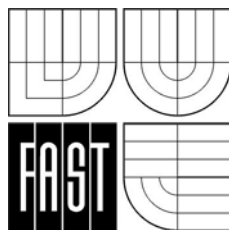


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

DOC. ING. RUDOLF HELA, CSc.
ING. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

ZKUŠEBNICTVÍ A TECHNOLOGIE

MODUL BI02-MO1
TECHNOLOGIE BETONU,
STAVEBNÍ KERAMIKA



STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

© Doc. Ing. Rudolf Hela, CSc. (kap. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12),

Ing. Radomír Sokolář, Ph.D. (kap. 1, 7, 8, 9, 10, 11, 12)

OBSAH

1 Úvod	7
1.1 Cíle.....	7
1.1.1 Cíle technologie betonu.....	7
1.1.2 Cíle stavební keramiky.....	7
1.2 Požadované znalosti.....	8
1.3 Doba potřebná ke studiu.....	8
1.4 Klíčová slova.....	8
1.4.1 Klíčová slova technologie betonu.....	8
1.4.2 Klíčová slova stavební keramika.....	8
2 Technologie betonu	9
2.1 Složky betonu.....	9
2.1.1 Kamenivo.....	9
2.1.2 Záměsová voda.....	10
2.1.3 Cement.....	10
2.1.4 Přísady do betonu.....	12
2.1.5 Příměsi do betonu.....	14
2.2 Čerstvý beton.....	15
2.2.1 Návrh složení betonu.....	15
2.3 Konzistence čerstvého betonu.....	20
2.4 Zhutňování čerstvého betonu.....	21
3 Zkoušení technologických vlastností kameniva	23
3.1 Zrnitost, čáry zrnitosti.....	23
3.1.1 Podle BOLOMEYE.....	24
3.1.2 Podle Fullera.....	24
3.1.3 Podle EMPA.....	24
3.2 Obsah jemných částic pod 0,25 mm.....	25
3.3 Stanovení objemové hmotnosti.....	26
3.4 Stanovení sypné hmotnosti.....	27
3.5 Stanovení zrnitosti kameniva.....	28
3.6 Stanovení hmotnostního podílu odplavitelných částic.....	28
3.7 Stanovení tvarového indexu zrn.....	28
3.8 Příklad návrhu složení betonu.....	29
4 Autotest	30
5 Závěr	31
5.1 Shrnutí.....	31
6 Studijní prameny	32
6.1 Seznam použité literatury.....	32
6.2 Seznam doplňkové studijní literatury.....	32
7 Stavební keramika	33
7.1 Rozdělení keramiky.....	33
7.1.1 Rozdělení podle vlastností keramického střepu.....	33

7.1.2	Rozdělení podle technologie výroby.....	34
7.1.3	Rozdělení podle použití výrobků.....	34
7.2	Keramické suroviny.....	34
7.2.1	Plastické suroviny (jílovinové zeminy).....	35
7.2.2	Neplastické suroviny.....	35
7.3	Technologie výroby stavební keramiky.....	36
7.3.1	Těžba a zpracování surovin.....	37
7.3.2	Keramické vytváření (formování).....	37
7.3.3	Sušení.....	37
7.3.4	Výpal.....	39
7.4	Výrobky stavební keramiky.....	40
7.4.1	Cihlářské výrobky.....	40
7.4.2	Kamenina (hrubá).....	42
7.4.3	Zdravotnická keramika.....	43
7.4.4	Keramické obkladové prvky.....	44
7.4.5	Tvarová žárovzdorná keramika.....	45
8	Zkoušení technologických vlastností keramických surovin, vytvářecích směsí a vypálených střepů.....	48
8.1	Stanovení vlhkosti keramických surovin.....	48
8.2	Granulometrie jílovinových zemin.....	48
8.2.1	Sítový rozbor plavením.....	49
8.2.2	Sedimentační analýza.....	50
8.3	Přetvárné (reologické) vlastnosti vytvářecích směsí.....	52
8.3.1	Viskozita licí suspenze (břečky).....	52
8.3.2	Plastičnost těsta podle Pfefferkorna.....	52
8.4	Vlastnosti vysušených výlisků.....	54
8.4.1	Smrštění sušením.....	54
8.4.2	Citlivost k sušení.....	54
8.5	Vlastnosti vypáleného keramického střepu.....	55
8.5.1	Nasákavost.....	55
8.5.2	Objemová hmotnost.....	56
8.5.3	Zdánlivá pórovitost.....	56
8.5.4	Zdánlivá hustota.....	57
8.5.5	Skutečná pórovitost.....	57
8.5.6	Slínavost.....	58
8.5.7	Hustota (měrná hmotnost).....	59
8.5.8	Pórovitost uzavřená.....	60
8.5.9	Celková délková změna.....	60
8.5.10	Pevnost v tahu za ohybu.....	60
8.5.11	Pevnost v tlaku.....	61
9	Autotest.....	61
10	Závěr.....	63
10.1	Shrnutí.....	63
11	Studijní prameny.....	64

11.1 Seznam použité literatury.....	64
11.2 Seznam doplňkové studijní literatury	64
12 Klíč.....	64

1 Úvod

Obsah předloženého modulu je rozdělen na samostatné části „Technologie betonu“ a „Stavební keramika“. Tomuto rozdělení odpovídá také obsah jednotlivých podkapitol úvodní kapitoly

1.1 Cíle

1.1.1 Cíle technologie betonu

Cílem této části učebního textu je seznámit čtenáře se základními vědomostmi z předmětu technologie betonu. V úvodní části jsou definovány dílčí vstupní složky používané pro výrobu betonu – kamenivo, cement, voda, příměsi a přísady. Největší pozornost je věnována příměsím a přísadám do betonu, které v současnosti mají pro moderní technologii betonu největší význam a neustále se rozšiřuje jejich použití.

V další části jsou podány informace o čerstvém betonu. Je v ní definován vodní součinitel a možné přístupy k navrhování složení betonů. Dále jsou definovány reologické vlastnosti betonu, zejména zpracovatelnost betonu.

Následuje část, která se zabývá zhutňováním betonu po jeho uložení do bednění či formy.

V poslední části je cílem podat základní informace týkající se nejpoužívanějších technologických zkoušek kameniva jako vstupních údajů pro navrhování receptur betonů a příklady navrhování receptur jako požadavky pro laboratorní cvičení.

1.1.2 Cíle stavební keramiky

Cílem této části učebního textu je seznámit čtenáře v první kapitole s obecnou technologií výroby stavební keramiky. V úvodu je vysvětlen pojem keramiky a její rozdělení. Následuje přehled nejpoužívanějších keramických surovin a stručný popis jednotlivých fází technologie výroby keramiky – těžba a příprava surovinová směs, vytváření, sušení a výpal.

Následující druhá kapitola přináší přehled sortimentu a obecných vlastností vybraných druhů stavební keramiky.

V poslední třetí kapitole je cílem obsahu učebního textu podat základní informace týkající se nejpoužívanějších laboratorních zkoušek v keramice, které určují způsob zpracování keramických surovin a vhodnost pro keramický výrobek. V této kapitole, jež lze chápat jako průvodce laboratorním cvičením, se studenti také stručně seznámí s vybranými základními postupy zkoušení vlastností keramických surovin, vytvářecích směsí (syrového střepu) a nakonec i vypáleného střepu.



1.2 Požadované znalosti



Předložený učební text předkládá základní informace, které se týkají technologie betonu a stavební keramiky, a nepředpokládá speciální znalosti čtenáře. Předpokládá se, že student by měl mít základní znalosti z teoretických předmětů (zejména matematiky a fyziky) ze střední školy. Pokud se v textu přesto objeví nesrozumitelný nebo nevysvětlený výraz, doporučuji jej vyhledat v doporučené literatuře, kde bude zajisté patřičně vysvětlen.

1.3 Doba potřebná ke studiu



Vzhledem k obsáhlosti přednáškových kapitol, které se týkají technologie betonu (2. kapitola), výroby stavební keramiky, sortimentu a vlastností výrobků stavební keramiky (7. kapitola), je vhodné si rezervovat na zvládnutí studia každé kapitoly alespoň dva dny. Pro pochopení obsahu kapitol, které se týkají přehledu laboratorních zkoušek (technologie betonu – 3. kapitola, stavební keramika – 8. kapitola), je nutné absolvovat praktické laboratorní cvičení, kde budou vybrané uvedené postupy prakticky předvedeny.

1.4 Klíčová slova

1.4.1 Klíčová slova technologie betonu



Technologie výroby betonu, kamenivo, cementy, příměsi do betonu, přísady do betonu, vodní součinitel, třída betonu, čerstvý beton, zatvrdlý beton, pevnost v tlaku, zhutňování, hutnost.

1.4.2 Klíčová slova stavební keramika

Technologie výroby keramiky, keramické suroviny, vlastnosti keramického střepu, výrobky stavební keramiky, technologické laboratorní zkoušky v keramice

2 Technologie betonu

Beton je silikátový vícekompozitní materiál, kde matrice je tvořena zatvrdlým cementovým kamenem a jako kostra – výplň slouží různé frakce (rozpětí velikosti minimálního a maximálního zrna) kameniva. Pro výrobu betonu je nutné používat minimálně dvou frakcí kameniva, v praxi se nejčastěji používá 3 až 4 frakcí. Beton lze z hlediska jeho stavu a struktury možné dělit na čerstvý a zatvrdlý beton. Za čerstvý beton lze považovat stav, kdy jednotlivé složky betonu – minimálně dvě frakce kameniva (drobné frakce 0 – 4 mm a hrubé kamenivo frakce 4 až 22 mm), cement (různé typy a pevnostní třídy), záměsová voda, a případně příměsi a přísady do betonu jsou smíchány v mísícím jádru a po transportu uloženy do výrobní formy (výroba prefabrikátů) nebo bednění (monolitická staveništní výroba). Po následném zhutnění a proběhnutí hydratačních procesů se struktura betonu mění v zatvrdlý stav a vzniká pevný kompaktní materiál beton (někdy se používá i výraz zatvrdlý beton.). Základní požadavky na jeho složení, vlastnosti a kvalitu jsou v současné době definovány v evropské normě ČSN EN 206-1, která platí pro všechny členské země EU.



