

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Zeolitová chemie

aneb Procházka sub-nanolabyrintem

R. Bulánek

Ζεολιτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Axel Fredrik Cronstedt
(1722 – 1765)



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

1756 Axel Fredrik Cronstedt
(1722 – 1765)



Stilbite

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

1756 Axel Fredrik Cronstedt
(1722 – 1765)



Stilbite

A.F. Cronstedt: „RÖN och BESKRIFNING Om en oberkant barg art, som kallas *Zeolites*“
Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar Stockholm 17 (1756) pp. 120

Ζεολίτε

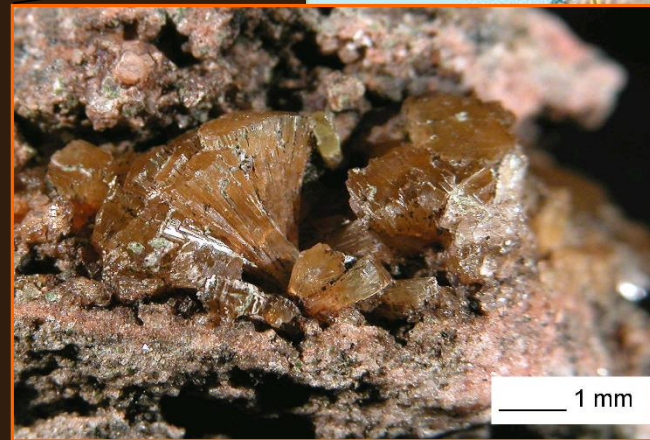
Barrer
1948

1756

Cronstedt

1756 Axel Fredrik Cronstedt
(1722 – 1765)

zein = vařit
+
lithos = kámen } Zeolit



Stilbite



A.F. Cronstedt: „RÖN och BESKRIFNING Om en oberkant barg art, som kallas *Zeolites*“
Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar Stockholm 17 (1756) pp. 120

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

1756 Axel Fredrik Cronstedt
(1722 – 1765)

Karel Bořivoj Presl
(1794 – 1852)

zein = vařit
+
lithos = kámen } Zeolit = Puchavec



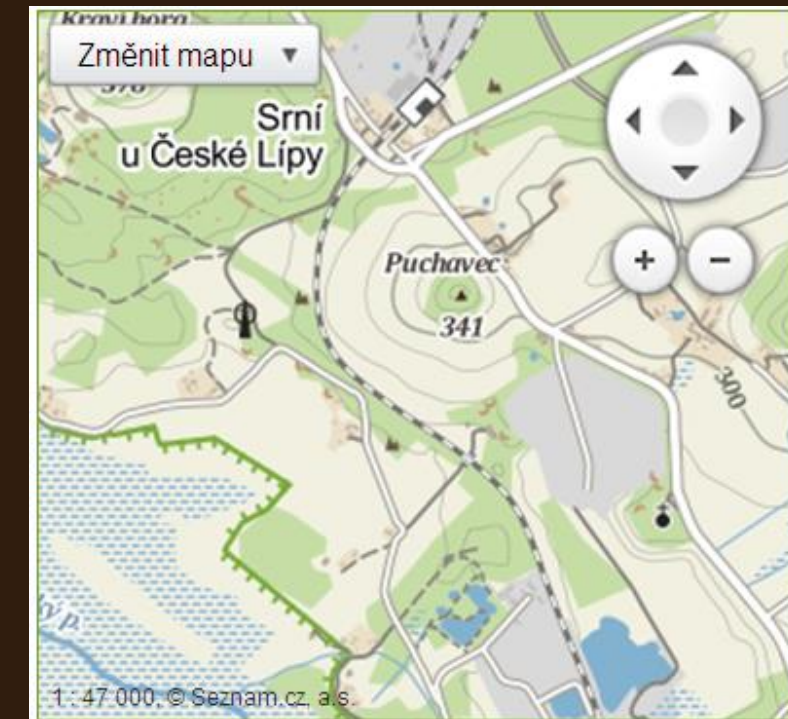
A.F. Cronstedt: „RÖN och BESKRIFNING Om en oberkant barg art, som kallas *Zeolites*“
Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar Stockholm 17 (1756) pp. 120

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



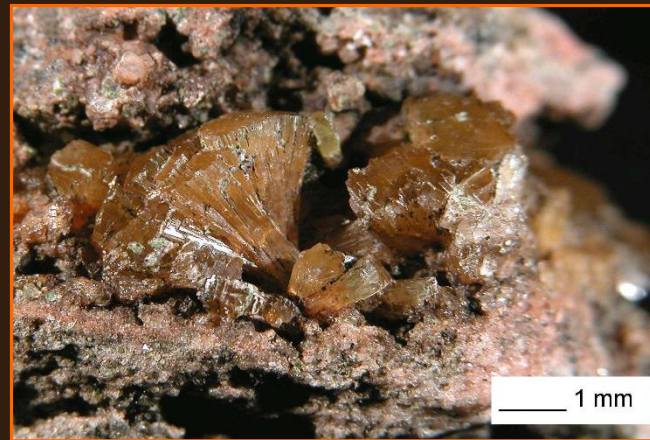
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

1756 Axel Fredrik Cronstedt
(1722 – 1765)



Stilbite

Natrolite, Chabasite, Faujasite, Mordenite ...

... v současnosti evidováno více jak 60 druhů

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Mesolite

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Natrolite

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Thomsonite

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



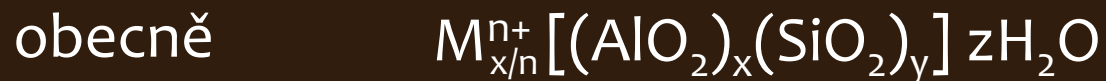
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Zeolity = tektosilikáty



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Vznik přírodních zeolitů

vulkanický popílek

reakce s alkalickými
vodami

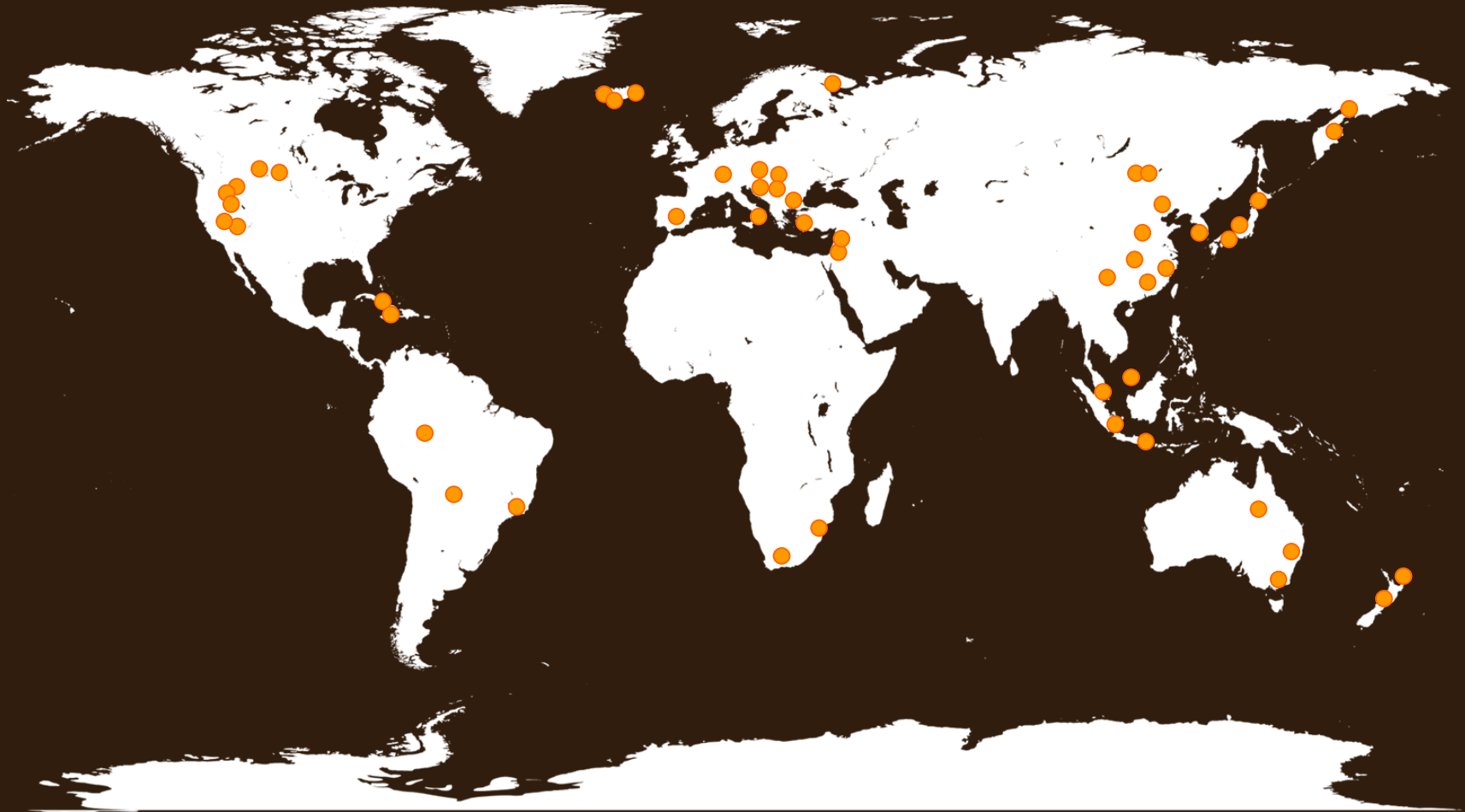


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



ČR

Puchavec

Kozákov

Košťálov

Hřídelecká hůra



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



ČR

Puchavec

Kozákov

Košťálov

Hřídelecká hůra

SK

Bartošova Lehotka

Sklené Teplice

Nižný Hrabovec

Kučín

Byšta

Velká Třňa



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

1948 R.M. Milton, D.W. Breck
R.M. Barrer

syntéza zeolitů v laboratoři



R.M. Barrer a R.M. Milton
1988, ACS Symposium

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

alkalické prostředí:
NaOH, KOH, ...

Zdroj Si:
SiO₂, silikagel...

Zdroj Al:
Al(NO₃)₃, Al(OH)₃, Na₃AlO₃...



