već se njihovo nakupljanje može odvijati i u nekim drugim okolnostima kao: *u nagnutim blokovima, u uzdignućima nastalim utiskivanjem ili probojem mlađih eruptiva ili solnih tijela, zatim u kolektorskim stijenama nataloženim u obliku gnijezda, leća duljih ili širih zona uz obale nekadašnjih mora, ili taložinama fosilnih struja ili fosilnih delta rijeka.*



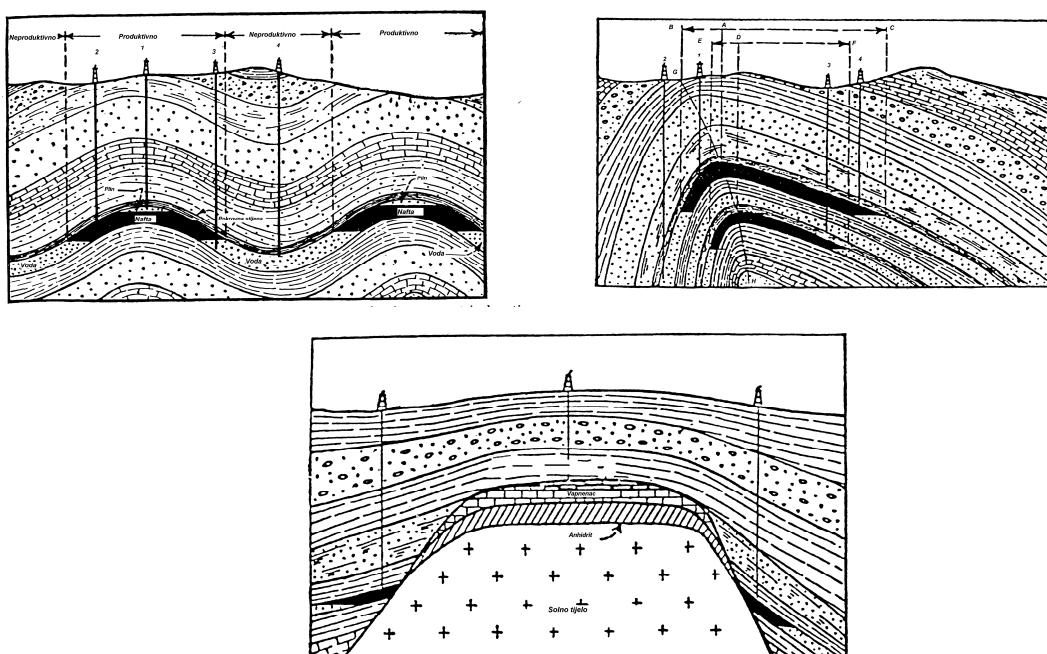
Sl. 11. Tipovi zamki:A-isklinjavanje, B-zamka uz solnu domu, C normalni rasjed, D-zamka dome

### KLASIFIKACIJA LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA

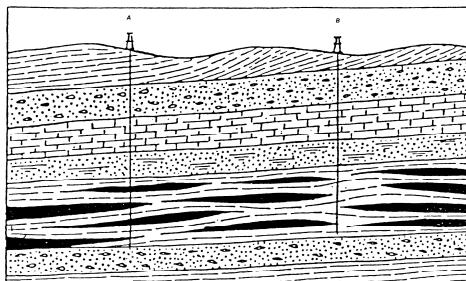
Ležišta ugljikovodika klasificiraju se s različitih stajališta, no svaka od klasifikacija ima i svoje nedostatke.

Prema klasifikaciji A.I. Levorsena 1967<sup>shelly313</sup>: postoje tri glavne skupine ležišta: ***strukturna, stratigrafska i kombinirana.***

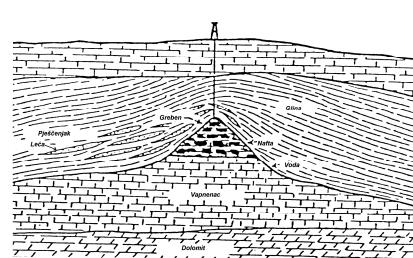
- ***strukturna:*** - zatvaranje fluida radi pogodnog povijanja slojeva, deformacija, - boranje naslaga nastalo uslijed kompresije i sabijanja, ili prodom solnih tijela uzrokovani tektonskim silama - ***jednostavne antiklinale, solne dome.***