2.1 Složky betonu

Základními složkami pro výrobu betonu jsou kamenivo, cement a voda. Doplnkovými složkami jsou přísady a příměsi do betonu. Vyztužený, armovaný beton dále obsahuje betonářskou ocel (železobeton), předpínací ocel (přepjatý beton) nebo rozptýlenou výztuž (vlákna nebo drátky).

2.1.1 Kamenivo

Kamenivo zaujímá ve struktuře hutného betonu 75 až 80 % objemu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry v betonu s minimální mezerovitostí. Proto obsahuje různě veliká zrna, která jsou součástí tzv. frakcí kameniva, která jsou smíchána ve vhodném poměru tak, aby výsledná směs měla minimální mezerovitost. Kameniva pro výrobu betonu lze dělit na přírodní nebo umělá. V betonářské praxi se v drtivé míře pro výrobu hutných betonů používají přírodní kameniva, která se vzhledem ke svému původu dělí na drcená a těžená. Jedná se o zrnitou látku o velikosti zrna od 0 do 32,5 mm, prakticky se používá max. zrna do 22 mm. Kamenivo rozdělujeme podle původu (petrografie), velikosti největšího zrna v množině zrn, způsobu jeho těžby a úpravy na těžené (je bagrováno buď z vody nebo ze stěny) a drcené (vzniká odstřelem masy ze stěny v lomu a následným vícestupňovým drcením) a podle pórovitosti. Těžené kamenivo vzniklo přirozeným rozpadem hornin, zrna mají většinou tvar blízky kouli a jsou hladká a zaoblena transportem zvětralé horniny většinou ve vodě. Drcené kamenivo má tvar většinou protáhlejší, méně vhodný pro výrobu betonu, ale jejich povrch je drsnější s větší adhezí cementového tmele a tudíž se hodí pro výrobu betonu o vyšších pevnostech

Podle velikosti zrn a jejich skladby rozdělujeme:

- hrubé kamenivo s velikostí zrn 4-32,5 mm (šterk, drť).
- drobné kamenivo s velikostí zrn do 4 mm (písek),

- jemné kamenivo do velikosti 0,25 mm (moučka, filer)

Z hlediska trvanlivosti betonu a technologie zpracování čerstvého betonu je důležité, aby kamenivo neobsahovalo látky, které způsobují ve styku s cementovým tmelem a kamenem nežádoucí objemové změny, vedoucí k vnitřnímu napětí, a tím porušování struktury betonu (pokles pevností betonu). Rovněž nepřijatelný je obsah látek, které nepříznivě ovlivňují tuhnutí a tvrdnutí cementového tmele nebo snižují soudržnost betonu s ocelí. K těmto škodlivým látkám patří hlavně jílové příměsi, humusovité látky a organické příměsi. Kamenivo pro výrobu hutných betonů musí mít dostatečně čistý povrch, vhodný tvar zrna, dostatečnou pevnost v tlaku (100 a více MPa) a vhodnou granulometrii tj. velikost zrn. Podle velikosti zrn je kamenivo děleno na tzv. frakce. Frakce kameniva je daná rozmezím minimálního a maximálního zrna. V praxi jsou vyráběny následující frakce:

- 0 až 4 mm – kamenivo drobné, nejčastěji se používá těžené kamenivo
- 4 až 8 mm - kamenivo hrubé, těžené i drcené
- 8 až 16 mm - kamenivo hrubé, těžené i drcené
- 16 až 22 mm - kamenivo hrubé, těžené i drcené
- 22 až 32,5 mm - kamenivo hrubé, těžené i drcené a dále doplňkové frakce
- 8 až 11 mm, 11 až 22 mm.

Podrobněji jsou jednotlivé požadované technologické vlastnosti a jejich zkoušení popsány v části, které jsou obsahem laboratorních cvičení. musí Kvalitativně musí používané kamenivo vyhovovat požadavkům EN 1097- 1 až 6.

2.1.2 Záměsová voda

Voda v betonářské technologii plní dvě základní funkce:

- hydratační, voda podmiňuje hydrataci cementu a tak spolu s cementem vytváří v čerstvém stavu tzv. cementový tmel (kaši) a v zatvrdlém stavu tuhou strukturu cementového kamene. Minimální potřeba vody na úplnou hydrataci cementu je přibližně 23 až 25 % hmotnosti cementu,
- reologickou, voda umožňuje vytvoření tvárného čerstvého betonu ve spojení s jeho složkami - kapilárními silami je zajišťována koheze a viskozitou plastičnost čerstvého betonu. Tato voda se již v ideálním stavu, kdy by nedošlo k odpařování vody, hydratačních procesů a slouží jen dosažení vhodné zpracovatelnosti (konzistenci) betonu umožňující jeho transport a hlavně dokonalé zhutnění dostupnými způsoby zhutňování.

Z dalšího pohledu můžeme tzv. technologickou vodu rozdělit na záměsovou (dávkovanou při mísení čerstvého betonu) a na ošetřovací (voda dodávaná po zatuhnutí betonu po několik dnů pro udržení betonu ve vlhkém stavu). Oba druhy vody musí vyhovovat kvalitativním požadavkům EN 1008: 1997.

2.1.3 Cement

Cement je polydisperzní partikulární anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi. Po smíchání s vodou postupně tuhne a tvrdne. Po zatvrdnutí na vzdu-

chu nebo i ve vodě zachovává svoji pevnost a stálost ve vodě. Hydraulické tvrdnutí je důsledkem hydratace vápenatých silikátů a aluminátů.

Druhy cementů

Cementy pro obecné použití dle ČSN EN 197-1 se dělí podle směsnosti (viz tab. 1.1.).

Tab. 1.1 Druhy cementů dle směsnosti

Druh cementu	Název cementu	Označení	Obsah složek v% hmotnosti		
			slinek	složka	plnivo
I..	portlandský	I	95-100	-	0-5
II..	portlandský	II/A - X	80-94	6-20	0-5
	směsný	II/B - X	65-79	21-35	0-5
III..	vysokopecní	III/A	33-64	36-65	0-5
		III/B	20-34	66-80	0-5
		III/C	5-195	81-95	0-5
IV.	pucolánová	IV/A	65-89	11-35	0-5
		IV/B	45-64	36-55	0-5
V.	směsný	V/A	40-64	18-30	0-5
		V/B	20-39	30-50	0-5

Cementy se dále dělí na tři třídy normalizované pevnost v tlaku v MPa:

32,5

42,5

52,5

Fyzikální vlastnosti cementů

Technická norma ENV 197-1 definuje požadavky na normalizovanou (28 dní) a počáteční (2 a 7 dnů) pevnost v tlaku, počátek tuhnutí a objemovou stálost .

Počátek a doba tuhnutí cementu je konvenční veličinou zjišťovanou Vicatovým přístrojem. Počátek tuhnutí je minimálně 45 až 60 min a obvykle bývá 3 až 5 hodin, doba tuhnutí maximálně 12 hodin (bývá 4 až 6 hodin). Doba tuhnutí se prodlužuje s rostoucím obsahem vody a zkracuje se zvýšením teploty.

Objemová stálost se prokazuje za 24 hodin při 20 °C pomocí Le Chatelierovy objímky a její roztažení nesmí být větší jak 10 mm, bývá často pouze 1 mm. Cementový kámen nesmí vykazovat žádné nepřiměřené objemové změny, trhlinky a odštěpky. Rozpínání způsobuje nadměrný obsah volného CaO, MgO a síranu vápenatého. Smrštění cementového kamene za 28 dní je 0,5 až 0,8 mm.m⁻¹.

Objemová a sypaná hmotnost cementů: portlandský cement má objemovou hmotnost 3050 až 3150 kg.m⁻³, pro betonářské výpočty se užívá hodnota 3100 kg.m⁻³, cement obsahující více strusky pak 3000 kg.m⁻³. Sypaná hmotnost volně loženého cementu je 900 až 1300 kg.m⁻³, pytlovaného cementu nebo uloženého v silech 1200-1700 kg.m⁻³.

Měrný povrch cementu souvisí s velikostí jednotlivých částic (bývají od 1 do 250 μm) a zrnitostí.

Běžný cement, obvyklého měrného povrchu 300 m².kg⁻¹ má tuto zrnitost: 17 % zrn větších 50 μm, 23 % zrn menších 10 μm, 27 % zrn od 10 do 25 μm. Měrný povrch cementů bývá 250 až 400 m².kg⁻¹, požadovaná minimální hodnota je 225 a doporučená maximální jemnost mletí je 600 m².kg⁻¹. Čím má cement

větší měrný povrch, tím rychleji a úplněji hydratuje, ale jeho výroba je energeticky náročnější. Cementový kámen má však větší smrštění a pro smáčení zrn cementu je třeba větší množství vody. Při výrobě betonu pro požadovanou zpracovatelnost potřebuje větší množství vody a betony vyrobené z těchto betonu jsou více náchylné pro vznik smršťovacích trhlin vlivem nadměrných objemových změn, je podstatně rychlejší a vyšší nárůst vývoje hydratačních tepel. Cementy jsou vhodné pro výrobu vysokopevnostních betonů (pevnosti 70 MPa a vyšší).

Hydratační teplo je tepelným projevem hydratace cementu, závisí na obsahu jednotlivých slinkových minerálů a tím na druhu cementu. V průběhu hydratace se vyvíjí teplo rozdílnou intenzitou. Portlandské cementy uvolní při hydrataci teplo takto: 8 hod. -35 až 100, za 24 hod. -130 až 280, za 28 dní 330 až 550 kJ.kg⁻¹.

