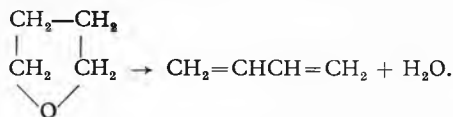


taldehid, od kojega se jedan dio hidrogenira u etanol i onda po postupku Ostromyslenskog prevodi u butadien. Otpadni plinovi prerade metana iskorišćuju se za sintezu amonijaka.

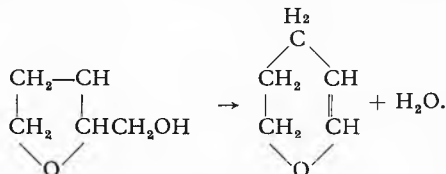
**Dehidratacija epoksida.** Epoksidi (ciklički eteri) u nekim se slučajevima podvrgavaju dehidrataciji radi dobivanja nezasićenih spojeva.

Dehidratacijom *tetrahidrofurana* (1,4-epoksibutana) nastaje butadien, kako je već spomenuto;

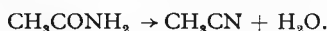


Tetrahidrofurani je osim iz butandiol-1,4 lako pristupačan iz furfurala, ali dobivanje butadiena iz furfurala nije ekonomično prema sadanjim cijenama.

*Tetrahidrofurfuralkohol*, također pristupačan iz furfurala, daje dehidratacijom (prevodenjem para na 375 °C preko  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dihidropiran:

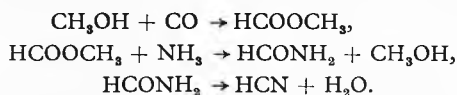


**Dobivanje nitrila dehidratacijom.** Nitrili se mogu dobiti u dobrom iskorišćenju ako se pare *amida* prevode na ~ 420 °C preko katalizatora za dehidrataciju, kao što su npr.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ili plovučac. Acetamid npr. daje tako acetonitril u iskorišćenju od ~ 90%:



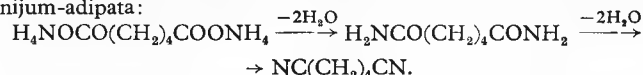
Nije, međutim, potrebno početi od gotovog amida; pare octene kiseline i amonijaka daju, prevodne na ~ 500 °C preko silikagela, acetonitril u iskorišćenju od 85%.

Iz formamida se i u industrijskom mjerilu na ovaj način dobiva cijanovodik (nitril mravlje kiseline). Proces počinje u stvari tako da se najprije od metanola i ugljik-monoksida pripravi metilformij, reakcijom na 100 °C i 10 at u prisutnosti natrijum-metilata kao katalizatora. Metilformij daje s amonijakom onda formamid i metanol, a formamid se prevodenjem u parnom stanju na 400 °C preko aluminijum-oksida kao katalizatora dehidratira u cijanovodik. Ove se reakcije mogu prikazati jednadžbama:



Ovaj interesantni proces za dobivanje cijanovodika ustupa u novije doba mjesto drugom, ekonomičnijem, u kojem se smjesa metana i amonijaka podvrgava oksidaciji ili dehidrogenaciji (v. *Dehidrogenacija, Oksidacija*). Cijanovodik ima u novije vrijeme značajnu ulogu u sintezi nekih sintetskih vlakana.

*Dinitril adipinske kiseline*, adipodinitril,  $\text{NC}(\text{CH}_2)_4\text{CN}$ , može se pripraviti dehidratacijom diamida adipinske kiseline ili amonijum-adipata:

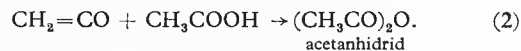
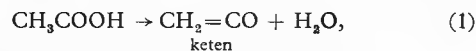


U industrijskom mjerilu postupa se još jednostavnije: polazi se od adipinske kiseline i amonijaka, koji se u dinitril preraduju na dva načina. Prema jednom se kroz rastaljenu adipinsku kiselinu na 200...300 °C provodi amonijak u prisutnosti katalizatora kao što su fosforna kiselina ili njeni esteri. Amonijak se provodi u suvišku, tako da on odnosi sobom i reakcijsku vodu. Prolazeći kroz povratno hladilo koje se drži na 100 °C zadržavaju se svi lakše hlapljivi spojevi adipinske kiseline. Kad je sva voda odstranjena, izdestilirala se iz reakcijske posude nitril. Prema drugom se postupku dehidratacija provodi u plinskoj fazi tako da se na 320...350 °C pare adipinske kiseline i amonijaka prevode preko dehidratirajućih katalizatora kao što su gel kremene kiseline (silika-gel), borfosfat i slični. Iskorišćenje je blizu 90%.

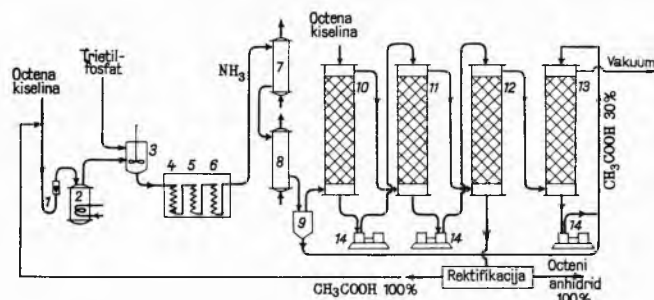
Dinitril adipinske kiseline se hidrogeniranjem prevodi u heksametilendiamin  $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ , koji je važan međuprodukt za dobivanje sintetskog vlakna Nylon i heksametilendiizocijanata-1,6,  $\text{OCN}(\text{CH}_2)_6\text{NCO}$ , koji je važna polazna tvar za niz poliuretana i drugih polimerizata.

*Nitrili viših masnih kiseline* mogu se dobiti slično kao i adipodinitril, tj. prevodenjem amonijaka kroz stearinsku ili oleinsku kiselinu na 300...350 °C u prisutnosti fosforne kiseline.

**Dehidratacija octene kiseline u keten.** Ova metoda ima veliko industrijsko značenje u jednom postupku dobivanja anhidrida octene kiseline (acetanhidrida). Postupa se prema ovim reakcijama:



Pare ledene octene kiseline, kojima je primiješano 0,2% tricetilfosfata kao katalizatora, provode se pod sniženim pritiskom od ~ 300 mm Hg kroz cijevi od specijalnih čelika, u kojima se temperatura postepeno penje sve do ~ 700 °C (vidi sliku).



