

**2000 min<sup>-1</sup>  
max. rychlost**  
**jedinečné kapalinové  
chlazení**

## VYSOKOENERGETICKÉ KULOVÉ MLÝNY

MLETÍ A MĚŘENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC  
V NANOVELIKOSTECH

$10^{-9}m$

$10^{-6}m$

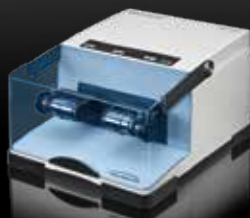
$10^{-3}m$



VYSOKOENERGETICKÝ KULOVÝ MLÝN  
E<sub>max</sub>



PLANETOVÝ KULOVÝ MLÝN  
PM 100



OSCILAČNÍ MLÝN  
MM 400



CRYOMILL



PLANETOVÝ KULOVÝ MLÝN  
PM 400



**Milí čtenáři, zákazníci a obchodní partneři,**

Výrobky z nanočástic se staly součástí našeho všedního života, proto je otázka nanovelikostí částic velkým problémem dneška. Ultra jemné částice lze najít v opalovacích krémech, textilích, lécích nebo barvách a jiných produktech. Nanotechnologie je důvod, proč tyto materiály a produkty získávají nové vlastnosti a jsou dále zlepšovány.

RETSCH a RETSCH TECHNOLOGY se také zaměřují na nanotechnologie! Revoluční konstrukce nového vysokoenergetického kulového mlýnu **E<sub>max</sub>** umožňuje přípravu nanočástic ve zlomku času oproti srovnatelným typům mlýnů. E<sub>max</sub> může být provozován až s 2000 otáčkami za minutu, což je absolutní novinkou u kulových mlýnů. U tohoto mlýnu zjistíte, jak konstruktéři RETSCH spojili maximální energii rozmělnování s inovovaným chladicím systémem, přičemž tento mlýn může být používán nepřetržitě, aniž by došlo k poškození!

Mletí částic na nanovelikost lze dosáhnout také pomocí planetového kulového mlýnu od fy RETSCH. Neuvádíme pouze informace o našich kulových nebo oscilačních mlýnech, ale také popisujeme jak úspěšně aplikovat vysoké energie jako jsou mechanické slévání a koloidní mletí.

Doufáme, že Vás následující čtení bude bavit!

Váš

Dr. Jürgen Pankratz  
Ředitel VERDER SCIENTIFIC

# OBSAH

**VYSOKOENERGETICKÝ KULOVÝ MLÝN E<sub>max</sub> – REVOLUCE V REDUKCI MALÝCH ČÁSTIC**

**STRANA 04**



Nová dimenze vysoce výkonného mletí: 2000 otáček za minutu vytvoří velmi jemné částice za krátký čas v kombinaci s vysoce efektivním chladicím systémem.

**PLANETOVÝ KULOVÝ MLÝN – KLASICKÝ NÁSTROJ PRO ROZMĚLNĚNÍ**

**STRANA 08**



Planetový princip poskytuje vysokou energii pro produkování částic až do velikosti submikronového rozsahu. Vytváří ideální podmínky pro mechanické slévání a koloidní mletí.

**MECHANICKÉ SLÉVÁNÍ**

**STRANA 10**

Vysokoenergetické kulové mlýny a planetové kulové mlýny poskytují požadovanou kinetickou energii pro mechanické slévání. RETSCH nabízí PM 400 MA, který je specificky navržen pro toto použití.

**PRODUKCE NANOČÁSTIC KOLOIDNÍM MLETÍM**

**STRANA 12**

Chcete-li ještě více zmenšit částice, je doporučeno použití vysokoenergetického nebo planetového kulového mlýnu. Pro úspěšné mletí částic do nanovelikosti je také důležité vybrat vhodné mlecí nástroje a mlecí koule.

**OSCILAČNÍ MLÝN MM 400 – VŠESTRANNÝ POMOCNÍK PRO MALÁ MNOŽSTVÍ**

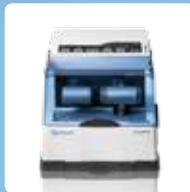
**STRANA 14**



Pokud požadujete okamžitou a efektivní homogenizaci malých množství vzorků, je oscilační mlýn nejlepším výběrem.

**CRYOMILL – MLETÍ S CHLAZENÍM**

**STRANA 16**



Pokud nelze vzorek mlít při pokojové teplotě, je Cryomill řešením. Lze jím mlít tuhé a elastické materiály stejně dobře jako vzorky obsahující těkavé látky.

**PŘÍKLADY POUŽITÍ KULOVÝCH MLÝNŮ A OSCILAČNÍCH MLÝNŮ**

**STRANA 18**

Kulové a oscilační mlýny RETSCH jsou vhodné pro velkou škálu vzorků materiálů. Široký výběr příslušenství zajišťuje optimální přizpůsobení požadavkům aplikace.

## MALÉ ČÁSTICE – VELKÝ EFEKT: MLETÍ NA NANOVELIKOSTI

Nanotechnologie prochází nejvíce inovovanými vývoji, které přináší revoluci v odvětvích, jako jsou vědy o materiálech, farmacie, potraviny, barviva nebo technologie polovodičů. Nanotechnologie se zabývá částicemi o velikosti 1 až 100 nm. Tyto částice mají vzhledem ke své velikosti speciální vlastnosti, protože jejich povrch je velmi zvětšený ve vztahu k jejich objemu (tzv. "velikostí vyvolané funkce"). Jemné částice jsou například tvrdší a více odolné proti rozlomení než větší částice. Nanotechnologie přináší efekty, které se vyskytují v přírodě, jako je například lotosový efekt: tkaniny s nanovrstvou nebo barvy odpuzují vodu a nečistoty stejně jako lotosový květ.

# N A N A N O

Jak se produkují nanočástice? Metoda "bottom-up" syntetizuje částice z atomů nebo molekul. Metoda "top-down" zahrnuje zmenšení velikosti větších částic do řádu nanometrů, například laboratorními mlýny. Vzhledem k jejich značně velké ploše ve vztahu k objemu jsou malé částice k sobě přitahovány svými elektrostatickými náboji.

Nanočástice jsou vytvořeny koloidním mletím, které zahrnuje disperzi částic v kapalině a neutralizuje tak povrchové náboje. Jak voda, tak alkohol mohou být použity jako dispergační médium v závislosti na materiálu vzorku. V některých případech je možné neutralizovat

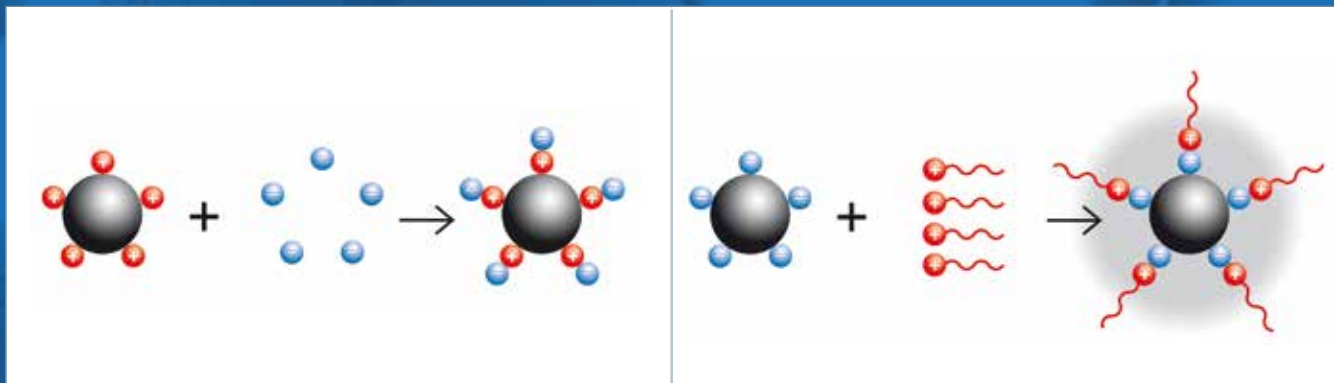
povrchový náboj pouze přidáním pufru, jako je fosforečnan sodný nebo molekuly s delšími řetězci, jako je kyselina diaminopimelová (elektrostatická nebo sterická stabilizace).

RETSCH disponuje vhodnými planetovými kulovými mlýny a vysokoenergetickým kulovým mlýnem **E<sub>max</sub>** potřebnými pro výrobu nanočástic. Nejdůležitějšími kritérii pro použití jsou:

- materiál mlecích nástrojů
- velikost mlecích koulí
- mlecí koule / vzorek / poměr dispergačního činidla
- čas mletí
- příkon

Velkou výhodou E<sub>max</sub> je inovační chladicí systém, který se zbavuje velkého množství třecího tepla vznikajícího mletím.

Komfortní mlecí nádoby používané v planetových kulových mlýnech jsou ideálně přizpůsobeny pro koloidní proces mletí. Díky těsnícím „O“ kroužkům neunikne žádná kapalina ani v případě vysokých tlaků, které vznikají uvnitř nádoby. Příruby na přenášení zajistí lehký transport. Speciální bezpečnostní zavírání dělá použití mlecích nádob bezpečným.