2.1.4 Přísady do betonu

Přísady jsou chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství do 5% z hmotnosti cementu za účelem modifikace vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Přísady se rozdělují podle vlastností, které charakterizují jejich hlavní funkci. Moderní technologie betonu se orientuje na využívání těchto přísad a často se hovoří o "chemizaci technologie betonu". Požadované vlastnosti přísad do betonu jsou deklarovány v evropské normě EN 934-2 Přísady do betonu, malty a injektážní malty. Část 2. Přísady do betonu - definice, specifikace a kriteria shody. Tato norma uvádí následující typy přísad:

- plastifikační (redukující vodu),
- superplastifikační (velmi redukující vodu), vhodněji nazývané ztekucující,
- stabilizační (zadržující vodu),
- provzdušňující,
- urychlující tuhnutí cementu,
- urychlující tvrdnutí cementu,
- zpomalující tuhnutí cementu,
- hydrofobizační (odpuzující vodu).

Přísady podle fyzikálně-chemického působení na částice cementu lze rozdělit do dvou skupin:

- látky ovlivňující kinetiku hydratace cementu cestou změny rozpouštění slinkových minerálů, s kterými nevstupují do chemické reakce nebo cestou reakce se slinkovými minerály a vytváření málo disociovaných sloučenin, (Ratinov ještě uvádí možnost přidávání zárodků krystalizace - nukleí),
- povrchově aktivní látky, které se absorbují na povrchu zrn cementu nebo tvořících se novotvarů a jsou buď hydrofilní nebo hydrofobní.

Popis jednotlivých příměsí do betonu:

1. Plastifikátory a superplastifikátory

Moderní betonářská technologie se neobejdou bez pravidelného a plošného používání těchto přísad. Používají se pro dosažení následujících vlastností:

- Zlepšování zpracovatelnosti čerstvého betonu a tím omezení použití intenzivní vibrace při zhutňování betonu.
- Snížení množství záměsové vody a tím redukování vodního součinitele, tak se zvyšuje pevnost a trvanlivost betou.
- Snížení množství vody i cementu a tak při konstantní požadované vhodné zpracovatelnosti je dosaženo snížení dotvarování betonu při stálém zatížení a objemových změn - smrštění.

Z chemického hlediska se používají tyto skupiny organických sloučenin:

- LS soli nebo deriváty ligninsulfonanů,
- PC estery polykarboxylových kyselin,
- SNF sulfonované naftalenformaldehydové kondenzáty,
- SMF sulfonované melaminformaldehydové kondenzáty,
- CAE kopolymery karboxyakrylové kyseliny s akrylesterem.

2. Provdzušňovací přísady

Látky, které po přidání během míšení čerstvého betonu, vytváří ve velkém počtu uzavřené vzduchové póry jemně distribuované v betonu. Již před padesáti léty se zjistilo, že betony obsahující jemně rozptýlené vzduchové póry lépe odolávají působení mrazu a agresivitě mořské vody. Tyto póry mění pórovitou strukturu cementového kamene, porušují síť kapilár. Vzduch uzavřený v pórech zlepšuje chování betonu proti účinkům ledu vznikajícího zmrznutím vody v kapilárách i proti růstu krystalů chemických solí (rozmrazovací soli, mořská voda). Provdzušněním vytvořené vzduchové póry jsou expanzním prostorem pro zvětšující se objem krystalů ledu a solí, póry snižují hydrostatický tlak v pórovité struktuře. Kritériem účinnosti provdzušňovací přísady na trvanlivost betonu je vzdálenost pórů od sebe navzájem, označovaný jako součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů L , který má být menší než 0,250 mm (spacing factor) a velikost vytvořených pórů bývá o průměru 25 až 300 μm (celý rozsah párů je od 10 μm do 1 mm). Větší vzduchové póry nebo kapiláry snižují trvanlivost, podobně i větší vzdálenost mezi póry.

3. Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí cementu

Tyto přísady rozdělujeme do dvou skupin, na urychlovače tuhnutí (zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhého stavu) a na urychlovače tvrdnutí (urychlují vývoj počátečních pevností betonu), které mohou a nemusí urychlovat tuhnutí betonu.

1. Urychlovače tuhnutí nesmí způsobit pokles pevnosti v tlaku za 28 dní pod 80 % pevnosti referenčního betonu a za 90 dnů musí být pevnost v tlaku nejméně stejná, jako 28 denní pevnost referenčního betonu. Doba tuhnutí má být delší než 30 min, při 20°C zkracuje dobu tuhnutí nejméně o 40 % a při +5

°C je doba tuhnutí srovnatelná s dobou tuhnutí referenčního betonu tuhnoucího při 20 °C.

2. Urychlovače tvrdnutí se posuzují podle pevnosti v tlaku a požaduje se minimálně 120 % pevnosti referenčního betonu za 24 hod a nejméně 90 % pevnosti, kterou referenční beton dosáhne za 28 dní, dále musí urychlovač za 48 hod při +5 °C zajistit nejméně 130 % pevnosti referenčního betonu, který tvrdne v normových podmínkách.

4. Retardační přísady

Přísady zpomalující tuhnutí cementu prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky. Obsah chloridů je v těchto látkách omezen do 0,1 %, tyto látky mohou provzdušňovat beton nejvýše do 2 % a především pevnost v tlaku betonu za 7 dní musí být vyšší jak 80 % a za 28 dní vyšší jak 90 % pevnosti v tlaku referenčního betonu. Počátek doby tuhnutí má být o více jak 90 minut delší a konec tuhnutí nejvíce o 360 minut delší než referenční čerstvý beton. Retardační přísady se používají k prodloužení doby manipulace s čerstvým betonem. Pomalé tuhnutí cementu omezuje vznik trhlinek a obvykle je 28 denní pevnost betonu v tlaku vyšší, než betonu bez přísady, pokud se nepřekročí kritická koncentrace přísady. Účinnost přísad je závislá na druhu a koncentraci přísady a také na druhu cementu. Jejich působení se vysvětluje vznikem sloučenin na povrchu hydratujících zrn cementu, které zpomalují difúzi molekul vody a tím i kinetiku hydratace.

2.1.5 Příměsi do betonu

Příměsi jsou většinou práškovité látky přidávané do čerstvého betonu za účelem zlepšení některých vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností. Dělí se na dva typy:

- inertní příměsi (typ I)
- pucolány nebo latentně hydraulické látky (typ II)

Dále k příměsím řadíme barevné pigmenty a organické polymery, přidávané do polymercementových betonů (PCC - Polymer Cement Concrete). Příměsi se přidávají v takovém množství, které nepříznivě neovlivní vlastnosti betonu, zejména jeho trvanlivost nebo nezpůsobí korozi ocele. Do typu I. se řadí mleté horniny, moučky (filer) a pigmenty. Do typu II. zařazujeme létavý popílek, jemně mletou vysokopecní strusku, křemičité (mikrosilika) nebo železité úlety.

Latentní hydraulita

Hydraulická aktivita je schopnost látky tvrdnout ve vodním prostředí za normální teploty. Latentní hydraulita je schopnost látky reakcí s Ca(OH)_2 za normální teploty ve vodném prostředí tvrdnout. Podobné vlastnosti mají pucolánové látky, které se vyznačují vysokým obsahem aktivního SiO_2 . Podmínkou chemické reakce je alkalické prostředí vytvářené v roztoku i jinými chemickými sloučeninami, které nazýváme budiče hydraulicity. Ve svých technologických důsledcích je pucolanita i latentní hydraulita totožná, rozdíly jsou pouze v obsahu některých minerálů. Latentně hydraulické příměsi se přidávají jako složky do cementu při mletí slinku nebo do čerstvého betonu při jeho míchání.

2.2 Čerstvý beton

2.2.1 Návrh složení betonu

Návrh složení musí respektovat stochastický charakter vlastností betonu, to znamená že navrhujeme složení s určitou mírou spolehlivosti. Při návrhu receptur obecně zvyšujeme požadovanou pevnost v tlaku o 4 až 5 MPa.

V první fázi návrhu vycházíme ze vstupních dat, které charakterizují oblast použití a kvalitativní požadavky na beton a to: expoziční třídy (stupeň agresivity prostředí), kde bude beton exploatován; požadavků na pevnost betonu a technologie zpracování čerstvého betonu. Vstupní data jsou po staleté historii betonu zevšeobecněny a formulovány do základních ustanovení evropské normy EN 206 (v ČR pod označením ČSN EN 206-1).

Expoziční třídy (stupně agresivity prostředí) (tab. 2.2) charakterizují prostředí používání betonové konstrukce. Označují se X a dalším písmenem a číslem. Definování prostředí pro používání betonu má význam pro garantovanou trvanlivost minimálně 50 roků a s tím souvisí výběr vstupních surovin, návrh složení betonu, jeho výsledné vlastnosti a provádění potřebných průkazných zkoušek. Na expoziční třídy betonu navazují doporučené informativní hodnoty maximálního vodního součinitele, minimálního množství cementu, stupně provzdušnění a minimální pevnostní třídy betonu.

Třída pevnosti betonu f_c vyplývá ze statického výpočtu podle zatížení konstrukce a u obyčejného betonu z hutného kameniva je základním kritériem návrhu. Třída pevnosti betonu je dána poměrem charakteristických pevností v tlaku stanovené na válcích o průměru 150 mm a výšce 300 mm nebo krychlich o hraně 150 mm. Třídy pevnosti v tlaku pro obyčejný a těžký beton a pro lehký beton jsou uvedeny v tab. 2.3. Lehký beton se klasifikuje podle dosažené objemové hmotnosti

Se statickým výpočtem souvisí i určení vzdálenosti mezi pruty výztuže a její krytí, podle kterého je nutné volit max. zrno kameniva D_{max} .