T = 170-270°C
P = 10 – 60 atm
trvání několik dnů

tlakový hrnec

Ζεολίτε

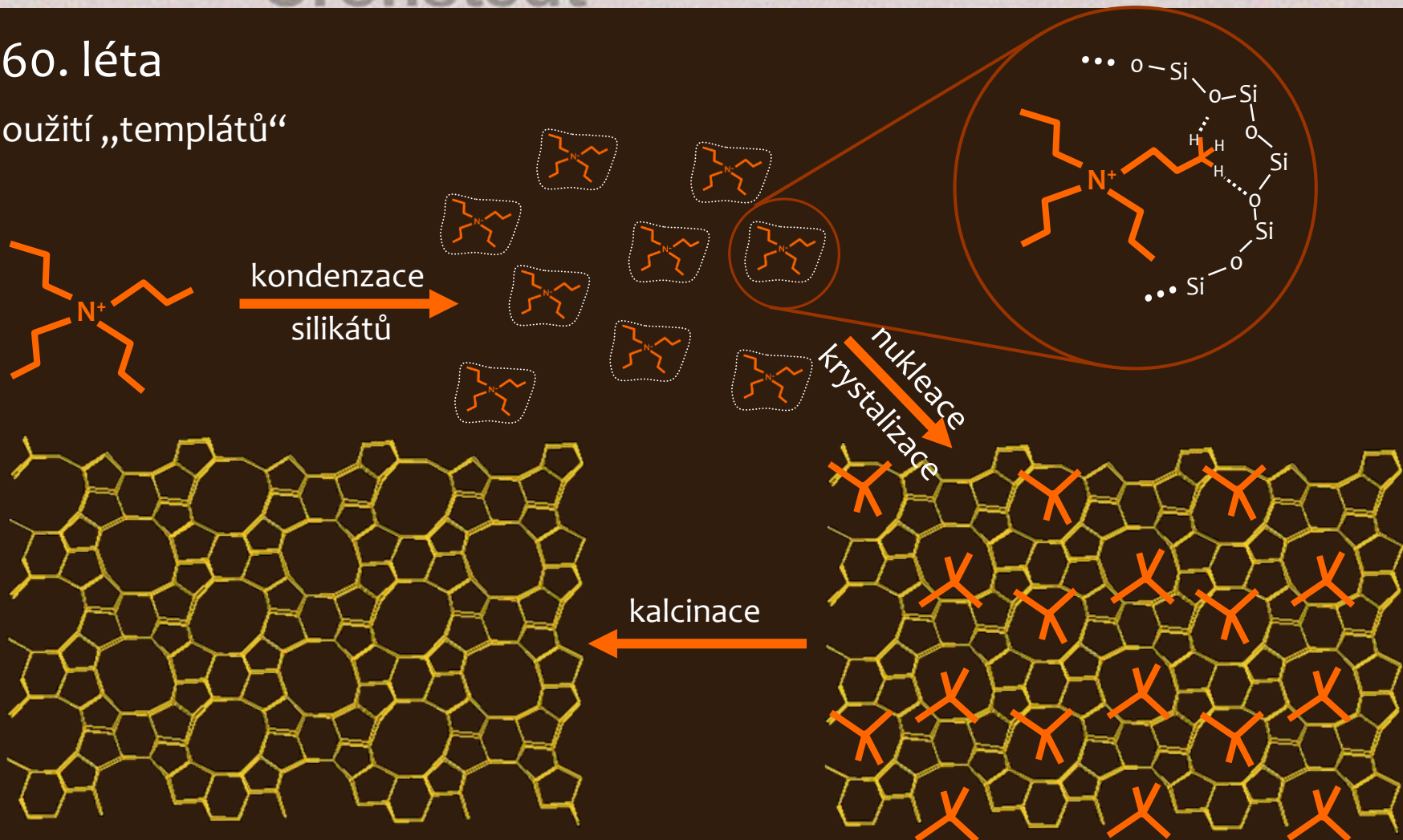
Barrer
1948

1756

Cronstedt

60. léta

použití „templátů“



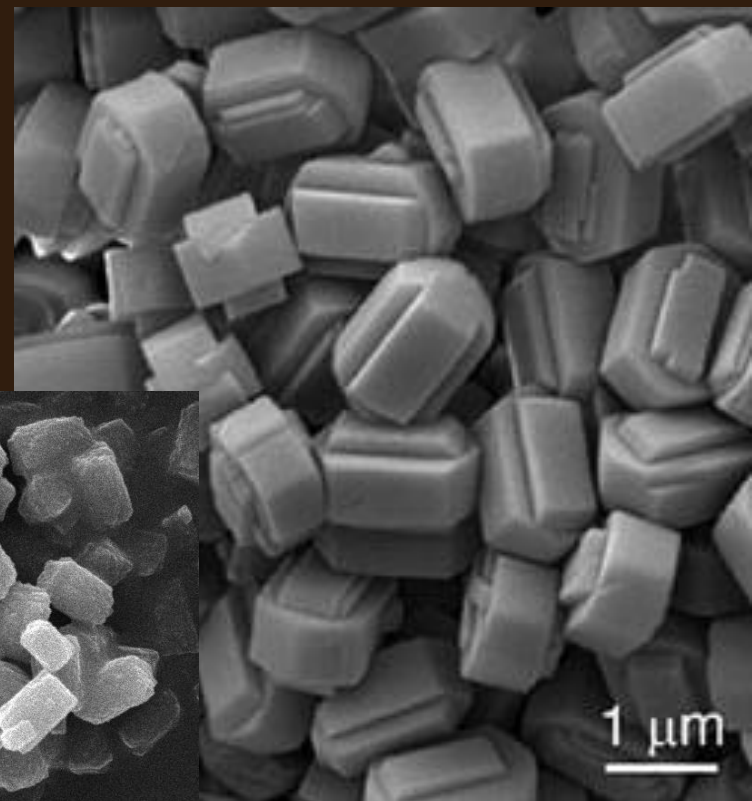
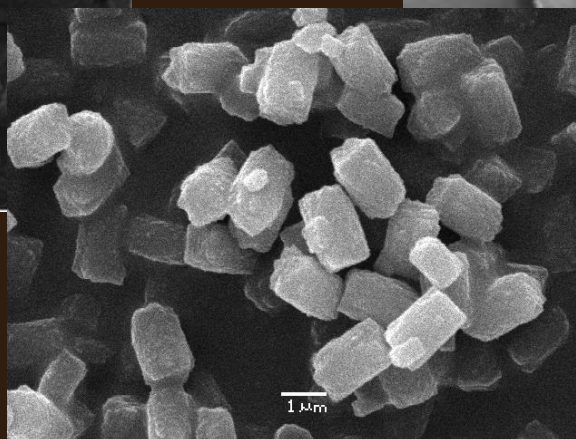
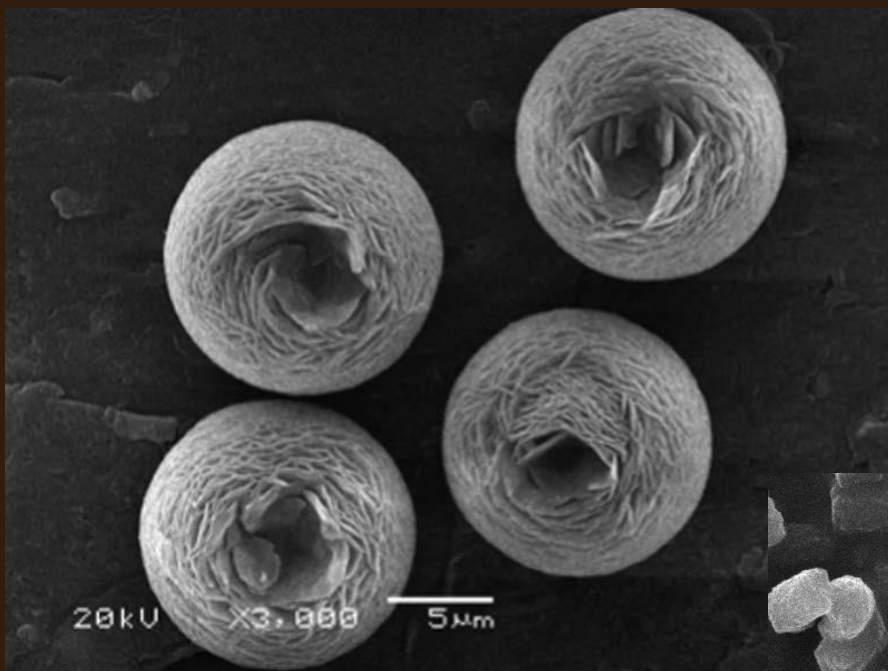
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Krystaly syntetických zeolitů



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

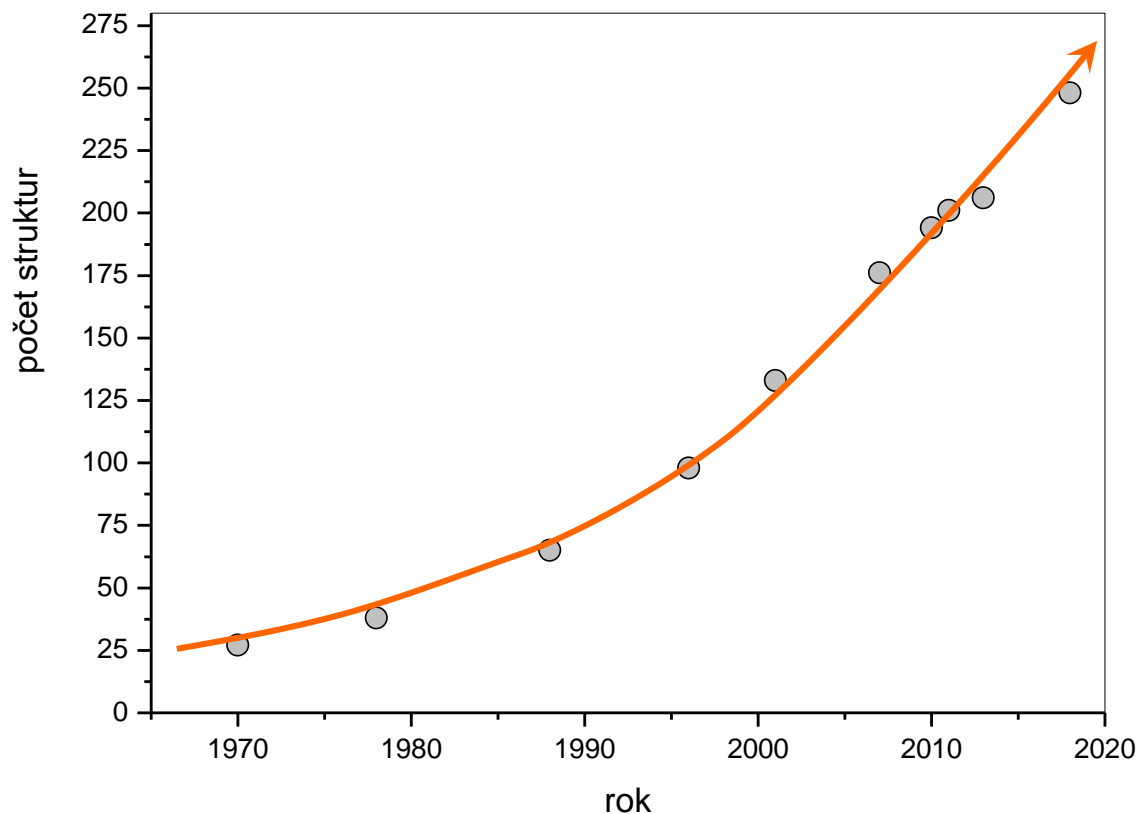
Cronstedt



248 známých struktur
64 přírodních zeolitů



většina struktur
syntetických



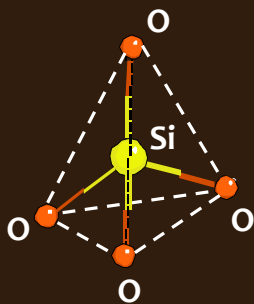
Ζεολίτε

Barrer
1948

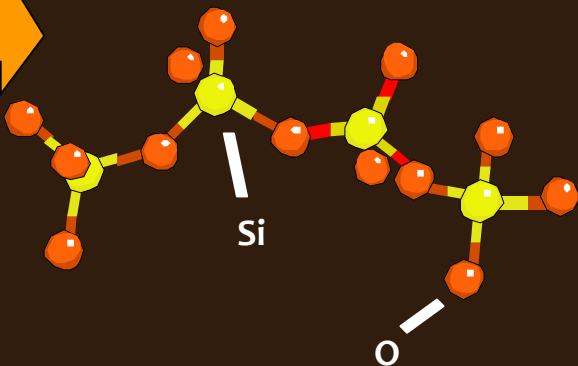
1756

Cronstedt

tektilosilikáty



Κονδενσάση



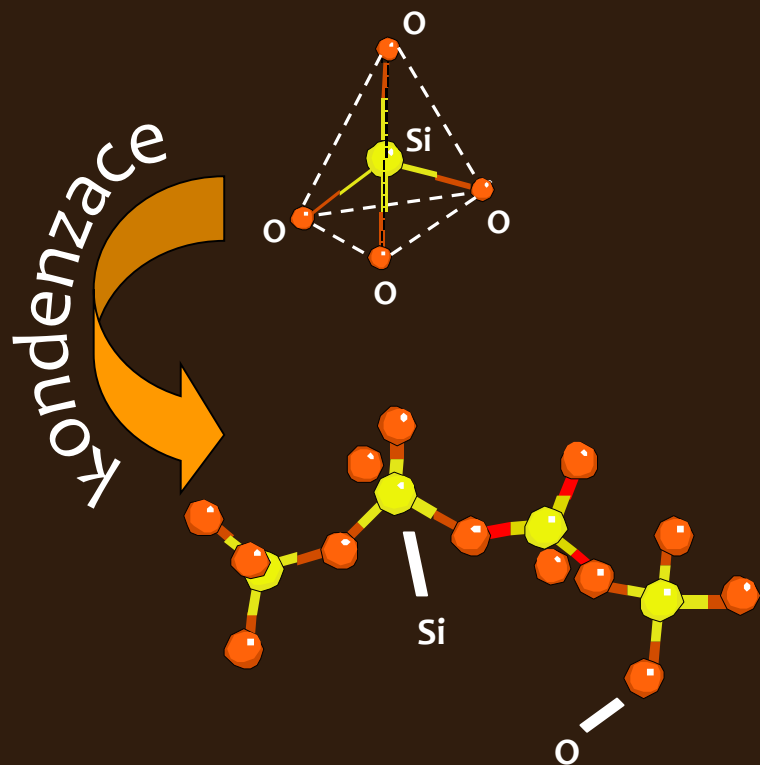
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

tektilosilikáty



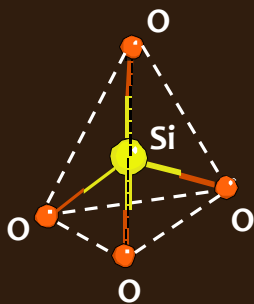
Ζεολίτε

Barrer
1948

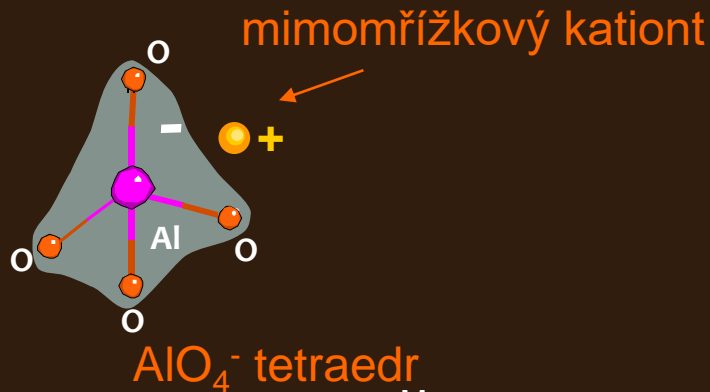
1756

Cronstedt

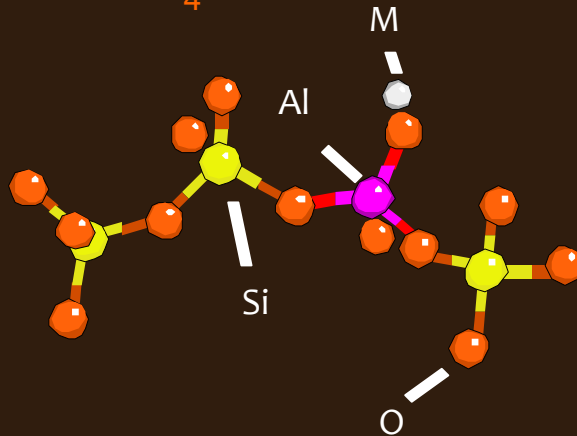
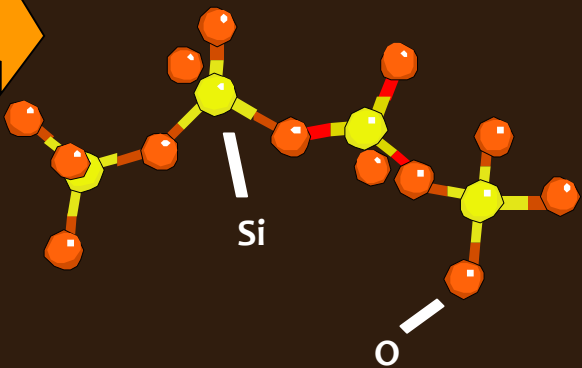
tektosilikáty



izomorfní
substituce



Kondenzace



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

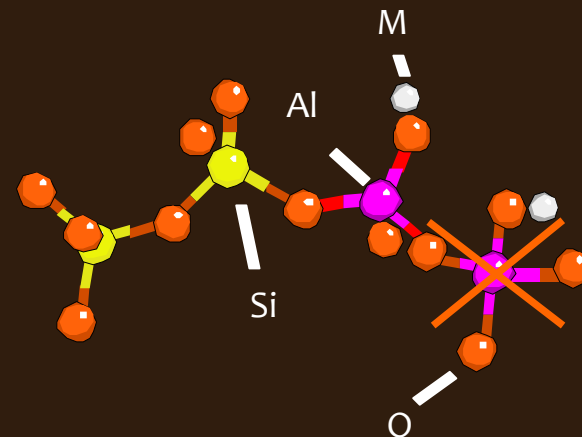
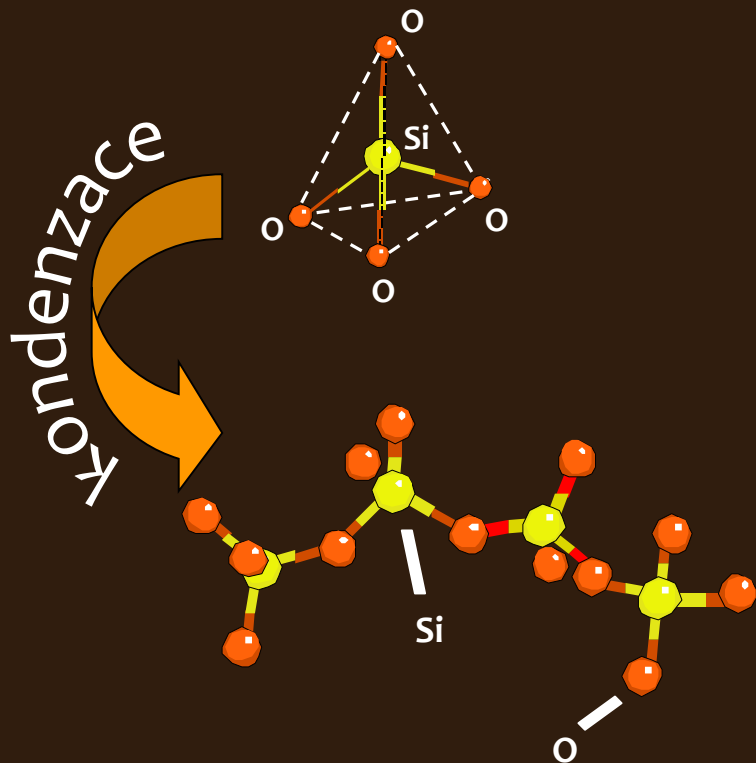
tektilosilikáty