Neutralizace nabitých částic přidáním pufru (elektrostatická stabilizace, vlevo)  
Nebo přidáním dlouhých řetězců molekul (stabilizace sterická, vpravo)

# E<sub>max</sub>

REVOLUCE V ULTRAJEMNÉM MLETÍ

**2000 min<sup>-1</sup>  
max. rychlost**  
**jedinečné kapalinové  
chlazení**

E<sub>max</sub> je zcela nový typ kulového mlýnu, který byl speciálně navržen pro vysokoenergetické mletí. Rychlost mletí je až 2000 min<sup>-1</sup>, což se nevyskytuje u žádného jiného typu mlýnu. V kombinaci se speciální mlecí nádobou generuje velké množství redukční energie. Jedinečná kombinace vlivu tření a pohybu mlecích nádob poskytuje výsledky v podobě jemných částic za zlomek času. Díky novému chladičímu systému je přebytek tepelné energie odveden, a tím nemůže dojít k přehřátí vzorku a to ani po delší době mletí.

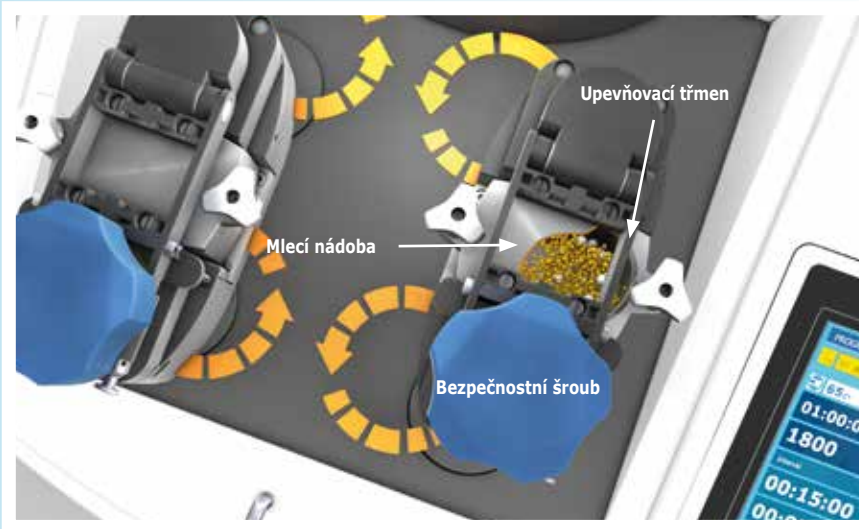
Vysokoenergetický mlýn E<sub>max</sub> je ideální pro nepřetržité mletí. Mlýn nepožaduje přestávky na ochlazení, což snižuje dobu mletí ve srovnání s planetovými mlýny. Extrémně vysoké otáčky 2000 min<sup>-1</sup> spolu s jedinečným chlazením kapalinou poskytuje ideální podmínky pro mechanické slévání a koloidní mletí až do řádu nanometrů.



Obr. 1: E<sub>max</sub> má dvě mlecí stanice

E<sub>max</sub>

Video produktu E<sub>max</sub>  
na [www.retsch.cz/emax](http://www.retsch.cz/emax)



Obr. 2: Upevňovací třmen nádoby je připevněn na dvou discích, každý se stejným směrem otáčení. V důsledku toho se nádoby pohybují po kruhu bez změny jejich orientace. Čtyřlůžkový excentrický pohon zajišťuje přesný asynchronní pohyb mlecích nádob. Hmotnostní síly jsou eliminovány integrovanými protiváhami.

## FUNKČNÍ PRINCIP

Mechanismus redukce velikosti u **Emax** spojuje výhody různých typů mlýnů: vysokofrekvenční oscilace (oscilační mlýn), intenzivní tření (vibrační diskový mlýn) a kontrolovaný kruhový pohyb mlecí nádoby (planetový kulový mlýn) zajistí bezkonkurenční výkon mletí. Tato jedinečná kombinace je generována oválným tvarem a pohybem mlecích nádob. Držáky mlecích nádob jsou umístěny na dvou discích, kde každý se otáčí ve stejném směru. V důsledku toho se nádoby pohybují po kruhové dráze bez změny jejich orientace. Souhra geometrie mlecí nádoby a pohybu způsobuje silné tření mezi mlecími koulemi, vzorkem materiálu a stěnami nádoby, stejně jako rychlou akceleraci, která umožňuje dopad koule velkou silou na vzorek na zakulacených koncích nádob. Tím se výrazně zlepšuje promíchávání částic, které vede k zmenšení velikosti částic mletím a užší distribuci velikosti částic, než které se dosáhne v kulových mlýnech.

## HIGHLIGHTS

- Rychlejší a jemnější mletí než u jiných kulových mlýnů
- Rychlost do 2000 min<sup>-1</sup> poskytuje ultra rychlé rozmělnění vzorku
- Inovativní chlazení vodou umožňuje nepřetržitý provoz bez přestávek na ochlazení
- Úzká distribuce částic díky speciální konstrukci mlecí nádoby, která zlepšuje homogenitu vzorku
- Mlecí nádoby s integrovaným bezpečnostním uzávěrem
- Jednoduché ovládání pomocí dotykové obrazovky, paměť pro 10 SOPs
- Mlecí nádoby jsou z materiálu, který zabraňuje znečištění vzorku

Obr. 3: Speciální geometrie mlecí nádoby zajišťuje lepší homogenitu vzorku.



## Technická Data



www.retsch.cz/emax	
Aplikace:	Redukce velikosti, homogenizace, nano mletí, mechanické slévání, koloidní mletí
Velikost mletých částic vzorku*:	<5 mm
Konečná jemnost*:	<80 nm
Velikost dávky*:	max. 2 x 45 ml
Počet mlecích pozic:	2
Velikost mlecích nádob:	50 ml / 125 ml
Rychlost:	300 – 2000 min <sup>-1</sup>
Chlazení:	Kontrolovaný integrovaný vodní chladič systém možnost: externí chladič
Typ mlecích nádob:	S integrovaným bezpečnostním uzávěracím zařízením, možnost: odvzdušňovací kryty
Materiál mlecích nástrojů:	Nerezová ocel, karbid wolframu, oxid zirkoničitý
Skladování SOPs:	10
Rozměry (Š x V x H):	625 x 525 x 645 mm
*závisí na materiálu vzorku a nástroje, konfiguraci/nastavení	

## RYCHLÝ – JEMNĚJŠÍ – $E_{max}$

### Test ochranné známky: jemnost a čas mletí

Mletí ve velikostech v řádu nanometrů lze dosáhnout pouze pomocí mokrého mletí (viz článek o koloidním mletí, str. 12). Pro tuto metodu se používá velký počet mlecích koulí s  $\varnothing$  0,1 mm do 3 mm k vytvoření co největšího tření. Výsledná mlecí energie je zvýšena ještě vysokou rychlostí 2000  $\text{min}^{-1}$ . Vysoké energie je plně využito jako jedinečného chlazení kapalinou, které rychle odvede teplo tření. Bez efektivního chlazení by mohlo dojít k přehřátí vzorku a mlýnu. V závislosti na vlastnostech zkoumané látky a mlecím režimu se chladicí přestávky doporučují pro běžné planetové kulové mlýny na cca. 60 % z celkové doby mletí, aby se zabránilo přehřátí.  $E_{max}$  je vhodný pro kontinuální mletí bez přestávky díky účinnému chlazení kapalinou.

Ve srovnávací studii se pigment oxidu titaničitého rozetře v nejsilnějším planetovém kulovém mlýně a v  $E_{max}$  (50 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 110 g odpovídající mlecí koule 0,1 mm  $\varnothing$  10 g vzorku, 15 ml 1% fosforečnanu sodného).

Po 30 minutách byla hodnota  $d_{90}$  vzorku z  $E_{max}$  87 nm. Planetový kulový mlýn dosáhl velikosti mletí pouhých 476 nm po uplynutí této doby (bez chladicí přestávky). Jemnost mletí je tedy u  $E_{max}$  5 krát vyšší, než je konečná jemnost planetového kulového mlýnu (obr. 4).

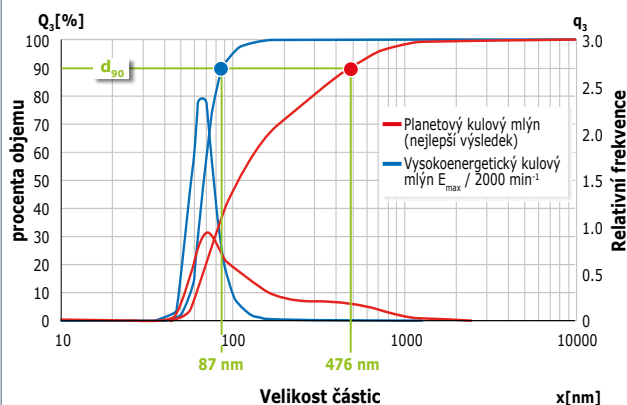
### Test ochranné známky: čas mletí

Lepší výsledky  $E_{max}$  jsou ještě viditelnější při pohledu na dobu mletí. Obrázek 5 ukazuje výsledky mletí grafitu v  $E_{max}$  při 2000  $\text{min}^{-1}$  (50 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 110 g odpovídající mlecí koule 0,1 mm  $\varnothing$ , 5 g vzorku, 13 ml isopropanolu) a v nejsilnějším planetovém kulovém mlýnu. Grafit je mazivo, a proto vyžaduje mimořádně vysoký energetický vstup pro zmenšení velikosti. Již po 1 hodině mletí obsahovalo 90% vzorku z  $E_{max}$  jemnost 13  $\mu\text{m}$ . Této velikosti bylo dosaženo mletím v planetovém kulovém mlýnu až po 8 hodinách mletí (bez chladicích přestávek). Pokud jde o konečnou jemnost dosaženou v  $E_{max}$  po 8 hodinách mletí, jeho vynikající výkon je opět zcela zřejmý: S hodnotou  $d_{90}$  1,7  $\mu\text{m}$  velikosti mletí je 7 krát jemnější než jaké se dosahuje v planetovém kulovém mlýnu (12,6  $\mu\text{m}$ ).