Důležitým parametrem je tzv. **vodní součinitel** w (v ČSN EN 206-1 je označen w/c), tj. poměr hmotnosti efektivního obsahu vody k hmotnosti cementu. Efektivní obsah vody je rozdíl mezi veškerou vodou obsaženou v čerstvém betonu a vodou adsorbovanou na povrchu a v pórech kameniva. Voda adsorbovaná kamenivem se stanovuje podle ČSN EN 1097-6 pro normální a těžké kamenivo za dobu 30 minut a pro lehké kamenivo za 60 minut. Vodní součinitel má rozhodující význam pro pevnost betonu, a proto je základní vztah pevnosti betonu často definován různými empirickými závislostmi v určitých mezích platnosti a pro určité parametry složení betonu. Vyšší vodní součinitel snižuje pevnost betonu a současně zlepšuje zpracovatelnost čerstvého betonu. Matematicky vyjádřená závislost pevnosti betonu na vodním součiniteli je pouze pravděpodobná, avšak s technickou přesností často vyhovující při relativně vysokém indexu korelace.

Množství cementu m_c je důležitým technologickým i ekonomickým ukazatelem složení betonu. Minimální množství je definováno třídou agresivity a maximální množství pak hospodárností výroby. Množství cementu se posuzuje v

objemu cementového tmele, který musí být vždy vyšší, než mezerovitost kameniva.

Tab. 2.2 Expoziční třídy (stupně agresivity prostředí) dle ČSN EN 206-1

Označení třídy	Popis prostředí	Příklady pro zařazení do expozičních tříd
1. Žádné riziko koroze a napadení		
X0	velmi suché	vnitřní konstrukce s velmi malou vlhkostí vzduchu
2. Koroze betonu vyvolaná karbonatací		
XC1	suché	vnitřní konstrukce s malou vlhkostí vzduchu
XC2	vlhké, zřídka suché	konstrukce s možností nasycení vodou, základy
XC3	mírně vlhké	interiéry s vysokou vlhkostí vzduchu, vnější konstrukce chráněné před deštěm
XC4	střídavě vlhké a suché	povrchy vystavené působení vody, nejsou-li v XC2
3. Koroze způsobená chloridy		
XD1	mírně vlhké	povrchy vystavené ostřikovému mlžení.
XD2	mokrě, zřídka suché	plovárny, působení průmyslových odpadních vod,
XD3	střídavě vlhké a suché	části mostů, dlažby, kryty vozovek, parkoviště
4. Koroze vyvolaná chloridy z mořské vody		
XS1	s obsahem solí ve vzduchu	konstrukce
XS2	ponořeno do vody	části námořních betonových konstrukcí
XS3	postřiková zóna, mlžení, oblast přílivu a odlivu	
5. Napadení mrazem a táním (bez i s rozmrazovacími solí)		
XF1	mírné nasycení vodou, bez rozmrazovacích látek	svíslé povrchy vystavené dešti a mrazu
XF2	mírné nasycení vodou s rozmrazovacími látkami	svíslé povrchy vozovek vystavené mrazu a vzduchem naneseným rozmrazovacími solí
XF3	silné nasycení vodou bez rozmrazovacích solí	vodorovné povrchy vystavené dešti a mrazu
XF4	vysoké nasycení vodou s rozmrazovacími látkami	vozovky a mostovky, svíslé povrchy betonu vystavené postřiku rozmrazovacími solemi a mrazu
6. Chemická agresivita (limitní obsah chemických látek je uveden v tab. 31)		
XA1	slabá chemická agresivita	
XA2	mírně chemická agresivita a působení mořské vody	
XA3	vysoká chemická agresivita	

Nadbytek cementového tmele v je koeficient, kterým násobíme mezerovitost kameniva pro stanovení objemu cementového tmele. Jeho hodnota je minimálně $v = 1,05$ a maximálně $v = 1,4$ až výjimečně $1,5$. Na objemu tmele se také podílí objem příměsí a jemných podílů kameniva v betonu.

Množství jemných podílů m_j je hmotnost příměsí (popílek, fillery, mikrosilika aj.) a jemných podílů kameniva do velikosti zrna $0,25$ mm, někde se uvádí do $0,125$ mm. Příměsí zvyšují potřebné množství vody při zachování stejné konzistence čerstvého betonu, zvýšení množství vody pro stejný vodní součinitel w se vypočítá z rovnice (23), kde jsou uvedeny hodnoty koeficientu k pro létavý popílek a mikrosiliku. Obecně lze přijmout hodnotu $k = 0,25$. Částice do $0,25$ mm zlepšují vodotěsnost betonu, zlepšují zpracovatelnost a čerpatelnost čerstvého betonu, ale zvětšují deformace betonu (smrštění a dotvarování), proto je jejich maximální množství omežováno.

Tab. 2.3 Třídy pevnosti v tlaku podle ČSN EN 206-1

Obyčejný a těžký beton			Lehký beton		
Třída pevnosti	$F_{Ck,cyl}$ [MPa]	$F_{ck,cube}$ [MPa]	Třída pevnosti	$F_{Ck,cyl}$ [MPa]	$F_{ck,cube}$ [MPa]
C 8/10	8	10	LC 8/9	8	9
C 12/15	12	15	LC 12/13	12	13
C 16/20	16	20	LC 16/18	16	18
C 20/25	20	25	LC 20/22	20	22
C 25/30	25	30	LC 25/28	25	28
C 30/37	30	37	LC 30/33	30	33
C 35/45	35	45	LC 35/38	35	38
C 40/50	40	50	LC 40/44	40	44
C 45/55	45	55	LC 45/50	45	50
C 50/60	50	60	LC 50/55	50	55
C 55/67	55	67	LC 55/60	55	60
C 60/75	60	75	LC 60/66	60	66
C 70/85	70	85	LC 70/77	70	77
C 80/95	80	95	LC 80/88	80	88
C 90/105	90	105			
C 100/115	100	115			

$F_{Ck,cyl}$ – minimální charakteristická válcová pevnost v tlaku
 $F_{ck,cube}$ – minimální charakteristická krychelná pevnost v tlaku

Mezerovitost směsi kameniva

Pro výrobu betonu je důležitý objem mezer v kamenivu, tj. prázdný prostor mezi zrny kameniva. Mezerovitostí M se označuje poměr objemu mezer k objemu zdánlivému, zaujatému v celku. Opakem mezerovitosti je hutnost $H = 1 - M$, tj. poměr čistého (skutečného) objemu kameniva k objemu zdánlivému.

Mezerovitost se udává ve stavu volně sypaném - M_s nebo setřeseném - M_t .

Aby se vyhovělo hutnosti betonu při nejmenší spotřebě malty, vybírá se kamenivo nejhutnější, s co nejmenší mezerovitostí v setřeseném stavu.

Malá mezerovitost je možná jen u směsi zrn nestejně velikých při značném rozdílu mezi velikostmi zrn největších a nejmenších. Na velikosti zrn však nezáleží, nepřihlíží-li se k rozdílu tvaru zrn velkých a malých, takže např. šterk hrubý nebo drobný, jinak stejných vlastností a se stejnou poměrnou velikostí zrn největších a nejmenších, má mezerovitost prakticky stejnou.

Mezerovitost má být malá, čili čistý objem všech zrn má zaujmout jak nejvíce možno prostoru, aby tmele jako složky méně pevné a dražší bylo co nejméně. Podle velkého počtu nejrůznějších pozorování směsí plynule i přetržitě zrnitých, je mezerovitost M tím menší, čím delší je směs, čili čím větší jsou zrna největší D .

U dobrých směsí kameniva bývá mezerovitost v setřeseném stavu při max. zrn $D = 16$ mm průměrně kolem 0,25.

Aby byl získán beton požadovaných vlastností, je nutno určit správný poměr mísení jednotlivých vstupních surovin. Vzhledem k rozmanitosti požadavků na beton s ohledem na dosažení největší hospodárnosti se určitá metoda pro návrh sestavení receptur nepředpisuje. Snahou musí být, aby při zachování a zjištění všech potřebných vlastností betonů bylo užito co nejméně vody a cementu.

Složení betonu se určuje

- a) množstvím cementu v kilogramech obsaženého v 1 m³ hotového betonu,
- b) údaji o druhu a původu surovin, podle potřeby i o jejich vlastnostech a úpravě (o poměru drobného a hrubého kameniva, jejich zrnitosti apod.),
- c) údaji o množství vody,
- d) údaji o přísadách a příměsích,
- e) údaji o zvláštních způsobech zpracování

Pro výpočet složení betonové směsi využijeme těchto poznatků, které platí:

1. Pro dané kamenivo je prakticky pro tutéž konzistenci betonové směsi množství vody na 1 m³ hotového betonu stálé bez ohledu na množství cementu (Mc.MILLAN)
2. Platí přímková závislost mezi krychelnou pevností a cementových součinitelem, která se liší podle druhu použitého cementu (BOLOMEY).
3. Součet skutečných objemů všech hmot je rovný objemové jednotce betonu ihned po zpracování, přičemž se zanedbávají vzduchové póry (FERET).

Tab. 2.4 Modely závislostí pevnosti betonu v tlaku f_c na vodním součiniteli w

Autor	Vzorec $f_c =$
Bolomey	$a_K \cdot R_C \cdot \left(\frac{1}{w} - 0,5 \right)$
Abrams	$a_A \cdot b_A^{-1,5w}$
Féret	$210 \cdot \left(\frac{V_c}{V_c + V_v + V_z} \right)^2$
Dutron	$10 \cdot w^{-1,5}$
Říha	$R_c^{0,72} \cdot w^{-1,24}$
Weber	$11 \cdot R_c \cdot \frac{w}{e^{3,5w}}$

Návrh složení podle BOLOMEYE

Před zahájením návrhu je nutné znát technologické vlastnosti použitého kameniva, tj. objemovou hmotnost kameniva, sypanou objemovou hmotnost setřeseného kameniva, zrnitost kameniva a druh cementu, tj. měrnou hmotnost cementu a výpočtovou pevnost.

