

# INTELIGENTNÉ ORGANICKÉ MOLEKULY - BUDÚCNOSŤ ELEKTRONIKY A OPTOELEKTRONIKY



doc. RNDr. Martin Putala, PhD.

Katedra organickej chémie

Univerzita Komenského v Bratislave

Prírodovedecká fakulta

[putala@fns.uniba.sk](mailto:putala@fns.uniba.sk), [www.fns.uniba.sk](http://www.fns.uniba.sk)

# INTELIGENTNÉ ORGANICKÉ MOLEKULY - BUDÚCNOSŤ ELEKTRONIKY A OPTOELEKTRONIKY

1. Úvod
2. Organické zlúčeniny pre elektroniku (vodiče, diódy, tranzistory)
3. Organické zlúčeniny v zobrazovacích technológiách (LCD, OLED)
4. Organické zlúčeniny pre molekulové počítače (logické obvody a pamäťové médiá)
5. Organické zlúčeniny pre optoelektroniku (solárne elektrické a palivové články, laserové technológie)

# 1. ÚVOD

## ORGANICKÁ CHÉMIA POSKYTUJE:

Liečivá, prostriedky na ochranu rastlín

Materiály: plasty, tkanivá, farbivá, palivá

Molekulové materiály pre elektroniku a optoelektroniku

# 1. ÚVOD

## KLASICKÉ POUŽITIE ORGANICKÝCH MATERIÁLOV:

plasty a plastové ochranné a izolačné vrstvy, umelé tkanivá, farbivá a iné využitie makroskopických vlastností súboru ich veľkých molekúl ako celku (pružnosť alebo naopak tvrdosť, odolnosť, priehľadnosť, nízka hustota, ...)

## „MODERNÉ“ ORGANICKÉ MATERIÁLY/TECHNOLÓGIE:

využitie individuálnych vlastností organických molekúl (schopnosť vhodne interagovať so svetlom (elektromagnetickým žiarením), elektromagnetickým poľom alebo elektrickým prúdom)

# 1. ÚVOD

## NANOTECHOLÓGIE:

využitie individuálnych vlastností organických molekúl umožňuje miniaturizáciu súčastok až do úrovne niekoľkých molekúl, resp. monomolekulových vrstiev

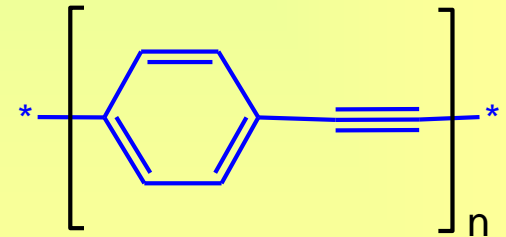
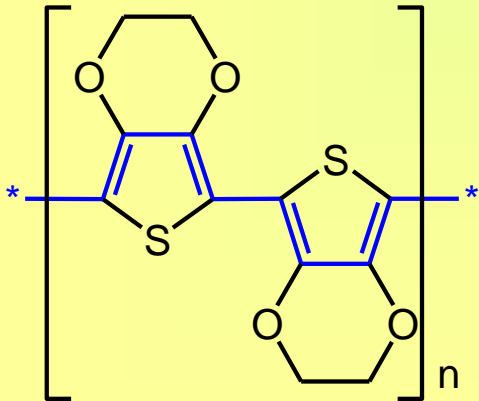
Objekt	Veľkosť v nm
mravec	5 000 000
ľudský vlas (priemer)	80 000
typická baktéria (priemer)	1 000 – 10 000
viditeľné svetlo	400 – 700
bunková membrána	10
DNA (priemer)	2,5
atóm vodíka (priemer)	0,1

## 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

### VODIČE

Málo polárne organické zlúčeniny → **nevodiče** (opláštenie vodičov, nevodivý materiál medzi platňami kondenzátorov).

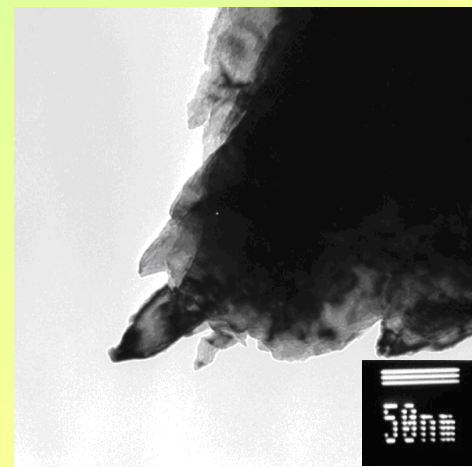
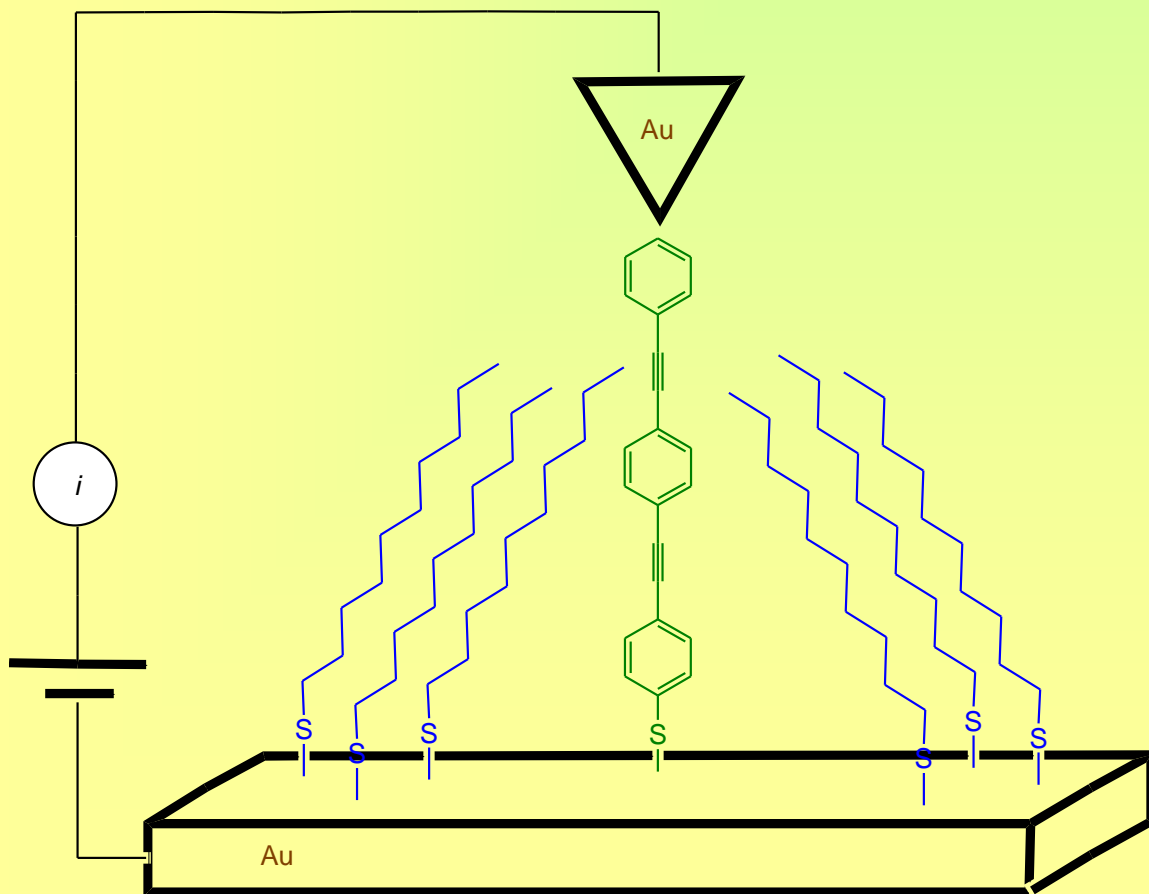
Lineárne, veľmi dobre konjugované reťazce, napr. poly(tiofenylény) alebo poly(fenylénetinylény), vykazujú v smere reťazca **vodivosť porovnateľnú s kovovými vodičmi**. Za tento objav a rozvoj konjugovaných polymérov („organických kovov“) bola udelená Nobelova cena za chémiu v r. 2000.



## 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

### VODIČE

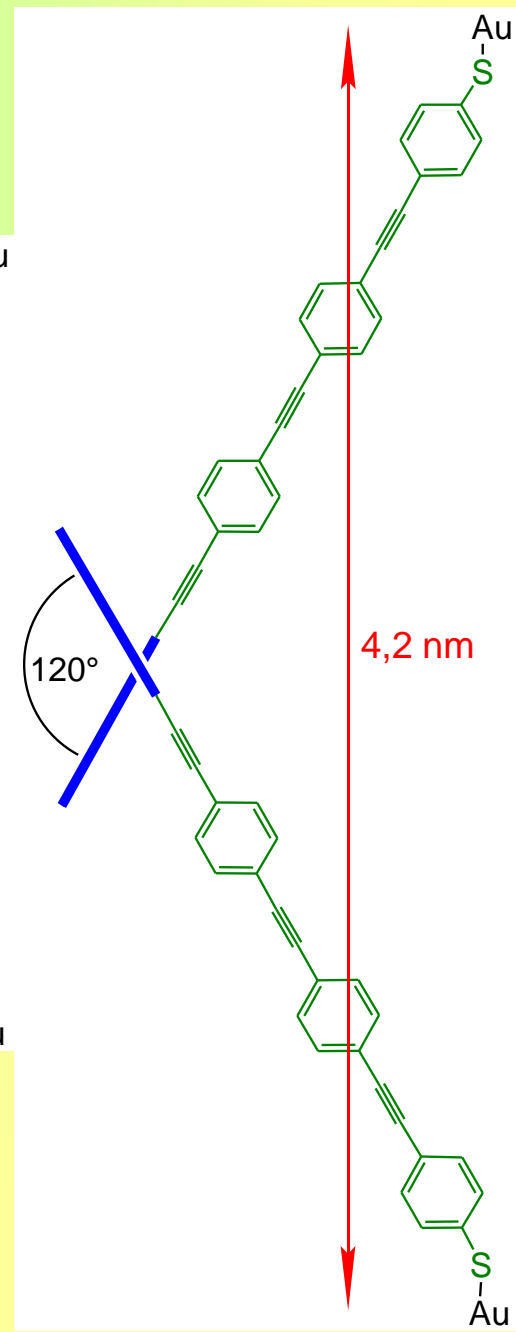
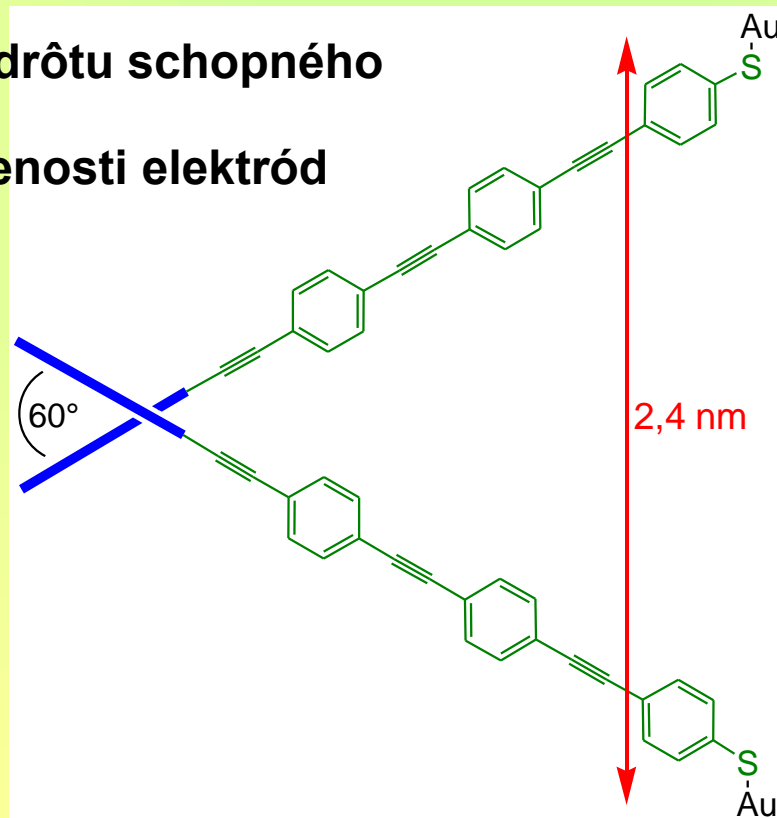
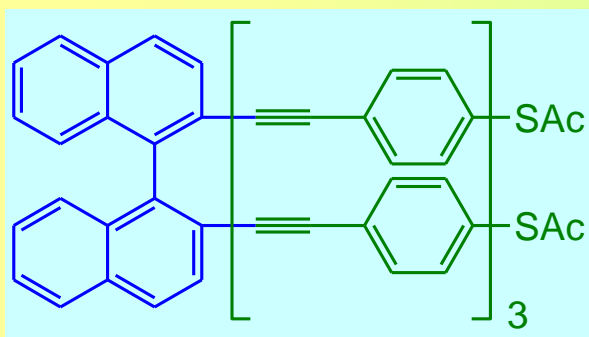
Meranie vodivosti individuálnych molekúl napr. pomocou skenovacej tunelovacej mikroskopie (STM)