Loewensteinovo pravidlo

Si/Al poměr: 1 - ∞

žádná ze struktur neexistuje v celém rozsahu



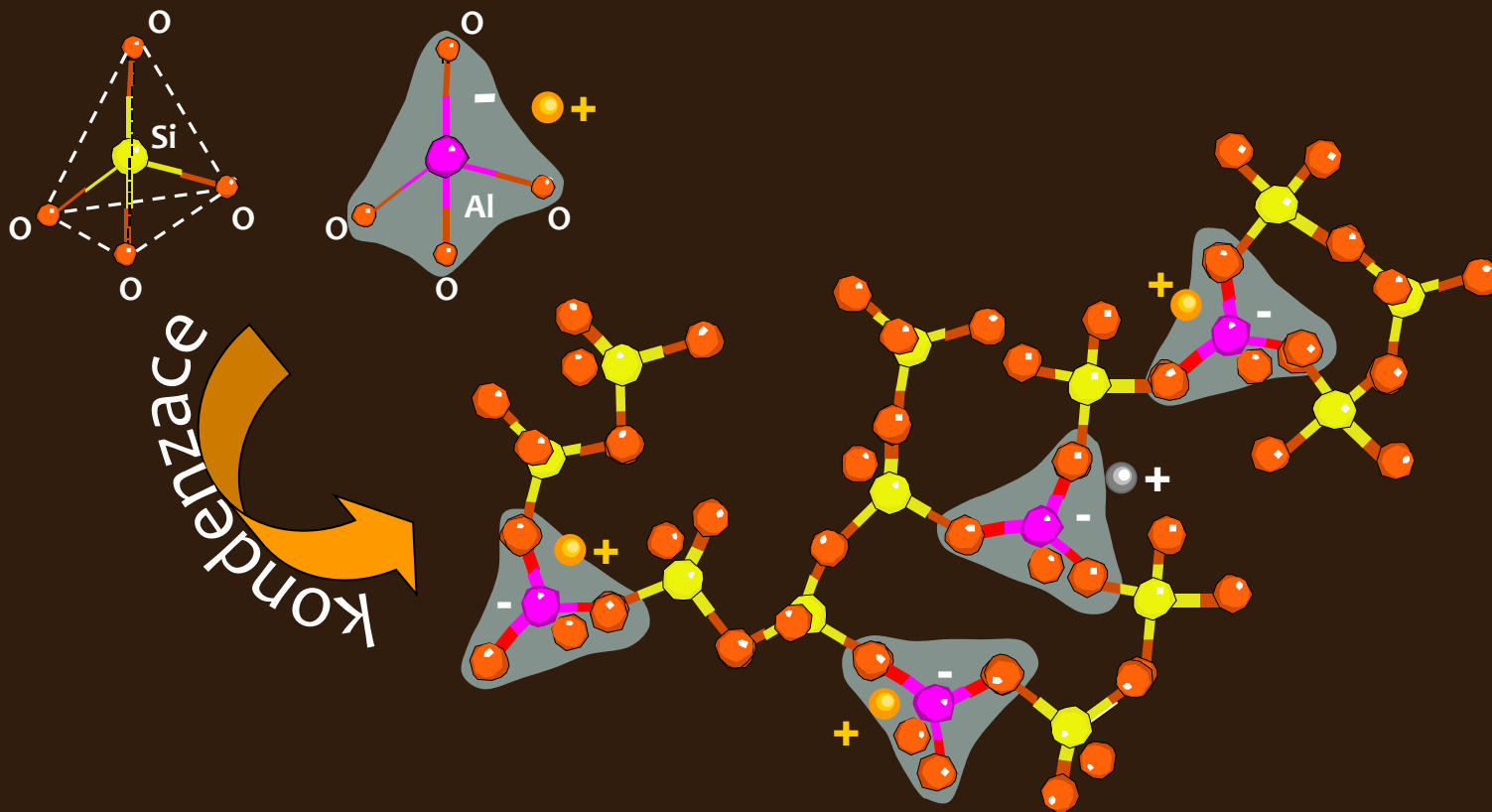
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Primární stavební jednotky



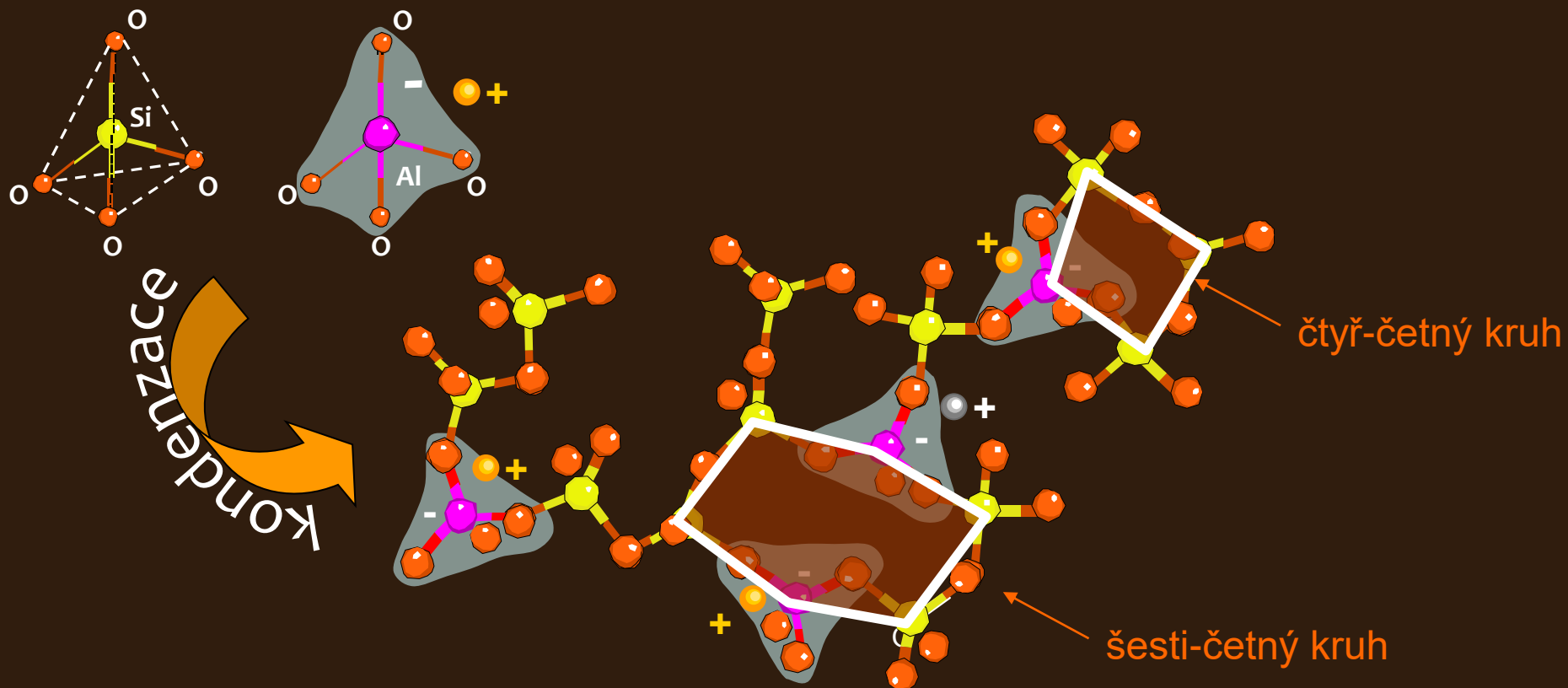
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Primární stavební jednotky



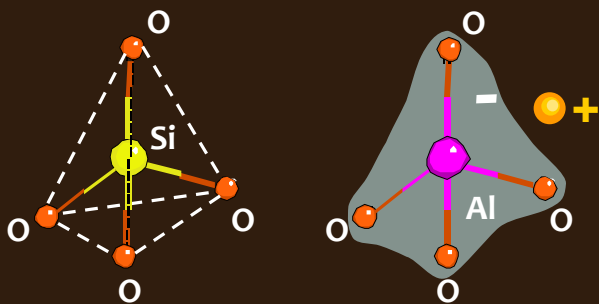
Ζεολίτε

Barrer
1948

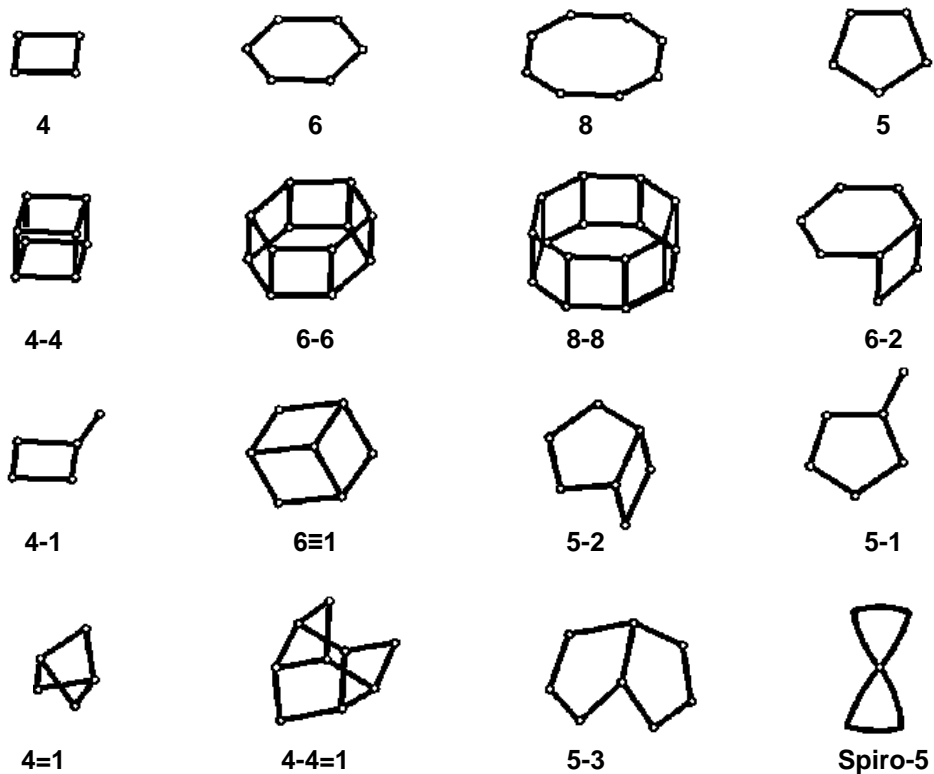
1756

Cronstedt

Primární stavební jednotky



Sekundární stavební jednotky

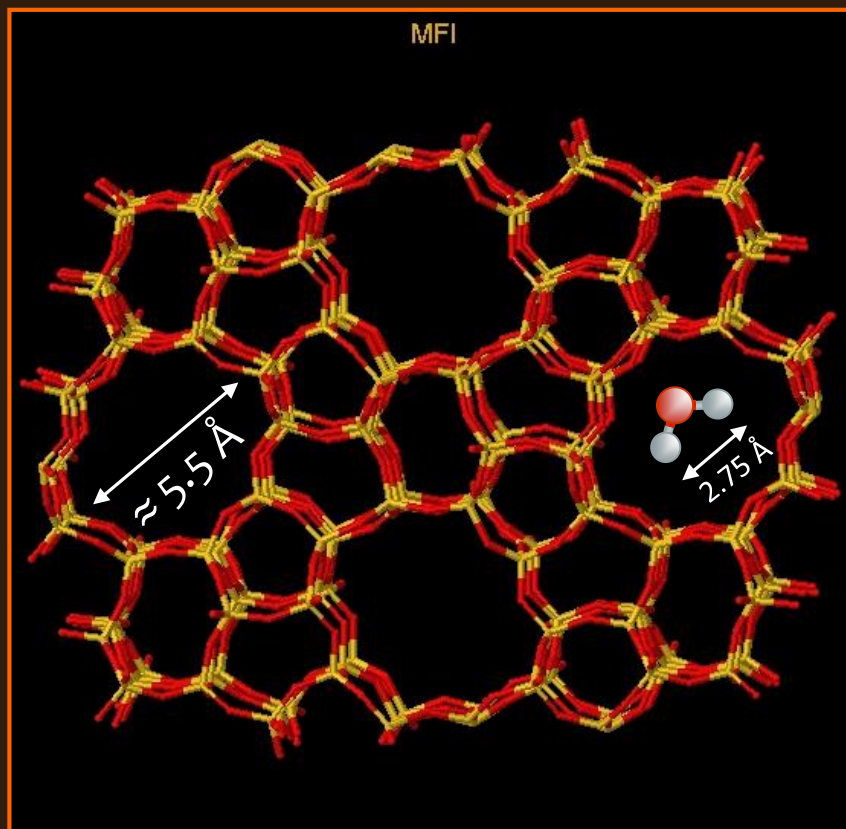


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



molekulové síto

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

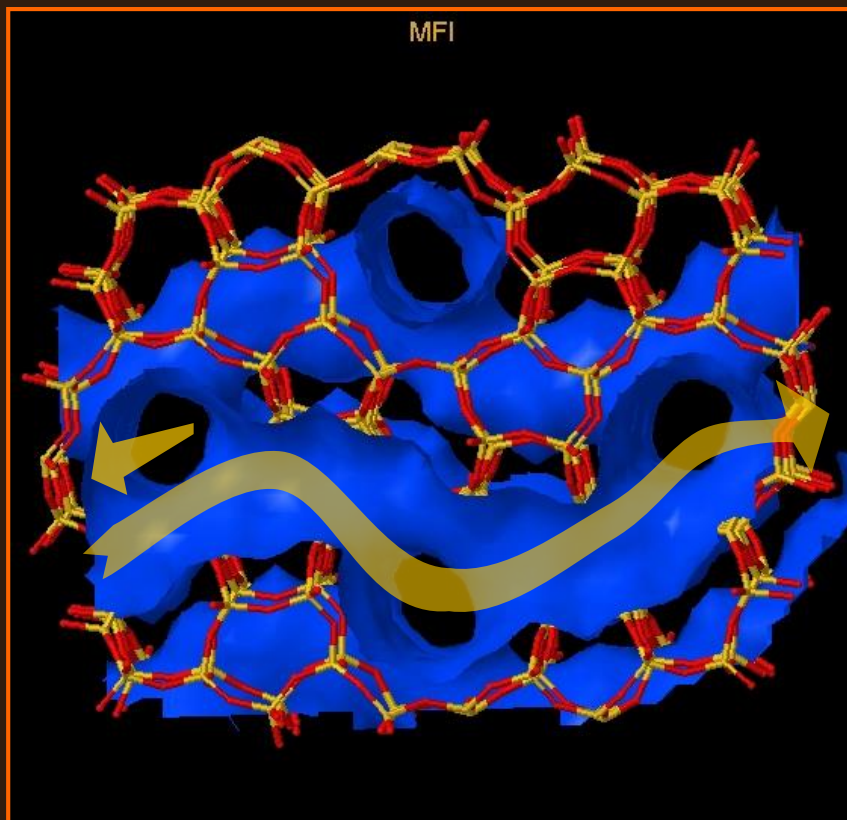
$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



molekulové síto

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Database of Zeolite Structures

IZA-SC All Codes Advanced Search Tools Other Links

Home > Codes Help Credits

Zeolite Framework Types

Search for a Framework Type Code

Enter one character to search for a code or two or more to search for a code or material name

or select one from the tables below:

Fully ordered Type Materials *	Partially disordered Type Materials
ABW ACO AEI AEL AEN AET AFG AFI AFN AFO AFR AFS AFT AFV AFX	*BEA
AFY AHT ANA APC APD AST ASV ATN ATO ATS ATT ATV AVL AWO AWW	*CTH
BCT BEC BIK BOF BOG BOZ BPH BRE BSV CAN CAS CDO CFI CGF CGS	*EWT
CHA -CHI -CLO CON CSV CZP DAC DDR DFO DFT DOH DON EAB EDI EEI	*ITN
EMT EON EPI ERI ESV ETL ETR EUO EWS EZT FAR FAU FER FRA GIS	*MRE
GIU GME GON GOO HEU IFO IFR -JFT -JFU IFW IFY IHW IMF IRN IRR	*PCS
-JRY ISV ITE ITG ITH ITR ITT -JTV ITW IWR IWS IWW IWB JBW JNT	*SFV
JOZ JRY JSN JSR JST JSW KFI LAU LEV LIO -LIT LOS LOV LTA LTF	*SSO
LTJ LTL LTN MAR MAZ MEI MEL MEP MER MFI MFS MON MOR MOZ MRT	*STO
MSE MSO MTF MTN MTT MTW MVY MWF MWV NAB NAT NES NON NPO NPT	*SVY
NSI OBW OFF OKO OSI OSO OWE -PAR PAU PCR PHI PON POR POS PSI	*UOE
PUN PWO PWW RHO -RON RRO RSN RTE RTH RUT RWR RWY SAF SAO SAS	
SAT SAV SBE SBN SBS SBT SEW SFE SFF SFG SFH SFN SFO SFS SFW	
SGT SIV SOD SOF SOR SOS SSF SSS STF STI STT STW -SVR SVV SWY	
SZR TER THO TOL TON TSC TUN UEI UFI UOS UOV UOZ USI UTL UWY	
VET VFI VNI VSV WEI -WEN YFI YUG ZON	

* A "*" sign preceding a three-letter code indicates that the framework is interrupted. That is, not all T atoms are 4-connected.