Princip metody

1. Vypočteme vodní součinitel, tj. poměr vody a cementu, který je potřebný pro dosažení požadované pevnosti betonu.
2. Vypočteme nutné množství vody pro ovlhčení daného kameniva a pro docílení požadované zpracovatelnosti a nutné množství vody pro hydrataci cementu.
3. Součet absolutních objemů jednotlivých složek betonové směsi se musí rovnat jedné

4. Stanovíme vhodný poměr mísení jednotlivých frakcí kameniva podle rovnic Fuller nebo EMPA.

Postup řešení:

1. Vodní součinitel se vypočte za vzorce

$$R_{b,sm}^{28} = a R_c^{28} \left(\frac{C}{V} - 0,5 \right)$$

Kde

$R_{b,sm}^{28}$ pevnost betonu po 28 dnech normálního zrání [MPa]

R_c^{28} výpočtová pevnost cementu [MPa]

a koeficient podle druhu kameniva

Hodnota koeficientu a se udává:

a=0,55 pro říční kamenivo prvotřídní kvality

a=0,50 pro drcené kamenivo nebo říční kamenivo průměrné kvality

a=0,40 pro kamenivo s velkým obsahem jemného drobného kameniva nebo méně hodnotné po stránce petrografické nebo technologické

2. Nutné množství celkové vody se vypočte z rovnice

$$V = V_k + V_c$$

Kde V je celkové množství vody na 1m³ hotového betonu

V_k množství vody nutné pro ovlhčení kameniva a dosažení určité zpracovatelnosti

V_c množství vody nutné pro hydrataci betonu

$$v_k = \sum \frac{p \cdot n}{\sqrt[3]{d_1 \cdot d_2}}$$

kde p je množství kameniva v rozmezí velikosti sít d₁ – d₂ vyjádřené v kg

d₁, d₂ velikost ok sít v mm

n koeficient závislý na tvaru zrn a způsobu zpracování betonové směsi

Pro jemné říční kamenivo do velikosti zrn 0,25 mm se udává potřebné množství vody 23 litrů na 100 kg

Pro kamennou moučku do velikosti zrn 0,25 mm je potřebné množství vody 35 litrů na 100 kg

$$V_c = 0,23C$$

kde C je množství cementu v kg.

Množství kameniva se vypočte z podmínky

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{V}{\rho_v} + \frac{K}{\rho_k} = 1$$

Množství kameniva v jednotlivých použitých frakcích se stanoví podle vhodně zvolené křivky zrnitosti .

Zkontrolujeme obsah jemných částic do 0,25 mm (cement, příměsi a zrna kameniva do 0,25 mm), který pro maximální zrno kameniva $D_{\max} = 16$ mm je doporučován nejvýše do $530 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

2.3 Konzistence čerstvého betonu

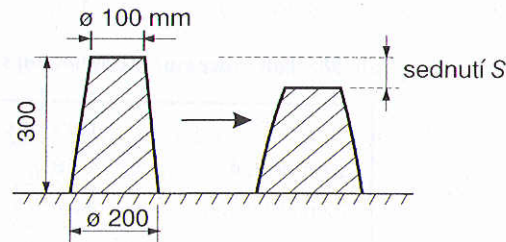
Čerstvý beton je polydisperzní kompozitní látka, která je tvořena dispergovanou fází (kamenivem) a disperzní fází (cementovým tmelem). Celý systém má omezenou soudržnost, neboť vazby mezi zrny jsou velmi slabé. Vlastnosti systému závisí na vlastnostech fází, objemovém zastoupení těchto fází, mezerovitosti dispergované fáze, na interakcích mezi dispergovanou a disperzní fází a na působení vnějších sil. Celý systém závisí na vnějších podmínkách prostředí, teplotě a času. Aplikace fyzikálních zákonů na reologické chování čerstvého betonu je značně obtížná, vzhledem ke stochastickým závislostem vlastností a jednotlivých fází navzájem. Nejdůležitější reologickou veličinou čerstvého betonu nazýváme zpracovatelnost nebo konzistence. Tato veličina nám charakterizuje stav čerstvého betonu po zamíchání všech jeho složek a před jeho uložením a zhutněním. Stručně řečeno je tímto způsobem popsán obsah vody resp. cementového tmele a pohyblivost betonu. Dříve se používalo slovní komentování charakteru zpracovatelnosti betonu výrazy suchý, zavlhlý, měkký, litý beton atd. Konzistence vyjadřuje odpor proti přetváření, je to zvláštní technologická vlastnost, která definována použitou zkušební metodou. Měření konzistence čerstvého betonu lze provádět čtyřmi metodami podle ČSN EN 206-1. Zkušební postupy jejich provádění, zkušební zařízení a hodnoty pro zařazení do příslušných stupňů jsou popsány v ČSN EN 12350 – 2 až 5 (viz. tab. 2.4). Čísla u jednotlivých symbolů (*S*, *F*, *V*, *C*) přibližně charakterizují konzistenci: 0 - velmi tuhá, 1 - tuhá, 2 - plastická, 3 - měkká, 4 - velmi měkká, 5 - tekutá, 6 - velmi tekutá. Přepočtení hodnot zjištěných různými metodami není průkazný a není pro kontrolu shody přípustný, přesto je možné najít velmi přibližné korelační vztahy některých zkušebních metod.

Tab. 2.5 Metody stanovení zpracovatelnosti

Sednutí kužele (Abrams), ISO 4109, označení S (= Slumptest)

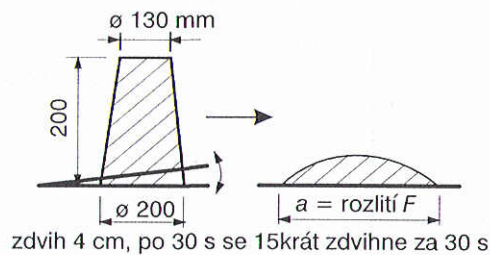
S1	10–40 mm
S2	50–90 mm
S3	100–150 mm
S4	160–210 mm
S5 ^{*)}	≥ 220 mm

zaokrouhleno na 5 mm


Rozlítí (Graf), ISO 9812, označení F (= Flowtest)

F1 ^{*)}	≤ 340 mm
F2	350–410 mm
F3	420–480 mm
F4	490–550 mm
F5	560–620 mm
F6 ^{*)}	≥ 630 mm

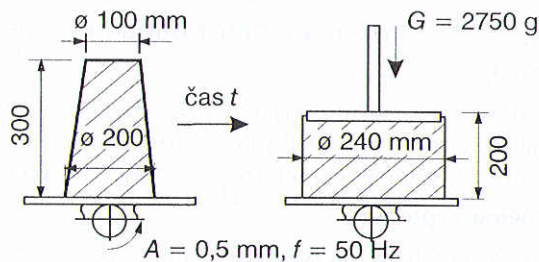
zaokrouhleno na 10 mm



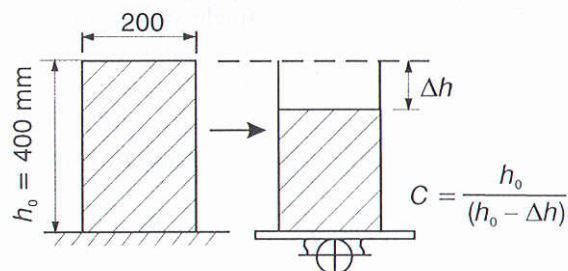
zdvih 4 cm, po 30 s se 15krát zdvihne za 30 s

Přeformování Vebe, ISO 4110, označení V (= Vebe Test)

V0 ^{*)}	≥ 31 s
V1	30–21 s
V2	20–11 s
V3	10–6 s
V4 ^{*)}	5–3 s


Stupeň zhutnění, ISO 4111, označení C (= Compaction Test)

C0 ^{*)}	≥ 1,46
C1	1,45–1,26
C2	1,25–1,11
C3	1,10–1,04



2.4 Zhutňování čerstvého betonu

Zhutňování je technologický proces, kterým porušujeme rovnováhu vnitřních sil čerstvého betonu a vnějších působících sil. Cílem zhutňování je snížení objemu vzduchových párů v betonu, tj. získat beton s maximální hutností. V procesu zhutňování nesmí nastat rozmísení čerstvého betonu, nesmí nastat segregace jednotlivých složek hlavně jednotlivých frakcí kameniva a odlučování cementového tmele. Vnitřními silami jsou kapilární síly, povrchové napětí, vnitřní tření kameniva a fyzikálně-chemické vlivy. Vnějšími silami jsou vedle

zemského gravitačního pole všechna působící zatížení. Porušení rovnováhy vyvoláme vnějšími silami, které působí buď staticky (lisování) anebo dynamicky (dusání, vibrování).

Hutnost betonu H_B se docílí minimálním vodním součinitelem w a minimálním obsahem vzduchu V_z . Vypočítá se ze vzorce

$$H_B = \frac{(1 + 0,38 \cdot a_n) \cdot \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_k}{\rho_k}}{(1 + 0,38 \cdot a_n) \cdot \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_k}{\rho_k} + \frac{m_v - 0,38 \cdot a_n \cdot m_c}{\rho_v} + \frac{V_z}{100}} \langle 1$$

m_c, m_k, m_v - hmotnost cementu, kameniva a vody v kg na 1 m³ betonu,

ρ_c, ρ_k, ρ_v - objemová hmotnost cementu, kameniva a vody v kg.m⁻³,

α_H - stupeň hydratace cementu, časově závislý ($\alpha_H < 1$),

V_z - obsah vzduchu v čerstvém betonu % objemu 1m³ betonu

Obsah vzduchu v čerstvém zhutněném betonu bývá 1 až 3 %. Zvýšení obsahu vzduchu o 1 % (= 10 l) snižuje výslednou pevnost betonu v tlaku asi o 6 %. Ideálně zhutněný beton by měl mít hutnost okolo 98%.