# 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

## VODIČE

**Príprava molekulového drôtu schopného  
prispôbiť sa vzdialenosti elektród**



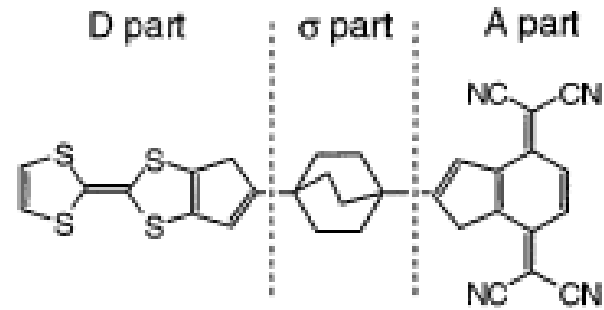


# 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

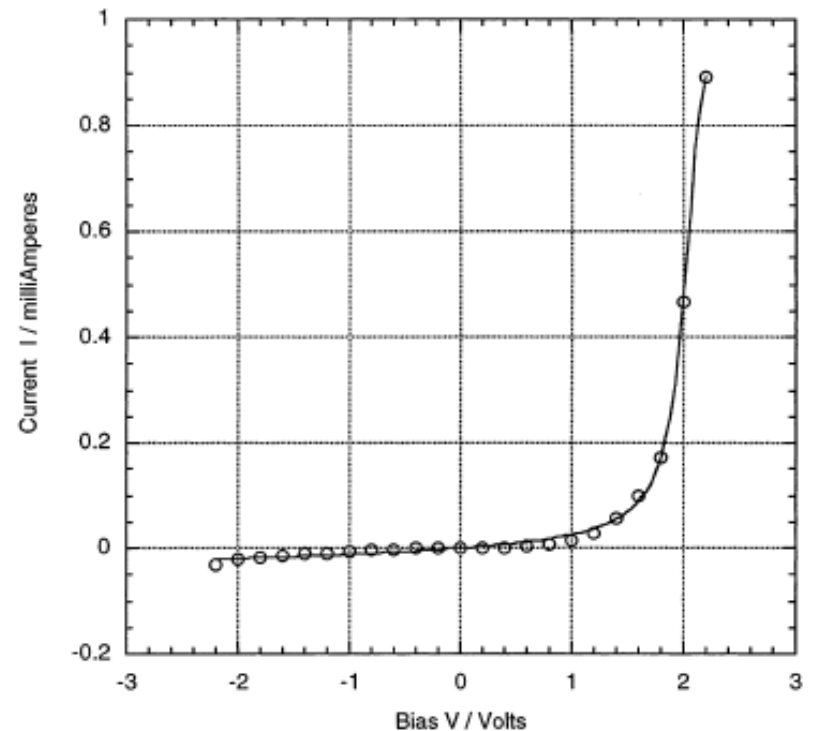
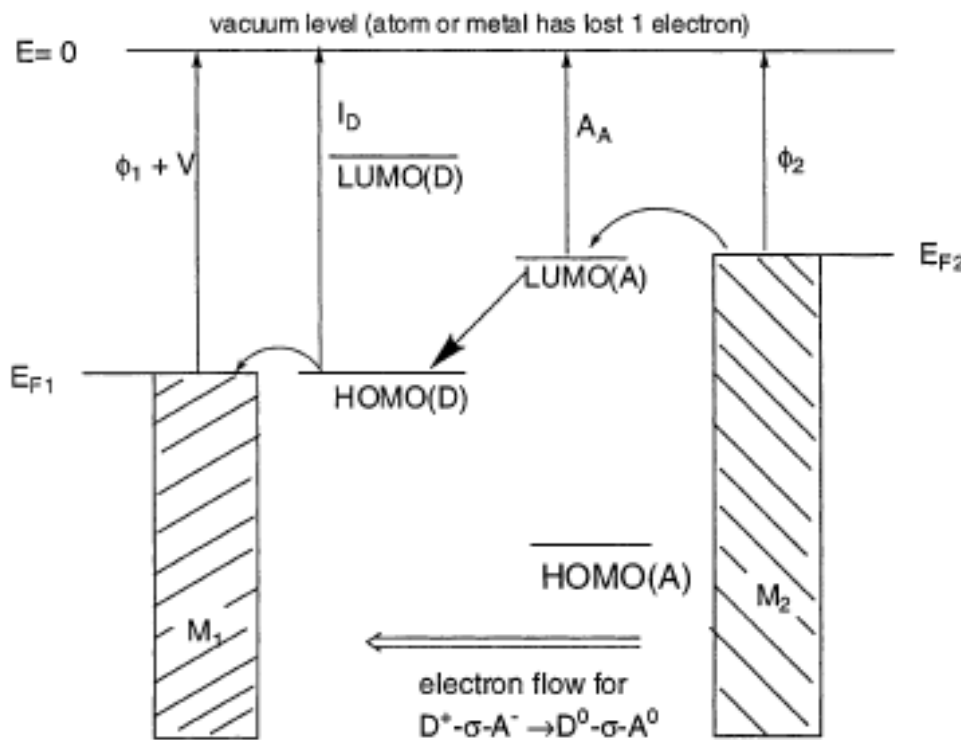
## POLOVODIČOVÉ DIÓDY (USMERŇOVAČE PRÚDU)

Klasické polovodičové diódy (*n*- a *p*-typu) vedú elektrický prúd len jedným smerom.

Takto sa správajú aj organické zlúčeniny, pozostávajúce z donornej (D, bohatej elektrónovo) a akceptornej (A, elektrónovo chudobnej) časti (len od akceptornej časti so  $\sigma$ -väzbami). Smer vodivosti: len od akceptornej k donornej časti.



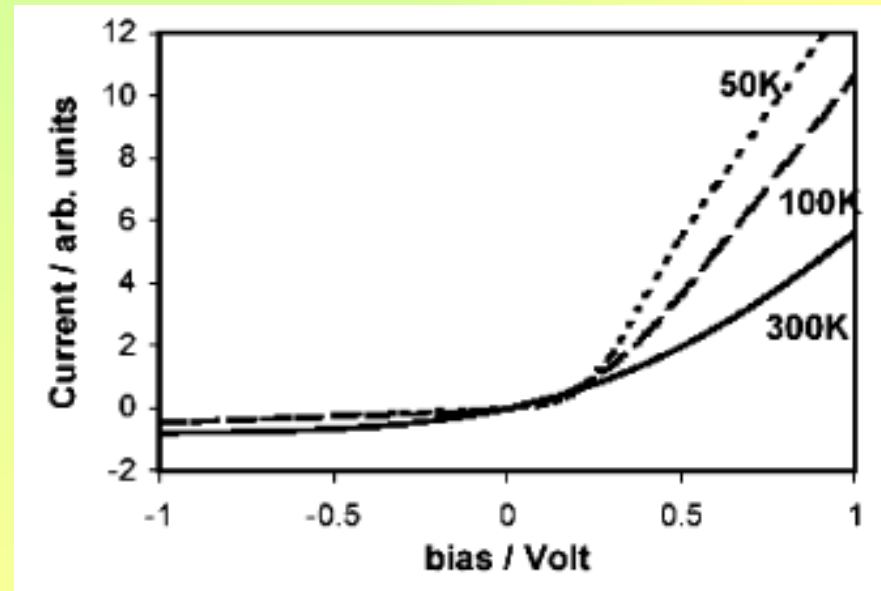
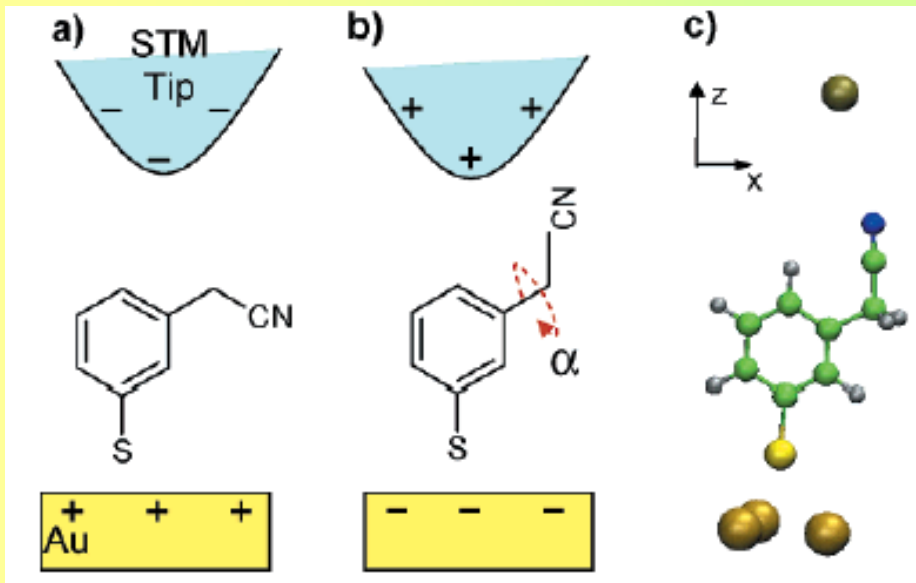
bohatej elektrónovo (len od akceptornej časti so  $\sigma$ -väzbami).



## 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

### POLOVODIČOVÉ DIÓDY (USMERŇOVAČE PRÚDU)

Neklasické diódy: zmeny vodivosti na základe konformačných zmien.