Copyright © 2017 Structure Commission of the International Zeolite Association (IZA-SC)

http://europe.iza-structure.org/IZA-SC/ftc_table.php

Ζεολίτε

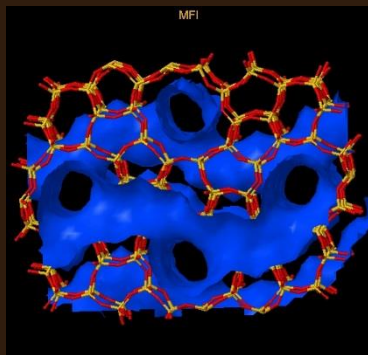
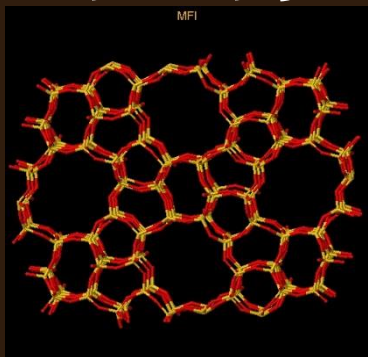
Barrer
1948

1756

Cronstedt

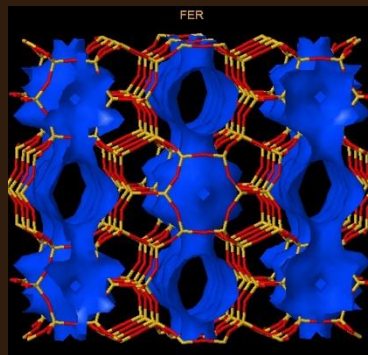
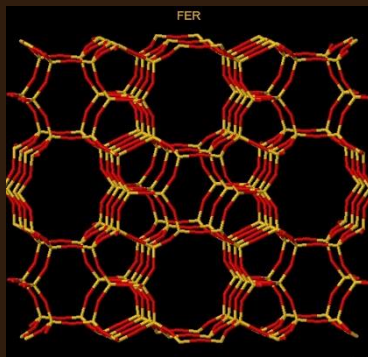
MFI

10 5.1 x 5.5 Å
10 5.6 x 5.3 Å



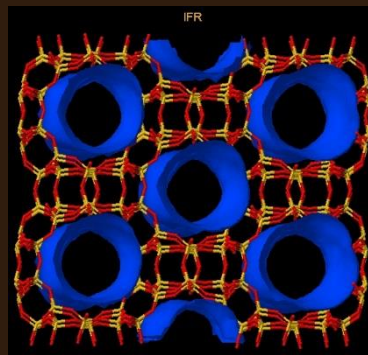
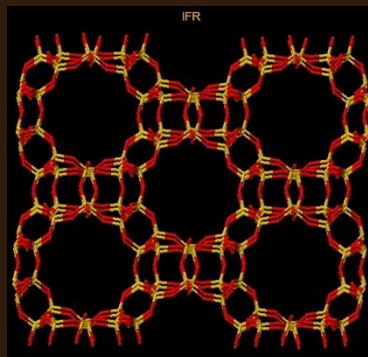
FER

10 5.4 x 4.2 Å
8 4.8 x 3.5 Å



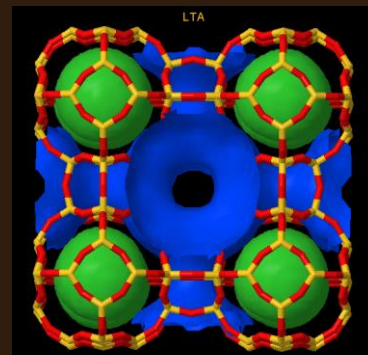
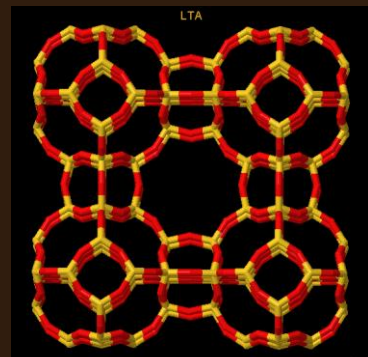
IFR

12 6.2 x 7.2 Å



LTA

8 4.1 x 4.1 Å



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Vlastnosti zeolitů

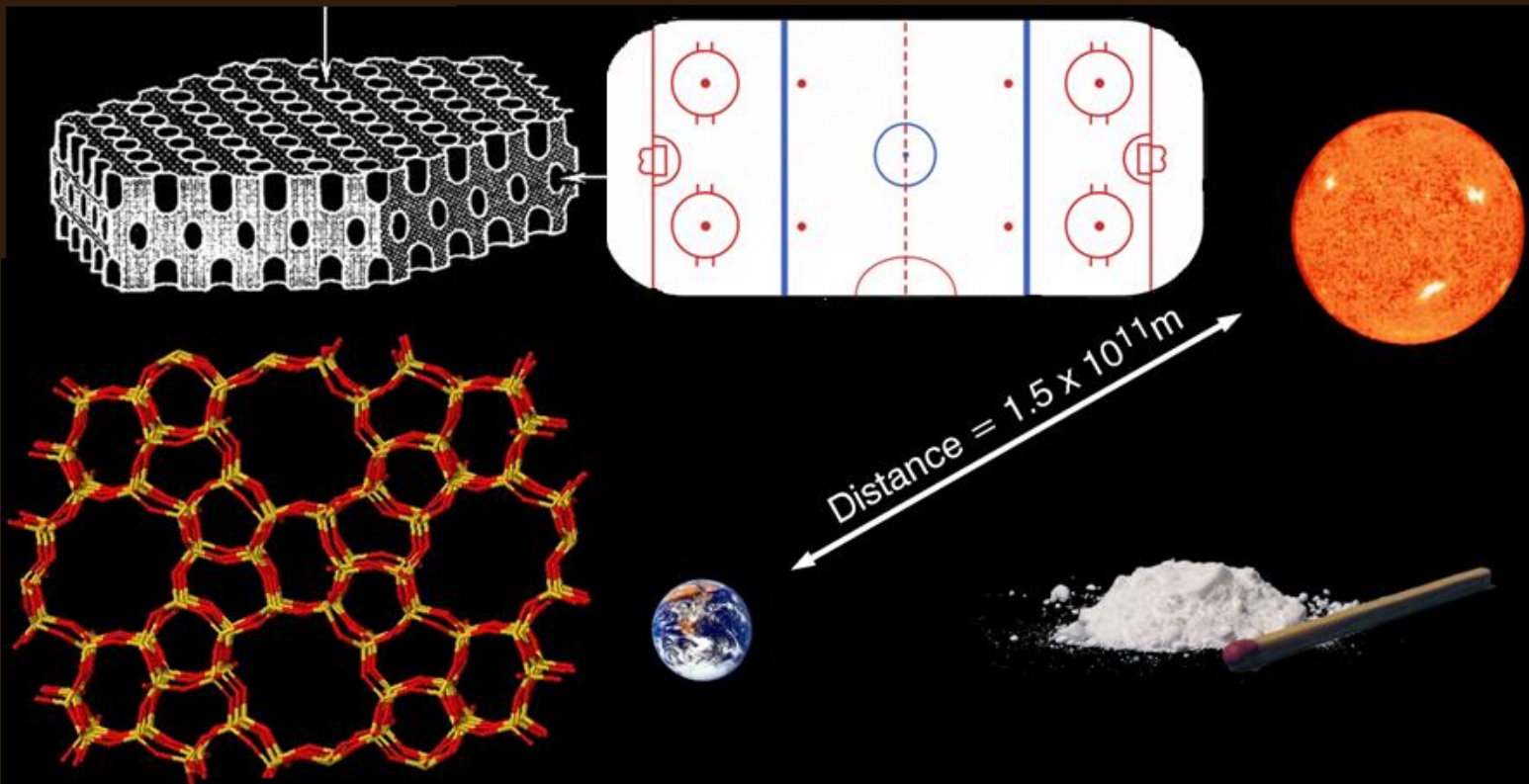
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Velký povrch a porozita jednotného charakteru



1 g zeolitu MFI má délku pórů cca $6 \cdot 10^{11}$ m a plochu cca $400 \text{ m}^2/\text{g}$

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Molekulově síťový efekt



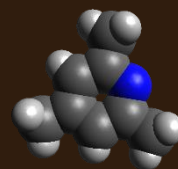
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Molekulově síťový efekt



trimethyl pyridin

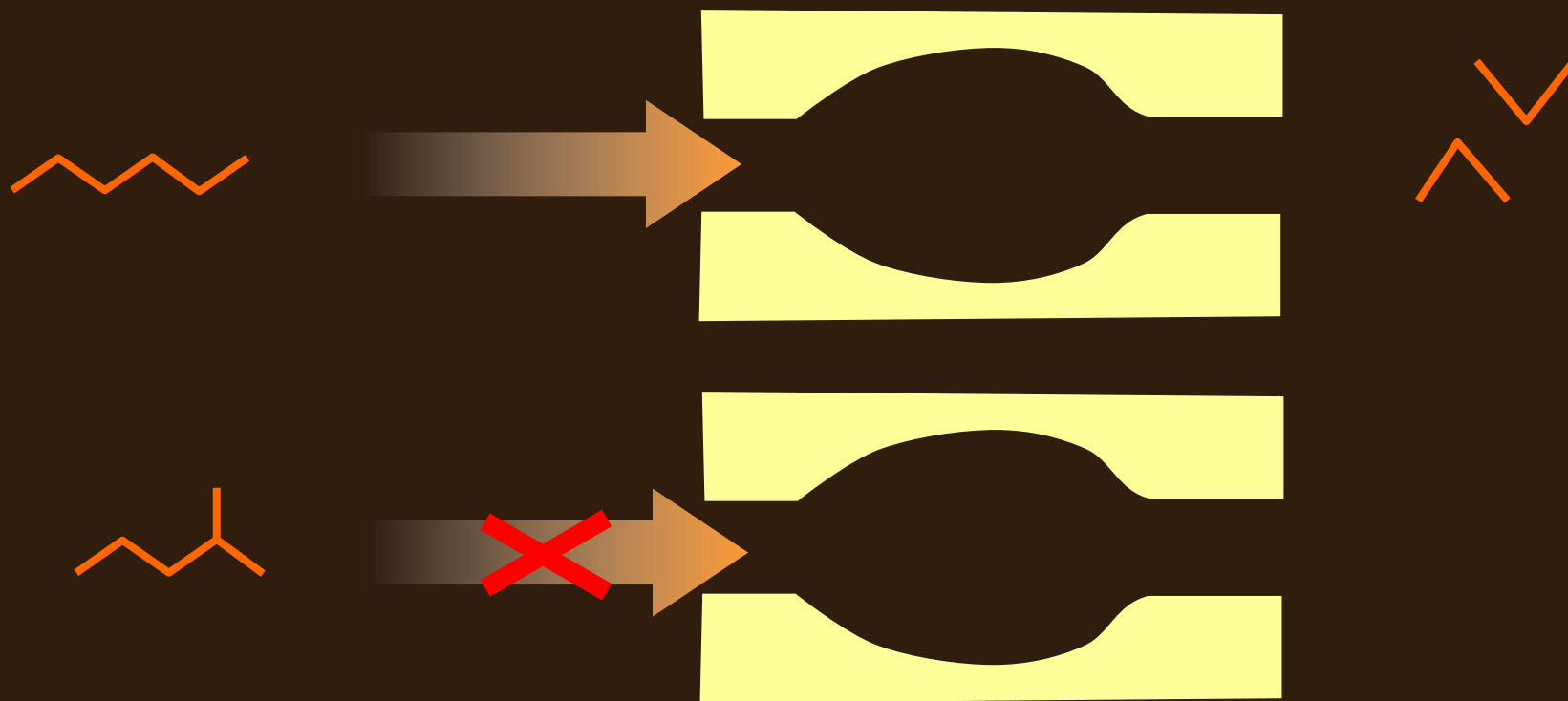
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Molekulově síťový efekt



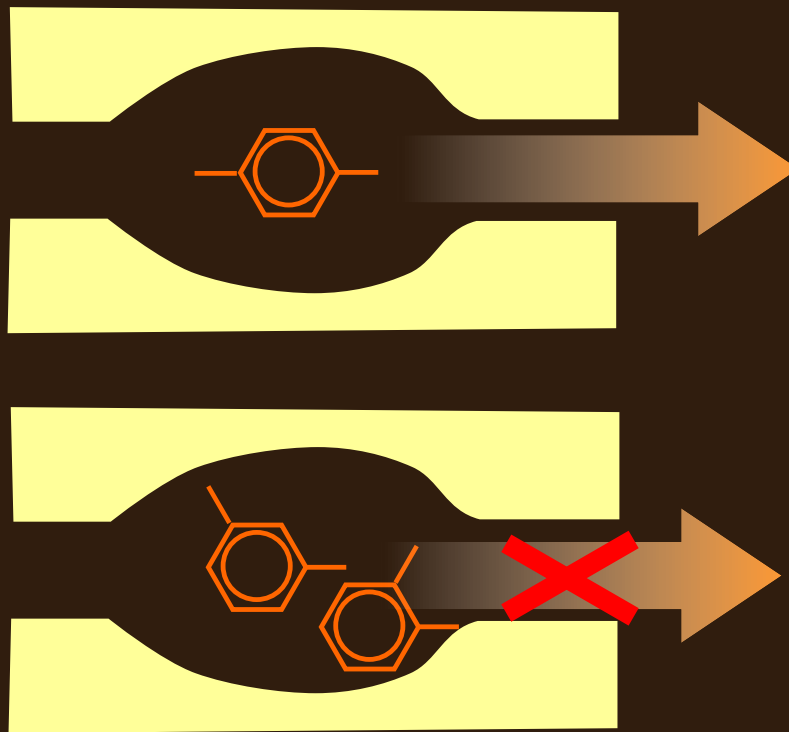
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Molekulově síťový efekt – tvarová selektivita



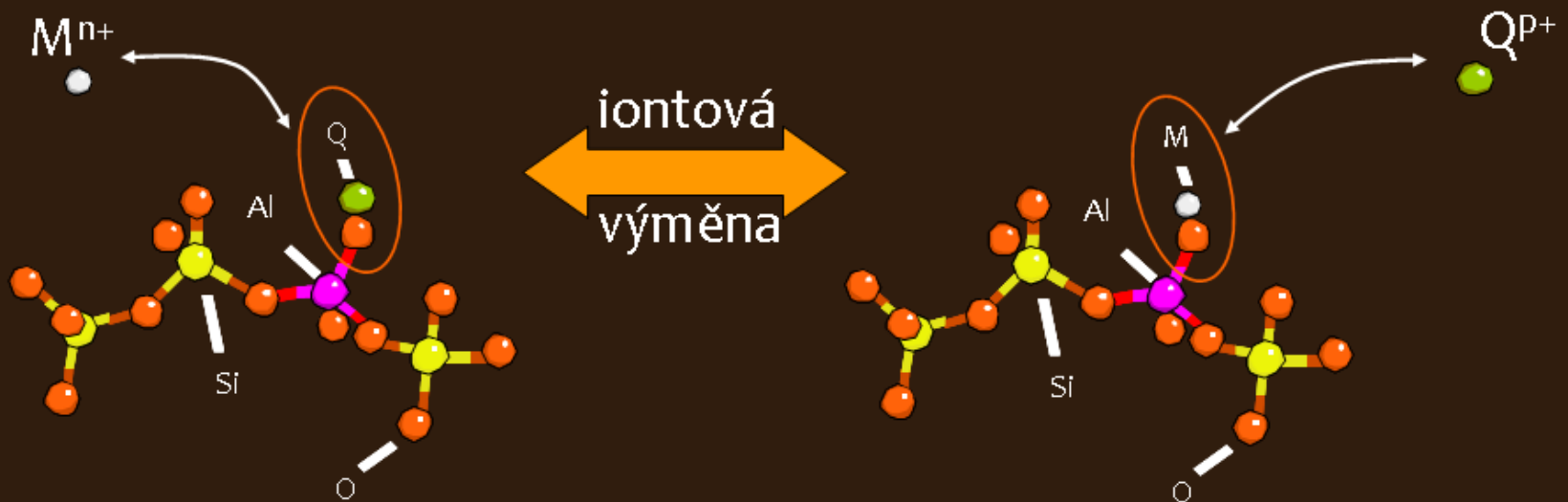
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Iontová výměna