Dobivanje anhidrida octene kiseline pirolizom octene kiseline. 1 Rotametar, 2 isparivač octene kiseline, 3 miješanje tricetilfosfata i octene kiseline, 4 cijevi za predgrijavanje na 250 °C, 5 cijevi za predgrijavanje na 600 °C, 6 cijevi za pirolizu (710 °C), 7 hlađenje vodom na 15 °C, 8 hlađenje rashladnom tekućinom na -5 °C, 9 odjeljivač razrijeđene octene kiseline od plinovitog ketena, 10...13 apsorpcija ketena: 10 kolona hladena na 20 °C, 11 kolona hladena na 10 °C, 12 i 13 kolone hladene na 1 °C; 14 pumpa

Zbiva se reakcija (1). Po izlasku iz reaktora, u reaktante, koji se sastoje od ketena (vrelišta -41 °C), vodene pare i nešto nepromijenjene octene kiseline, uštrcava se malo amonijaka, koji sprečava reakciju ketena s vodenom parom, dakle reverziju reakcije (1). Plinovi se nakon toga naglo ohlade sve do -5 °C, te se postize da voda nastala reakcijom (1) prilikom kondenziranja reagira s malom količinom ketena, dajući ~ 30% tnu octenu kiselinu. Glavnina ketena se vodi kao plin u apsorpcijski sistem, gdje se apsorbira u ledenoj octenoj kiselini, te se prema (2) dobiva anhidrid (90% tne čistoće). Ovaj se potom rektifikacijom pročišti na 100% tni anhidrid i ledenu octenu kiselinu, koja se vraća u proces. Iskorišćenje je preko 90%. Ovaj proces proizvodnje acetanhidrida obično se upotrebljava pri regeneraciji octene kiseline koja se u velikim količinama dobiva kao nusprodukt acetiliranja celuloze acetanhidridom radi dobivanja celuloznog acetata.

I. Brihta

**DEHIDROGENACIJA (dehidriranje)**, kemijski proces oduzimanja vodika (hidrogena) kemijskom spoju ili smjesi spojeva. Primjenjuje se najviše u organskoj kemiji, te se s pomoću dehidrogenacije dobivaju mnogi međuprodukti za izradu elastomera, plastičnih masa, otapala, sintetskih vlakana, sredstava za pranje itd. Po količini kemikalija koje se dehidrogenacijom proizvode, ona spada među najznačajnije procese današnje velike kemijske industrije.

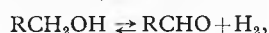
Sve dehidrogenacije su endotermni procesi. Najveće količine produkata dehidrogenacije dobivaju se čisto termičkim procesima, ali većina postupaka služi se katalizatorima koji ubrzavaju proces dehidrogenacije i svojim selektivnim djelovanjem smanjuju količinu nepoželjnih nusprodukata. Dehidrogenacijom se iz alkohola dobivaju aldehidi i ketoni, a iz alifatskih zasićenih ugljikovodika, što je industrijski mnogo značajnije i karakteristično za savremenu naftokemiju (petrokemiju), dobivaju se acilen, olefini, diolefini i aromati. Od interesa je također dobivanje

nitrila zajedničkom dehidrogenacijom ugljikovodika i amonijaka. U nekim slučajevima se vodik otcjepljuje u prisutnosti kisika odn. zraka nad podesnim katalizatorima. U tom slučaju otcjepljeni vodik izgara u vodu i reakcija postaje egzotermna; takve reakcije ne zovemo dehidrogenacijama, već oksidacijama. Tako se npr. aldehidi i ketoni mogu proizvesti bilo dehidrogenacijom bilo oksidacijom odgovarajućih alkohola, i industrija se već prema prilikama služi jednim ili drugim postupkom (v. *Aldehidi, Ketoni, Oksidacija*).

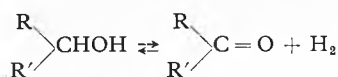
U suvremenoj tehničkoj praksi najvažnije su dehidrogenacije: dehidrogenacija alkohola, dehidrogenacija ugljikovodika i zajednička dehidrogenacija ugljikovodika i amonijaka. O tim će dehidrogenacijama u nastavku biti riječ.

**Dehidrogenacija alkohola**

**Dehidrogenacija jednovalentnih alkohola.** Dehidrogenacijom primarnih alkohola nastaju aldehidi:

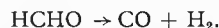


a dehidrogenacijom sekundarnih alkohola, ketoni:



Dehidrogenacija alkohola je endoterman proces, za formaldehid  $\Delta H_{298}^0 = +20$  kcal/mol, a za ostale alkohole  $\sim +12 \dots 15$  kcal/mol.

Dehidrogenacija alkohola provodi se isključivo katalitički. Najpodesniji katalizator za dehidrogenaciju primarnih alkohola jest bakar, kako su otkrili pioniri katalize Sabatier i Senderens početkom ovoga stoljeća. O toj reakciji v. *Aldehidi*. Formaldehid se nad bakrom dobivenim redukcijom iz oksida, ili nad tzv. Raney-bakrom (v. *Kataliza*), kvantitativno raspada na ugljik-monoksid i vodik:

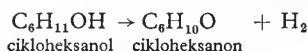
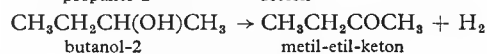
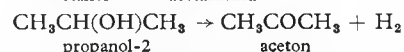
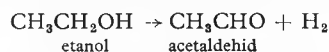


Zbog toga se formaldehid dobiva oksidacijom (v. *Aldehidi*). Međutim, pri dobivanju formaldehida katalitičkom oksidacijom metana s pomoću zraka na 500...700 °C (katalizator srebro ili bakar) radi se s nedostatkom zraka, tako da eksotermnu reakciju oksidacije prati endotermna reakcija dehidrogenacije; time se sprečavaju pregrijavanja i termički raspad produkta reakcije. Dekarbonilacija drugih aldehida odvija se u značajnijoj mjeri tek na višim temperaturama. Osim bakra, za dehidrogenaciju podesni su i neki oksidi, kao npr. ZnO, CdO, MgO, ali oni su aktivni na nešto višim temperaturama, oko 380 °C. Oksidni katalizatori se upotrebljavaju prvenstveno za dehidrogenaciju sekundarnih alkohola, npr. za dobivanje acetona iz propanola-2 s pomoću ZnO, budući da su ketoni na višim temperaturama znatno stabilniji od aldehida. Magnezijum-oksidi se, zajedno sa SiO<sub>2</sub>, upotrebljava za kombiniranu dehidrogenaciju i dehidrataciju u sintezi butadiena iz etanola (v. *Dehidratacija*):



Za dehidrogenaciju sekundarnih alkohola upotrebljava se kao katalizator i mjed (legura Cu-Zn) na temperaturama od 400 do 500 °C.

Najznačajnije dehidrogenacije alkohola u industriji jesu ove:

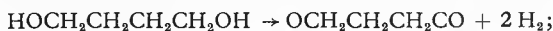


Ovi produkti, osim metil-etilketona, danas se dobivaju katalitičkom oksidacijom i to redovito ne iz alkohola, nego iz jeftinijih ugljikovodika. Dehidrogenacija se ponekad upotrebljava kad se dobiveni vodik može korisno upotrijebiti za kakvu hidrogenaciju.

**Dehidrogenacija dvovalentnih alkohola (diola).** Dehidrogenacijom etilenglikola ne dobiva se gliksal već jedan acetal

$\begin{matrix} CH_2O \\ | \\ CH_2O \end{matrix} \begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix} CHCH_2OH$ . Gliksal se može iz etilenglikola dobiti katalitičkom oksidacijom.