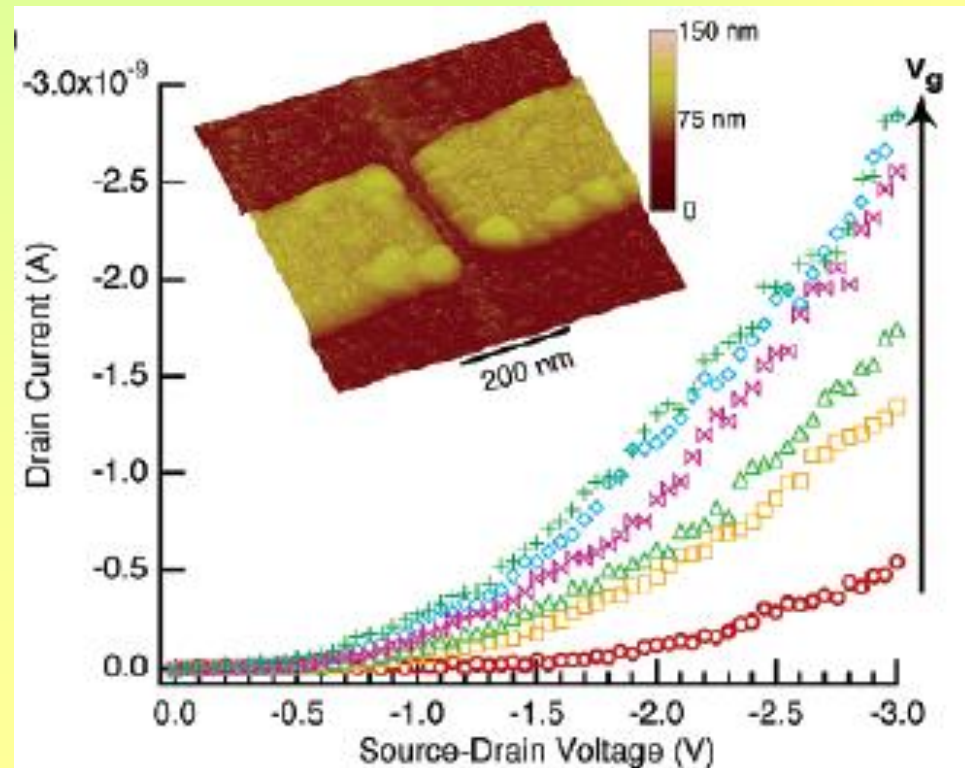
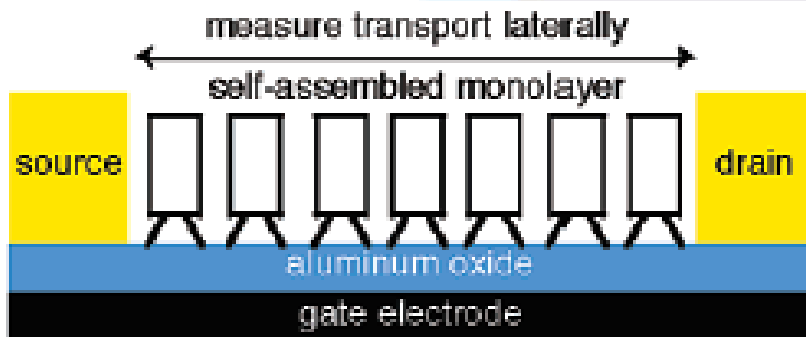
# 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

## POLOVODIČOVÉ TRANZISTORY (ZOSILŇOVAČE NAPÄTIA)

OFET (*organic field effect transistor*) na báze tetracénového diolu ako polovodiča typu *n*



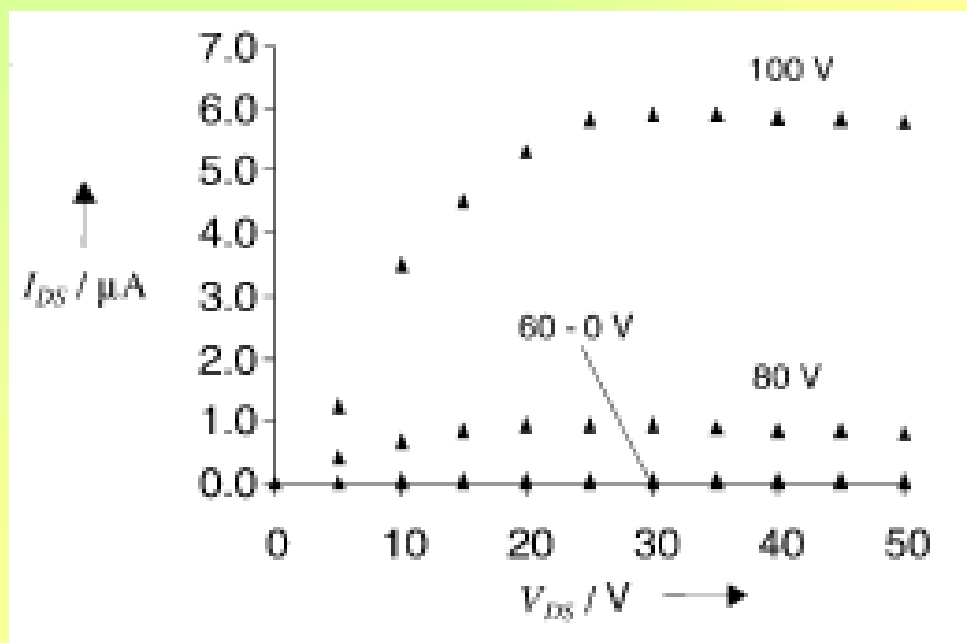
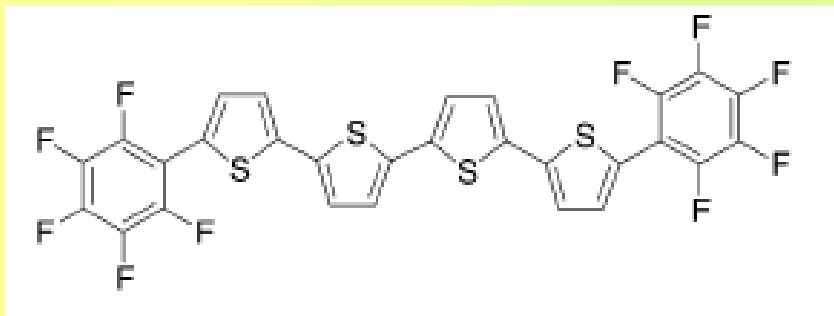
30-100 nm



## 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

### POLOVODIČOVÉ TRANZISTORY (ZOSILŇOVAČE NAPÄTIA)

OFET (*organic field effect transistor*) na báze oligotiofenylénu s elektrónoakceptornými substituentami ako polovodiča typu *p*



## 2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU POLOVODIČOVÉ TRANZISTORY (ZOSILŇOVAČE NAPÄTIA)

Porovnanie s klasickými polovodičovými tranzistormi na báze kremíka

	OFET	Si
pohyblivosť náboja	až do $35 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$
pomer on/off	až do $10^7$	$10^5$
spracovateľnosť	v roztoku a termicky	mechanicky
rozmery	menšie	väčšie
dosiahnutie žiadaných charakteristík	možnosť štruktúrnych modifikácií	
stabilita	nižšia	vyššia
cena	vyššia	nižšia

Použitie: napr. TFT technológie pre LCD displeje

# 3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

## OBRAZOVKY NA TRHU



**CRT**



**LCD**



**OLED**



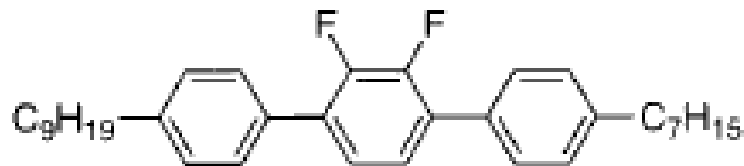
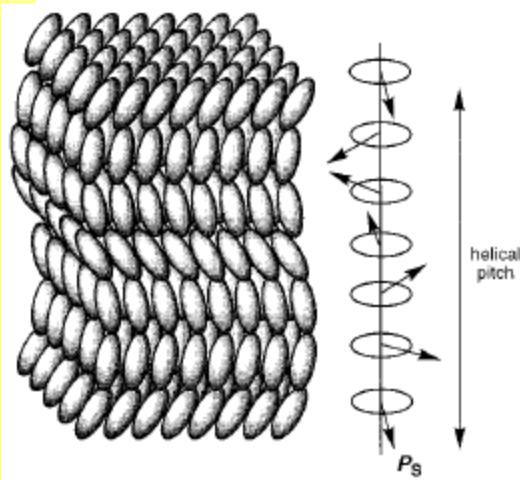
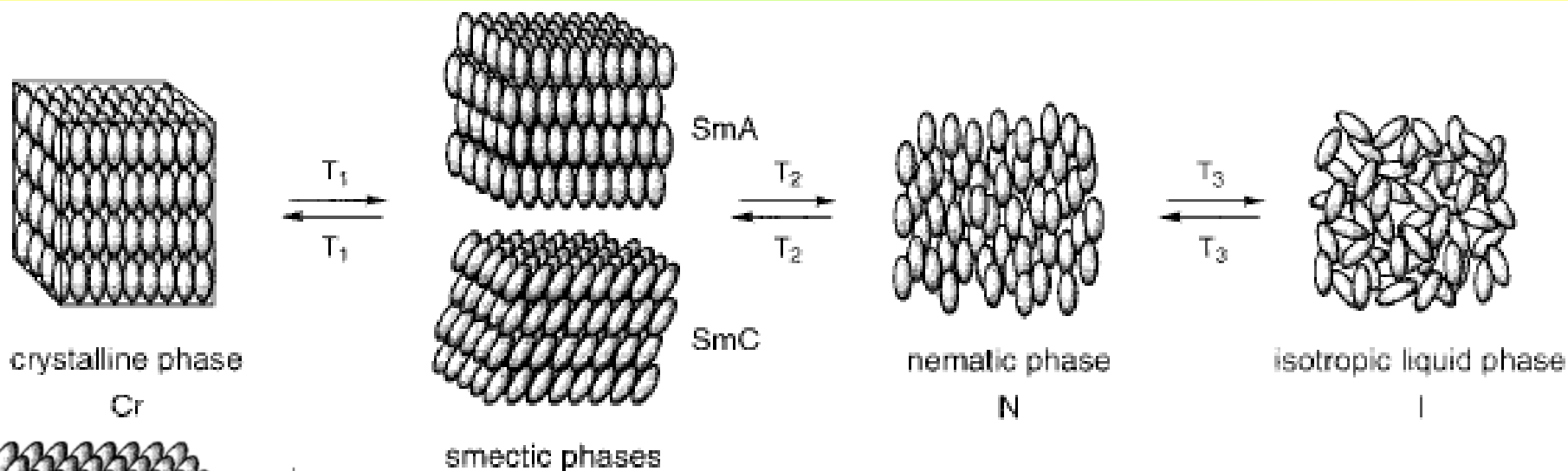
**plazma**