Volba zhutňovacího způsobu závisí konzistenci čerstvého betonu, druhu konstrukce nebo výrobku a typu zhutňovacích zařízení, které jsou k dispozici.

V praxi se nejčastěji používá vibračního zhutňování, kdy na čerstvý beton působíme dynamickým kmitáním o dané frekvenci (nejčastěji 50 Hz), amplitudě a zrychlení Tyto tzv. parametry vibrace se volí podle zpracovatelnosti čerstvého betonu, tak aby se beton zhutnil, ale současně nedošlo k jeho rozmísení a segregaci čímž dojde ke zhoršení jeho vlastností.

3 Zkoušení technologických vlastností kameniva

Text této kapitoly popisuje základní laboratorní postupy, které se používají v oblasti zkoušení kameniva.



Poznámka

Pokud se zde objeví nové nevysvětlené termíny, určitě najdete jejich vysvětlení v předešlých dvou kapitolách



Základní technické požadavky na kamenivo pro betony nám určují ČSN EN 1097 - Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva

Mimo údaje uvedené v citovaných normách je nutné posuzovat kamenivo pro betony podle dalších doporučených ukazatelů v normách neuvedených, jako např. mezerovitost, zrnitost a pod.

3.1 Zrnitost, čáry zrnitosti

a) Význam a stanovení. Zrnitost je poměrná (procentová) váhová skladba zrn jednotlivých velikostí ve směsi kameniva. Buď jsou zastoupena všechna zrna od nejmenších d po největší D , pak je zrnitost plynulá, nebo jsou zastoupena zrna jemná a hrubá, chybí složka střední, čili zrnitost je přetržitá.

K posouzení zrnitosti je třeba, aby se proséváním na sadě sít zjistila množství zadržena a propady.

Prosévání se provádí na kontrolních sítích pro zjišťování zrnění kameniva o rozměrech 32,5, 22, 16, 11, 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 a 0,063 mm .

Výsledek se zobrazí čarou zrnitosti; na ose úseček jsou velikosti otvorů, pořadnice jsou celkové propady nebo celkové zbytky. Výhodné je zobrazení, když velikosti otvorů jsou vyneseny v logaritmickém měřítku a celkové propady v měřítku lineárním. Průběh čar zrnitosti se srovnává s čarou doporučenou, která zobrazuje zrnitost podle výsledků zkoušek nejlépe vyhovujících.

Pro beton je zrnitost směsí důležitá proto, že na ní záleží množství vody potřebné k dosažení určité zpracovatelnosti a tím i dávka cementu; tím rozhoduje zrnitost nepřímo i o pevnosti vodotěsnosti a trvanlivosti betonu.

Zrnitost je důležitý činitel hospodárnosti a čáry zrnitosti jsou užitečné při výběru dílčích frakcí a následném sestavení optimální směsi kameniva. Vyhledávají se směsi se zrnitostí podle doporučených čar zrnitosti, které poskytují beton zpracovatelný co nejlépe s minimální spotřebou cementového tmele.

Plynulá zrnitost jak se mají zrna směsi odstupňovat udávají doporučené čáry zrnitosti , které se mohou stanovit podle různých metod a rovnic:

3.1.1 Podle BOLOMEYE

$$y = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

kde značí: y – váhové procento celkového propadu sítem o velikosti d

d – uvažovaná velikost zrna

D – maximální velikost zrna

A – součinitel závislý na konzistenci, zpracovatelnosti směsi a tvaru zrna.

3.1.2 Podle Fullera

$$y = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

kde značí: y – váhové procento celkového propadu sítem o velikosti d

d – uvažovaná velikost zrna

D – maximální velikost zrna

3.1.3 Podle EMPA

$$y = 50 \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

kde značí: y – váhové procento celkového propadu sítem o velikosti d

d – uvažovaná velikost zrna

D – maximální velikost zrna

Místo určité čáry zrnitosti se předepisují pásma zrnitosti, v nichž má vyhovující čára zrnitosti probíhat.

Pokud čára zrnitosti kameniva probíhá pod dolní hranicí pásem zrnitosti, jedná se o kamenivo s výrazným nedostatkem drobného kameniva. Probíhá-li čára zrnitosti kameniva nad horní hranicí doporučených pásem, jedná se o kamenivo s nadbytkem drobného kameniva.

c) Přetržitá zrnitost s prodlevou. Stejně jako směsi se zrnitostí plynulou, vyhovují i směsi se zrnitostí přetržitou, v níž některé složky chybí. Nejsou tedy méněcenné, naopak poskytují beton hutnější a pevnější, jsou-li vynechána zrna střední velikosti. Jejich vlastní hutnost bývá 0,8 až i 0,9, kdežto směsi plynulé zrnitosti mívají hutnost pouze 0,7 až maximálně 0,8. Stačí pouze, je-li plynulá zrnitost jen v oboru drobného kameniva. Mezi hrubým a drobným kamenivem je prospěšná přetržka.

Příklad

Zjistěte z jakých frakcí má být složeno kamenivo o přetržité čáře zrnitosti s prodlevou pro maximální zrno 16mm.



$D_1 = 16 \text{ mm}$; $d_1 = (0,5 \text{ až } 0,63) D_1 = 8 \text{ až } 10 \text{ mm}$, z praktického hlediska $d_1 = 8 \text{ mm}$

$D_2 = (0,20 \text{ až } 0,25) d_1 = 1,6 \text{ až } 2 \text{ mm}$, $D_2 = 2 \text{ mm}$, $d_2 = 0,5 D_2 = 1 \text{ mm}$

Kamenivo bude tedy složeno z frakcí:

Frakce I. 8 až 16mm; frakce II. 1 až 2 mm.

Poměr míšení frakcí:

Frakce	8 -16 mm	1 – 2 mm
Objemová hmotnost	2560 kg/m ³	2560 kg/m ³
Mezerovitost M_t	0,41	0,41

Objem mezer frakce 8-16 mm, tj. 410 litrů zaplníme frakcí 1 – 2 mm, tj. 151 . 0,41 = 620 kg, tím se nám mezerovitost teoreticky sníží na 410.0,41 = 168 litrů. Zbývající objem mezer, tj. 168 litrů zaplníme cementovým tmelem.

Poměr míšení frakcí tedy bude:

Frakce I. 8-16 mm	1 510 kg	71%
Frakce II. 1-2 mm	<u>620 kg</u>	<u>29%</u>
Celkem	2 130 kg	100 %

3.2 Obsah jemných částic pod 0,25 mm

Podle doporučených pásem zrnitosti lze zjistit i doporučený obsah jemných částic pod 0,25 mm v závislosti na velikosti maximálního zrna D . obsah těchto jemných částic je však ovlivňován i dávkou cementu v betonové směsi. Má-li tedy betonová směs velkou dávku cementu na 1 m³ betonu, zvyšuje obsah cementu podíl těchto jemných částic. Proto je správné určovat množství jemných částic pod 0,25 mm v kamenivu nejen podle maximálního zrna, ale také s ohledem na dávku cementu v betonové směsi.

Příklad

Vypočítejte v jakých poměrech musíme smíchat frakce kameniva 0-4 mm, 4-8mm a 8-16 mm, aby křivka zrnitosti výsledné směsi odpovídala přibližně křivce zrnitosti podle FULLERA.



Nejprve si vypočítáme celkové propady síty 4-8 mm pro maxim. zrno 16 mm.

$$y_4 = \sqrt{\frac{d}{D}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{4}{16}} = 50\%$$

$$y_4 = \sqrt{\frac{d}{D}} = 100 \sqrt{\frac{4}{16}} = 70,7\%$$

Význam jednotlivých pořadnic (y_4 ; y_8) je graficky znázorněn na obr. 3.1

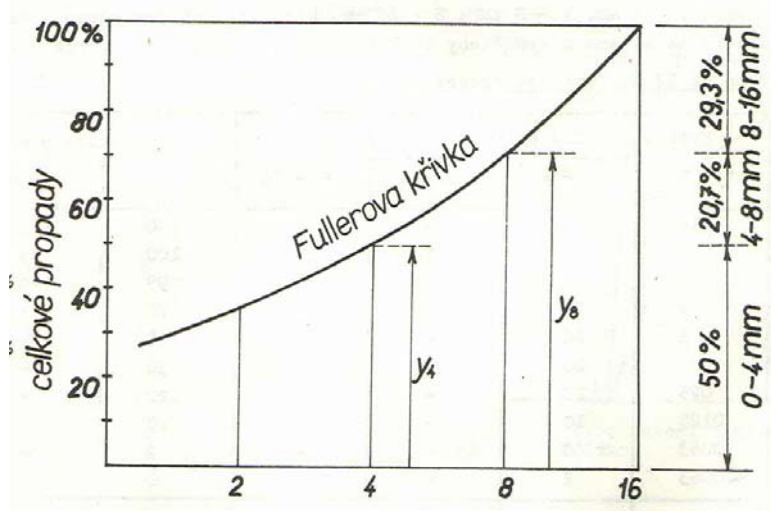
Z obrázku 3.1 vyplývá, že frakce budeme dávkovat v těchto poměrech:

Frakce 0-4 mm $y_4 - y_0 = 50\%$

Frakce 4-8 mm $y_8 - y_4 = 20,7\%$

Frakce 8-16 mm $y_{16} - y_8 = 29,3\%$

Celkem 100%



Obr.3.1 Fullerova křivka zrnitosti

3.3 Stanovení objemové hmotnosti

Zkouškou určená objemová hmotnost kameniva je podkladem pro výpočet hutnosti a mezerovitosti kameniva, pro přepočítání váhových údajů zrnitosti kameniva do betonu na údaje objemové a naopak, pro přepočty váhových a objemových údajů při sestavování receptury betonu.