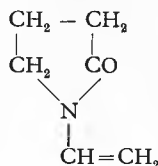
Dehidrogenacija diola u kojima su hidroksilne grupe u položaju 1,4 ili još više udaljene jedna od druge odvija se, kako je otkrio W. Reppe, također anomalno: ne nastaju dialdehidi, već nakon unutarnje pregradnje (Cannizzarove reakcije), laktoni. 1,4-butan-diol daje  $\gamma$ -butirolakton:



$$\Delta H = +14,7 \text{ kcal.}$$

Ova dehidrogenacija može se provoditi, uslijed dovoljno visokog vrelišta diola, i u tekućoj fazi, grijanjem s bakarnim katalizatorom na 210...240 °C uz povratno hladilo.

Analogno se iz 1,5-pentandiola dobiva  $\delta$ -valerolakton. 1,4-butirolakton je intermedijer za proizvodnju *N*-vinil-pirolidona koji se u polimernoj formi, kao polivinilpirolidon, upotrebljava kao nadomjestak za krvnu plazmu pri transfuziji krvi i kao stabilizator za disperzije sintetskih makromolekularnih tvari (npr. polivinilacetata i -propionata). Monomer se upotrebljava i pri proizvodnji sintetskih miješanih polimerizata.



**Dehidrogenacija ugljikovodika**

**Dehidrogenacija alifatskih ugljikovodika.** Dehidrogenacija nižih alifatskih ugljikovodika u odgovarajuće alkene provodi se industrijski u velikom mjerilu. Na taj se način dobivaju etilen, propilen i butileni, koji se prerađuju u velik broj različitih kemijskih produkata (alkohole, otapala, plastične mase, detergente itd.). Specijalno mjesto među ovim dehidrogenacijama zauzima dobivanje acetilena iz metana dehidrogenacijom, koje pomalo istiskuje stariji način dobivanja acetilena iz kalcijum-karbida. Pored dehidrogenacije dolazi kod ugljikovodika od C<sub>3</sub> naviše i do kidanja

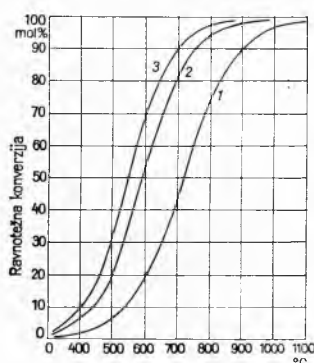
Tablica 1

TERMIČKI EFEKTI DEHIDROGENACIJE NEKIH VAŽNIH UGLJIKOVODIKA (za plinovito stanje)

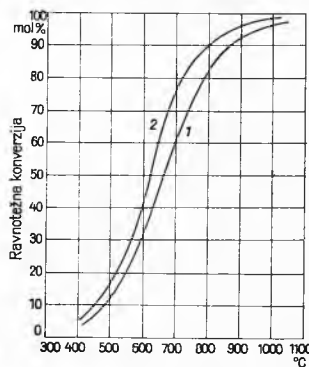
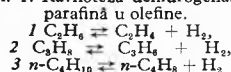
Reaktant	Reakcija	$\Delta H_{298}$ , kcal
metan	$CH_4 \rightarrow C + 2 H_2$ (čada)	17,9
metan	$2 CH_4 \rightarrow C_2H_2 + 3 H_2$ (acetilen)	90,0
etan	$C_2H_6 \rightarrow CH_2=CH_2 + H_2$ (etilen)	32,7
propan	$C_3H_8 \rightarrow CH_2CH=CH_2 + H_2$ (propilen)	29,7
propan	$C_3H_8 \rightarrow CH_2=CH_2 + CH_4$ (etilen)	19,5
<i>n</i> -butan	$C_4H_{10} \rightarrow CH_3CH_2CH=CH_2 + H_2$ (buten-1)	30,1
<i>n</i> -butan	$C_4H_{10} \rightarrow \begin{matrix} H & H \\   &   \\ CH_3C=CCH_3 \end{matrix} + H_2$ ( <i>cis</i> -buten-2)	28,5
<i>n</i> -butan	$C_4H_{10} \rightarrow \begin{matrix} H \\   \\ CH_3C=CCH_3 \\   \\ H \end{matrix} + H_2$ ( <i>trans</i> -buten-2)	27,5
buten-1	$C_4H_8 \rightarrow CH_2=CHCH=CH_2 + H_2$ (butadien)	26,4
<i>n</i> -heksan	$C_6H_{14} \rightarrow C_6H_6 + 4 H_2$ (benzen) (dehidrociklizacija)	59,2
cikloheksan	$C_6H_{12} \rightarrow C_6H_6 + 3 H_2$ (benzen)	49,3
etilbenzen	$C_6H_5C_2H_5 \rightarrow C_6H_5CH=CH_2 + H_2$ (stiren)	28,7

veze C—C (krekovanja), a stvaranje čade se pojavljuje kao paralelna ili sekundarna reakcija u svim termičkim procesima s ugljikovodicima. U tablici 1 dane su topline reakcije za neke važne dehidrogenacije i cijepanja važnijih ugljikovodika. Topline reakcije za dehidrogenaciju ugljikovodika od butana navise u  $\alpha$ -olefine (npr. reakciju *n*-heksan  $\rightarrow$  heksen-1) praktički su jednake veličine kao i za butan.

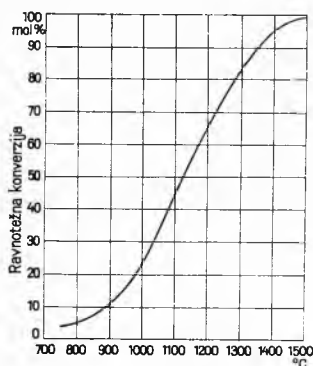
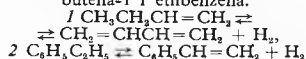
**Uslovi i katalizatori dehidrogenacije ugljikovodika.** Zavisnost iskorišćenja od temperature pri dehidrogenaciji nekih važnijih ugljikovodika prikazana je na bazi termodinamičkih proračuna u slikama 1, 2 i 3. U slici 1 krivulja za butan izračunata je uz pretpostavku da svi mogući buteni (buten-1, *cis*-buten-2 i *trans*-buten-2) nastaju u ravnotežnim koncentracijama.



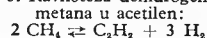
Sl. 1. Ravnoteža dehidrogenacije parafina u olefine.



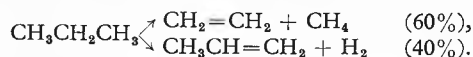
Sl. 2. Ravnoteža dehidrogenacije butena-1 i etilbenzena.