	<b>CRT</b>	<b>LCD</b>	<b>OLED</b>	<b>plazma</b>
<b>princíp</b>	elektróny interagujú s povrchom	napätím sa riadi transparentnosť vrstvy LC pre svetlo	organické zlúčeniny vyžarujú svetlo pri prechode elektr. prúdu	plyn v stave plazmy (vysoké napätie) interaguje s povrchom (ako CRT)
<b>hrúbka</b>	40-60 cm	1-3 cm	3 mm	1 cm
<b>spotreba</b>	180 W	50 W	10 W	300-500 W
<b>+/-</b>	-: žiarenie, oscilácia obrazu	-: zložitá technológia, pamäťový efekt	+: kvalitné farby, rýchla odozva, vysoký kontrast	+: kvalitné farby; -: horšie sivé farby, pomalá odozva
<b>nízka</b>	nízka	stredná	zatiaľ vysoká 2,000 \$ (28')	vyššia

# 3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

## KVAPALNÉ KRYŠTÁLY (LC)

Fázové premeny kryštálu tvoreného molekulami tyčinkovitej geometrie

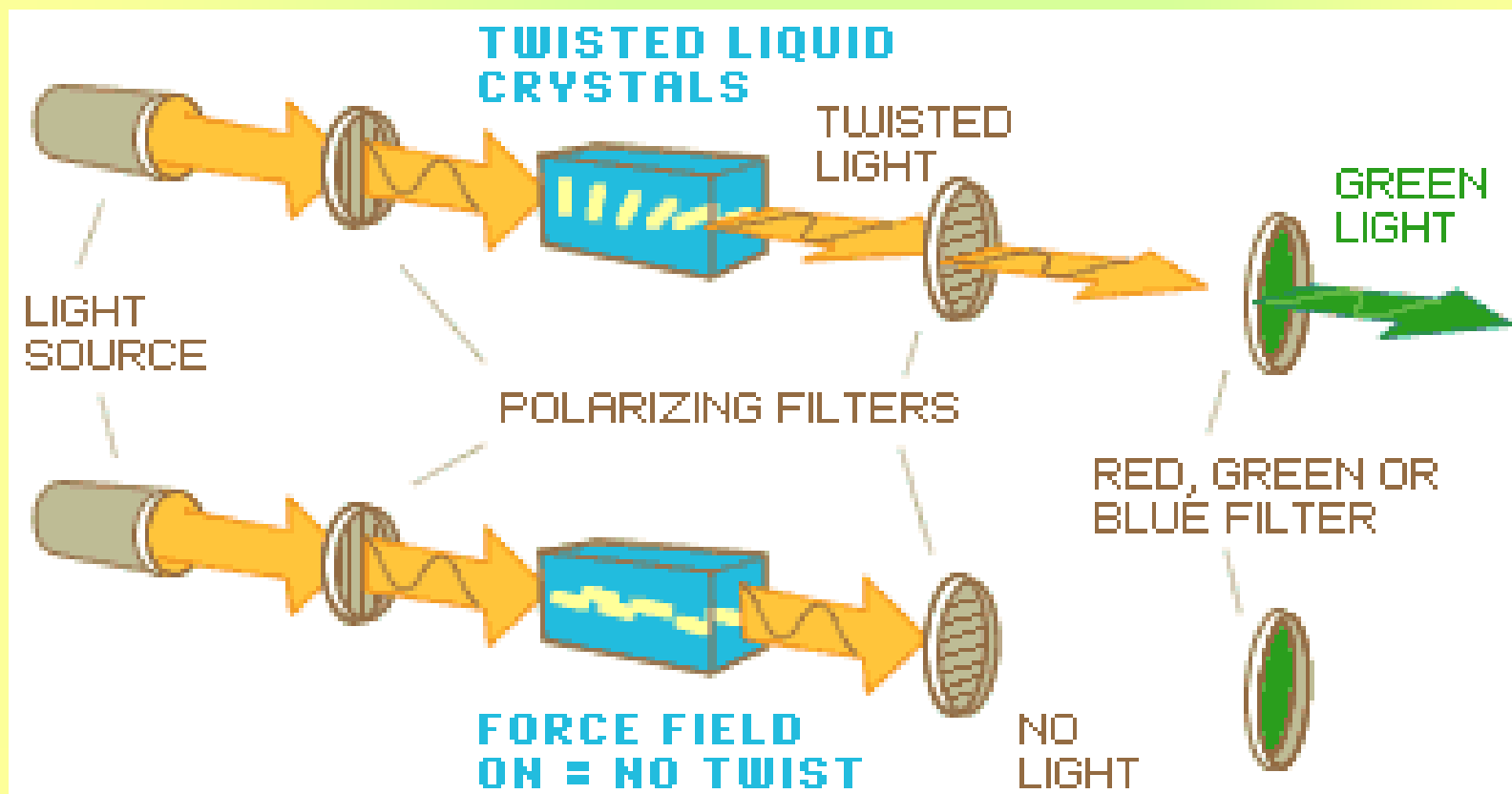


phase sequence: Cr 49 SmC 77 SmA 93 N 108 I

# 3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

## KVAPALNÉ KRYŠTÁLY (LC)

Princíp ovládania svetelného signálu v LCD

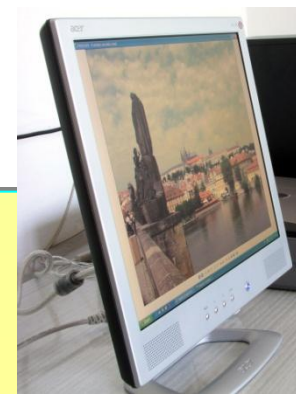
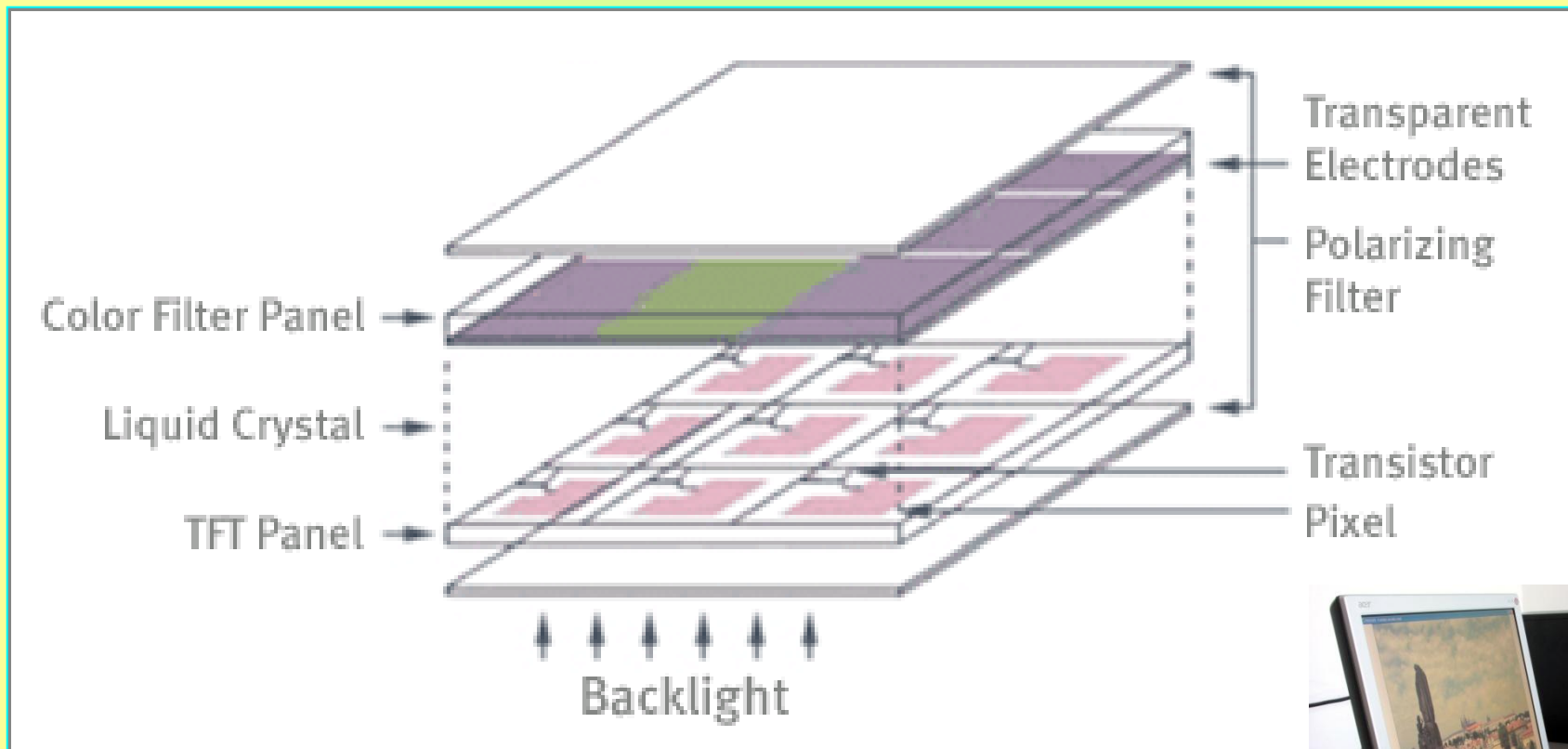




# 3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

## KVAPALNÉ KRYŠTÁLY (LC)

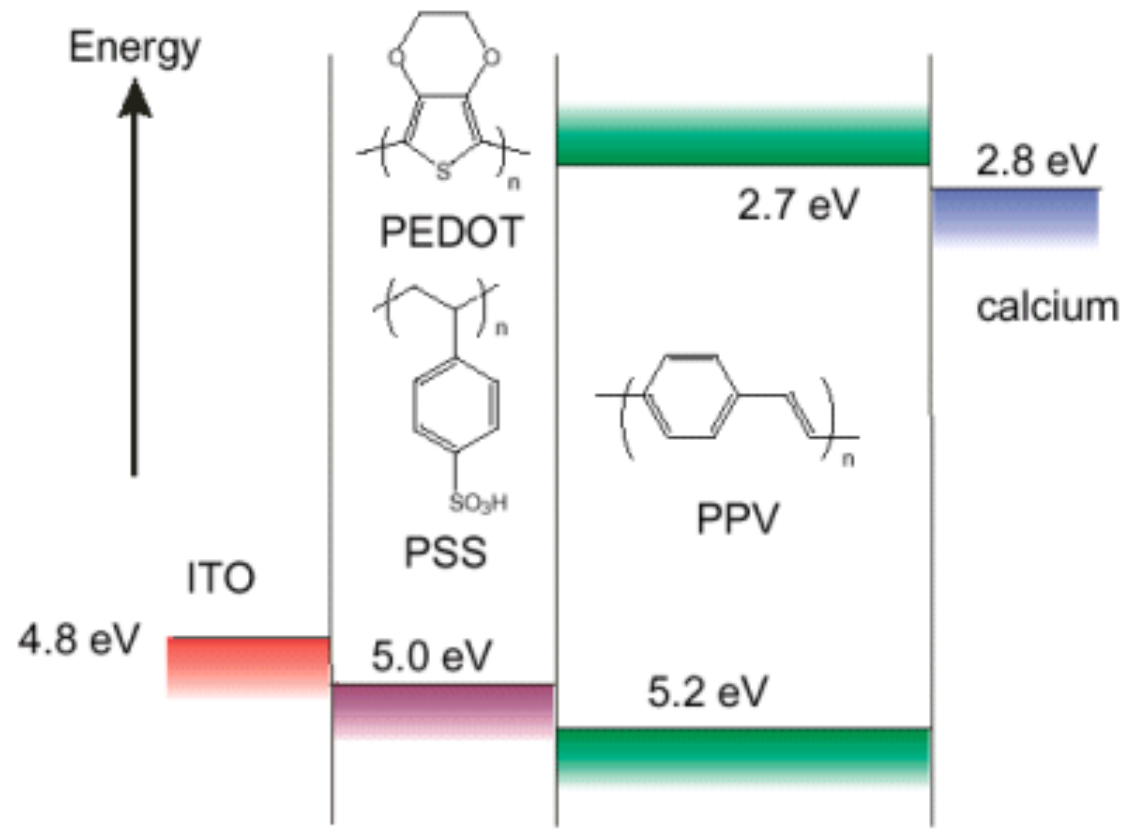
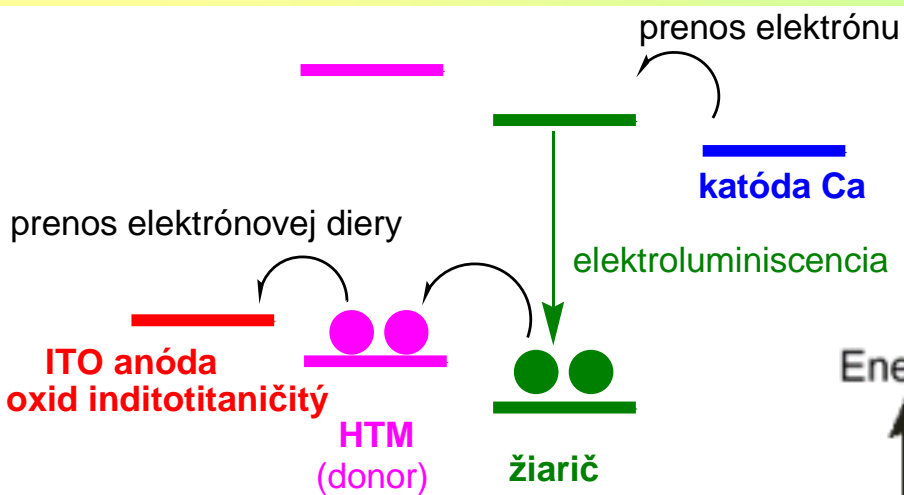
### Schéma TFT-LCD obrazovky