**Oxid titaničitý:  
5 x jemnější**

### Mletí oxidu titaničitého v $E_{max}$ a planetovém mlýnu

	$d_{10}$	$d_{50}$	$d_{90}$
$E_{max}$ (po 30 min.)	57 nm	69 nm	87 nm
Planetový kulový mlýn (po 30 min. bez chladicích přestávek)	66 nm	105 nm	476 nm

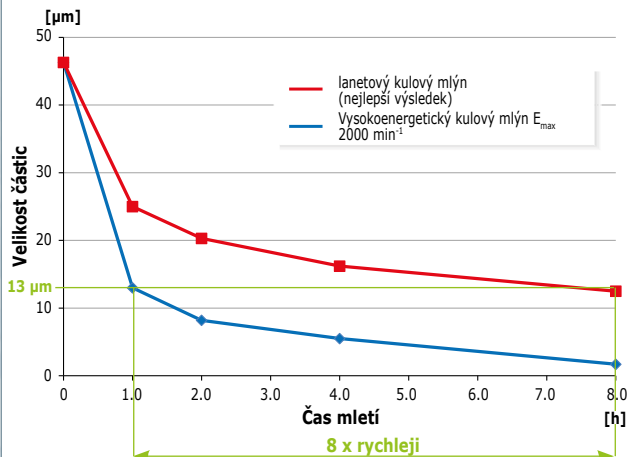


Obr. 4:  $E_{max}$  rozmělnil vzorek nejen rychleji a na jemnou velikost, ale také produkuje podstatně užší distribuci velikosti částic.

**Grafit:  
8 x rychleji  
7 x jemnější**

### Porovnání doby mletí a výsledné jemnosti v $E_{max}$ a planetovém mlýnu

Čas mletí	1 h	2 h	4 h	8 h
$E_{max}$				1.7 $\mu\text{m}$
Konečná jemnost	13.0 $\mu\text{m}$	8.2 $\mu\text{m}$	5.5 $\mu\text{m}$	
Planetový kulový mlýn (bez chladicích přestávek)				12.6 $\mu\text{m}$
Konečná jemnost	25.0 $\mu\text{m}$	20.3 $\mu\text{m}$	16.2 $\mu\text{m}$	



Obr. 5: Rozmělnění grafitu. Vodou chlazený  $E_{max}$  je lepší než planetový kulový mlýn bez chlazení a to jak v rychlosti mletí, tak jemnosti mletých částic.

## VYSOCE ÚČINNÉ KAPALINOVÉ CHLAZENÍ

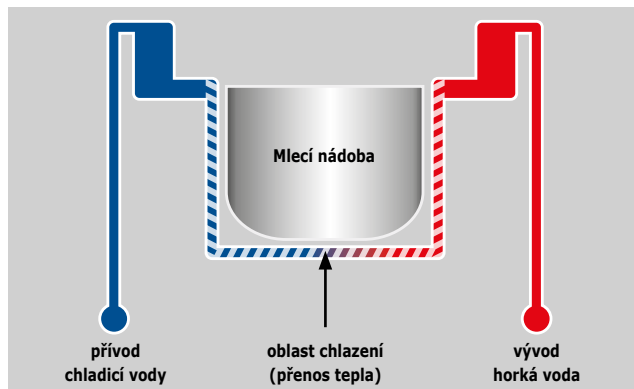
Mlecí nádoby mlýnu  $E_{max}$  jsou chlazeny **integrováním chladicím systémem**. Pro další snížení teploty může být mlýn připojen k výměníku tepla nebo ke zdroji tekoucí vody. Obrázek 6 ukazuje chladicí obvod  $E_{max}$ . Mlecí nádoby jsou chlazeny pomocí držáků nádob. **Chladicí systém je velmi účinný, protože teplo je lépe odjímáno vodou než vzduchem.**

Software  $E_{max}$  umožňuje uživateli provádět proces mletí v definovaném teplotním rozsahu, např. může stanovit minimální a maximální teploty. Je-li překročena maximální teplota,

mlýn automaticky zastaví a znovu se spustí po dosažení minimální teploty.

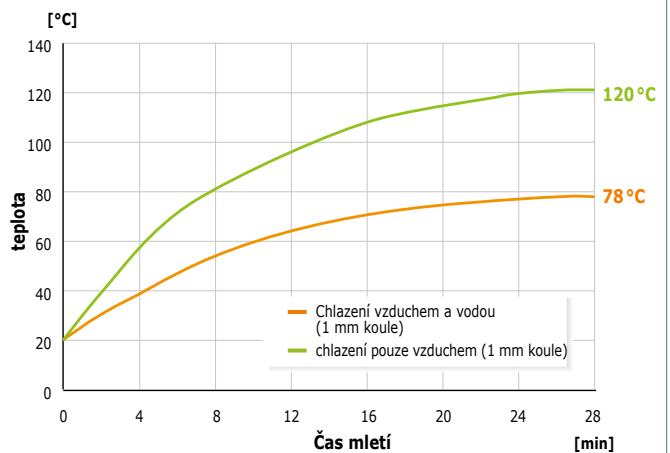
Chlazení může být zásadní výhodou, a to zejména v případě, kdy jsou zpracovány vzorky citlivé na teplo, nebo byl přidán isopropanol do vzorku (obr. 7). Isopropanol se odpaří při 82 °C a tlak uvnitř nádoby se značně zvýší. Zůstává-li teplota pod tuto hodnotou, tlak uvnitř nádoby je snížen a požadavky na těsnění jsou také nižší. Mlecí nádoby mohou být otevřeny krátce po dokončení mletí.

**Systém chlazení  $E_{max}$**



Obr. 6: Mlecí nádoby jsou chlazený pomocí držáku nádob.

**Mletí grafitu za mokra v  $E_{max}$**



Obr. 7: Pokud se mele grafit s isopropanolem (50 ml nádoba, 1 mm koule, 5 g vzorku), zahřátí mlecí nádoby by mělo být omezeno na 78 °C pomocí kapalného chlazení. Bez chlazení vodou by teplota byla 120 °C.

## MAXIMÁLNÍ BEZPEČNOST

Během vývoje produktu  $E_{max}$  byla věnována zvláštní pozornost bezpečnosti provozu. Postavení mlecí nádoby je automaticky sledováno, takže mlýn nelze spustit, pokud pozice není správná. Žádné protizávaží není nutné k provozu  $E_{max}$ . Možné nerovnováhy jsou řízeny za všech okolností. Mlýn

automaticky zastaví, pokud se nerovnováhy stanou příliš silné. Zobrazí se zbývající doba mletí a proces může být znovu zahájen, jakmile je rovnováha obnovena.

## Závěr

$E_{max}$  otevírá novou dimenzi ve vysokoenergetickém mletí. Unikátní kombinace tření a rázu stejně jako revoluční rychlost 2000 min<sup>-1</sup>, zajistí výrobu jemných částic v nejkratším možném čase. Díky bezkonkurenčnímu chlazení kapalinou může  $E_{max}$  generovat podstatně více energie při mletí než konvenční planetové kulové mlýny, aniž by došlo k přehřátí. Vodní chlazení navíc umožňuje významné zkrácení doby mletí ve srovnání s kulovými mlýny bez chlazení, které vyžadují mletí s přestávkou. Příklady uvedené v tomto článku ukazují, že  $E_{max}$  dosáhne požadované velikosti mletí ve zlomku času oproti srovnání s kulovými mlýny.

## KLASICKÝ NÁSTROJ PRO ZMENŠOVÁNÍ ČÁSTIC

# PLANETOVÉ KULOVÉ MLÝN

Planetové kulové mlýny RETSCH se používají všude tam, kde se vyskytují nejvyšší nároky na rychlost, jemnost, čistotu a reprodukovatelnost. Rozdrťí a homogenizují měkký, středně tvrdý až velmi tvrdý, křehký a vláknitý materiál a snadno dosáhnou konečné jemnosti v rozsahu mikronů. Je možné mletí za mokra a dokonce i mletí na velikosti v řádu nanometrů. Kromě klasického mletí, aké splňují všechny požadavky na koloidní mletí a mají potřebné energetické vstupy pro mechanické slévání.