Při zkoušce se stanovuje hmotnost a objem zrn vzorku a objemová hmotnost se vypočte dělením zjištěné hmotnosti zjištěným objemem..

Objem zrn kameniva se stanovuje podle množství jimi vytěsněné vody. Aby výsledek nebyl zkreslen nekontrolovatelným nasakováním vody do zkoušeného materiálu při zkoušce, nasákne se kamenivo před stanovením objemu vodou.

Do odměrného válce, naplněného přesně do poloviny jmenovitého objemu vodou, vsype se navážka a obsah válce se důkladně promíchá tyčinkou, aby se odstranily bublinky vzduchu. Na dělení válce se pak odečte společný objem kameniva a vody. Objemová hmotnost kameniva ρ_v se pro každou navážku vypočte (se zaokrouhlením na 10 kg/m^3) ze vzorce

$$\rho = \frac{m_s}{v - v_w} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Kde m_s je hmotnost navážky vysušené při 105°C až 110°C [kg]

V společný objem vody a kameniva [m³]

V_w objem vody v odměrném válci před vsypáním kameniva [m³]

3.4 Stanovení sypné hmotnosti

Sypná hmotnost je soubornou charakteristikou kameniva z hlediska objemové hmotnosti a prostorové skladby jeho zrn.

Při zkoušce se stanovuje hmotnost kameniva, které zcela naplní odměrnou nádobu předepsaného objemu. Sypná hmotnost se vypočte dělením stanovené hmotnosti kameniva objemem odměrné nádoby.

Při stanovení sypné hmotnosti setřeseného kameniva se vzorek setřásá v odměrné nádobě pevně přichycené k vibračnímu stolu na kterou se nasadí násypný nástavec. Kamenivo se vsype do nádoby najednou a vibruje se 3 minuty. Podle postupu setřásání se kamenivo doplňuje volným dosypáváním do nástavce.

Sypná hmotnost kameniva volně sypaného ρ_s nebo setřeseného ρ_t se pro každé stanovení vypočte (se zaokrouhlením na 10 kg/m³) podle vzorců

$$\rho_s = \frac{m_{2s} - m_1}{v} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\rho_t = \frac{m_{2t} - m_1}{v} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Kde

m_1 je hmotnost prázdné odměrné nádoby [kg]

m_{2s} hmotnost odměrné nádoby naplněné volně sypaným kamenivem [kg]

m_{2t} hmotnost odměrné nádoby naplněné setřeseným kamenivem [kg]

v objem odměrné nádoby [m³]

Stanovení mezerovitosti

Mezerovitost kameniva volně sypaného M_s nebo setřeseného M_t se vypočítá ze zkouškou stanovených hodnot jeho objemové hmotnosti a uvažované sypné hmotnosti vyjádřená v % (se zaokrouhlením na 0,5%), ze vzorců:

$$M_s = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_v}\right) 100 \quad [\%]$$

nebo

$$M_s = \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_v}\right) 100 \quad [\%]$$

kde ρ_s je sypná hmotnost kameniva volně sypaného [kg/m^3]

ρ_t sypná hmotnost kameniva setřeseného [kg/m^3]

ρ_v objemová hmotnost kameniva [kg/m^3]

3.5 Stanovení zrnitosti kameniva

Účelem zkoušení zrnitosti kameniva je stanovení objemových podílů jednotlivých frakcí kameniva, vymezených předepsanou stupnicí velikosti zrn, zpravidla úplnou, ve zvláštních případech redukovanou.

Zkouškou zrnitosti se bezprostředně stanoví hmotnosti jednotlivých zkoušených frakcí navážky kameniva

Účelem podrobného stanovení zrnitosti je vyjádřit poměnou skladbu zrn kameniva co do velikosti zrn, zpravidla vzhledem k řadě normových sít.

Stanovení objemových (popř. jen hmotnostních) podílů jednotlivých frakcí zrn velikosti 0063 až 32,5 mm se provádí prosévací zkouškou na sadě kontrolních kalibrovaných sít základní řady.

3.6 Stanovení hmotnostního podílu odplavitelných částic

Hmotnostní (váhový) podíl odplavitelných částic (tj. částic velikosti max. 005) se stanoví promýváním kameniva vodou, přičemž z rozdílu hmotnosti (váhy) vysušené navážky kameniva před promýváním a po něm se odvodí obsah odplavitelných částic v procentech hmotnosti kameniva.

3.7 Stanovení tvarového indexu zrn

Pro výrobu betonu je nutné používat zrna kameniva o vhodném tvaru. Ideální tvar je kulovitý blízko kouli. Zejména drcená kameniva však mívají značné odchylky od koule. Tvar bývá protažený v jednom směru, zrna mohou být špičatá v jednom směru tenká tvořící až lístky. Tvar zrna je hlavně u drcených kameniv ovlivněn typem horniny a jeho štípatelností a drtitelností a rovněž způsobem jeho drcení. Pro kamenivo do betonu platí, že poměr nejmenšího ku největšímu rozměru zrn by neměl být větší jako 3. Výraz tvarový index pak určuje kolik % zrn z testovaného souboru odebraného z dodávky kameniva nevyhoví tomuto požadavku. Podle toho jsou pak kameniva zařazena do kvalitativních tříd A, B nebo C. Kvalitní kameniva mají tvarový index do 12 %, více

jako 30% nevyhovujících zrn je již ukázkou nevhodného kameniva. Tvarový index se testuje pouze u hrubých frakcí 4 až 32,5 mm.

3.8 Příklad návrhu složení betonu

Návrh složení podle odhadu přebytku cementového tmele

Princip:

Cementový tmel vyplňuje mezerovitost kameniva a také obaluje povrch zrn kameniva. Objem cementového tmele potřebný na obalení zrn se nazývá nadbytkem cementového tmele v a dosahuje hodnot 1,1 až 1,5.

Schéma výpočtu:

Výpočtem z Bolomeyovi rovnice (tab. č. 4.) stanovíme vodní součinitel w , který zkontrolujeme zda odpovídá požadavkům podle ČSN EN 206–1. Volíme menší hodnotu w .

Množství cementu m_c vypočítáme pomocí rovnice :

$$V_{CT} = v \cdot M = v \cdot \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_K} \right) = \frac{m_c}{\rho_C} + \frac{w \cdot m_c}{\rho_v} + \frac{m_P}{\rho_P} + \frac{P_{0,25} \cdot m_K}{100 \cdot \rho_K}$$

jemnou frakci v kamenivu zatím zanedbáváme.

Množství kameniva m_K vypočítáme z rovnice:

$$\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_V}{\rho_V} + \frac{m_K}{\rho_K} + \frac{m_P}{\rho_P} = 1 - \frac{V_z}{100}$$

a jednotlivé zastoupení dílčích frakcí pak upravíme podle zvolených křivek zrnitosti (Fuller, EMPA atd.)

Zkontrolujeme obsah tuhých částic do 0,25 mm (cement, příměsí a zrna kameniva do 0,25 mm), který pro $D_{\max} = 16$ mm je doporučován nejvýše do 530 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Zadání:

Cement CEM I 42,5; $a_K = 0,6$; volíme $v = 1,2$; provzdušňovací přísada 0,5 % CEM; plastifikační přísada 1,2 % CEM; bez příměsí $m_p = 0$; podíl zrn do 0,25 mm v kamenivu $P_{025} = 6,5$ %.

Cement CEM I 42,5; $a_K = 0,6$; volíme $v = 1,2$; provzdušňovací přísada 0,5 % CEM; plastifikační přísada 1,2 % CEM; bez příměsí $m_p = 0$; podíl zrn do 0,25 mm v kamenivu $P_{025} = 6,5$ %.

Výpočet:

$$1. \text{ Podle Bolomeye } 37 + 5 = 0,6 \cdot 42,5 \cdot (w^{-1} - 0,5) \Rightarrow w = \frac{1}{\frac{37+5}{0,6 \cdot 42,5} + 0,5} = 0,47$$

Podle informativních požadavků (tab. 32.) $w \leq 0,55$.

2. Množství cementu m_C [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$$v \cdot \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_K}\right) = \frac{m_C}{\rho_C} + \frac{w \cdot m_C}{\rho_V} + \frac{m_P}{\rho_P} = 1,2 \cdot \left(1 - \frac{1980}{2650}\right) = m_C \cdot \left(\frac{1}{3100} + \frac{0,47}{1000}\right)$$

$$\Rightarrow m_C = 385.$$

3. Množství kameniva m_K [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] vypočteme z rovnice absolutních objemů

$$\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{w \cdot m_C}{\rho_V} + \frac{m_P}{\rho_P} + \frac{m_K}{\rho_K} = 1 - \frac{V_Z}{100} = \frac{385}{3100} + \frac{0,47 \cdot 385}{1000} + 0 + \frac{m_K}{2650} = 1 - \frac{5}{100}$$

$$\Rightarrow m_K = 2650 \cdot (0,95 - 0,124 - 0,181) = 1714 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

4. Zkontrolujeme obsah jemných tuhých částic do 0,25 mm

$$m_C + \frac{p_{0,25} \cdot m_K}{100} = 385 + \frac{6,5 \cdot 1714}{100} = 496 \leq 530 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Složení betonu:

Cement CEM I 42,5

385 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

Voda

$0,47 \cdot 385 = 173 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$,

Kamenivo: písek 0/4 mm

$0,36 \cdot 1714 = 617 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

Štěrka 4/16 mm

$0,64 \cdot 1714 = 1097 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

Provzdušňovací přísada

$0,005 \cdot 385 = 2 \text{ dm}^3$,

Plastifikační přísada

$0,012 \cdot 385 = 4,6 \text{ dm}^3$,

Přísady tvoří objem

$6,6 \text{ dm}^3$,

Proto redukuje množství vody o $(4,6 + 2)$ na

173 dm^3 ,

Objemová hmotnost čerstvého betonu $\Sigma =$

$2278 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

4 Autotest



1. Mezi používané frakce kameniva nepatří

- 4-8 mm
- 11-22 mm
- 63 – 150 mm
- 22 – 32,5 mm

2. Tvarový index popisuje :

- velikost zrna kameniva
- povrch zrn kameniva
- tvar zrn drobného kameniva
- tvar zrn hrubého kameniva