# 3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

## ORGANICKÉ SVETLOVYŽARUJÚCE DIÓDY (OLED)

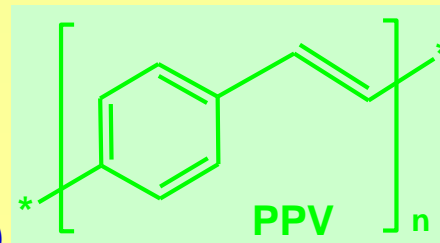
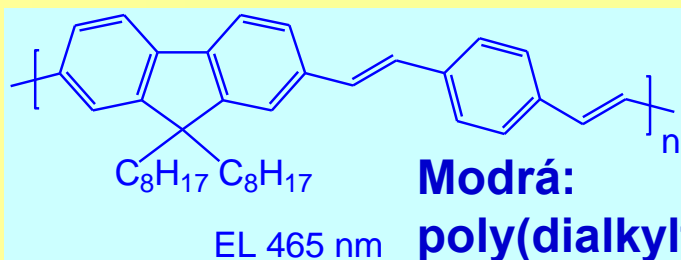
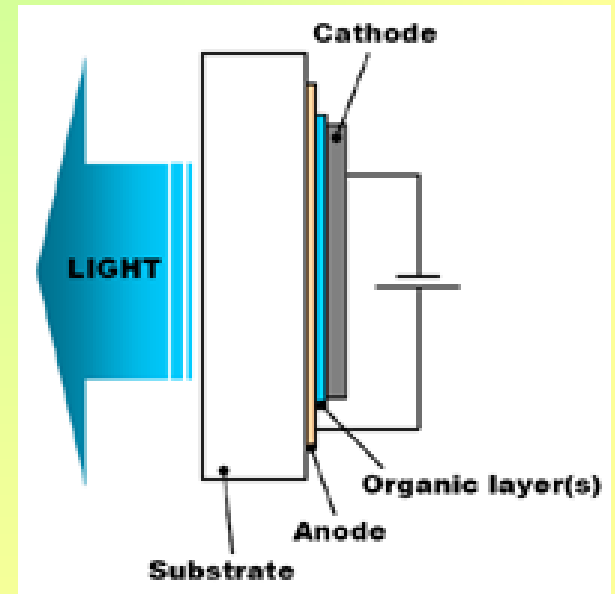
Princíp elektroluminiscencie  
a konštrukcia obrazovky



# 3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

## ORGANICKÉ SVETLOVYŽARUJÚCE DIÓDY (OLED)

### Obrazovky



**Červená: PPV s prímесou rodamínu**

**Zelená: PPV**

# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

## KLASICKÉ POČÍTAČE NA BÁZE KREMÍKOVÝCH PROCESOROV

Údaje sú spracovávané elektronicky systémom mikroprocesorov v dvojkovej sústave (**0 a 1**). V dvojkovej sústave sú aj ukladané do pamäte.

Prahové hodnoty napätie a logická konvencia:

pozitívna logická konvencia – **0** (~ 1 V, pod prahovou hodnotou 2 V)

**1** (~ 3 V, nad prahovou hodnotou 2 V)

negatívna logická konvencia – opačné priradenie

Mikroprocesor počítača obsahuje sériu logických obvodov, ktoré spracujú vstupné signály na výstupné.

## KONCEPCIA MOLEKULOVÝCH POČÍTAČOV

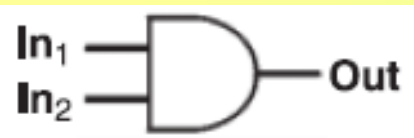
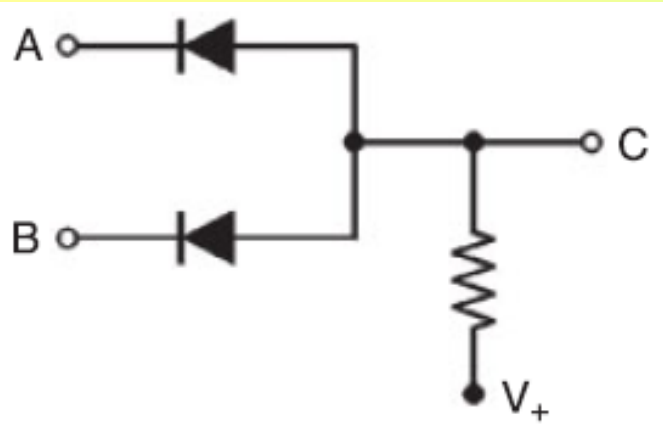
Podobný princíp (spracovanie a ukladanie údajov v dvojkovej sústave), kde by jednotlivé molekuly dokázali spracovávať alebo uchovávať informáciu. Molekuly majú byť prepínateľné medzi dvoma stavmi a je potrebné zvládnuť technológiu čítania ich stavov. Prepínanie: fotochemicky (vstupný signál je svetelný) alebo elektrochemicky (vstupný signál je elektrické napätie)

Čítanie: pomocou optických metód (či absorbujú svetlo alebo po absorpcii svetlo vyžarujú pri danej vlnovej dĺžke). Absorbpcia alebo vyžarovanie svetla pri danej vlnovej dĺžke nad prahovú hodnotu intenzity - informácia vo forme **1**, pod prahovou hodnotou intenzity vo forme **0**.

# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

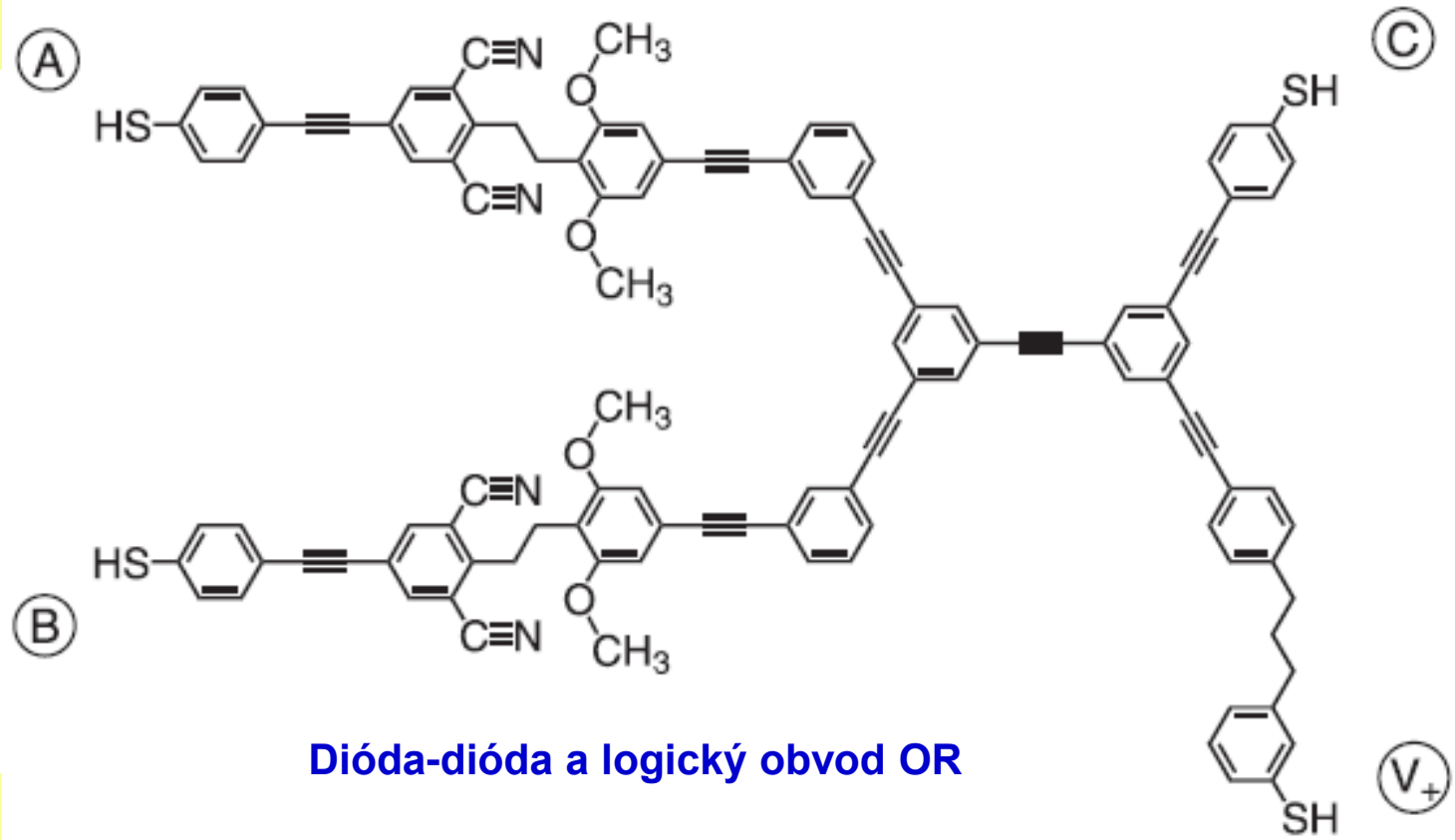
## LOGICKÉ OBVODY

3 nm x 4 nm – miliónkrát menší ako polovodičový logický prvok na báze kremíkového polovodiča