### HIGHLIGHTS

- Výkonné a rychlé mletí až do submikronového rozsahu
- Reprodukovatelné výsledky díky řízení energie a rychlosti
- Vhodné pro dlouhodobé zkoušky a kontinuální používání
- Vhodné pro suché i mokré mletí
- Široký výběr materiálů pro neutrální analýzu

### VÝBĚR MODELU & ROZSÁHLÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ

RETSCH nabízí celou řadu planetových kulových mlýnů. Mlýny **PM 100**, **PM 100 CM** a **PM 200** jsou stolní modely s jednou nebo dvěma mlecími stanicemi. PM 100 CM pracuje v odstředivém režimu, tj. poměr rychlosti centrálního kola a mlecí nádoby je 1:-1. To vede k dosažení malé velikosti částic s menší abrazí. **PM 400** je podlahový model s dvěma nebo čtyřmi mlecími pozicemi, který umožňuje mlít až osm vzorků současně - vrstvením mlecích nádob. Pro generování vysokého energetického vstupu, které je požadováno pro mechanické slévání, je PM 400 k dispozici v provedení "MA" s poměrem otáček 1:-2.5 nebo 1:-3.

plynotěsným laboratorním zařízením a zajišťuje bezpečný transport mlecí nádoby.

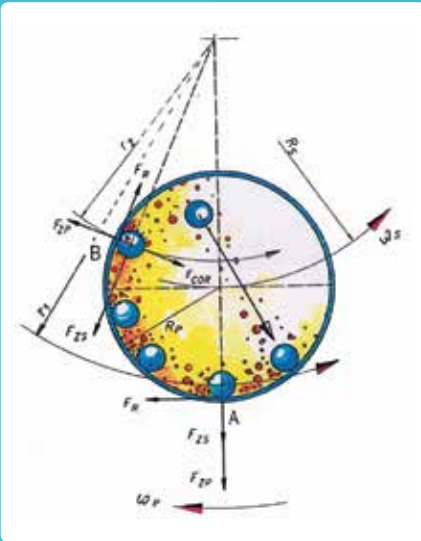
Pro mletí za inertních podmínek jsou k dispozici odvzdušňovací víka. Ty umožňují zavedení plynu jako je argon nebo dusík do mlecí nádoby.

Řada mlecích nádob "Comfort" byla speciálně navržena pro extrémní pracovní podmínky, jako jsou dlouhodobé zkoušky, mokré mletí, vysoké mechanické zatížení, maximální rychlost, stejně jako pro mechanické slévání. Široká škála materiálů a velikostí (12 ml - 500 ml), a to i mlecích koulí, umožňuje do značné míry přípravu pro neutrální analýzu přizpůsobenou požadavkům aplikace. Vzhledem k těsnícím O-kroužkům jsou všechny mlecí nádoby "comfort" plynotěsné a prachotěsné.

Pro koloidní mletí se doporučuje použití mlecí nádoby se speciálním uzavíracím zařízením. To umožňuje manipulaci s



## "PLANETOVÝ PRINCIP"



V planetovém kulovém mlýnu, každá mlecí nádoba představuje "planetu". Tato planeta se nachází na kruhové plošině, tzv. sluneční kola. Když se centrální kolo otáčí, každá mlecí nádoba se otáčí kolem své vlastní osy ale v opačném směru. Tak se aktivují odstředivé a Coriolisovy síly, což vede k rychlému zrychlení mlecích koulí (viz obr. 1).

Výsledkem je velmi vysoká energie, která umožňuje rozmělnění na velmi jemné částice. Enormní zrychlení mlecích koulí dopadajících z jedné stěny

Obr. 1: V planetovém kulovém mlýnu umožňují odstředivé a Coriolisovy síly mletí až do submikronového rozsahu.

nádoby na druhou vytváří silný vliv na vzorek materiálu a vede k dodatečnému účinku tření. Pro koloidní mletí a většinu ostatních aplikací je poměr mezi rychlostí centrálního kola a rychlostí mlecí nádoby 1:-2. Pro aplikace, kde je třeba dosáhnout vyššího příkonu energie, jsou určeny planetové kulové mlýny s jinými poměry, jakož i vysoce výkonné kulové mlýny jako je například E<sub>max</sub>.

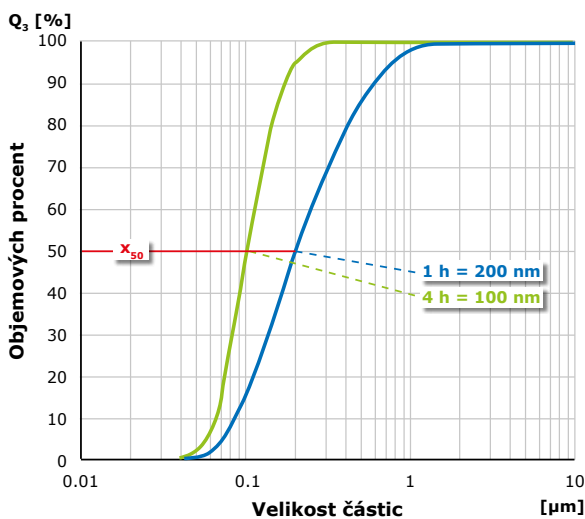
## KONEČNÁ JEMNOST V ROZMEZÍ NANOMETRŮ

Obrázek 2 ukazuje výsledek mletí oxidu hlinitého Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> při 650 min<sup>-1</sup> v mlýnu PM 100. Po jedné hodině mletí ve vodě s mlecími koulemi 1 mm byla střední hodnota distribuce velikosti částic 200 nm; po 4 hodinách to bylo 100 nm. V další

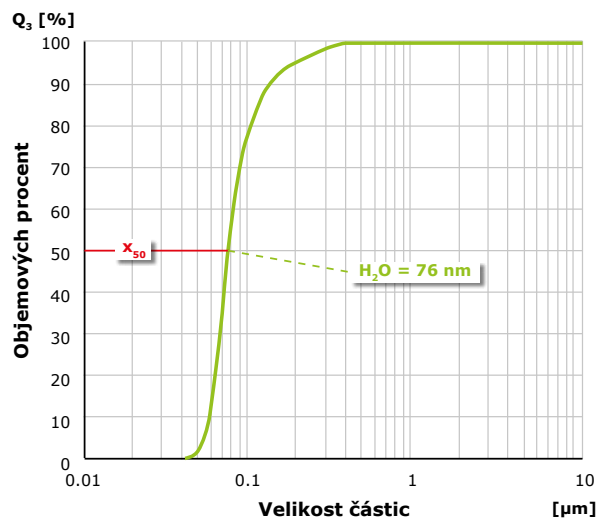
studii byl materiál mletý po dobu 1 hodiny s 1 mm mlecími koulemi, a pak po dobu 3 hodin s 0.1 mm mlecími koulemi (viz obr. 3). V tomto případě bylo dosaženo průměrné hodnoty 76 nm. Výsledky mletí ukazují, že planetové kulové mlýny

můžou produkovat velikosti částic v řádu nanometrů. Volba správné velikosti koulí hraje klíčovou roli pro úspěšné mletí do nanovelikostí.

## Koloidní mletí oxidu hlinitého v mlýnu PM 100



Obr. 2: Mletí oxidu hlinitého ve vodě s 1 mm mlecími koulemi (vlevo) po dobu 1 hodiny (modře) a po 4 hodinách (zeleně)



Obr. 3: Mletí oxidu hlinitého s 1 mm mlecími koulemi (1 hodina) a poté s 0.1 mm koulemi (3 hodiny) ve vodě

## Závěr

Planetové kulové mlýny jsou vhodné pro klasickou homogenizaci a zmenšování velikosti částic v procesech, kde je vyžadována vysoká energie. Jsou vhodné pro suché i mokré mletí; uvedených hodnot nanočástic lze dosáhnout v závislosti na materiálu vzorku. RETSCH nabízí různé modely a rozsáhlé příslušenství, které tvoří planetové mlýny univerzálně použitelné.

# MECHANICKÉ SLÉVÁNÍ



Vysokoenergetický kulový mlýn  
E\_max

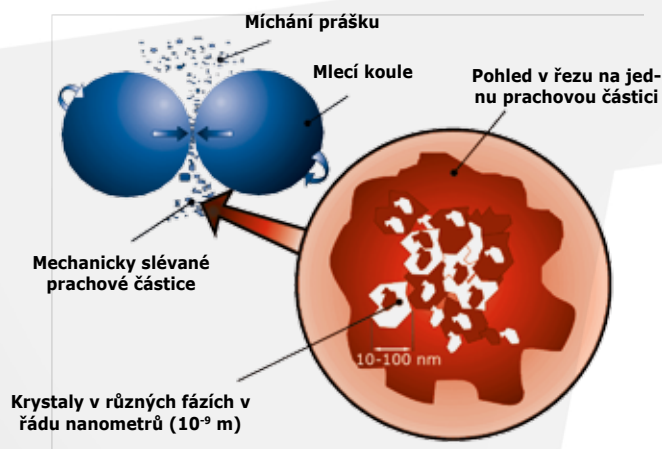


Planetový kulový mlýn  
PM 400

Slitiny, jako Amalgám v zubním lékařství nebo nerezová ocel, jsou všeobecně známy a využívány. Tradiční způsob, jak vyrábět slitiny, je sloučit složky při velmi vysokých teplotách. Pokud se vyžaduje pouze malé množství nebo v případě, že slitiny nemohou být fúzovány tavením, je mechanické slévání vhodnou alternativou. Pro tuto aplikaci jsou ideální kulové mlýny. Poskytují vysoký přísun energie v důsledku rázu a tření, které se vyskytují při mletí. Mechanický vliv je také výhodný v mechanochemii, například pro vznik chemické reakce bez použití rozpouštědel.