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Iontová výměna

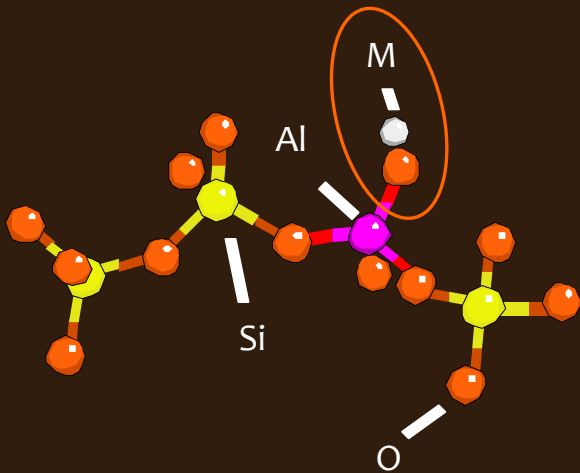
H^+ tuhá silná kyselina bez korozivních účinků

kationty s vyšším nábojem

kompence náboje více hliníků
mimomřížkový aniontový ligand

kationty přechodných kovů

unikátní redox vlastnosti
stabilizace neobvyklých oxidačních stavů



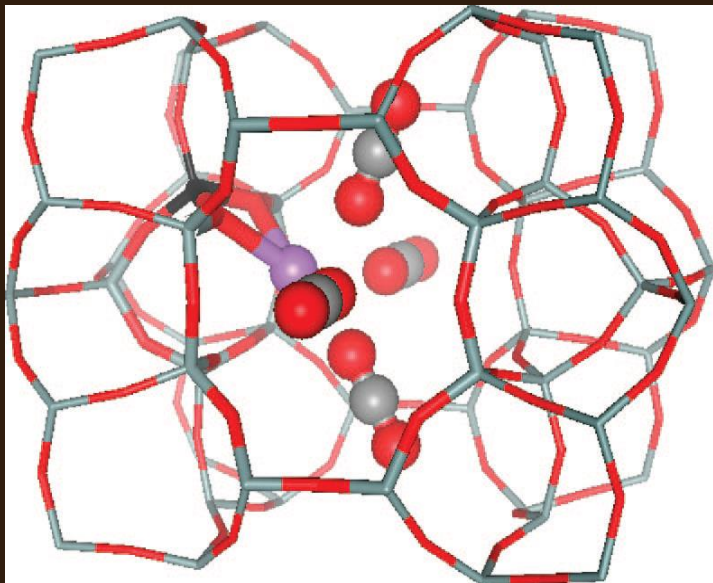
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Koordinační nenasycenost mimomřížkových kationtů



Tetrakomplex CO_2 na Na^+ kationtu
ve FER zeolitu

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Termická a mechanická odolnost

stabilita do teplot minimálně 600°C

Ekologická nezávadnost a nerozpustnost ve vodě



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Využití zeolitů

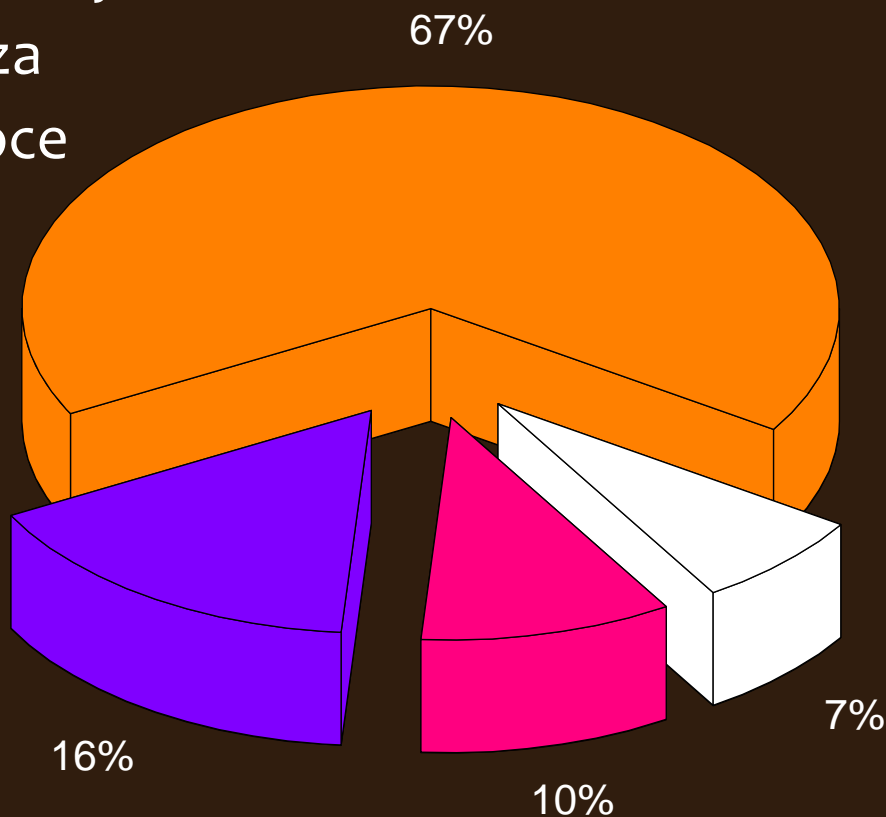
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

- detergenty
- katalýza
- adsorpce
- jiné



Syntetické zeolity

rok	produkce (t)
1948	0
1955	100
1975	60 000
1995	$1.2 \cdot 10^6$
2001	$1.46 \cdot 10^6$
2004	$1.69 \cdot 10^6$
2010	$1.8 \cdot 10^6$
2018	$2.98 \cdot 10^6$

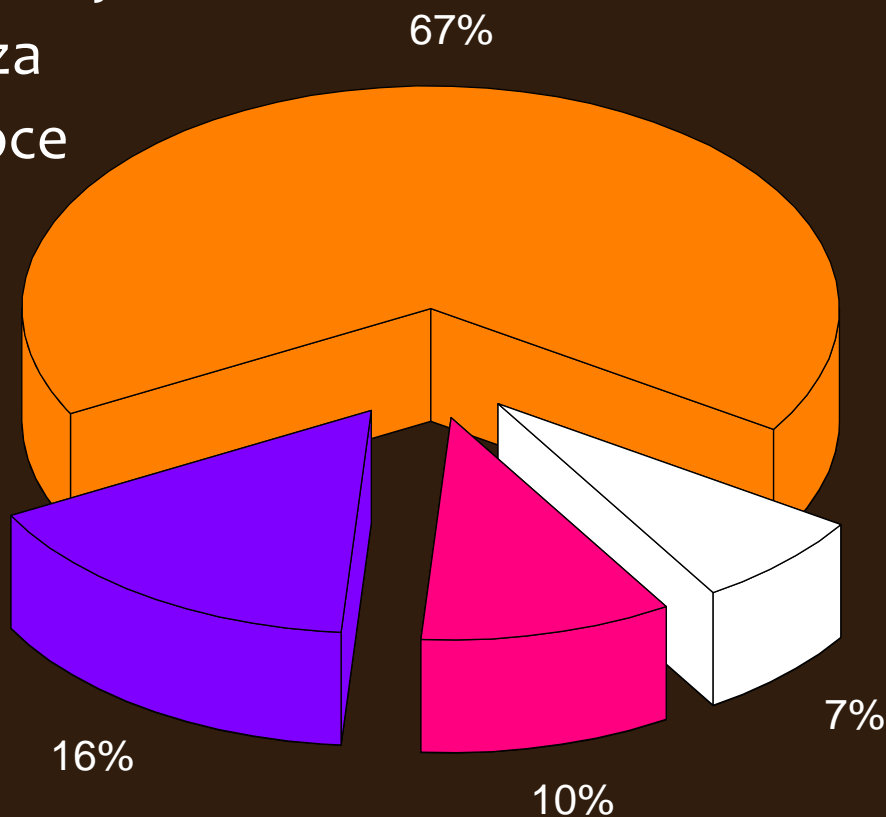
Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

- detergenty
- katalýza
- adsorpce
- jiné



Syntetické zeolity

rok	produkce (t)
1948	0
1955	100
1975	60 000
1995	$1.2 \cdot 10^6$
2001	$1.46 \cdot 10^6$
2004	$1.69 \cdot 10^6$
2010	$1.8 \cdot 10^6$
2018	$2.98 \cdot 10^6$
	+

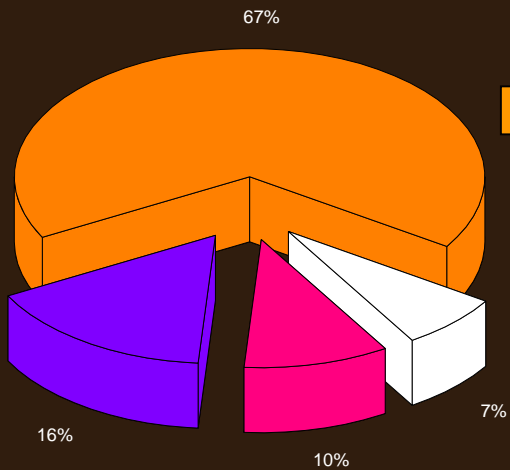
$3.4 \cdot 10^6$ tun/rok
přirodních zeolitů

Ζεολίτε

Barrer
1948

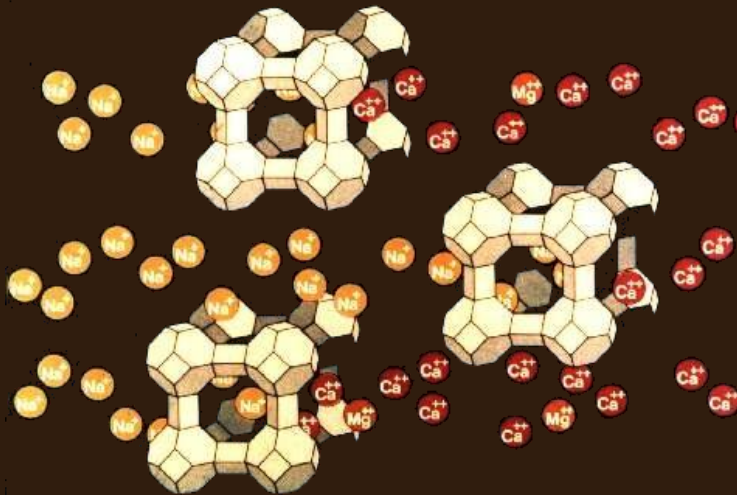
1756

Cronstedt



Detergenty

náhrada za fosfáty,
nerozpustné ve vodě,
jednotná velikost částic,
neulpívají na oděvech,
selektivní výměna iontů Ca^{2+} a Mg^{2+}
za Na^+



zeolity A a P

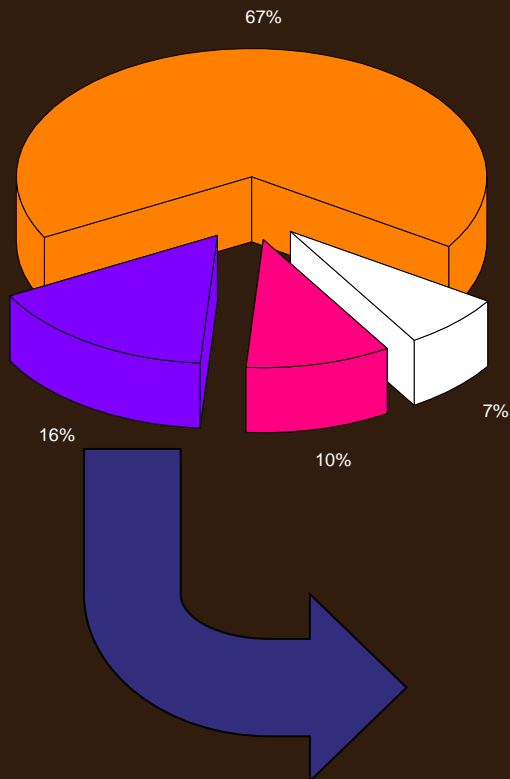


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Katalyzátory

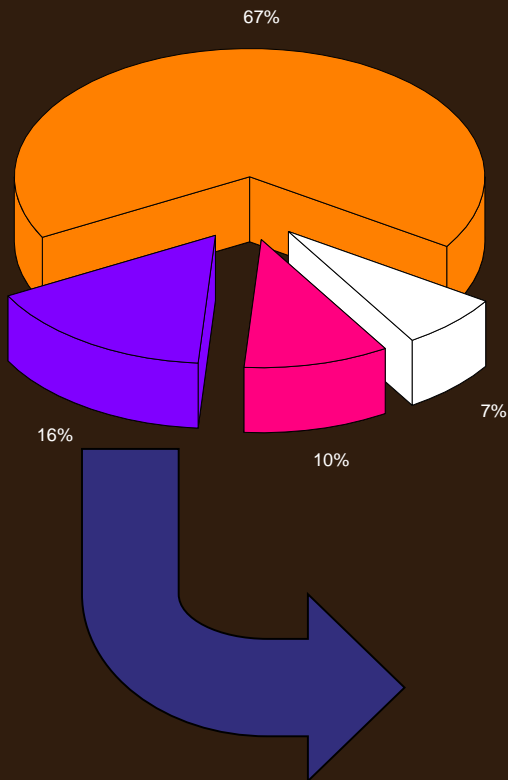
více jak **40%** všech katalyzátorů
H-formy zeolitů – revoluce v
rafinaci ropy (FCC katalyzátory)
alkylace
izomerace
MTO, MTG procesy
hydroxylace benzenu na fenol

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Velkoobjemové průmyslové procesy

127 průmyslových procesů

180 typů katalyzátorů

Zeolity	74
Ionexy	16
Neurčeno	7
Ukotvené enzymy	3
Polysiloxany	3

Oxidy	54
Fosfáty	16
Jíly	4
Sírany, uhličitany	3

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

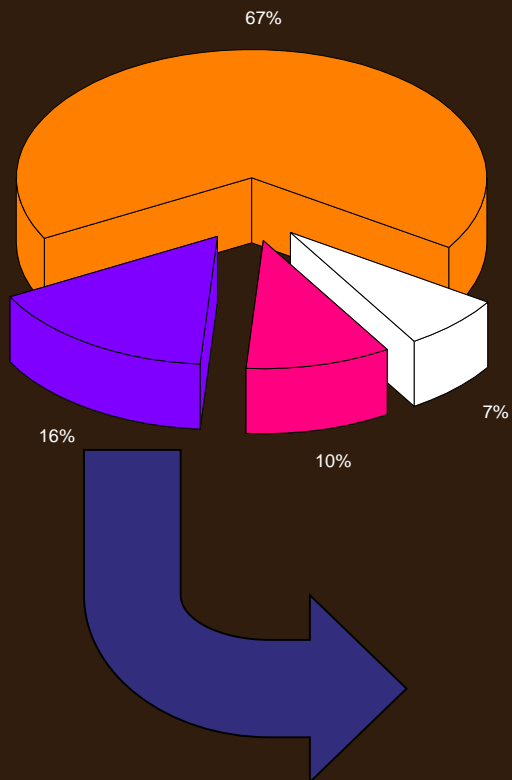
Cronstedt



Πουžitί zeolitů v katalýze

Zeolites (74)

ZSM-5	31
Modified (non-specified) zeolites	28
Mordenite	7
Zeolit Y	4
Ultrastabilized Y	2
Beta	2
Metallosilicates	2
SAPO-11, SAPO-34	2