- **stratigrafska**: pojave lokalno različitih taložnih procesa, neravnomjerno deponiran suspendirani materijal dovodi do stvaranja krupno-zrnate porozne i propusne strukture, potpuno zatvorene ili potpuno okružene sa sitnozrnim nepropusnim glinama, - **pješčane leće u škriljavim pješčanicima, karbonatni grebeni, kanalski pijesci, delte, naplavine.**

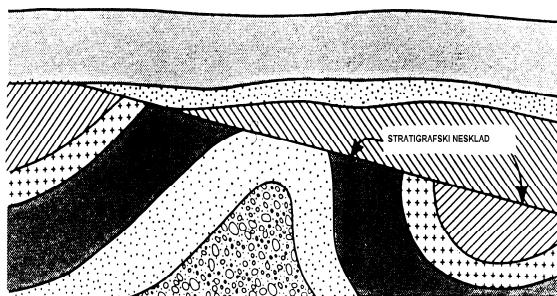


Pješčane leće



Koraljni greben

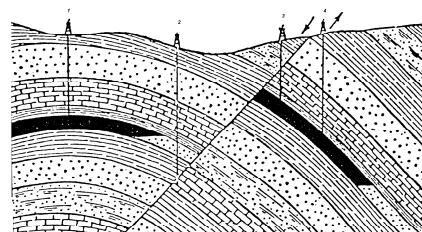
- **kombinirana: strukturno - stratigrafska**, - pripisuju se lokalnim promjenama taloženja, udružene s tektonskim silama i pojavom erozije tijekom ili nakon faze taloženja - **erodirane antiklinale, zamke u solnim domama, ležišta s ekstremno složenom unutarnjom strukturom.**



Erodirana antiklinala

Osim navedene klasifikacije, postoji i klasifikacija prema **tipovima prirodnog ležišta** na:

- **slojna, masivna** ležišta nepravilnih oblika, ili **litološki** ograničena ležišta, te
- **leće** – koje predstavlja skupina ležišta koja su ograničena slabo propusnom stijenom.



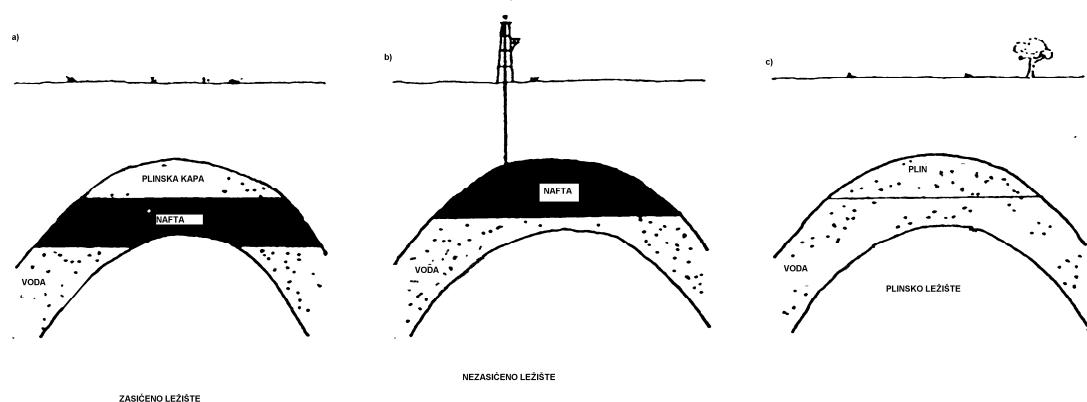
Litološki ograničeno ležište

U praksi značajke pojedinih ležišta opisuju se kombinacijom elemenata različitih klasifikacija.

Za inženjerske potrebe postoji praktična klasifikacija s obzirom na **eksploataciju i volumne omjere fluida u ležištu**, pa tako

prema **omjeru nafte i plina** razlikujemo:

- naftna ležišta s **plinskom kapom**,
- naftna ležišta s **otopljenim plinom**,
- naftna ležišta **slabo zasićena plinom** i
- čisto **plinska ležišta**,



prema **omjeru vode** s obzirom **na naftu i plin**:

- **vodonaporno** ležište u kojem odozdo djeluje *tlak rubne vode* iz vodonosnih naslaga,
- ležišta s **vodom** bez njenog dokazanog *aktivnog* djelovanja i
- ležišta **bez vode** - rijetka su i nalaze se u litološki sasvim ograničenim ležištima.

Svaka od klasifikacija ima svoje nedostatke i zato se u praksi značajke pojedinih ležišta opisuju kombinacijom elemenata različitih klasifikacija.