## CO SE DĚJE BĚHEM MECHANICKÉHO SLÉVÁNÍ?

První slitina (bronz) byla vyrobena v roce 3,300 př.n.l. V dnešní době existuje množství slitin, které jsou charakterizovány optimálními vlastnostmi. Některé komponenty mohou být míchány, když změknou a zůstávají rozpuštěny v sobě a vytvoří tak smíšenou krystalickou strukturu. Nové možnosti, např. lepší tvrdost slitiny, jsou výsledkem legování atomů jednoho prvku vstupujících do krystalové mřížky základního prvku. Vzhledem k různému průměru atomů je mřížka ve směsných krystalech narušena, takže jsou narušeny kluzné roviny a kov se stává tvrdší, ale také křehčí.



Obr. 1: Princip mechanického slévání

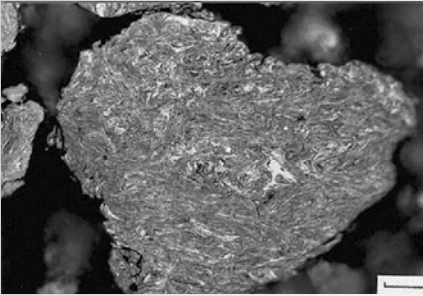
## MECHANICKÉ SLÉVÁNÍ V KULOVÝCH MLÝNECH

Co v případě, že komponenty nemohou být slévány roztavením? Například, pokud je teplota tání jednoho komponentu rozdílná tak, že druhý komponent se může již začít vypařovat? V pozdních šedesátých letech 20. století byly poprvé vyrobeny slitiny feroniklu mechanickým sléváním za účelem získat materiály s maximální teplotní odolností. Mechanické slévání používá intenzivní kinetické procesy k fixaci komponentů ve formě prášků (obr. 1). Planetové kulové mlýny a

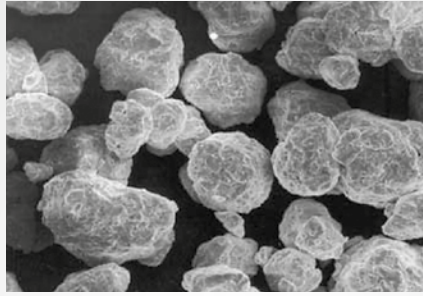
vysokoenergetický kulový mlýn E\_max poskytnou požadovaný vstup energie se silnými účinky dopadu. Částice prášku jsou plasticky deformovány mezi mlecími koulemi a fúzovány navzájem silnými kinetickými procesy. Planetový kulový mlýn PM 400 MA má rychlostní poměr 1:-3, což dále zvyšuje účinky dopadu, a proto se tento mlýn ideálně hodí pro mechanické slévání.

Zpočátku jsou větší částice vyrobeny tímto způsobem. Zvýšení vad struktury jako jsou dislokace, mezery a napětí v krystalových mřížkách jednotlivých částic vede ke zvýšené rychlosti difúze svých atomů, což vede ke zvýšené křehkosti, která podporuje tvorbu trhlin a následné lámání částice. Difúze je podporována zvýšením teploty generované třecím teplem v mlecí nádobě. Modelový výpočet ukázal, že v planetovém kulovém mlýnu se vyskytují teplotní špičky ve výši

700 - 1800 K a tlaku o vrcholu několik tisíc atmosfér <sup>[1]</sup>. Proces fúze a ohýbání pokračuje až do dokončení homogenizace, které je dosaženo po několika minutách nebo několika hodinách. Drobné krystalické úseky sousedních původních prvků jsou vytvořeny z prachových částic, které se nazývají "nanokrystaly" (obr. 2 a 3). Tímto způsobem je možné vyrobit slitiny, které nemohou být získány tavením a odléváním. Může být zvolen rozdílná směšovací poměr. Kulové mlýny



Obr. 2: Optická mikrofotografie průřezu mechanicky legované částice prášku železo-tantal-měď (FeTaCu) po 5 h

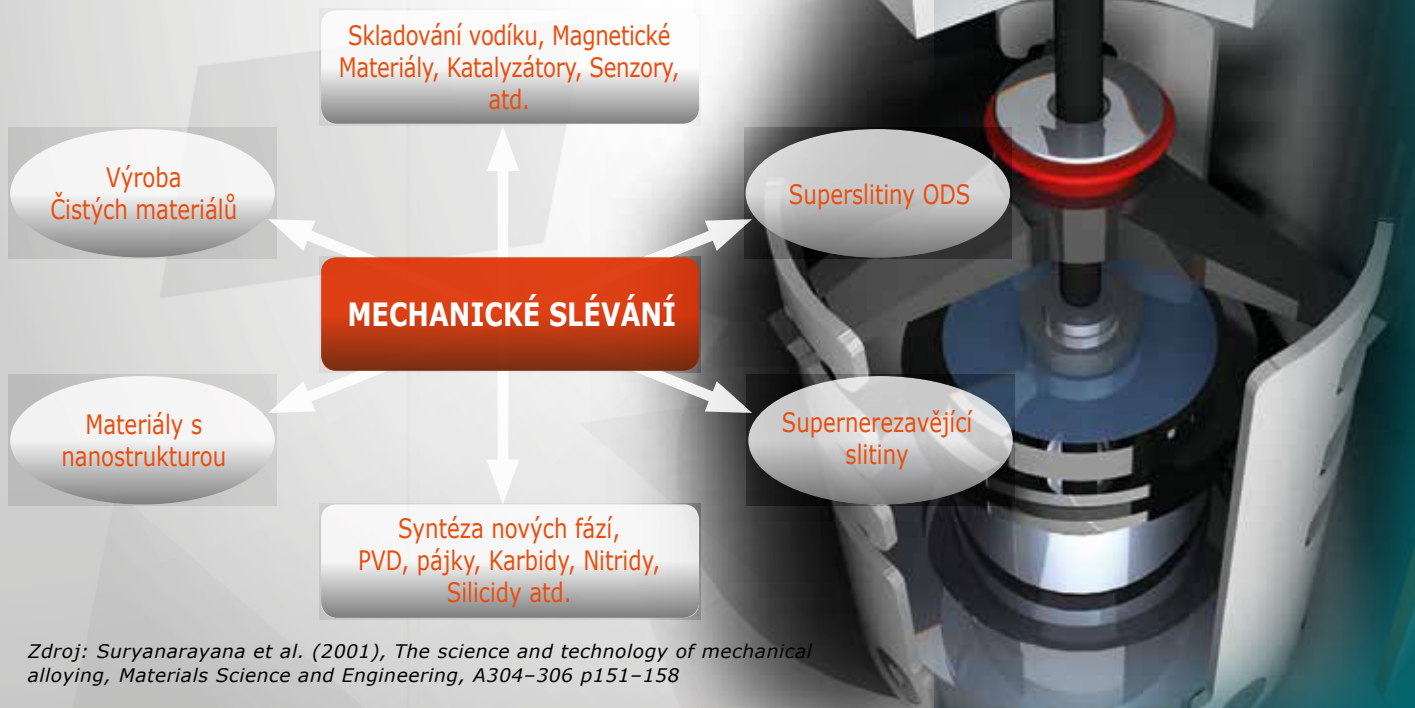


Obr. 3: Obraz z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM) mechanicky legovaného prášku FeTaCu po 20 hodinách (pohled shora)

RETSCHE poskytnou požadované energetické vstupy pro mechanické slévání a můžou být provozovány s vysokým poměrem rychlosti. Pro reakce v rámci kontrované atmosféry nebo práce v inertních podmínkách můžou být mlecí nádoby "comfort" z řady PM vybaveny bezpečnostními a aeračními víčky. Vyso-

koenergetický kulový mlýn E<sub>max</sub> také splňuje všechny požadavky pro mechanické slévání.

<sup>[1]</sup>Urakav FK (2000), Powder Technology 200, 107, 93



Zdroj: Suryanarayana et al. (2001), The science and technology of mechanical alloying, Materials Science and Engineering, A304-306 p151-158

## MECHANOCHEMIE

Mechanické účinky generované planetovým kulovým mlýnem jsou také vhodné pro tzv. mechanochemii. Mechanický vliv poskytuje aktivační energii potřebnou pro chemické reakce. Tyto komplexní reakce mohou být prováděny bez použití rozpouštědel. Typy reakcí se velmi liší od oxidační halogenace nebo Diels-Adlerové reakce k vytvoření enaminů, syntézy glykosidů, nebo dokonce jednoduchých reakcí regio-selektivních. Mechanochemie může být použito například pro dehalogenaci odpadů (DMCR), které by se stěžilo dosáhnout konvenčními metodami.

# KOLOIDNÍ MLETÍ

## VÝROBA NANOČÁSTIC

Tak zvané koloidní nebo nanomletí se většinou provádí za mokra. Ke snížení velikosti již malých částic pomocí mechanické síly je potřeba vysoké energie. Tento vstup vysoké energie poskytuje RETSCH E<sub>max</sub> a planetové kulové mlýny. Dalším důležitým kritériem pro nanomletí je výběr vhodných mlecích nástrojů a optimální mlecí koule.