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

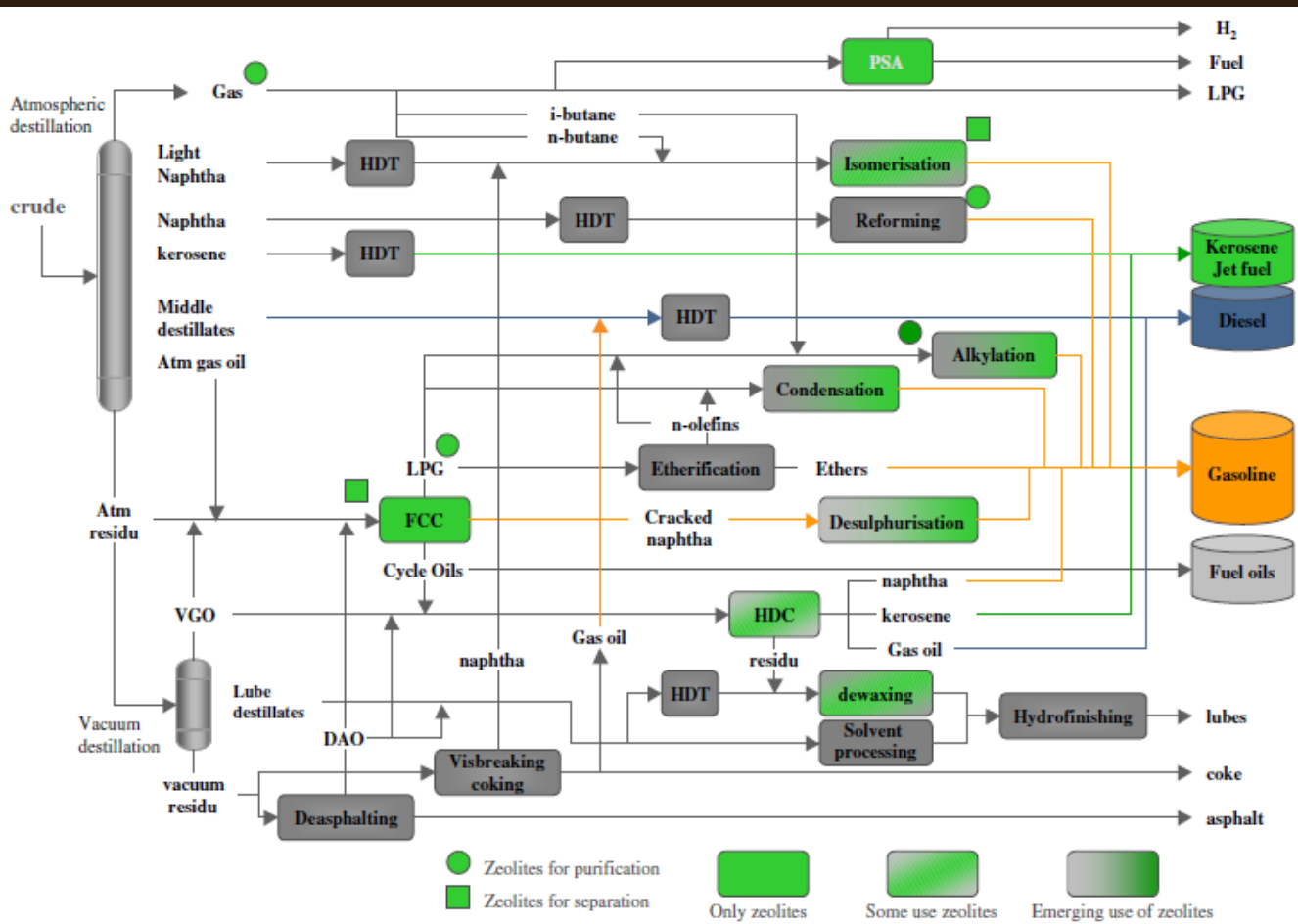
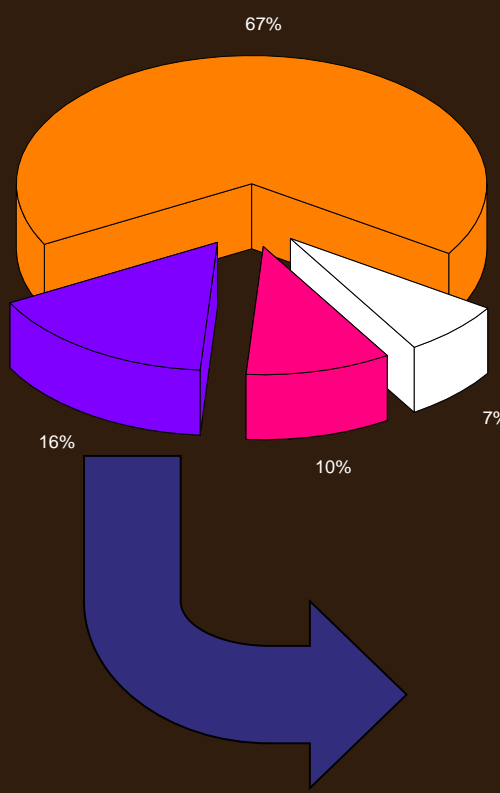


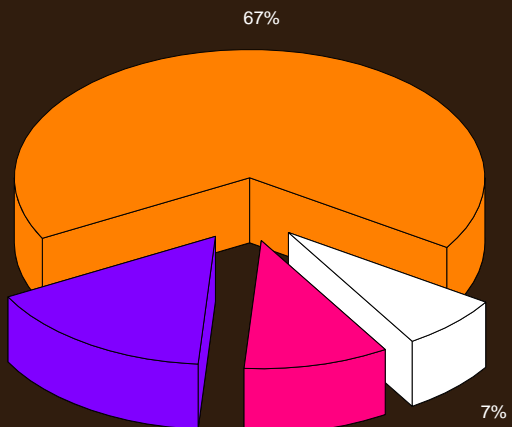
Fig. 3 Some of the major operations found in modern refineries

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

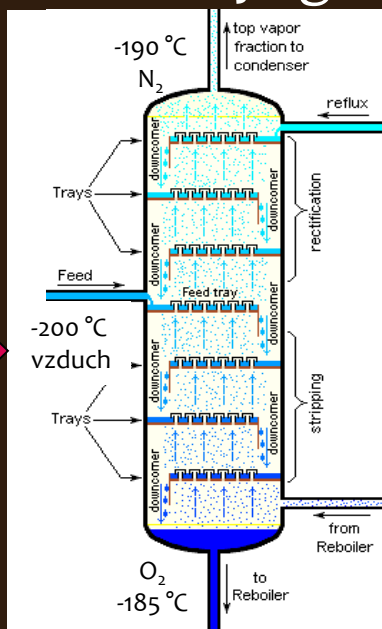
Cronstedt



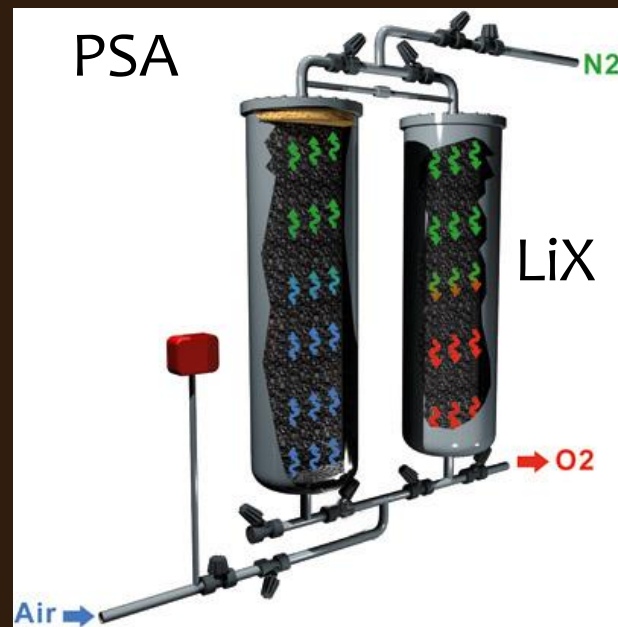
Adsorbenty

velká schopnost vázat vodu (LTA, FAU)
nekryogenní separace O_2/N_2 (LiX)

rektifikace



vs.



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

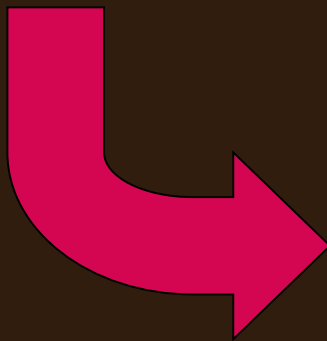
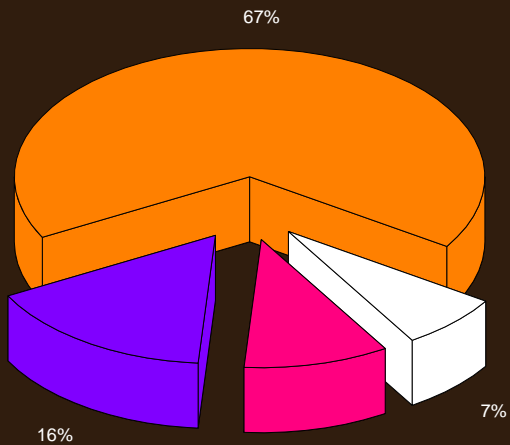
Cronstedt



Adsorbenty

velká schopnost vázat vodu (LTA, FAU)
nekryogenní separace O_2/N_2 (LiX)

molekulově síťový efekt – separace
n/iso-alkanů (Ca-LTA), xylenů (FAU)



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

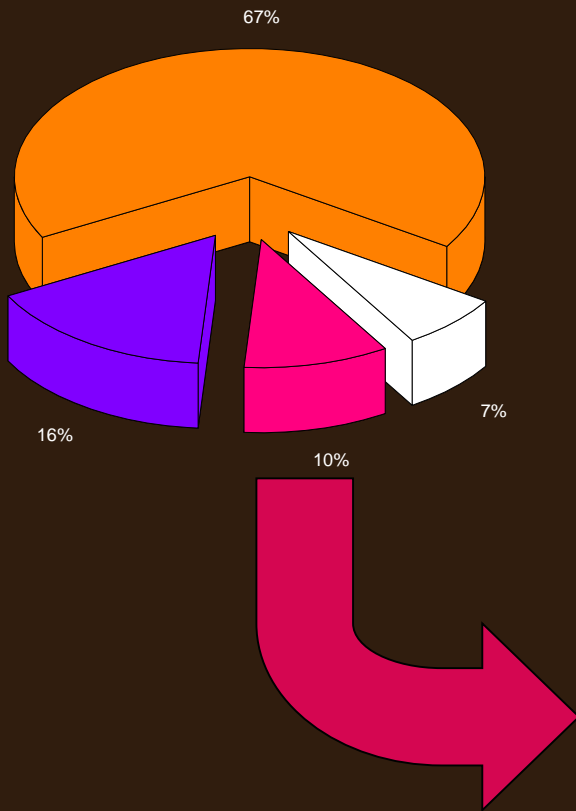


Adsorbenty

velká schopnost vázat vodu (LTA, FAU)
nekryogenní separace O_2/N_2 (LiX)

molekulově síťový efekt – separace
n/iso-alkanů (Ca-LTA), xylenů (FAU)

ukládání plynů (H_2 , CO_2) až 100 x

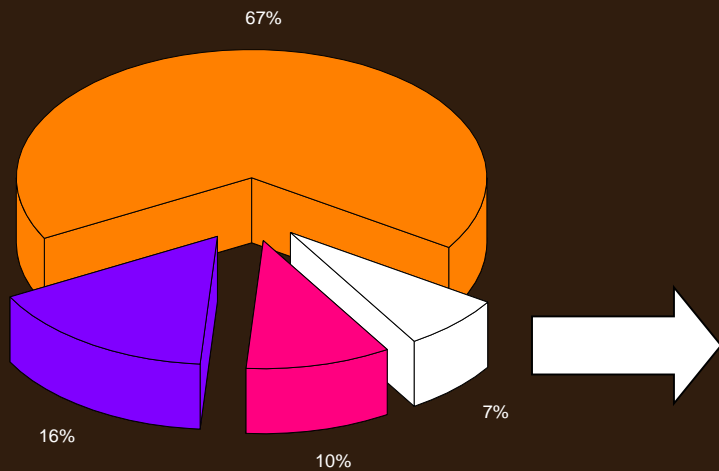


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

odstraňování ^{90}Sr a ^{137}Cs (Clinoptilolit)



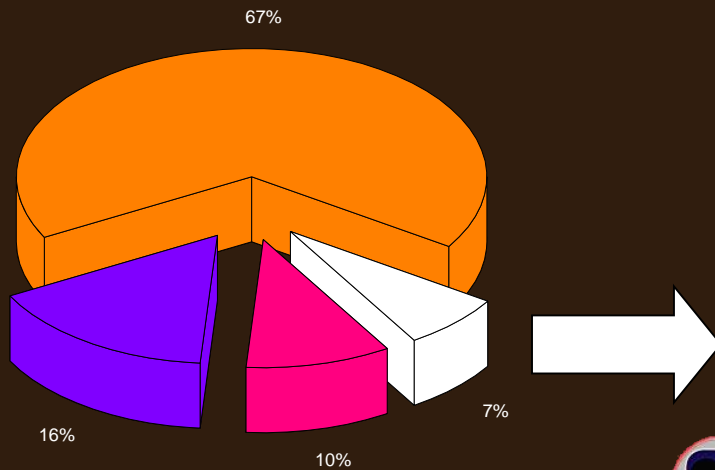
Fukushima Daiichi (2011)

Ζεολιτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

QuickClot (Ca-zeolit) hemostatikum

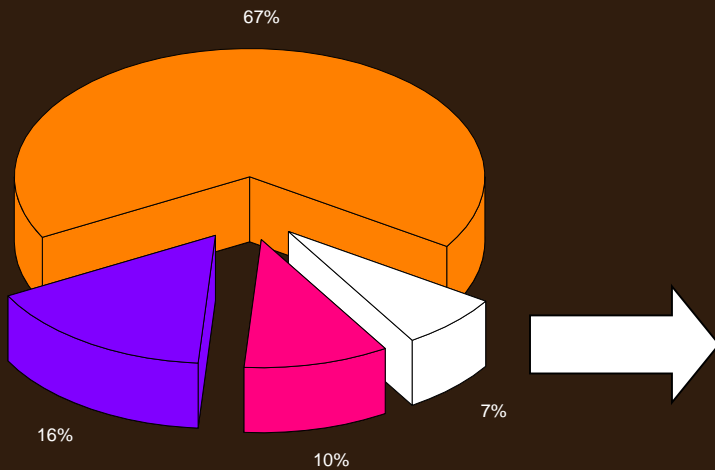


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

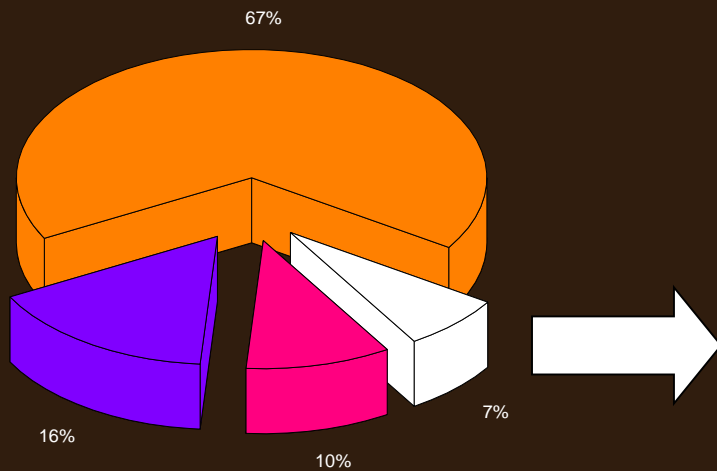
přídavek do cementů a asfaltů
úprava půd
plnivo při výrobě papíru
tepelná čerpadla zeoTHERM