Sl. 3. Ravnoteža dehidrogenacije metana u acetylen:



Zbog mogućnosti krekovanja, za dehidrogenacije butana i butena ne upotrebljavaju se temperature više od  $\sim 600\text{--}620$  °C. Najviše temperature zahtijeva proizvodnja acetilena iz metana,  $1100\text{--}1500$  °C. Kidanje veze C—H je termodinamički manje favorizirano od kidanja veze C—C: za kidanje veze C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>—H treba dovesti 97,5 kcal/mol, a za kidanje veze CH<sub>3</sub>—CH<sub>3</sub> potrebno je samo 87 kcal/mol (Polanyi). Kod propana i viših ugljikovodika, pored dehidrogenacije, dolazi, dakle, do izražaja i krekovanje. Upotrebom katalizatora, relativno niskih temperatura i niskih konverzija moguće je, međutim, i kod dehidrogenacije butana postići relativno dobra iskorišćenja na olefinima. Kod propana, zbog potrebne visoke temperature (jednako kao i kod etana), ne dolazi u obzir primjena katalizatora, pa se često termički odvijaju paralelno reakcije raspada i dehidrogenacije



Katalizatori se upotrebljavaju pri dehidrogenaciji butana, butena, etilbenzena i cikloparafina, i pri dehidrociklizaciji (dehidrogenaciji + ciklizaciji = aromatizaciji) parafinskih ugljikovodika od C<sub>6</sub> navise, pri čemu nastaju aromati. Za katalitičku dehidrogenaciju zasićenih ugljikovodika (npr. butan  $\rightarrow$  buten) upotrebljava

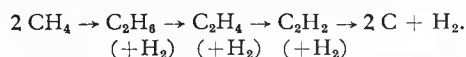
se danas krom-oksidi (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) na aluminijum-oksidu ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kao nosiocu. Obično se ovom katalizatoru dodaje nešto K<sub>2</sub>O, da bi se spriječilo taloženje ugljika na njemu.

Za dehidrogenaciju butena u butadien krom-oksidi nisu pogodni jer se on truje već malim količinama vodene pare, koja se uvijek dodaje butenu pri dehidrogenaciji. Stoga su za dehidrogenaciju butena u butadien izrađeni katalizatori koji su otporni prema vodenoj pari, kao npr. katalizator tipa 1707 (izrađen od Standard Oil Comp. za vrijeme drugog svjetskog rata), sastava 72,4% MgO, 18,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,6% CuO i 4,6% K<sub>2</sub>O. Aktivna komponenta je Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tim katalizatorom se pri dehidrogenaciji butena u butadien postižu iskorišćenja (selektivitet) od 70...80% i konverzije (u jednom prolazu) od 20...25%. Kasnije je predložen za istu svrhu Ca-Ni-fosfat, aktiviran krom-oksidiom, koji ima bolji selektivitet. Za dehidrogenaciju butana ovi katalizatori nisu aktivni.

Za dehidrociklizaciju, tj. za dobivanje aromata iz parafina, a također i za dehidrogenaciju naftena, upotrebljavaju se oksidi molibdena i kroma na nosiocu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a također platina na nosiocu. Ovi se procesi obično zovu katalitički *reforming*, a provode se u cilju povećanja oktanskog broja benzina i za dobivanje aromata iz nafte, radi njihove daljnje kemijske prerade. Nastajanje benzena dehidrogenacijom cikloheksana na platini otkrio je 1911 ruski kemičar Zelinski, a dobivanje aromata dehidrociklizacijom parafina s bar šest ugljikovih atoma u lancu našli su Moldavski i saradnici godine 1936 u SSSR. Dehidrociklizacija parafinskih ugljikovodika nad platinskim katalizatorima danas ima golemo praktičko značenje za proizvodnju visokooktanskih benzina. Pri tom primijenjeni postupak (platforming) istiskuje u modernim rafinerijama u znatnoj mjeri dosad primijenjene postupke termičkog i katalitičkog krekovanja, upotrebljavane za dobivanje benzinskih frakcija iz težih sastojaka nafte i za reformiranje normalno-parafinskih benzina.

U nastavku će se obraditi najvažnije dehidrogenacije alifatskih i alicikličkih ugljikovodika i dehidrogenacije alifatskog lanca u aromata.

**Dobivanje acetilena iz ugljikovodika** (plinovitih i tekućih) u posljednje vrijeme je postalo vrlo važno s obzirom na jeftinoću sirovine i na važne derivate koji se mogu sintetizirati iz acetilena. Da bi se postigla dobra iskorištenja, potrebno je raditi na vrlo visokim temperaturama ( $> 1200$  °C), s niskim parcijalnim pritiscima reaktanata i produkata i uz što brže hlađenje produkata. Smatra se da reakcija ide u stupnjevima:



Metode za dobivanja acetilena iz ugljikovodika razlikuju se u načinu kojim se dovodi potrebna količina topline:

1. električnom energijom (električni luk istosmjerne struje — Chem. Werke Hüls; električni luk izmjenične struje — Schoch).

2. spaljivanjem jednog dijela metana kisikom (postupak Sachsse-BASF i drugi). Egzotermna reakcija izgaranja daje potrebnu toplinu za jako endotermnu dehidrogenaciju.

3. regenerativnim sistemom (sistem Wulff) s izmjeničnim periodama zagrijavanja vatrostalnog materijala i reakcije u trajanju od  $\frac{1}{2}$ ...2 minute.

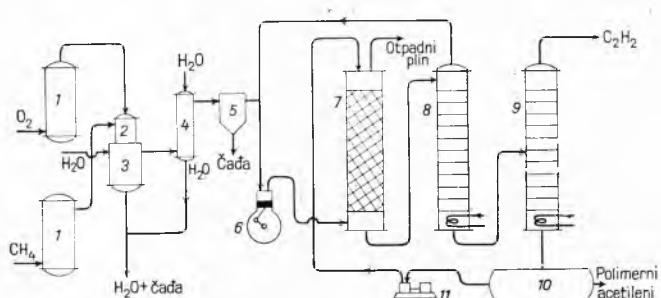
4. uštrcavanjem jednih (tekućih) ugljikovodika u vrući plamen dobiven time što se spaljuje drugi ugljikovodik (redovito plinoviti) u kisiku (postupak HTP — Hochtemperaturpyrolyse-Hoechst). Dobivaju se uz acetylen i znatne količine etilena; omjer acetylen : etilen može se mijenjanjem sastava sirovine i uvjeta reakcije u određenim granicama varirati.

Sastav plinova koji se dobivaju dehidrogenacijom metana, prema gore nabrojanim postupcima, dan je u tablici 2. U postupku Wulff sirovina je propan umjesto metana. Svim ovim postupcima dobiva se, pored relativno malo acetilena, velika količina vodika, a postupcima parcijalne oksidacije kisikom (Sachsse-BASF) još i znatna količina ugljik-monoksida; ekonomičnost se postiže tek kompleksnim iskorišćenjem svih komponenata. S obzirom na pomjeranja u cijenama sirovina vrlo je važno da se u postupku Wulff mogu upotrijebiti kao sirovine bilo plinoviti ugljikovodici (metan, propan) bilo tekući (frakcije nafte).

Električni postupci za dobivanje acetilena iz ugljikovodika troše skoro jednaku količinu energije kao i karbidni postupak;

zbog toga su oni upotrebljivi samo ako se u blizini nalaze izvori ugljikovodika i jeftina električna energija, a transport karbida je dalek.