### ÚVODNÍ MLETÍ

Závisí na velikosti vstupujícího vzorku materiálu a na požadované koncové jemnosti, předchozí redukce velikosti může být při procesu užitečná. Suché mletí koulemi >3 mm Ø se provádí tak, že se mlecí nádoba ze tří třetin naplní mlecími koulemi a jednou třetinou mletým vzorkem. Získaný vzorek se pak použije pro koloidní mletí.

### JAK PROVÁDĚT KOLOIDNÍ MLETÍ V KULOVÉM MLÝNU

Pro planetové kulové mlýny a nový mlýn E<sub>max</sub>, nabízí RETSCH dva typy mlecích koulí, které poskytují požadovanou vstupní energii pro koloidní mletí do nanovelikosti. Mlecí nádoby a koule vyrobené z neabrazivních materiálů jako je např. oxid zirkoničitý, se nejlépe hodí pro tento typ aplikace. **60 % objemu mlecí nádoby je vyplněno koulemi o velikosti 0.5 do 3 mm Ø** a poskytují velké množství třecích bodů. Mletý vzorek zaplňuje okolo třetiny objemu nádoby. Přidáním vhodného dispergentu (např. vody, isopropanolu, pufru) se konzistence vzorku stane pastovitou, což poskytuje ideální podmínky pro koloidní mletí. Pokud se vyžaduje velká jemnost materiálu, doporučuje se pokračovat druhým koloidním mletím za použití koulí o velikosti 0.1 do 0.5 mm Ø,

### KONZISTENCE

Má-li vzorek tendenci bobtnat při mokřím mletí, musí být konzistence směsi vzorku a koulí při mletí kontrolovány a v případě potřeby se přidá další dispergační činidlo. Je-li zná-

### ODSTRANĚNÍ MLECÍ NÁDOBY

Pozornost musí být věnována při odstraňování mlecí nádoby z planetového kulového mlýnu, pokud bylo dosaženo teploty 150 °C v závislosti na teple generovaném během procesu mletí. V mlecí nádobě také vznikají tlaky, proto je doporučeno používat nádoby s bezpečnostním uzávěrem, jako jsou nádoby "comfort" pro mlýny série PM. Po ukončení mletí se nádoba ochladí během chvíle. Nádoby pro E<sub>max</sub> mají již



Mlecí nádoba "comfort" série mlýnů PM s bezpečnostním uzávěrem, větracím krytem

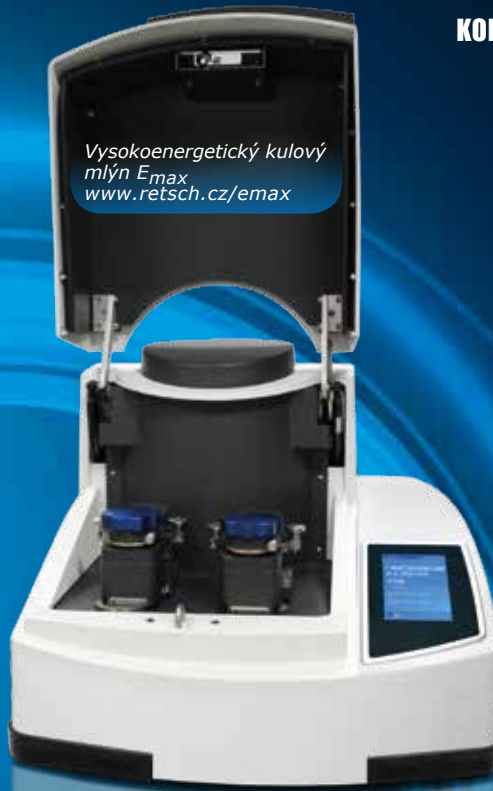
a to v případě, že při prvním procesu mletí byly použity koule o velikosti od 2 do 3 mm. Koule musí být 3x větší než je velikost částic výchozího materiálu. Pro oddělení vzorku od mlecích koulí se vše vloží na síto (s velikostí ok 20 až 50 % menších než jsou koule), které je umístěno nad sběrnou nádobou. Pro další koloidní mletí je 60 % nádoby vyplněno malými korálky. Suspenze z předchozího mletí se pořádně smíchá s mlecími korálky, dokud se nezíská pastovitá konzistence.

mo že materiál snadno zvětšuje objem, je třeba ho zředit silněji než při prvním mletí.

integrovaný bezpečnostní uzávěr. Efektivní chladicí systém E<sub>max</sub> ochraňuje mlecí nádoby před přílišným zahřátím. Obě nádoby mohou být vybaveny aeračními kryty, které umožňují práci v inertní atmosféře.



Planetový kulový mlýn  
PM 100  
[www.retsch.cz/pm100](http://www.retsch.cz/pm100)



Vysokoenergetický kulový mlýn Emax  
[www.retsch.cz/emax](http://www.retsch.cz/emax)

**rozdělení mlecích nástrojů:**  
velikost a materiál mlecích nádob a koulí, mlecí koule jsou 3 x větší než největší částice vzorku

**plnění mlecí nádoby:**  
60% mlecích koulí, 30% vzorku materiálu, přídavek dispergantu dokud není dosaženo prstovité konzistence

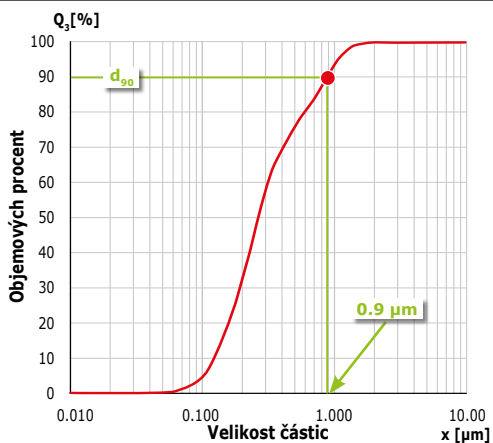
**Dispergační média:**  
např. isopropanol, ethanol, minerální terpentýn, fosforečnan sodný, kyselina diaminopimelová

Mlecí proces

Analýza velikosti částic

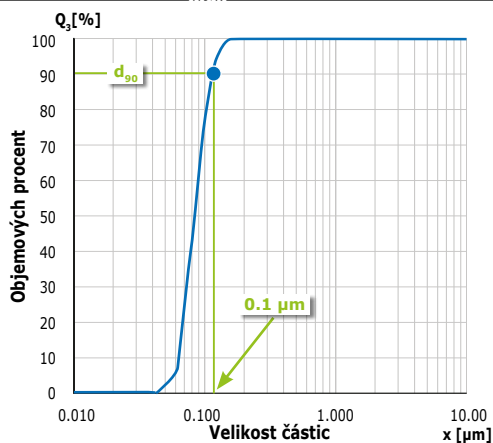
**Ochlazování:**  
mlecí nádoby by neměly být otevřeny, dokud nedosáhnou pokojové teploty

**Mletí kamení (jako je granit) v PM 100**



50 ml nádoba z oxidu zirkoničitého byla naplněna 30 ml koulí z oxidu zirkoničitého o Ø 2 mm. 21 g vzorku materiálu (který zaplnil třetinu mlecí nádoby) a 15 ml vody bylo přidáno a smícháno v pastu. Po 2 hodinách mletí v PM 100 při ot. 550 min<sup>-1</sup> bylo dosaženo hodnoty d<sub>90</sub> 0.9 μm.

**Mletí oxidu hlinitého v Emax**



20 % hmotnosti suspenze oxidu hlinitého v 0.5% fosforečnanu sodném bylo rozmělněno v Emax. Vstupní materiál byl o jemnosti 1.2 μm (d<sub>90</sub>). 30 g suspenze bylo smícháno v 50 ml nádobě s 110 g mlecími koulí o Ø 0.1 mm a mleto po dobu 30 minut při ot. 2000 min<sup>-1</sup>. Dosažená hodnota d<sub>90</sub> byla 0.11 μm.

# OSCILAČNÍ MLÝN MM 400

VŠESTRANNÝ PRO MALÁ MNOŽSTVÍ

Mletí –  
Homogenizace –  
Narušení buněk

## HIGHLIGHTS

- efektivní reprodukovatelné mletí, míchání a homogenizace
- výkonné mletí při max. 30 Hz až 20 vzorků najednou
- Mlecí nádoby se šroubovacím víkem umožňujícím kryogenní mletí
- paměť pro 9 SOPs
- Velikosti mlecích nádob 1.5 ml do 50 ml, adaptér pro jednorázové reakční mikrozkušavky
- KryoKit pro chlazení mlecích nádob při -196 °C

Bez ohledu na to zda se melou kosti nebo tkáňové vzorky, vlasy, tablety, dřevo, plasty, minerály nebo chemikálie jsou oscilační mlýny MM 400 a základní model MM 200 osvědčenými "univerzálními zařízeními" pro mletí, míchání a homogenizaci malých vzorků. Velikosti částic dosahují po mletí až 5 mikronů a proces mletí připraví vzorky rychle a spolehlivě jak pro tvrdý, středně tvrdý a křehký materiál, tak stejně dobře pro měkké, elastické a vláknité materiály.