Ζεολιτε

Barrer
1948

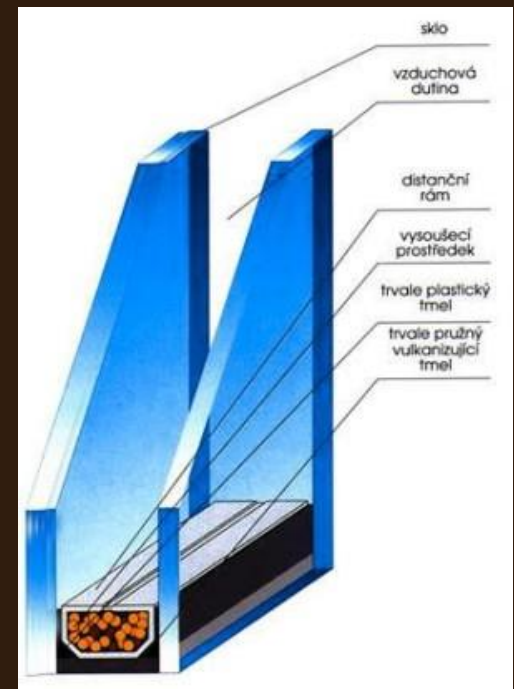
1756

Cronstedt



Ostatní

vysoušedlo v izolačních oknech

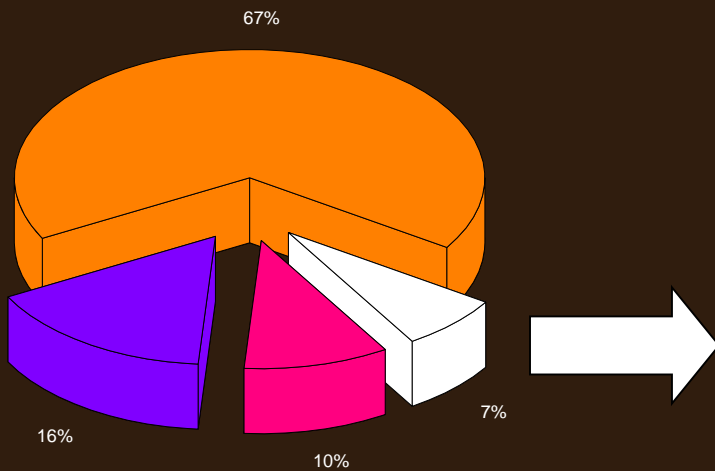


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

adsorpční chladiče (CoolKeg)

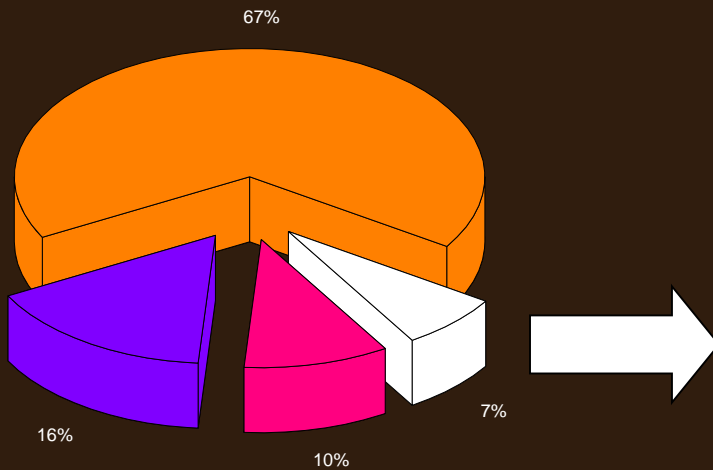


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

adsorpční chladiče (CoolKeg)

spouštěcí páčka

zeolit

ventil

pivo

voda

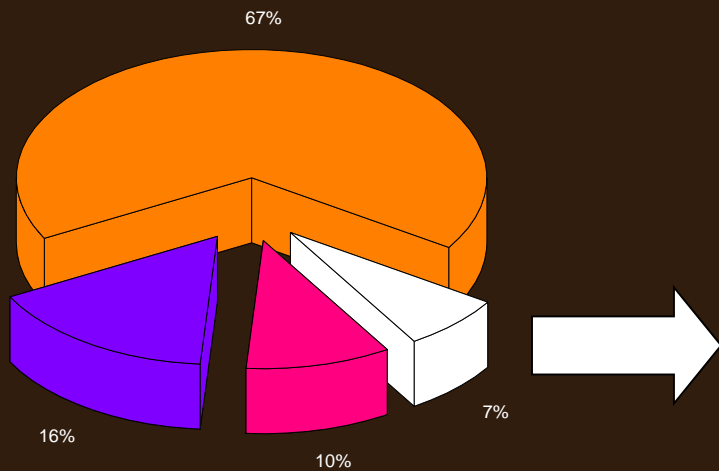


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

adsorpční chladiče (CoolKeg)

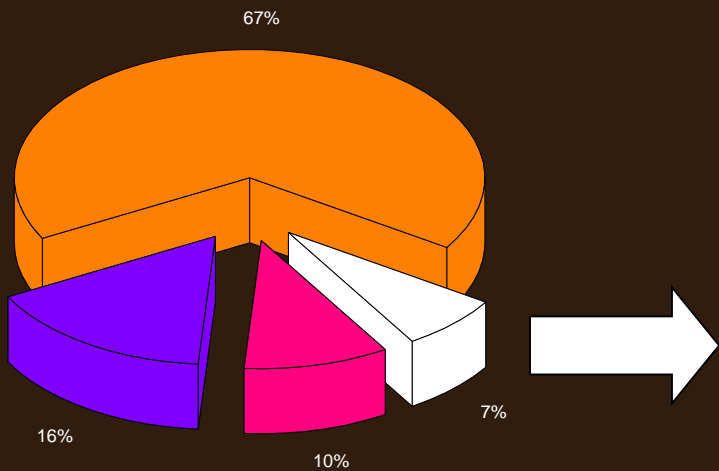


Ζεολίτε

Barrer
1948

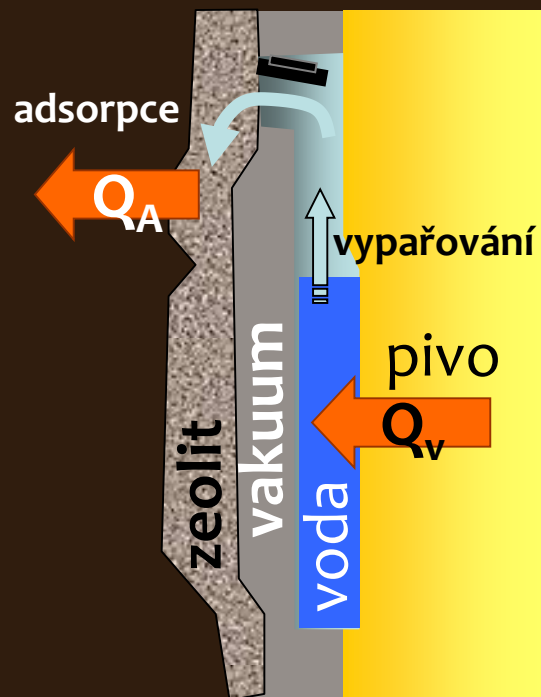
1756

Cronstedt



Ostatní

adsorpční chladiče (CoolKeg)

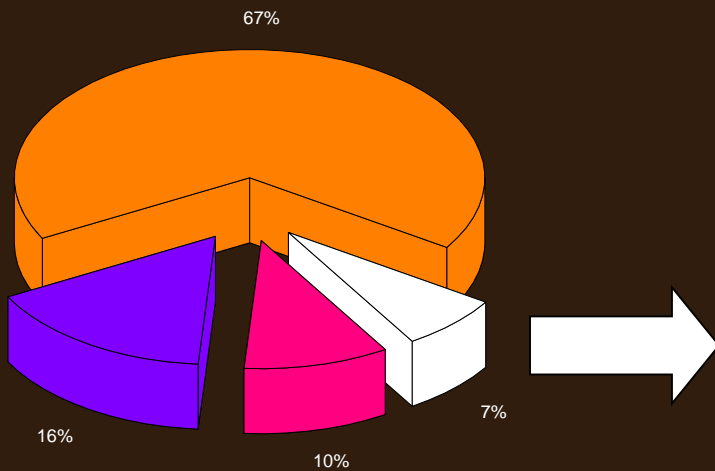


Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Ostatní

Thomsonite – drahokam

Thomsonite
Lake Superior,
Minnesota



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Je ještě co objevovat?

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



<http://www.iza-structure.org/databases/>

ABW	ACO	AEI	AEL	AEN	AEI	AFG	AFI	AFN	AFO	AFR	AFS
AFT	AFX	AFY	AHT	ANA	APC	APD	AST	ASV	ATN	ATO	ATS
ATT	ATV	AWO	AWW	BCT	*BEA	BEC	BIK	BOG	BPH	BRE	CAN
CAS	CDO	CFI	CGF	CGS	CHA	CHI	CLO	CON	CZP	DAC	DDR
DFO	DFT	DOH	DON	EAB	EDI	EMT	EON	EPI	ERI	ESV	ETR
EUO	EZT	FAR	FAU	FER	FRA	GIS	GIU	GME	GON	GOO	HEU
IFR	IHW	IMF	ISV	ITE	ITH	ITW	IWR	IWV	IWW	JBW	KFI
LAU	LEV	LIO	LIT	LOS	LOV	LTA	LTL	LTN	MAR	MAZ	MEI
MEL	MEP	MER	MFI	MFS	MON	MOR	MOZ	MSE	MSO	MTF	MTN
MTT	MTW	MWW	NAB	NAT	NES	NON	NPO	NSI	OBW	OF	OSI
OSO	OWE	PAR	PAU	PHI	PON	RHO	RON	RRO	RSN	RTE	RTH
RUT	RWR	RWY	SAO	SAS	SAT	SAV	SBE	SBN	SBS	SBT	SFE
SFF	SFG	SFH	SFN	SFO	SGT	SIV	SOD	SOS	SSF	SSY	STF
STI	*STO	STT	SZR	TER	THO	TOL	TON	TSC	TUN	UEI	UFI
UOZ	USI	UTL	VET	VFI	VNI	VSV	WEI	WEN	YUG	ZON	

248 struktur
známo
(březen 2019)

< 800 teoreticky
může existovat

katalýza (13)

adsorpční/separační procesy (7)

pouze 18 struktur uplatněno v průmyslu!!!

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

ABW	ACO	AEI	AEL	AEN	AEI	AFG	AFI	AFN	AFO	AFR	AFS
AFT	AFX	AFY	AHT	ANA	APC	APD	AST	ASV	ATN	ATO	ATS
ATT	ATV	AWO	AWW	BCT	*BEA	BEC	BIK	BOG	BPH	BRE	CAN
CAS	CDO	CFI	CGF	CGS	CHA	CHI	CLO	CON	CZP	DAC	DDR
DFO	DFT	DOH	DON	EAB	EDI	EMT	EON	EPI	ERI	ESV	ETR
EUO	EZT	FAR	FAU	FER	FRA	GIS	GIU	GME	GON	GOO	HEU
IFR	IHW	IMF	ISV	ITE	ITH	ITW	IWR	IWV	IWW	JBW	KFI
LAU	LEV	LIO	LIT	LOS	LOV	LTA	LTN	LTN	MAR	MAZ	MEI
MEL	MEP	MER	MFI	MFS	MON	MOR	MOZ	MSE	MSO	MTF	MTN
MTT	MTW	MWW	NAB	NAT	NES	NON	NPO	NSI	OBW	OF	OSI
OSO	OWE	PAR	PAU	PHI	PON	RHO	RON	RRO	RSN	RTE	RTH
RUT	RWR	RWY	SAO	SAS	SAT	SAV	SBE	SBN	SBS	SBT	SFE
SFF	SFG	SFH	SFN	SFO	SGT	SIV	SOD	SOS	SSF	SSY	STF
STI	*STO	STT	SZR	TER	THO	TOL	TON	TSC	TUN	UEI	UFI
UOZ	USI	UTL	VET	VFI	VNI	VSV	WEI	WEN	YUG	ZON	