Pri dobivanju acetilena po ovim postupcima specijalan problem predstavlja njegova izolacija iz plinske smjese. To se provodi obično apsorpcijom u podesnim otapalima. Prije se za to upotrebljavala voda, danas se upotrebljava dimetilformamid, aceton i tekući amonijak, a možda i dimetilsulfoksid. Shematski prikaz postupka Sachsse-BASF dan je u slici 4. Budući da nijedno otapalo nije



Sl. 4. Shema dobivanja acetilena iz metana prema postupku Sachsse-BASF. 1 Predgrijalač kisika i metana, 2 reaktor (1500 °C), 3 naglo hlađenje, 4 hladilo, 5 odvajanje čade, 6 kompresor (10 at), 7 kolona za apsorpciju acetilena, 8 kolona za istjerivanje CO<sub>2</sub> (+ nešto acetilena), 9 kolona za istjerivanje acetilena, 10 izdvajanje polimernih acetilena, 11 pumpa za vraćanje otapala

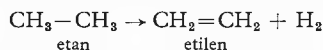
potpuno selektivno, pored acetilena apsorbiraju se i stanovite količine etilena, ugljik-dioksida itd., koji se onda, zajedno s nešto acetilena, odjeljuju u posebnoj koloni destilacijom.

**Dobivanje etilena dehidrogenacijom etana.** Velika količina etilena dobiva se iz plinova koji nastaju krekovanjem nafte, a osim toga se dobiva etilen termičkom dehidrogenacijom etana i pirolizom naftnih frakcija. Krekovanjem propana nastaje također prvenstveno etilen + metan, budući da je ta reakcija termodinamički favorizirana pred dehidrogenacijom u propilen i vodik.

U USA, gdje postoje golemi kapaciteti za krekovanje nafte, dobiva se glavina etilena iz plinova krekovanja i iz etana koji je ukapljivanjem i rektifikacijom izdvojen iz tih plinova. U Evropi se kao izvor etilena u većoj mjeri upotrebljava piroliza lakih benzina. Tehnički zanimljiva je prerada tako reći bilo kakvih ugljikovodičnih sirovina (od sirove nafte do ostataka destilacije nafte) na etilen i druge plinovite ugljikovodike, vodik i petrokoksi novijim robustnim i neosjetljivim postupcima u kojima se toplina prenosi na predgrijanu sirovinu tako da se ona dovodi u kontakt s odvojeno zagrijanim pijeskom ili sitnim koksom (Sandcracker — Bayer, Wirbelschicht — BASF, Koker — Hoechst). U ekonomskom pogledu ti postupci još nemaju veliku važnost dok je laki benzin pristupačan po povoljno niskoj cijeni.

Na slici 5 prikazano je postrojenje za dehidrogenaciju etana iz rafinerijskog plina i za dijeljenje plina na pojedine sastojke rektifikacijom. Rafinerijski plin, prosječnog sastava (po volumenu): 25% CH<sub>4</sub>, 19% H<sub>2</sub>, 15% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 7% C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 12% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, 6% C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> i 16% CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S i viših ugljikovodika, komprimira se i

iz njega se isperu H<sub>2</sub>S i CO<sub>2</sub> otopinama etanolamina i natrijum-hidroksida. Prije pranja s NaOH primiješa mu se plin od dehidrogenacije etana, koji se sastoji od etilena, vodika, nešto acetilena i nekonvertiranog etana. Plin onda ide u predgrijač i u reaktor za selektivno hidrogeniranje acetilena u etilen (nad paladijskim katalizatorom), potom se komprimira i ohladi, te preko aktivnog aluminijum-oksida odstrani iz njega vlaga do rosišta ~ -70 °C. Plin se onda dalje hladi na ~ -100°...-120 °C i vodi u tri rektifikacione kolone. U prvoj se odstrani metan i svi plinovi niže tačke ključanja (H<sub>2</sub> itd.), u drugoj se dijeli frakcija C<sub>2</sub> od frakcije C<sub>3</sub>, a u trećoj etilen od etana. Etan se potom podvrgne termičkoj dehidrogenaciji prema reakciji:

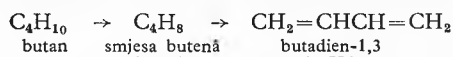


i dobivena plinska smjesa se, radi razdjeljenja, vodi opet natrag u sistem.

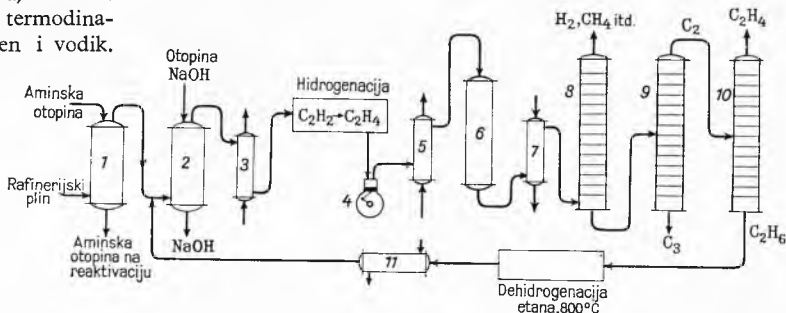
Ako se prerađuju plinovi pirolize tekućih frakcija nafte ili propana, sistem prerade je uglavnom isti. Može se postići da etilen bude 99,9%tni, kao što je potrebno za proizvodnju polietilena. Proizvodnja etilena u Evropi premašuje danas 2 Mt, te on dolazi prema proizvedenim količinama na prvo mjesto među kemikalijama dobivenim iz nafte.

**Dehidrogenacija butana i butena.** Butan se dehidrogenira u cilju dobivanja butena i butadiena.

Obično se radi tako da se najprije proizvede buten, koji se izolira i prečisti, a potom dehidrogenira u butadien:



Dehidrogenacija butana u veleindustrijskom mjerilu počela se provoditi u USA za vrijeme drugog svjetskog rata. Jedan dio butena se upotrebljavao za proizvodnju visokooktanskog benzina,



Sl. 5. Dobivanje etilena iz rafinerijskog plina uz dehidrogenaciju etana. 1 Čišćenje od H<sub>2</sub>S i CO<sub>2</sub> etanolaminom, 2 ispiranje otopinom NaOH, 3 predgrijavanje na ~200 °C, 4 kompresor 35 at, 5 hlađenje, 6 odstranjivanje vlage, 7 hlađenje na -100 °C, 8 odvajanje CH<sub>4</sub> i H<sub>2</sub> rektifikacijom, 9 razdvajanje frakcija C<sub>2</sub> i C<sub>3</sub>, 10 razdvajanje smjese etan-etilen rektifikacijom, 11 hlađenje

a drugi je bio dehidrogeniran u butadien, koji je kopolimerizacijom sa stirenom davao sintetski kaučuk.

Dehidrogenacija butana u butene provodi se preko katalizatora na bazi Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na ~ 600 °C i pod pritiskom od 1 at ili nižem. Praktični postupci razlikuju se prema tome kako se dovodi toplina reakcije. U procesu Phillips Petroleum Comp.