Oscilační mlýn MM 400  
[www.retsch.cz/mm](http://www.retsch.cz/mm)

## PŘÍPRAVA VZORKU ROSTLINNÝCH MATERIÁLŮ

Rostlinný vzorek lze připravit mnoha způsoby, např. jako potravu, v papírenském průmyslu nebo pro výrobu druhotných pohonných hmot. V závislosti na jejich dřevitých složkách (jako je lignin), jsou rostliny vláknité. Lignin je velmi stabilní složkou, která může zapříčinit problémy, např. v krmivech pro zvířata nebo ve výrobě bioethanolu. Aby došlo ke zlepšení výroby, musí se pochopit, jak přesně lignin v rostlinách vzniká. Pokud pochopíme proces růstu

rostlinných hmot, můžeme strukturu ligninu cíleně změnit biotechnologickou manipulací. Rostliny s pozměněným ligninem mohou být lépe tráveny trávicím ústrojím skotu nebo může být jednodušší vybělit papír v papírenském průmyslu a tak být šetrnější k životnímu prostředí. Ve výzkumu je třeba pouze malého množství takového vzorku pro analýzu. Mlýn MM 400 je v tomto případě ideálním pro přípravu malých objemů vzorků. Šest kusů rostlin řeři-

chy (*Arabidopsis thaliana*) bylo rozdrveno v MM 400 na konečnou jemnost 100 mikronů pro následnou analýzu. Dokonce i po krátké době mletí byl vzorek homogenní, např. neobsahoval žádné hrubé částice nebo vlákna, která by mohla zasahovat do následné analýzy.



*Arabidopsis thaliana* 6 rostlin (přibl. 2 g)



po ruční předúpravě



po jemném mletí v MM 400

50 ml mlecí nádoby z nerezové oceli, 1x25 mm  
mlecí kole z nerezové oceli, 30 Hz, 2 min



## TECHNOLOGIE OSCILAČNÍCH MLÝNŮ

Mlecí nádoby oscilují v horizontální poloze. Setrvačnost mlecích koulí v oscilačních nádobách vede k silným dopadům koulí na zaoblené konce nádob. Vzorek se rozetře a důkladně promíchá během sekund až minut. Pokud se používá mnoho malých kuliček, účinek tření se zesiluje, takže je dokonce možné narušit biologické buňky.

## FLEXIBILITA DÍKY ROZSÁHLÉMU PŘÍSLUŠENSTVÍ

**Rozmanitá velikost a materiál mlecích nádob** dělá oscilační mlýn univerzálním přístrojem. Nádoby jsou vyrobeny z nerezové oceli a jsou dostupné ve velikostech od 1.5 do 25 ml (MM 200) nebo 50 ml (MM 400). Při procesech, kde je potřeba zajistit neutrální prostředí pro analýzu, jsou dostupné nádoby z karbidu wolframu, oxidu zirkoničitého, achátu nebo PTFE.

Mlecí nádoby pro mlýn MM 400 jsou **použitelné pro kryogenní mletí**, díky jejich těsnění a šroubovacímu víčku. Pro takové přípravy vzorku nabízí RETSCH KryoKit, díky jemuž mohou být nádoby chlazeny až na  $-196^{\circ}\text{C}$  v tekutém dusíku a vzorek tak může skřehnout uvnitř nádoby. Oscilační mlýny jsou často používány pro **narušení buněk a tkání při extrakci**

**DNA/RNA.** Pro toto použití jsou dostupné regálové adaptéry, které mohou být vybaveny až 20ti reakčními nádobami. Parametry mletí jako je frekvence a čas mletí mohou být nastaveny na displeji. Může být zachováno až 9 SOPs s cílem usnadnit rutinní procesy mletí.

## Závěr

Oscilační mlýny RETSCH MM 200 a MM 400 jsou všestranné, kompaktní stolní modely, které jsou specificky navrženy pro mletí malých množství vzorku. V sekundách smíchávají a homogenizují prášky a suspenze a jsou vhodné také pro narušení buněk.

# CRYOMILL

## MLETÍ S CHLAZENÍM

Pro tvárné a elastické materiály, jakož i pro vzorky vysoce těkavých složek je kryogenní mletí jediným možným řešením jak dosáhnout požadovaných velikostí částic. Díky chlazení tekutým dusíkem na  $-196^{\circ}\text{C}$  jsou vzorky zkřehlé, což zlepšuje jejich lámavé vlastnosti a umožňuje je mlít na velikosti až 5 mikronů. Těkavé látky vzorku jsou zachovány a mohou být kvantitativně detekovány, dále je zabráněno tepelně indukovanému rozkladu.

### HIGHLIGHTS

- vzrůstající frekvence 30 Hz zajišťuje vysokoenergetický vstup a mletí na velikost až 5 micronů
- Nedochází k přímému kontaktu s tekutým dusíkem a tak je zajištěn bezpečný provoz
- Systém Autofill garantuje nízkou spotřebu dusíku
- Paměť pro 9 SOPs
- Je možné mletí při pokojové teplotě

rychlost –  
bezpečnost –  
kryogenní  
mletí



CryoMill  
[www.retsch.cz/cryomill](http://www.retsch.cz/cryomill)

## BEZPEČNÝ A FLEXIBILNÍ



Výhodou CryoMillu je jeho bezpečnost při práci, kdy uživatel není vůbec v kontaktu s tekutým dusíkem. Dusík je dodáván integrovaným plnicím systémem, kontrolovaný teplotním čidlem a v případě potřeby je doplněn tak, aby bylo dosaženo  $-196^{\circ}\text{C}$ . Automatický chladicí systém zaručuje, že proces mletí nebude spuštěn

dříve, než bude vzorek ochlazen – to snižuje spotřebu a zaručuje reprodukovatelnost výsledků mletí. S frekvencí 30 Hz mele mlýn různorodé materiály efektivně během několika minut. Hlavním mlecím mechanismem jsou rázy, ale také tření, takže může být dosaženo větší jemnosti částic v porovnání s jinými kryogenními mlýny. Při vysokoenergetickém vstupu může být mletí přerušeno a v definovaných okamžicích teplo vznikající třením odváděno z nádoby. Mlýn lze tedy provozovat také bez chlazení dusíkem.



Rozsáhlé příslušenství zajišťuje různorodé využití CryoMillu. Pro provoz s dusíkem nabízí RETSCH 50 l nádoby na tekutý dusík s bezpečnostním ventilem. Mlecí nádoby o velikostech od 5 do 50 ml mohou být utěsněny, takže nehrozí únik materiálu. Pro aplikaci neutrálních analýz jsou dodávány 25 ml nádoby z oxidu zirkoničitého nebo PTFE. Nabízíme také mlecí koule různých velikostí a také adaptéry pro použití až 6 x 2 reakčních mikrozkušavek.

Aby bylo možné zajistit co nejlepší přizpůsobení pro různé vzorky, jsou předchlazení, doba mletí a intervaly volně programovatelné. Během předchlazení se mlecí nádoby pohybují při 5 Hz, aby mlecí koule zůstaly trvale v pohybu a nezamrzly ve vlhkém vzorku. Rutinní procesy jsou zjednodušeny a lze uložit až 9 mlecích programů (SOP). LED diody na displeji umožní kontrolu kroků kdykoliv, v průběhu mletí.

### Závěr

CryoMill od RETSCH je skvělým přístrojem pro mletí teplotně citlivých materiálů s přechodem do zkřehnutí při nižší než pokojové teplotě. Konečná jemnost je signifikantně vyšší než u srovnávaných kryogenních mlýnů. CryoMill je ideálním přístrojem pro přípravu vzorků s těkavými složkami.

## Jemné mletí PET lahví



PET lahve jsou oblíbené a rozšířené jako lehké a robustní obaly nápojů. Minerální voda nebo jiné nápoje v PET lahvích však mohou obsahovat škodlivé látky jako je např. acetaldehyd. Tyto látky dokonce i v malých stopových množstvích v rozmezí od 10 do 20 ppb mají negativní vliv na chuť. Proto je potřeba kontrolovat kvalitu procesu výroby balení a vypracovat kvantitativní zkušební metody, což je časově náročné. Vzhledem k tomu, že je acetaldehyd velmi těkavá sloučenina, je třeba se vyhnout tepelnému namáhání vzorku před analýzou. **Kryogenní mletí při  $-196^{\circ}\text{C}$  je ideální metoda pro jemné, reprodukovatelné mletí vzorků elastického materiálu.** Tepelně indukované ztráty acetaldehydu vznikající mletím je spolehlivě zabráněno chlazením. Kryogenní mletí je ideální pro přípravu vzorků v rámci běžných chromatografických kontrol v certifikovaných laboratořích.



Předúprava elastického materiálu PET lahví probíhá ve střižném mlýnu: například RETSCH SM 300 který je ideálně vhodný pro tento účel. Tento mlýn zajišťuje přiměřené snížení velikosti na jemnost asi 5 mm bez tepelného namáhání materiálu. Konečné jemnosti menší než 0,5 mm lze snadno dosáhnout ve druhém mletí v CryoMillu. Mletí 6 g vzorku předdrceného PET materiálu trvá jen 5 minut.



PET materiál po předpřípravě v mlýnu **SM 300** (uprostřed) –  $1200\text{ min}^{-1}$ , 6 mm síto, paralelní rotor.