AND

In <sub>1</sub>	In <sub>2</sub>	Out
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



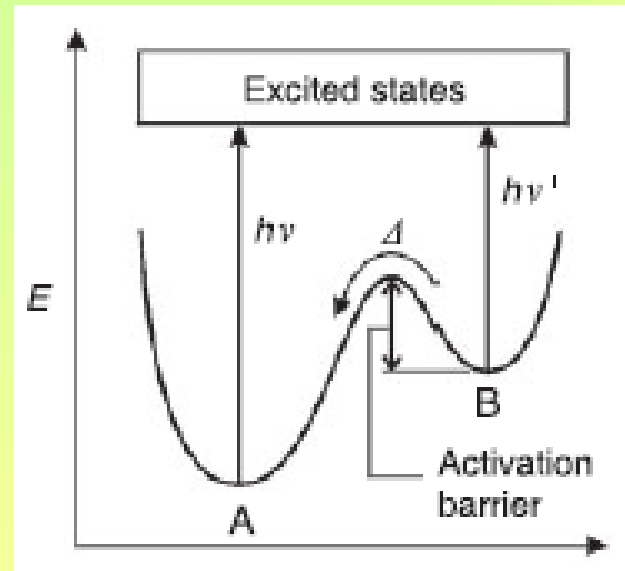
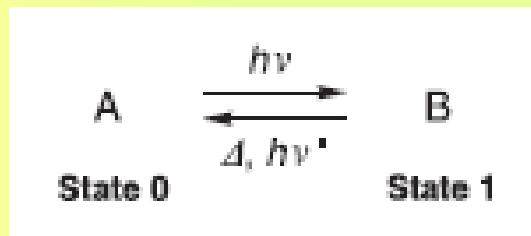
Dióda-dióda a logický obvod OR

V<sub>+</sub>

# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PŘE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

## PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

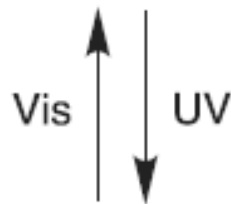
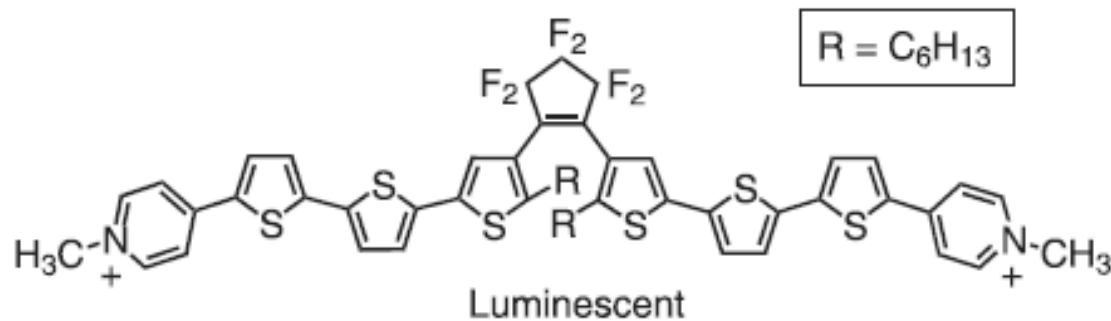
Fotochemická premena zlúčeniny medzi dvoma stavmi (A a B)



# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

## PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

### Fotochemické prepínanie diaryleténového derivátu

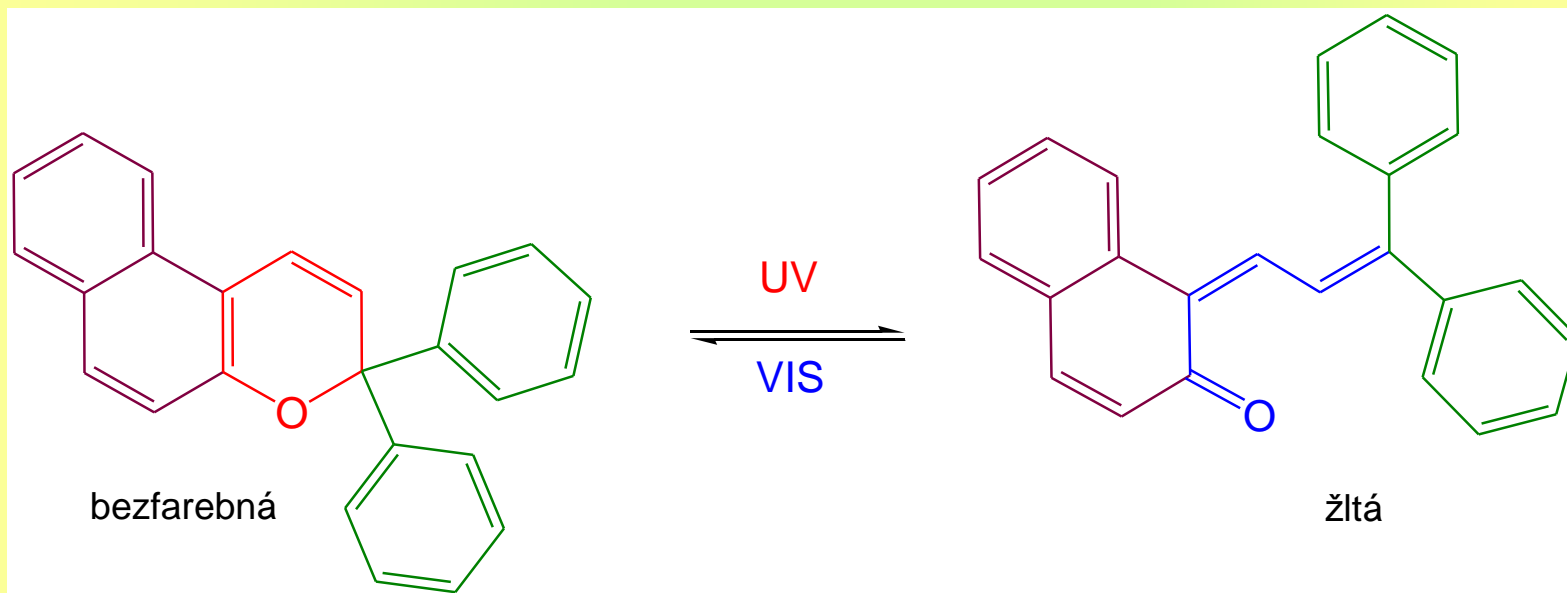


**Ukladanie informácie:** UV svetlom  
**Čítanie informácie:** fluorescencia  
excitáciou pri 400-500 nm  
**Vymazanie informácie:** svetlom pri  
vyššej vlnovej dĺžke  
**Rýchlosť prepnutia:** ps  
**Odolnosť voči únave:**  $>10^4$  cyklov

# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

## PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

Fotochemické prepínanie naftalénového derivátu



Ukladanie informácie: **UV svetlom**

Čítanie informácie: **viditeľným svetlom**

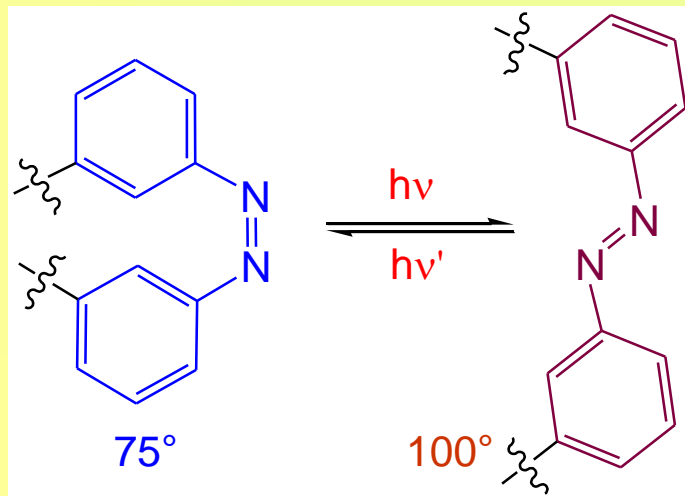
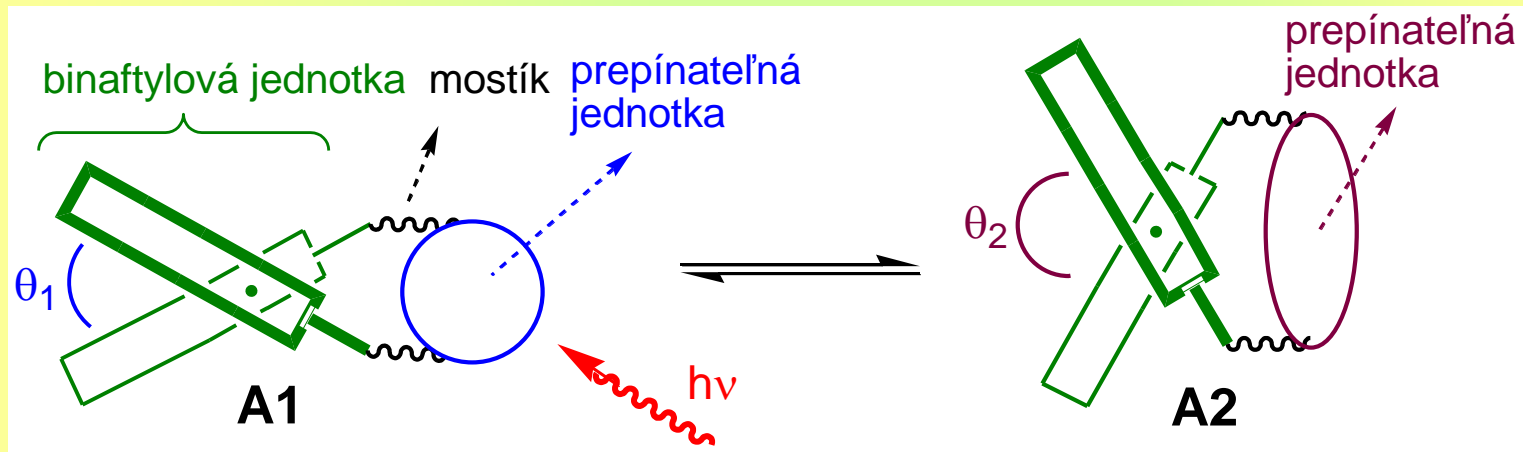
Vymazanie informácie: **viditeľným svetlom**



# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

## PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

### Fotochemické prepínanie binaftylového derivátu



Ukladanie informácie: **UV svetlom**

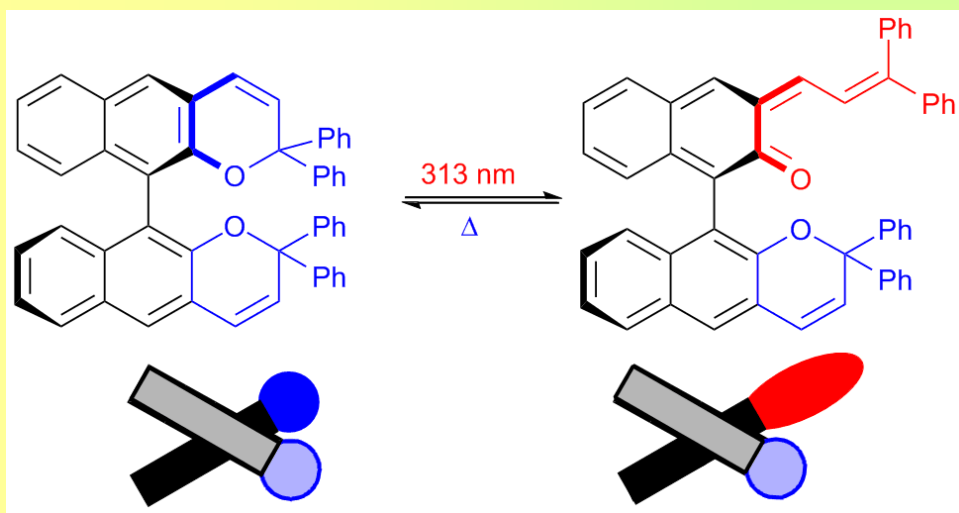
Čítanie informácie: **CD spektroskopiou**

Vymazanie informácie: **svetlom pri vyššej vlnovej dĺžke**

# 4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

## PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

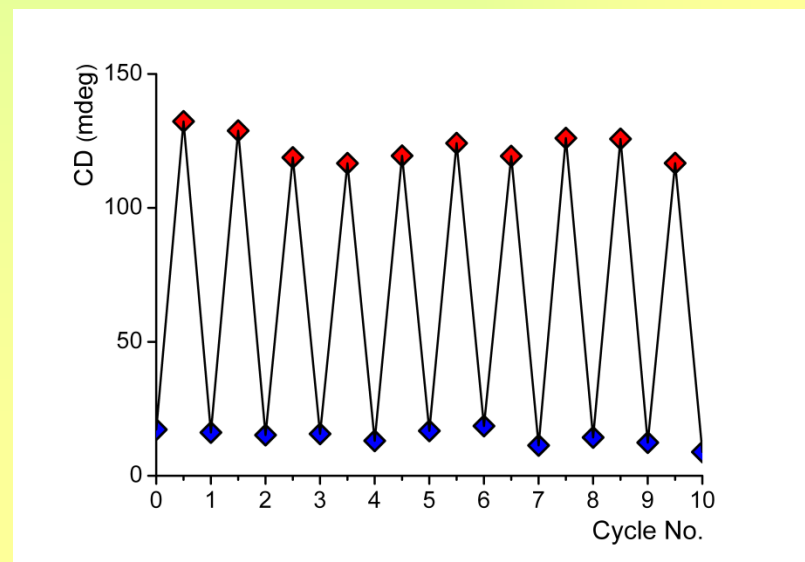
### Fotochemické prepínanie binaftylového derivátu



Ukladanie informácie: **UV svetlom**

Čítanie informácie: **CD spektroskopiou**

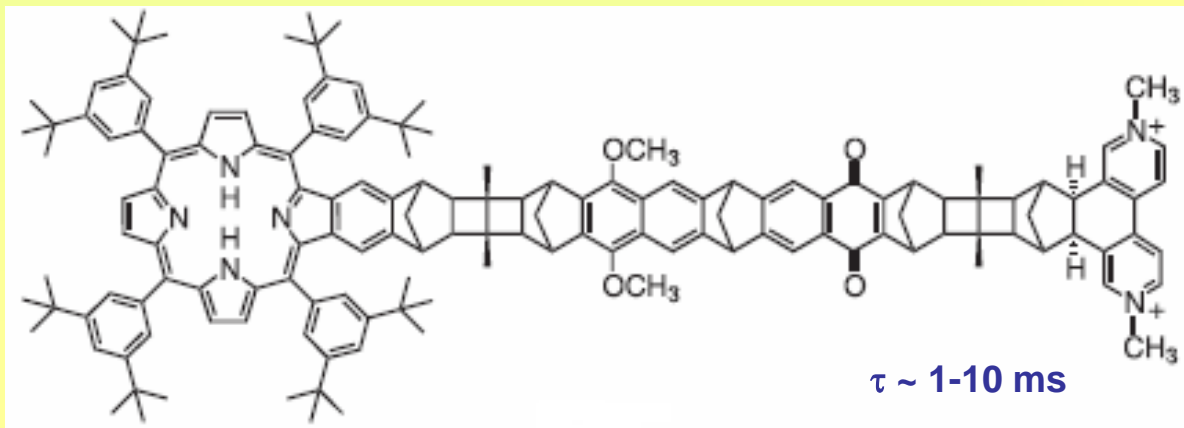
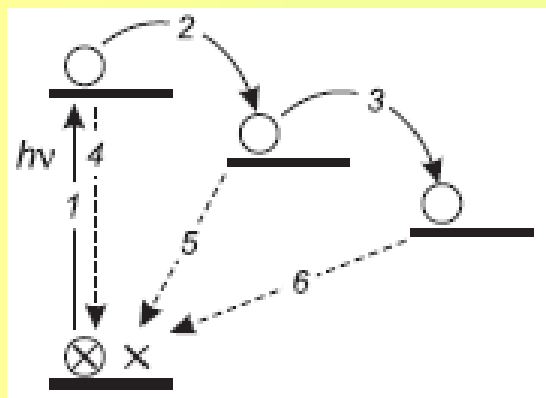
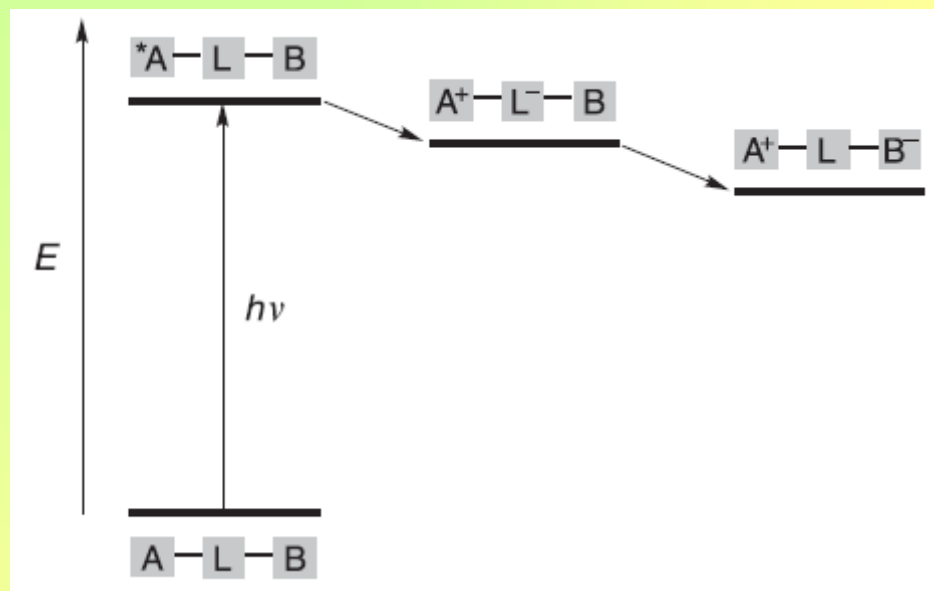
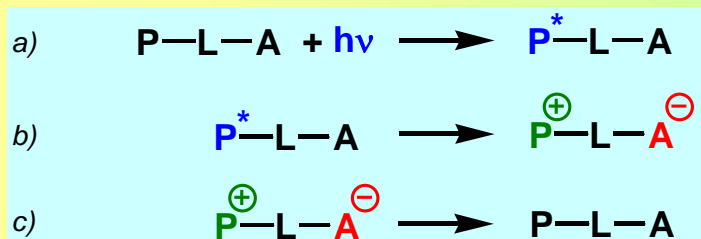
Vymazanie informácie: **teplom**



# 5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

## SOLÁRNE ČLÁNKY

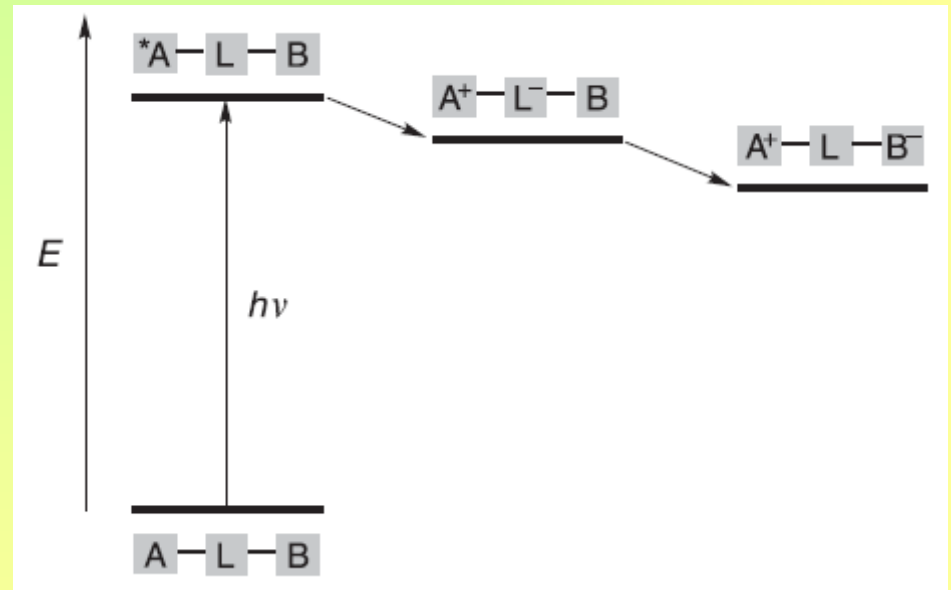
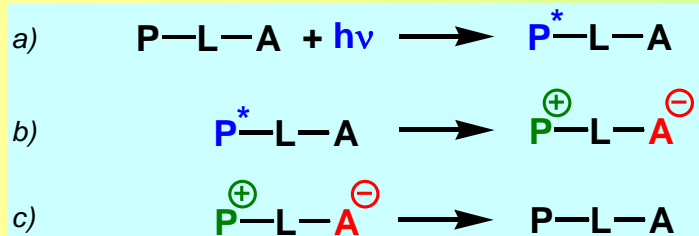
Separácia náboja fotochemickou aktiváciou