Tablica 2  
SASTAV PLINA I UTROŠAK MATERIJALA I ENERGIJE PRI DOBIVANJU ACETILENA IZ UGLJIKOVODIKA  
PREMA RAZLIČNIM POSTUPCIMA

Postupak (sirovina)	U izlaznom plinu ima vol. %					Utrošak CH <sub>4</sub> odn. C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , kg/kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Utrošak O <sub>2</sub> , kg/kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Utrošak energije, kWh/kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub>	H <sub>2</sub>	CO			
Hüls (metan)	13	34	0,8	47	0,5	2,3	—	11,4
Schock (metan)	10...14	49...28	—	39...55	—	nema podataka	—	—
Sachsse (metan)	8...9	4	0,3	57	25 (+3,7 CO <sub>2</sub> )	4,1	4,9	1,5
Wulff (propan)	10	15	4	56	7	5,1 (CH <sub>4</sub> ) 3,3 (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	—	4 1,5

vrući plinovi izgaranja zagrijavaju izvana cijevi u kojima je smješten katalizator; u procesu Houdry radi se u izmjeničnom ciklusu od 7...15 minuta tako da se najprije provodi dehidrogenacija, a onda regeneracija katalizatora. Pri regeneraciji se (nakon pretihodnog evakuiranja) ugljikasti materijal koji se za vrijeme dehidrogenacije istaložio na katalizatoru spaljuje zrakom; time se katalizator i primiješani inertni materijal toliko zagriju da mogu dati dovoljno topline u narednom ciklusu dehidrogenacije. Katalizator se u postupku Phillips regenerira svaki sat (1 h dehidrogenacija i 1 h regeneracija) tako da se plinovima koji sadrže kisik spaljuje ugljikasti materijal. U postrojenju Phillips postignuta je sa katalizatorom starijim ~ 60 dana konverzija od 25% i iskorišćenje od 72% na butenima, uz prostornu brzinu od 1000 vol./vol. katalizatora/h. Smanjenjem konverzije raste iskorišćenje. Smjesa butena sadrži 33,5% butena-1, 38% *trans*-butena-2 i 28,5% *cis*-butena-2.

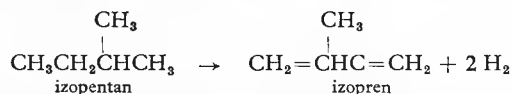
Plinovi dehidrogenacije butana u butene sastoje se od butena, nepromijenjenog butana, vodika i manjih količina ugljikovodika C<sub>1</sub> do C<sub>3</sub>. Ohlađenjem i kompresijom izluči se glavnina frakcije C<sub>4</sub>, a njen ostatak dobije se ispiranjem nekondenziranog plina uljem. Iz tekuće frakcije C<sub>4</sub> izdvoji se buten-1 rektifikacijom, a buteni-2 se od butana odijele ekstraktivnom destilacijom s pomoću furfurala (t. k.: *n*-butan -0,5°, buten-1 -6,26°; *cis*-buten-2 +3,72°, *trans*-buten-2 +0,88 °C).

Dehidrogenacija butena u butadien provodi se obično u prisutnosti vodene pare na katalizatoru 1707 na bazi oksida željeza. Regeneracija katalizatora vrši se automatski vodenom parom. Katalizator ima trajnost oko šest mjeseci, nakon čega ga treba izmijeniti. Radi se obično na temperaturi od ~ 650 °C i postiže se uz konverziju od ~ 28% konačno iskorišćenje na butadienu 73%. Butadien (t. k. -4,4 °C) dobiva se iz plinova dehidrogenacije kompresijom i hlađenjem, a od nepromijenjenih butena dijeli se apsorpcijom u amonijačnoj otopini kupro-acetata, u kojoj je butadien mnogo topljiviji od butena. Nepromijenjeni buteni vraćaju se u proces dehidrogenacije.

Prema postupku Houdry, butan se dehidrogenira u butadien u jednom prolazu preko katalizatora na bazi Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, s konverzijom od ~ 11%. Preostala butan-butenska frakcija se upotrebljava ili za proizvodnju avionskog benzina ili se vraća na dehidrogenaciju, pri čemu se može postići ukupno iskorišćenje na butadienu od ~ 50%.

Proizvodnja butadiena iz butana započeta je u velikom mjerilu u USA za vrijeme drugog svjetskog rata. U Njemačkoj su butadien proizvodili u isto vrijeme iz acetilena, a u SSSR iz etanola. God. 1957 proizvedeno je u USA butadiena 870 kt, i ta je količina proizvedena sva dehidrogenacijom butena. U novije vrijeme dobiva sve veću važnost proizvodnja butadiena dehidrogenacijom neposredno iz butana, jer buteni zbog njihove sve veće primjene za alkilaciju benzina postaju sve skuplja sirovina. Dobivanje butadiena iz butana, odn. butena, primjenjuje se postepeno i u drugim tehnički naprednim državama.

**Dobivanje izoprena dehidrogenacijom izopentana.** Izopren (2-metilbutadien-1,3) CH<sub>2</sub>=CHC(CH<sub>3</sub>)=CH<sub>2</sub> postao je interesantan u posljednjim godinama, otkako ga je uspjelo tzv. stereospecifičnom polimerizacijom prevesti u elastomer koji je praktički identičan prirodnom kaučuku (*cis*-1,4-poliizopren). Izopren se, osim sintetskim metodama, dobiva analogno kao i butadien, tj. dehidrogenacijom izopentana (2-metil-butana) u jednom ili dva stupnja:



**Dehidrogenacija viših ugljikovodika (aromatizacija).** Pri dehidrogenaciji parafinskih ugljikovodika sa šest ili više C-atoma dolazi odmah do ciklizacije u aromate, uslijed čega nije moguće dobiti odgovarajuće olefine. Ova se operacija naziva *dehidrociklizacija*. Iz *n*-heksana dobiva se tako benzen, iz *n*-heptana toluen itd. Često dolazi i do izomerizacije, tako npr. 2, 2, 4-trimetilpentan daje pretežno *p*-ksilen. Pretvaranje parafina u aromate je najvažnija reakcija tzv. *katalitičkog reforminga*, koji se provodi da bi se benzinskim frakcijama povisio oktanski broj bez znatnijeg cijepanja lanca.

Kao katalizatori upotrebljavaju se obično oksidi kroma ili molibdena na aluminijum-oksidu i platina na nosiocima. Oksid kroma aktivan je samo pod atmosferskim pritiskom, a oksid molibdena daje i pod ~ 20 at isto iskorišćenje na aromatima kao i pod atmosferskim pritiskom. Za aromatizaciju se upotrebljavaju temperature od 460 do 550 °C. Da se spriječi taloženje ugljikastih materijala na katalizatorima, često se radi u prisutnosti vodika pod povišenim pritiskom (*hydroforming*).

Lakoća kojom se pojedini ugljikovodik aromatizira zavisi od njegove konstitucije i raste po ovom redu: parafin < odgovarajući alifatski olefin < odgovarajući šesteročlani cikloparafin (naften) < odgovarajući cikloolefin, a unutar svake nabrojene grupe raste s brojem ugljikovih atoma u molekuli. Pod istim uslovima (465 °C, katalizator Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dobivena su iskorištenja na aromatima navedena u tablici što slijedi.