Po konečném zmenšení velikosti v mlýnu **CryoMill** (vlevo) – 50 ml mlecí nádoby z nerezové oceli, 1 x 25 mm mlecí koule z nerezové oceli, 30 Hz, 2 x 2 min s 1 min chlazením.

# PŘÍKLADY POUŽITÍ

Inovované kulové mlýny RETSCH splňují a překračují veškeré požadavky na rychlé a reprodukovatelné mletí až do submikronového rozsahu. Jsou určeny pro ty nejnáročnější úkoly od rutinního zpracování vzorků až po koloidní mletí a vývoj pokročilých materiálů.



## PLANETOVÉ KULOVÉ MLÝNY

Vzorek	Příslušenství	Parametry	Množství naplnění	Konečná jemnost
Popel	500 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 1100 g mlecí koule 1 mm z oxidu zirkoničitého, 120 ml voda	600 min <sup>-1</sup> , 2 h	100 g	<1.3 μm
Katalyzátory	250 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 15 x mlecí koule 20 mm z oxidu zirkoničitého	450 min <sup>-1</sup> , 2 min	130 ml	<63 μm
Keramika	500 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 25 x mlecí koule 20 mm z oxidu zirkoničitého, pár kapek isopropanolu	280 min <sup>-1</sup> , 20 min	250 g	<20 μm
Odpadní kaly	500 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 25 x mlecí koule 20 mm z nerezové oceli	500 min <sup>-1</sup> , 8 min	172 g	<110 μm
Oxid manganu	250 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 550 g mlecí koule 2 mm z oxidu zirkoničitého, 100 ml 0.5 % NaPO <sub>3</sub>	480 min <sup>-1</sup> , 2 h	40 g	<0.7 μm
Minerály	500 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, předmletí 8 x mlecí koule 30 mm z oxidu zirkoničitého, jemné mletí 160 x mlecí koule 30 mm z oxidu zirkoničitého	400 min <sup>-1</sup> , 3 min a 20 min	150 g	<45 μm
Semi-kryсталické polymery	50 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 110 g mlecí koule 2 mm z oxidu zirkoničitého, 20 ml voda	530 min <sup>-1</sup> , 2 h	2 g	<0.6 μm
Sláma	500 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 160 x mlecí koule 10 mm z oxidu zirkoničitého	400 min <sup>-1</sup> , 75 min	50 g	<50 μm
Super absorbér	500 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 160 x mlecí koule 10 mm z oxidu zirkoničitého	280 min <sup>-1</sup> , 30 min	100 g	<50 μm



## VYSOKOENERGETICKÝ KULOVÝ MLÝN Emax

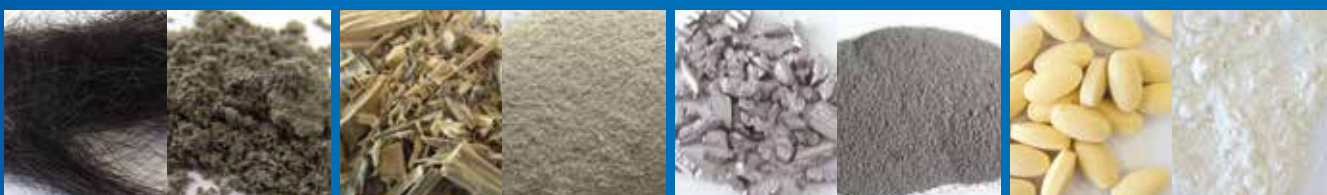
Vzorek	Příslušenství	Parametry	Množství naplnění	Konečná jemnost
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 110 g mlecí koule 0.1 mm z oxidu zirkoničitého, in 0.5 % fosforečnan sodný	2000 min <sup>-1</sup> , 15 min	23 g 20% z hmotnosti suspenze	<0.14 μm
Uhlí	125 ml mlecí nádoba z oceli, 54 x mlecí koule 10 mm z nerezové oceli	1500 min <sup>-1</sup> , 10 min	26 g	<17 μm
Grafit	50 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 110 g mlecí koule 1 mm z oxidu zirkoničitého, 13 ml isopropanol	2000 min <sup>-1</sup> , 8 h	5 g	<1.7 μm
Pigment TiO <sub>2</sub>	50 ml mlecí nádoba z oxidu zirkoničitého, 110 g mlecí koule 0.1 mm z oxidu zirkoničitého, 15 ml 1 % fosforečnan sodný	2000 min <sup>-1</sup> , 30 min	10 g	<0.087 μm
Křemen	125 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 18 x mlecí koule 15 mm z nerezové oceli	1000 min <sup>-1</sup> , 30 min	66 g	<16 μm



Oscilační mlýny RETSCH jsou vhodné pro mletí a homogenizaci obrovské škály různých druhů materiálů. Je jedno, zda jde o materiály tvrdé, středně tvrdé, měkké, křehké, elastické nebo vláknité. Mohou být mlety za sucha, za mokra nebo v kryogenním režimu.

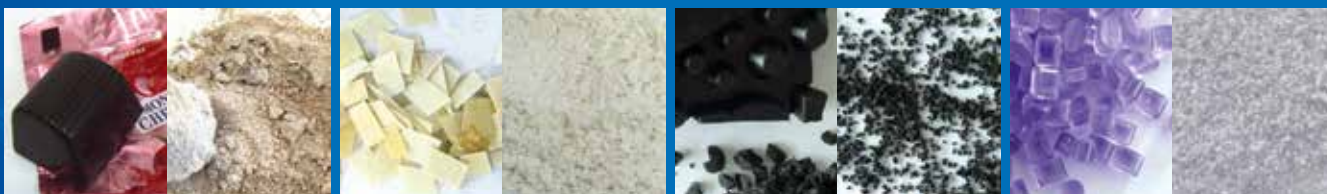
### OSCILAČNÍ MLÝN MM 400

Vzorek	Příslušenství	Parametry	Množství naplnění	Konečná jemnost
Slitina Cr	25 ml mlecí nádoba z WC, 3 x mlecí koule 20 mm z WC	30 Hz, 2 min	20 g	<250 µm
Tkáň žáby	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 3 x mlecí koule 12 mm z nerezové oceli, vzorek a mlecí nádoba se předchladí LN2	30 Hz, 2 min	10 g	homogenizováno
Mech	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 3 x mlecí koule 15 mm z nerezové oceli	30 Hz, 3 min	1 g	<150 µm
Části hmyzu	Adaptér MM pro 5 reakčních ampulí 2 ml PTFE, 0.5 g skleněné koule (0.75 – 1 mm)	30 Hz, 3 min	1-2 kusy	homogenizováno
Tablety	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 6 x mlecí koule 12 mm z nerezové oceli	30 Hz, 5 min	15 g	<150µm
Dřevo	Adaptér MM pro 5 reakčních ampulí 2 ml PTFE, 3 x mlecí koule 7 mm z nerezové oceli	30 Hz, 3 min	1 kus	<200 µm



### CRYOMILL

Vzorek	Příslušenství	Parametry	Množství naplnění	Konečná jemnost
Přírodní kaučuk	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 1 x mlecí koule 25 mm z nerezové oceli, 10 min předchlazení	30 Hz, 2 min	4 g	<1 mm
Čokoláda	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 1 x mlecí koule 25 mm z nerezové oceli, 10 min předchlazení	30 Hz, 2 min	1 kus	<0.5 mm
Papír	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 1 x mlecí koule 25 mm z nerezové oceli, 6 min předchlazení	25 Hz, 8 x 2 min, 30 sec interval	4 g	<400 µm
PET granulát	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 1 x mlecí koule 25 mm z nerezové oceli, 10 min předchlazení	25 Hz, 8 x 4 min, 30 sec interval	10 g	<350 µm
Podrážky obuvi	50 ml mlecí nádoba z nerezové oceli, 1 x mlecí koule 25 mm z nerezové oceli, 10 min předchlazení	30 Hz, 4 x 2 min, 1 min interval	6 g	<400 µm



# RETSCH

## STANOVUJE STANDARDY

### V PŘÍPRAVĚ & CHARAKTERISTICE PEVNÝCH LÁTEK

RETSCH je světovým lídrem v poskytování řešení pro mletí, homogenizaci a měření velikosti částic pevných látek v rámci kontroly kvality.

#### MLETÍ

- Čelistové drtiče
- Rotorové mlýny
- Střížné mlýny
- Nožové mlýny
- Diskové mlýny
- Hmoždířové mlýny
- Oscilační mlýny
- Kulové mlýny

#### MĚŘENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC

- Sítovací stroje
- Zkušební síta
- Software pro vyhodnocování
- Charakterizace částic pomocí Dynamické Analýzy obrazu (RETSCH TECHNOLOGY)

#### ASISTENCE

- Děliče vzorků
- Vibrační podavače
- Rychlé sušičky
- Ultrazvukové lázně
- Peletovací lisy



**VERDER**  
scientific

CARBOLITE ELTRA **Retsch** **Retsch**  
TECHNOLOGY

Jako součást skupiny VERDER nastavuje obchodní divize VERDER SCIENTIFIC standardy ve vývoji, výrobě a prodeji laboratorního a analytického zařízení. Přístroje jsou používány v oblasti kontroly kvality, výzkumu a vývoje pro přípravu vzorků a analýzu pevných částic.