- + variabilita složení skeletu
- + různé typy kationtů
- + nové struktury

obrovská variabilita
a
potenciál pro praktické aplikace

obecné zákonitosti
možnost předpovědi

Ζεολίτε

Barrer
1948

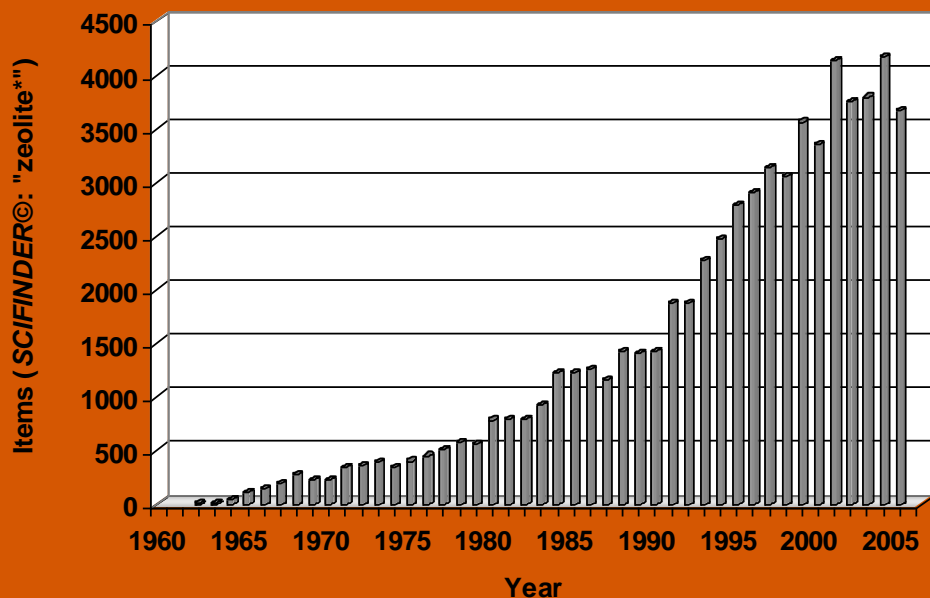
1756

Cronstedt

65 let syntetických zeolitů



zásadní dopad na materiálový výzkum a katalýzu



rozmach vědeckých aktivit



převrat v petrochemickém průmyslu



vznik nové vědecké komunity



International Zeolite Association

Ζεολιτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

60 let syntetických zeolitů



zásadní dopad na materiálový výzkum a katalýzu



950 prezentovaných příspěvků
730 účastníků
60 zemí



rozmach vědeckých aktivit



převrat v petrochemickém průmyslu



vznik nové vědecké komunity



Ζεολιτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



Děkuji za pozornost

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

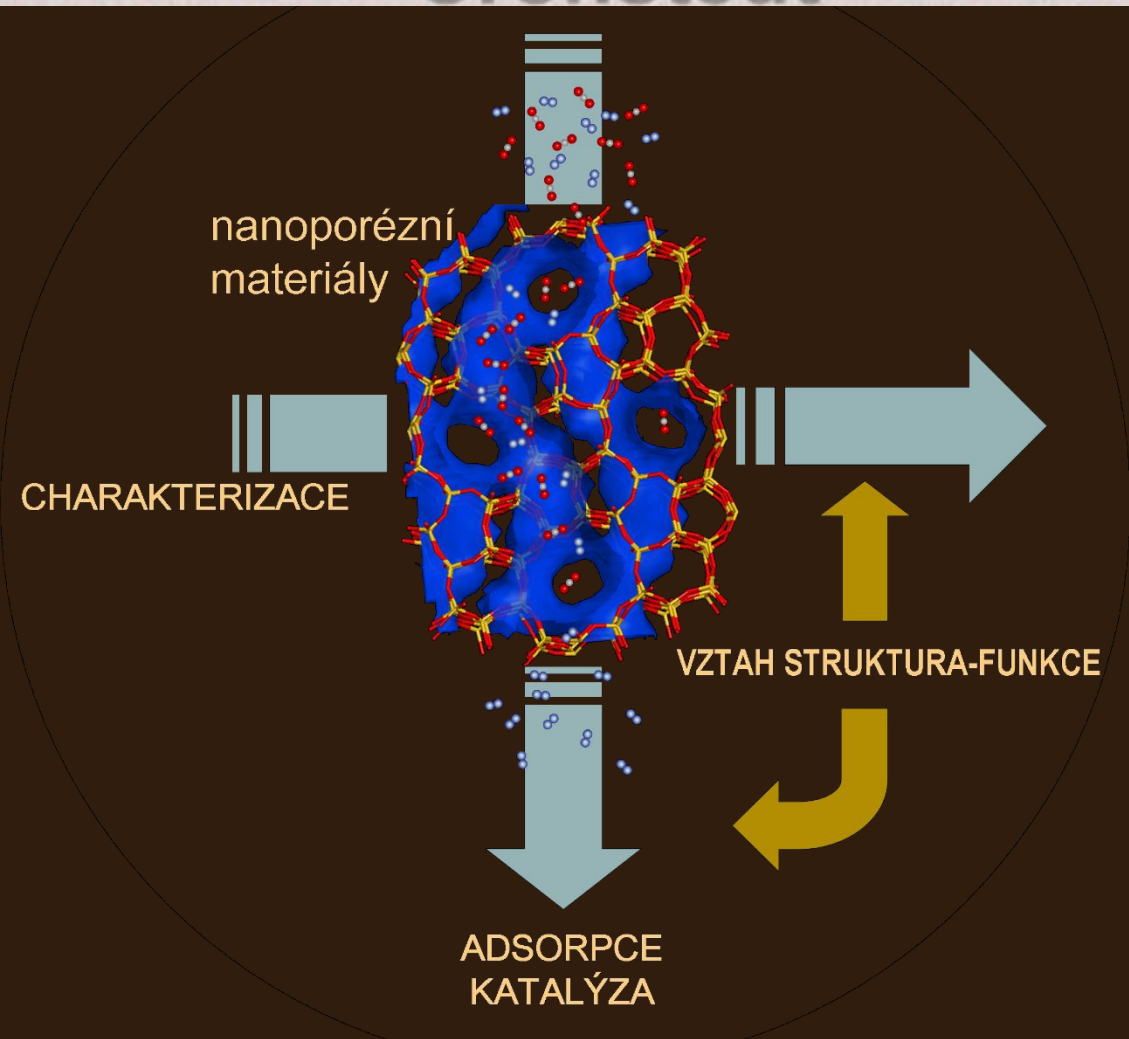


nanoporézní
materiály

CHARAKTERIZACE

VZTAH STRUKTURA-FUNKCE

ADSORPCE
KATALÝZA



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



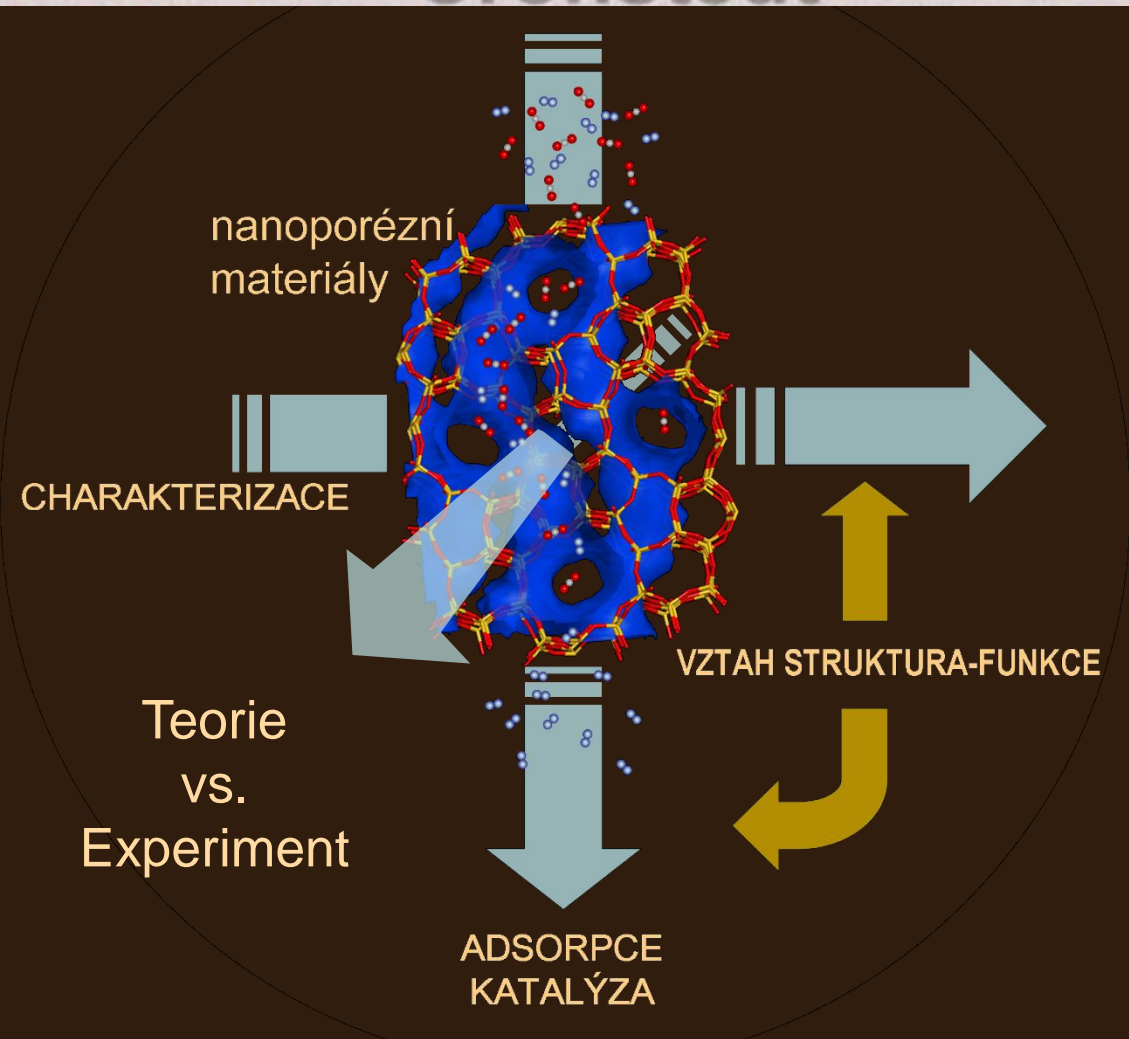
nanoporézní
materiály

CHARAKTERIZACE

VZTAH STRUKTURA-FUNKCE

Teorie
vs.
Experiment

ADSORPCE
KATALÝZA



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



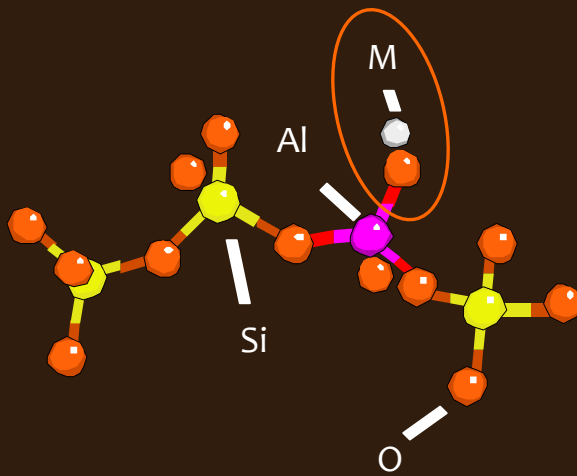
nanoporézní
materiály

CHARAKTERIZACE

Teorie
vs.
Experiment

ADSORPCE
KATALÝZA

VZTAH STRUKTURA-FUNKCE



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

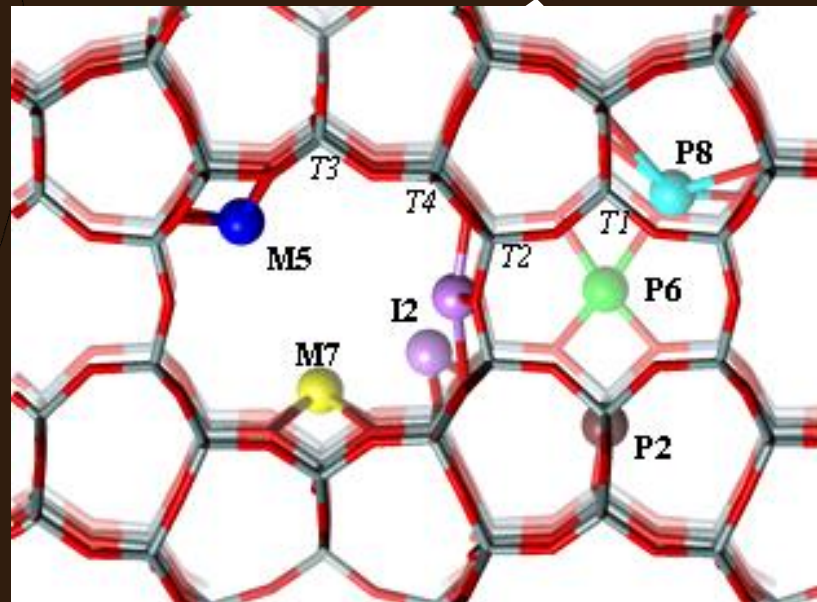
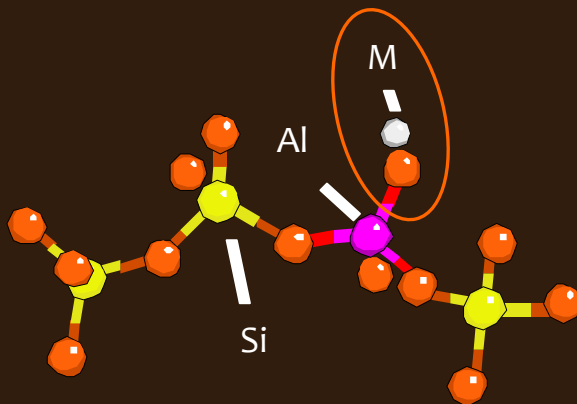
nanoporézní
materiály

CHARAKTERIZACE

Teorie
vs.
Experiment

ADSORPCE
KATALÝZA

VZTAH STRUKTURA-FUNKCE

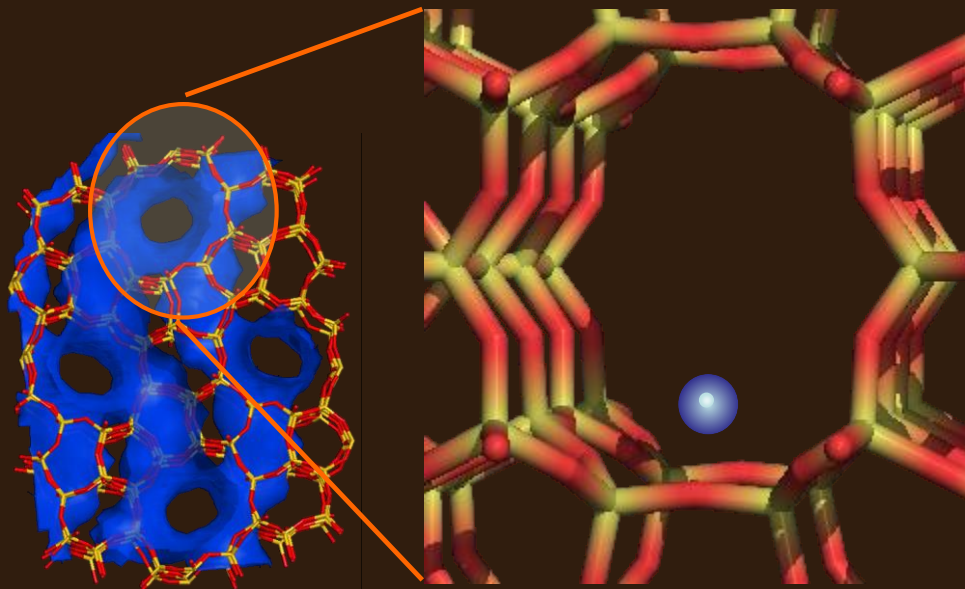


Ζεολίτε




Barrer
1948

1756

Cronstedt



testovací molekula

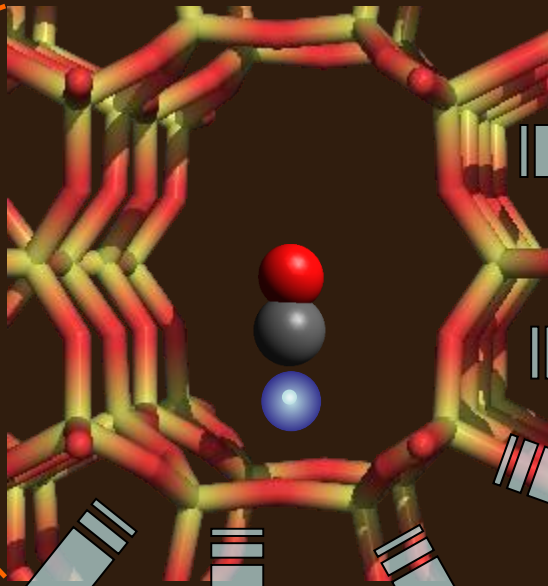
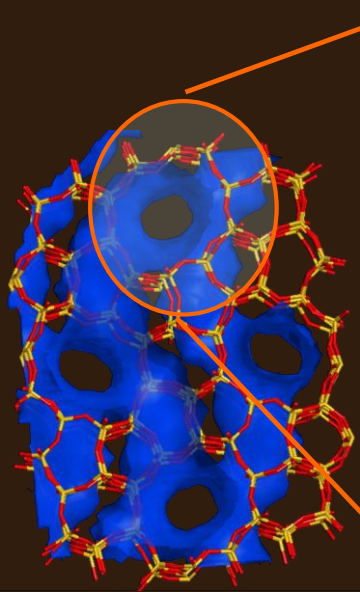
-  specifická adsorpce či reaktivita
-  vlastnosti citlivé na koordinaci
-  snadná sledovatelnost

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt



IČ spektroskopie

DR UV-vis spektroskopie

Teplotně programované
techniky

katalýza

volumetrie

kalorimetrie

Ζεολιτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Project EXCELLENCE

InDeNAC

Intelligent Design of Nanoporous
Adsorbents and Catalysts

nové/hierarchické zeolity

Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

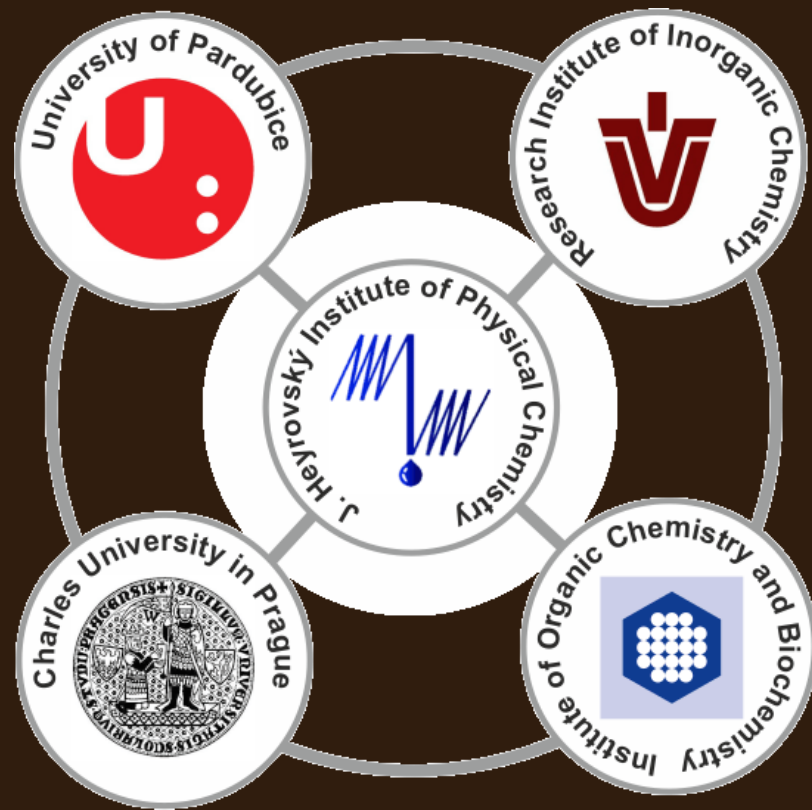
Cronstedt

Project EXCELLENCE

InDeNAC

Intelligent Design of Nanoporous
Adsorbents and Catalysts

nové/hierarchické zeolity



Ζεολίτε

Barrer
1948

1756

Cronstedt

Project EXCELLENCE

InDeNAC

Intelligent Design of Nanoporous
Adsorbents and Catalysts

nové/hierarchické zeolity