Ugljikovodik	% aromata
heksan	19,5 benzen
heksen-1	31 "
cikloheksan	40 "
cikloheksen	73 "
heptan	36 toluen
hepten-1	69 "
oktan	46 { ksileni etilbenzen

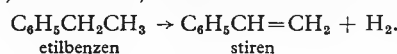
Budući da nafteni lakše daju aromate od odgovarajućih parafina, to su za dobivanje aromata, kao individua, pogodnije nafte s visokim sadržajem nafte, koji dehidrogenacijom uz ev. izomerizaciju mogu prelaziti u industrijski važne aromate: benzen, toluen i ksilene.

Pojedini industrijski procesi u kojima se vrši aromatizacija poznati su pod imenom *hydroforming* (s molibdenovim oksidom), *platforming*, *catforming* i *Houdryforming* (s platinskim katalizatorima). *Reforming* u prisutnosti vodika pod pritiskom izvodi se npr. tako da se smjesa sirovine i vodika zagrije na 450...520 °C i provodi kroz reaktore pod pritiskom od 10...70 at. Obično ima 5 ili 6 reaktora od kojih se svaki može iskopčati iz serije radi regeneracije katalizatora. Ako se upotrebljava fluidizirani katalizator, on se kontinuirano vodi u regenerator na spaljivanje ugljika i vraća se regeneriran u reaktor. Nakon izlaska iz reaktora odvaja se iz reakcijske smjese višak vodika i tekući se produkti (benzin) stabiliziraju uklanjanjem lako hlapljivih sastojaka.

Žele li se dobiti aromati kao čisti kemijski individuali, treba ih u produktu aromatizacije odvojiti od naftena i parafina raznim fizikalnim sredstvima, iskorišćujući različitu topljivost pojedinih ugljikovodika u nekim otapalima. Po procesu Udex (Universal Oil Products), aromati se odjeljuju od ostalih ugljikovodika na bazi veće topljivosti aromata u vodenoj otopini dietilenglikola.

**Dehidrogenacija naftena (cikloalkana).** Budući da mnoge nafte obiluju naftenskim (cikloalkanskim) ugljikovodicima, to je njihovo pretvaranje u aromate od isto tolikog značaja kao i dehidrociklizacija parafinskih sastojaka nafte. Ono se, kao i kod parafina, provodi kako u cilju povećanja oktanskog broja tako i radi dobivanja aromata u cilju njihove daljnje kemijske prerade ili upotrebe kao otapala. Proizvodnja toluena iz nafte postala je već za vrijeme drugog svjetskog rata neobično važan faktor u ratnoj ekonomiji USA, a godine 1955 tamo se proizvodi već više benzena, toluena i ksilena iz nafte nego iz katrana kamenog ugljena. U USA je 1962 već 82% svih aromata proizvedeno iz nafte, dok je iste godine u Evropi otprilike jednak postotak još proizveden iz uglja, odn. katrana. I u USA i u Evropi omjer količina aromata dobivenih iz nafte i iz uglja stalno raste u korist nafte. Ako se ide na čiste aromatske ugljikovodike, postupa se obično tako da se iz nafte s visokim sadržajem podesnih naftena ovi oštrm rektifikacijom izdvoje u što čistšem stanju i onda podvrgnu aromatizaciji istim katalizatorima i pod istim uslovima kako je to već gore opisano kod dehidrociklizacije. Sadržaj naftena u frakciji C<sub>6</sub> američkih nafti kreće se od 20 do 55%, a u frakciji C<sub>7</sub> između 25 i 75%. Pri tom je značajno da i alkil-ciklopentani izomerizacijom prelaze u aromate, pa npr. metil-ciklopentan daje benzen. Reakcioni produkt obraduje se postupkom Udex ili kojim drugim sličnim postupkom.

**Dehidrogenacija alifatskog lanca u aromatima** ima najveće značenje za dobivanje stirena iz etilbenzena:



Dobivanje etilbenzena opisano je u članku *Alkilacija*. Stiren je u posljednje vrijeme dobio veliko industrijsko značenje za izradu polistirenskih plastičnih masa, za izradu elastomera (sintetski kaučuk koji se danas najviše izrađuje jest kopolimer butadiena i stirena) itd.

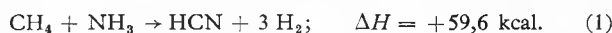
*Dehidrogenacija etilbenzena* je proces potpuno analogan dehidrogenaciji butena u butadien. Dehidrogenacija se provodi na 580–620 °C tako da se etilbenzen u smjesi s vodenom parom (1:1,1...2,6 po težini) vodi preko podesnih katalizatora. Kao katalizator upotrebljavali su u Njemačkoj ZnO (s manjim količinama Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, KOH, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), a u USA već spomenuti katalizator tipa 1707 na bazi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i katalizator Shell 105, sastava 90 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 4 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 6 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Ovi katalizatori imaju svojstvo da se sami čiste od istaloženog ugljika prema reakciji C + 2 H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>. Katalizatori imaju trajnost otprilike godinu dana.

Reakcioni produkt po izlasku iz konvertora za dehidrogenaciju ima, ne računajući vodik, ~ 38% stirena, male količine benzena, toluena i katrana, uz ~ 60% nepromijenjenog etilbenzena. Ohlađenjem se organske tvari kondenziraju i odvoje od vodika, te se vode na rektifikaciju. Uslijed male razlike među temperaturama ključanja (etilbenzen 136, stiren 145 °C) potrebne su za to vrlo efikasne, obično dvodijelne kolone sa ~ 70 tavana. Rektifikacija se vrši u vakuumu, pod ~ 35 mm Hg, i dobiva se stiren čistoće 99,7%, koliko je potrebno za polimerizaciju. Monomerni stiren naginje brzom polimerizaciji i zbog toga mu se u posljednjoj fazi destilacije dodaju različiti inhibitori (npr. *terc*-butil-katehol). Ukupno je iskorišćenje pri dehidrogenaciji ~ 90%.

Svjetska proizvodnja stirena iznosila je 1965 ~ 2,5 Mt, od toga je oko polovice proizvedeno u USA. Cijeni se da je u USA potrošeno 45% za sintetski kaučuk i druge kopolimere, 50% za plastične mase, a 5% za ostale potrebe. Cijena se stirenu kreće oko 0,20 \$/kg.