# 5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

## SOLÁRNE ČLÁNKY

### Separácia náboja fotochemickou aktiváciou

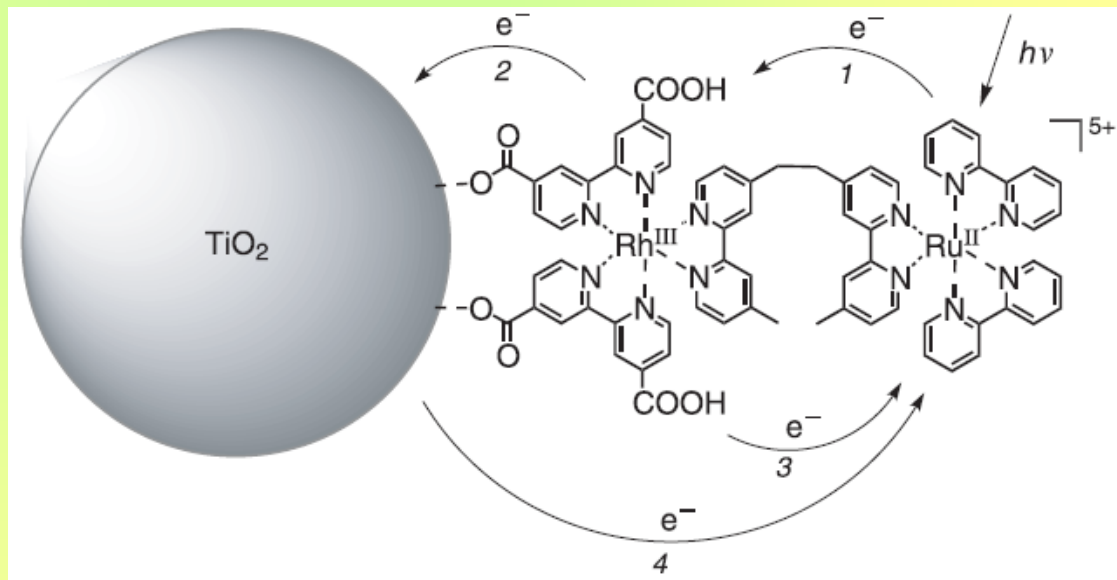
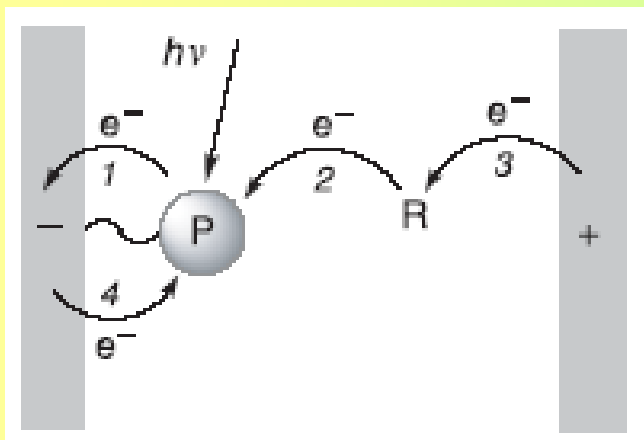


Možnosti využitia preneseného elektrónu:

- prenos na elektródu – generovanie elektrického napätia – solárne elektrické články
- prenos na katalytický systém – redoxné reakcie (napr. fotolýza vody) – solárne palivové články

# 5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

## SOLÁRNE ELEKTRICKÉ ČLÁNKY



Fotoindukovaný prenos elektrónov na nanočastice  $\text{TiO}_2$

1: polčas života 30 ns

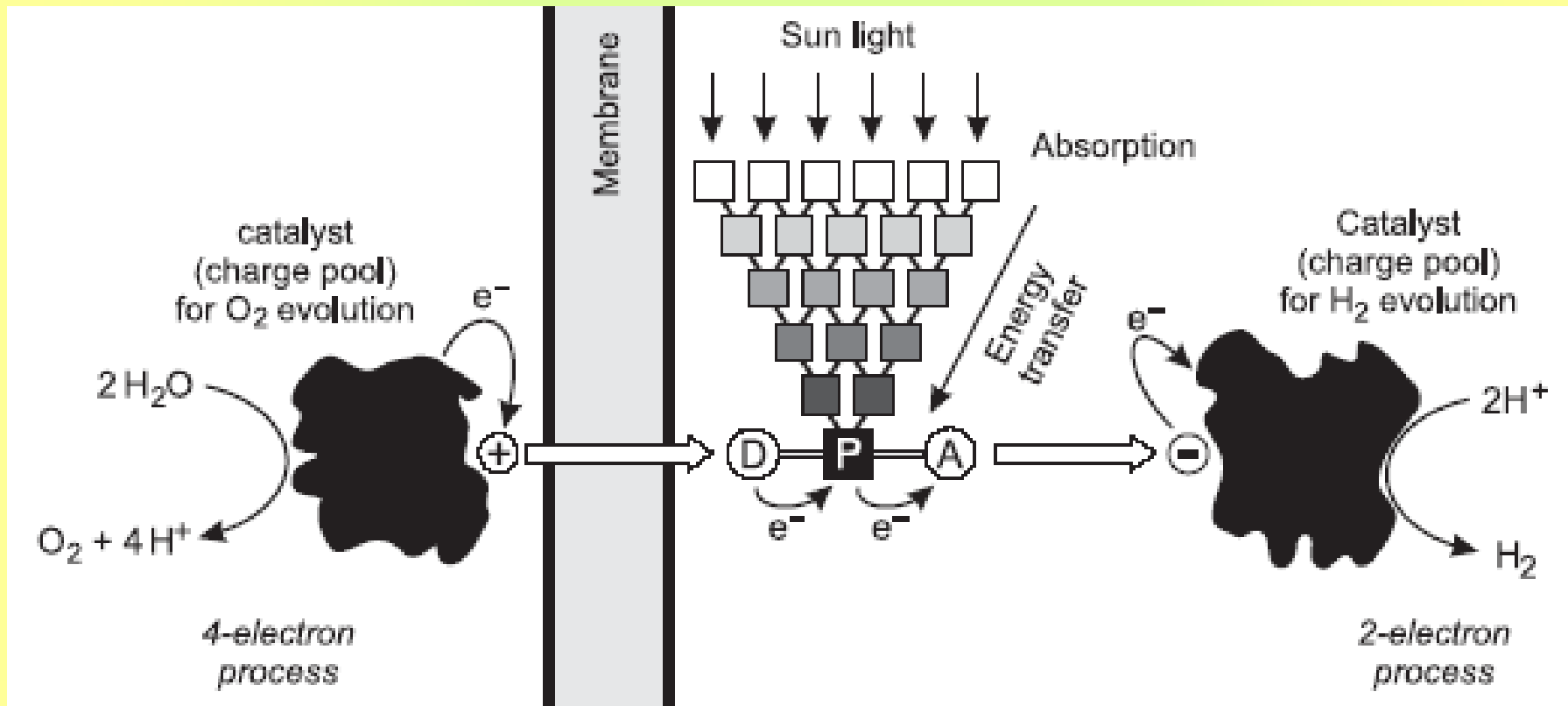
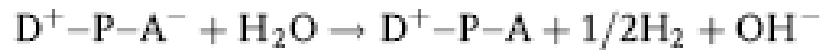
2: polčas života 0,3 ns, 40 % účinnosť - konkurenčná rekombinácia náboja (3)

4: pomalá rekombinácia náboja - polčas života v ms ( $10^5$ -krát pomalšie)

# 5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

## SOLÁRNE PALIVOVÉ ČLÁNKY

Model umelého palivového článku: fotolýza vody na H<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>



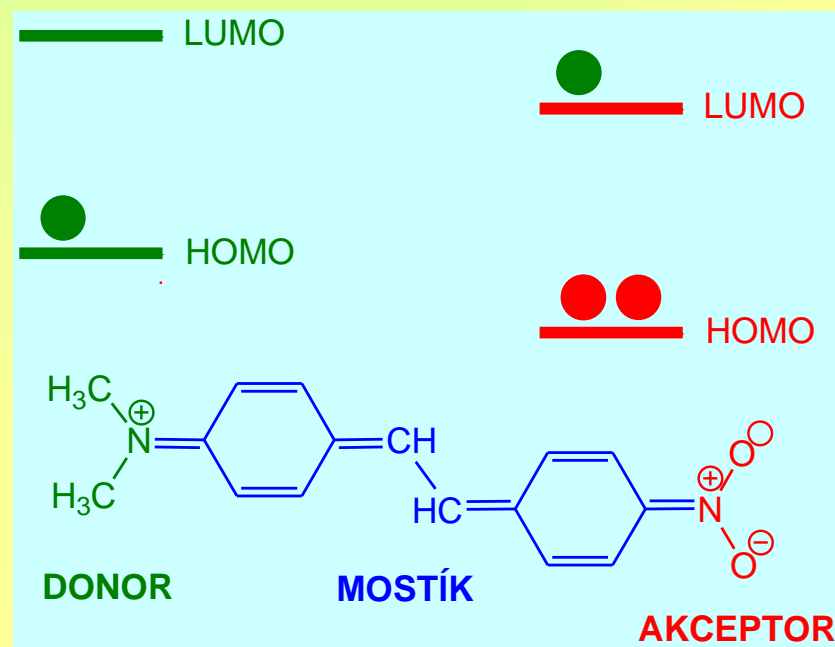
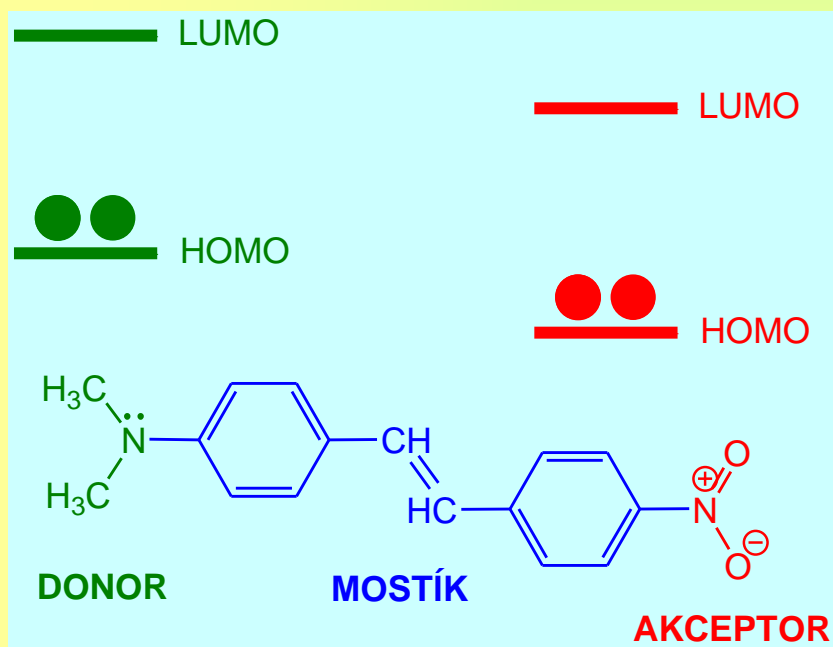
# 5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

## LASEROVÉ TECHNOLOGIE

**Laserové žiarenie:** monochromatické svetlo s vysokou intenzitou

**Využitie:** v chirurgii, moderných telekomunikáciách, pri optickom spracovaní dát, ultrarýchlom spracovaní obrazu, holografii a pod.

**Modifikácia laserového žiarenia (napr. vo frekvencii):** interakciou žiarenia s polárnymi zlúčeninami, ktoré majú **nelineárne optické vlastnosti**



# ZÁVER

## SÚČASNÉ POUŽITIE

- svetlocitlivé (fotochrómne) šošovky alebo sklá vratne tmavnúce na svetle,
- solárne články premieňajúce svetlo na elektrickú energiu,
- displeje a obrazovky na báze kvapalných kryštálov (LC),
- veľmi úsporné zdroje svetla a obrazovky na báze organických svetlovyžarujúcich diód (OLED),
- ohybné a ultratenké organické tenkovrstvové tranzistory (TFT) a iné.

## OČAKÁVANIA

Smerovanie elektroniky a optoelektroniky k molekulovej úrovni :

kvalitatívny posun v elektronike a optoelektronike

napr. miniaturizácia a zvýšenie výkonnosti a kapacity výpočtovej techniky

s dôsledkami: nižšia spotreba energie, prírodných zdrojov, vyššia úžitková hodnota