#### Zajednička dehidrogenacija ugljikovodika i amonijaka.

Zajedničkim dehidrogeniranjem ugljikovodika i amonijaka dobivaju se nitrili. Tako npr. iz metana i amonijaka nastaje endotermnim procesom cijanovodik (nitril mravlje kiseline) prema jednadžbi:

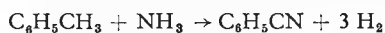


Dobivanje cijanovodika iz metana i amonijaka provodi se inače industrijski po Andrusowu oksidativno tako da se smjesa CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> i zraka prevodi preko platinskog katalizatora, te se prema jednadžbi

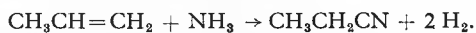


egzotermnim procesom postiže iskorišćenje od ~ 66% računato na amonijak. Da se cijanovodik može dobiti i bez prisutnosti zraka našao je već 1903 Bredig, prevodeći metan i amonijak na 1000 °C preko Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Iskorišćenje je bilo svega 9%. Wendlandt je otkrio 1949 da se znatno bolja iskorištenja dobivaju ako se uzme platinsko-rutenijumski katalizator na temperaturama 1000–1200 °C. Iskorišćenja su u tom slučaju prema (1) još i bolja nego prema (2). Svjetska proizvodnja cijanovodika danas je daleko premašila 200 kt i nalazi se u stalnom porastu.

Prema istraživanjima u USA (Socony-Vacuum Oil Co.) dobivaju se i iz drugih ugljikovodika nitrili. Tako se npr. iz toluena i amonijaka na 500 °C, uz upotrebu oksida molibdena, volframa i vanadijuma kao katalizatora, dobiva benzonitril prema jednadžbi



u iskorišćenju od 9%. Propilen je davao navodno propionitril (a ne akrilonitril) prema jednadžbi



Industrijski važni akrilonitril CH<sub>2</sub>=CHCN (njegovi se polimeri upotrebljavaju za sintetska vlakna) proizvodi se u sve većoj mjeri postupkom SOHIO (Standard Oil Co, Ohio) djelovanjem dušičnih oksida (odn. amonijaka + kisika) na propilen. Nova se postrojenja podižu danas isključivo po tom postupku ili njegovim modifikacijama, pa će on bez sumnje istisnuti starije postupke dobivanja akrilonitrila (iz acetilena i cijanovodika, iz etilena preko cijanhidrina).

I. Brihta

**DESINATURA TKANINA (uzorkovanje)**, rad na projektiranju tkanina, tj. komponiranju desena ili šara kojima se one žele ukrasiti, izboru i kombinaciji od koje ih treba izatkatati po vrsti i finoći prede, određivanju gustoće niti u uzdužnom i poprečnom smjeru, utvrđivanju načina preplitanja niti u tkanini i, konačno, opredjeljenju dorade kojoj treba tkaninu podvrgnuti, a sve to sa svrhom da se dobiju elementi za proizvodnju tkanine željenih svojstava i određenog izgleda. Kad se ti elementi određuju na osnovu sistematske analize uzorka gotove tkanine koja se želi reproducirati, postupak se zove *dekompozicija tkanina*.

Tkanina je plosnati tekstilni proizvod sastavljen od dva sistema niti (žica) isprepletenih među sobom pod pravim kutom: uzdužni sistem niti (žica) zove se *osnova*, poprečni *potka*. Do ukrštanja i ispreplitanja niti osnove i potke dolazi u procesu tkanja (v. *Tkanje*) time što se od niti osnove, koje prolaze kroz tkalački stan odmotavajući se od osnovinog vratila i namotavajući se na vratilo gotove tkanine, jedan dio izdigne iznad (ili spusti ispod) ravnine drugog dijela, tako da se između niti jednog i drugog dijela osnove obrazuje *zijev*, u koji se ubacuje nit potke. Za naredno ubacivanje niti potke obrazuje se drukčiji *zijev*, tj. podiže se ili spušta druga kombinacija osnovinih niti. Prema kombinacijama niti koje tvore *zijev* i načinu na koji različiti *zijevo*vi slijede jedan iza drugog, moguć je bezbroj različitih načina ukrštanja i ispreplitanja osnove i potke, koji se zovu *vezovi* ili *prepletaji* tkanine. Veza odlučno utječe na svojstva i na izgled tkanine. Veća gustoća veza, tj. učestaliji prelaz niti s lica tkanine na naličje i obratno, daje tkanini veću otpornost i čvrstoću, rijedak vez čini je labavijom, itd.

Osim od veza, svojstva i izgled tkanine zavise od izbora i kombiniranja sirovina od koje se ona proizvodi, tj. vrste prede, njene finoće, jačine i smjera njenog uvijanja u niti i gustoće niti u tkanini po osnovi i potki.

Tkanine koje treba da budu ravnomjerne, glatke, gole površine, koje treba da budu tanke a uz to čvrste, izrađuju se od preda pređenih od češljanih vlakana ili od beskonačnih niti (svile, filamenata, v. *Preda*). Tkanine sa zatvorenom, čupavom površinom, koje eventualno treba valjati ili čupaviti, nadalje tkanine koje treba da budu deblje a mogu biti manje čvrste i ravnomjerne, izrađuju se od preda od grebenanih vlakana i od teksturiranih preda. Tkanine osobito velike čvrstoće ili posebnog karaktera i izgleda izrađuju se od končane, višestruke prede, tj. od glatkog ili efektnog konca.

Tvrdoća i veća čvrstoća tkanine postiže se tvrdo uvijenom (jako upređenom) predom; meko uvijena (slabo upređena) preda daje tkanini mekoću i sposobnost upijanja vlage i znoja, ali je takva tkanina istovremeno i manje čvrsta i manje otporna pri upotrebi. Jačinom uvijanja prede odn. končanja može se postići i određeni efekt, npr. krep (v. *Apretura*, TE 1, str. 313).

Za izgled tkanine važan je smjer uvijanja prede. Općenito će opip i izgled tkanine biti bolji ako su niti osnove i potke uvijene u suprotnom smjeru. To vrijedi osobito za one tkanine koje se čupave ili valjaju. Mnoge tkanine (naročito pamučne) kojima vez treba da ostane izrazit, imaju niti osnove i potke uvijene u istom smjeru. Izabiranjem pogodnog smjera uvoja može se i inače dojam strukturiranosti tkanine naglasiti ili oslabiti (v. dalje keper i atlas).

Finoća (numeracija) prede za tkaninu željenih svojstava i izgleda može se odrediti prema iskustvu, uporedbom s nekom gotovom tkaninom, eksperimentalno pomoću pokusnog tkanja ili računskim putem.

Gustoća niti osnove i potke, uz finoću prede, određuje težinu tkanine, njenu propusnost i izgled. Rijetke tkanine su lakše, mekše, dobro propuštaju zrak i bolje upijaju vlagu od gustih. Tkanine nepropusne za vodu ili perje (za jastučnice) tkaju se osobito gusto. Različitim gustoćom po osnovi i potki mogu se postići određeni efekti (v. na primjer rips). Gustoća niti može se također odrediti po iskustvu, uporedbom s gotovom tkaninom, eksperimentalno pomoću pokusnog tkanja ili računskim putem.

#### Vezovi (prepletaji) tkanina

Mjesta ukrštanja niti osnove i potke zovu se *vezne tačke* tkanine. Mjesta na tkanini gdje niti osnove prelaze preko niti potke (tj. gdje su pri tkanju niti osnove bile u *zijevo* gore) zovu se osnovine vezne tačke ili vezne tačke osnovinog efekta; mjesta