3. Která pevnostní třída cementu se nevyrábí:

- 32,5
- 25,5
- 42,5

- d) 52,5
4. Provzdušňovací přísady používáme pro:
- a) snížení objemové hmotnosti
 - b) zlepšení mrazuvzdornosti
 - c) zlepšení vodotěsnosti
 - d) zvýšení pevností
5. Betony vystavené působení mrazu označujeme:
- a. XA
 - b. XC
 - c. XD
 - d. XF
6. Vodní součinitel vyjadřuje :
- a.) množství vody v betonu
 - b) množství cementu
 - c) hmotnostní poměr cementu ku vodě
 - d) hmotnostní poměr vody ku cementu

5 Závěr

5.1 Shrnutí

Beton je nejrozšířenější stavební materiál současnosti. Vzhledem k jeho značně širokému spektru uplatnění, různým podmínkám, ve kterých je po celou dobu svého zabudování vystaven a velmi odlišných typech konstrukcí je ve stavební praxi používáno desítky typů betonů, které se navzájem velmi liší. Před navrhováním složení betonů je proto nutné velmi pečlivě zvážit všechny tyto okolnosti a již při výběru vstupních surovin postupovat podle těchto okolností. Cílem úspěšného návrhu není jen dosažení požadovaných vlastností čerstvého betonu – zpracovatelnost, odolnost proti rozmísění, segragaci jednotlivých složek, odolnost proti pocení (tj. vystupování vody na povrch betonu), čerpatelnost atd., ale i dosažení kvalitativně vysokých vlastností zatvrdlého betonu. Základním kritériem je dosažení požadované pevnosti betonu v tlaku stanovené podle dohod po 28 dnech zrání.. Tento požadavek je však v současnosti rozšířen i na další speciální vlastnosti jako je pevnost v příčném tahu, tahu za ohybu. Pro provádění předepnutých betonových konstrukcí jsou z hlediska hodnot dotvarování důležité hodnoty modulů pružnosti, které se stanovují buď jako statické moduly pomocí destruktivních zkoušek nebo dynamické moduly pomocí nedestruktivních metod.

Velmi důležitým požadavkem vzhledem k náročnosti prováděných konstrukcí je trvanlivost (životnost) betonů vystavených různým typům vnějších vlivů



(klimatické podmínky, chemické agresivní prostředí, působení tlakové vody atd.). Pro zajištění vysoké trvanlivosti při nepříznivých klimatických vlivech jsou betony navrhovány s požadavkem na mrazuvzdornost a při kombinaci s působením chemických rozmrazovacích látek pak je požadována i odolnost povrchů betonů proti působení vody, mrazu a chemických rozmrazovacích látek. Betony, které jsou vystaveny působení tlakové vody (betonové vodojemy, přehradní hráze, bazény) musí být navrženy na vysoký stupeň vodotěsnosti tj. odolnosti proti průsaku vody pod tlakem. Zvláštní kapitolou jsou betony vystavené působení chemicky agresivních prostředí (sírany, chloridy, CO₂, hořečnany, dusičnany, různé kyseliny atd.). V těchto případech je návrh složení velmi komplikovaný neboť otestování trvanlivosti je záležitost časově velmi náročná 1 až 2 roky.

Dalším často velmi důležitým požadavkem je zabránění vzniku smršťovacích trhlin v době zrání betonu. To znamená velmi účinně snížit objemové změny betonu. Vzniklé trhliny totiž mohou zcela znehodnotit betonovou konstrukci – snížení vodotěsnosti, mrazuvzdornosti atd.

Podle různých typů konstrukcí se liší i požadavky na objemovou hmotnost betonů. Z tohoto hlediska navrhujeme lehké betony (400 až 1800 kg/m³), normální betony (1900 až 2500 kg/m³) nebo těžké betony (2600 až 4800 kg/m³).

V současné době se začínají výrazněji uplatňovat i tzv. vysokopevnostní betony s pevnostmi v tlaku vyššími než 70 MPa. Možnosti maximálních možných pevností se stále posouvají, hodnoty okolo 150 MPa již jsou dosažitelné. Zajímavou a perspektivní oblastí jsou i tzv. vysokohodnotné betony, které dosahují vysokých speciálních užitných vlastností jako je např. vysoká trvanlivost, nebo tzv. samozhutnitelné betony, které se nemusejí po uložení do bedněn dále hutnit.

Z výše uvedených faktů vyplývá, že možnosti a přístupy k technologii betonu se neustále rozšiřují a vyvíjí za stále širšího vlivu stavební chemie.

6 Studijní prameny

6.1 Seznam použité literatury



- [1] Pytlík, P., Technologie betonu. CERM Akademické nakladatelství, Brno, 2000
- [2] Meluzín, O. Technologie betonu VUT Brno 1980

6.2 Seznam doplňkové studijní literatury

- [1] Nedbal, F. a kolektiv Za betonem do Evropy Svaz výrobců betonu 1999.
- [2] Nedbal, F. a kolektiv Speciální betony Svaz výrobců betonu 2001.

7 Stavební keramika

Keramické výrobky řadíme mezi silikáty, což jsou anorganické látky nekovové povahy získané tepelným zpracováním přírodních surovin obsahující převážně oxidy křemíku. Mezi silikáty řadíme keramiku, sklo, maltoviny a smalty. Keramika byla dříve definovaná jednoduše jako pálená hlína.



Keramika je pevná anorganická látka vyrobená keramickým výrobním způsobem z minerálních surovin s převládající složkou jílových minerálů, vytvarovaná a potom vypálená na vysokou teplotu (většinou nad 900 °C).

Keramický technologický postup probíhá následovně: z jemně dispergované surovinové směsi se vytvaruje *výlisek* ve tvaru budoucího výrobku, který se vysušením a následným výpalem na vysokou teplotu zpevní a získá tak požadované technické parametry. Vznikne *vypálený keramický střep*. Teplota výpalu je vždy nižší než teplota tání. Keramika se vyznačuje vysokou chemickou odolností, trvanlivostí, ale také křehkostí. Je přijatelná pro přírodní prostředí.

Výrobky stavební keramiky jsou trvale zabudovány do stavby a jejich vlastnosti jsou definovány v příloze vládního nařízení č.178/1997 Sb. ve znění č. 81/1999 Sb. Mezi výrobky stavební keramiky patří především všechny cihlářské výrobky (zdíci a stropní tvarovky, krytina aj.), keramické obkladové prvky (obkládačky, dlaždice), kamenina, zdravotnická keramika a částečně i žárovzdorné výrobky.

7.1 Rozdělení keramiky

Keramické výrobky lze zjednodušeně rozdělit podle kvality keramického střepu, podle technologie výroby a samozřejmě podle použití. Vytváření výpočtového modelu konstrukce

7.1.1 Rozdělení podle vlastností keramického střepu

Keramický střep (hmota tvořící keramický výrobek) můžeme kvalitativně rozdělit:

- podle nasákavosti NV, která popisuje pórovitost střepu na: pórovitý (NV nad 12 %), polohutný (NV = 6 – 12 %), hutný (NV = 2 – 6 %) a slinutý (NV pod 2 %),
- podle barvy střepu na: bílý a barevný,
- podle užití střepu na: cihlářský, pórovinový, kameninový, žárovzdorný, porcelánový, apod.

7.1.2 Rozdělení podle technologie výroby

1. Hrubá keramika (cihlářské výrobky, kanalizační a chemická kamenina, zahradní keramika, žárovzdorné výrobky) s technologickými specifikacemi:

- Okem zřetelný podíl částic nad 100 μm až do 5 mm,
- 2. Jemná keramika** - jemná kamenina (dlaždice), obkladačky, zdravotní a nádobová kamenina, kachle, dentální keramika, porcelán a další speciální střepy (slinuté oxidy apod.).
- Stavba střepu je pozorovatelná jen mikroskopem - všechny částice jsou do 100 μm .
- Střep má malou pórovitost, většinou je slinutý.

7.1.3 Rozdělení podle použití výrobků

1. Stavební keramika jsou výrobky trvale zabudované do stavby. Patří sem cihlářské výrobky (cihly plné, dutinové, děrované, pálená krytina tažená a ražená, překlady a tvarovky pro stropy, klinkery pro lícové zdivo a dlažbu), kanalizační kamenina (trouby, kolena, odbočky apod.), kameninové dlaždice, pórovinové obkladačky, kachle, zdravotní keramika.

2. Žárovzdorná keramika používaná pro vyzdívky pecí a tepelných agregátů. Nejběžnější jsou šamot, dinas, magnezitové a chrommagnezitové výrobky a další speciální výrobky.

3. Keramika pro průmyslové účely. Strojírenství používá brusné a řezné nástroje. V chemických zařízeních jsou potřebné nádoby, potrubí, čerpadla, mlecí tělesa. Různá zařízení vyžadují keramickou vystýlku vzhledem k vysoké kyselínovzdornosti a chemické odolnosti hutného střepu jemné keramiky. Pro silnoproudou elektrotechniku se vyrábí izolátory a doplňky elektrozařízení, kde se očekávají elektrické výboje nebo vysoká teplota.

4. Zemědělská a zahradní keramika.

5. Spotřební keramika (nádobová a umělecká keramika, porcelán, různé artefakty).

6. Mezní oblast. Do mezních oblastí mezi keramickou a odlišnou technologií lze zařadit: tavené žárovzdorné výrobky a tavený čedič (sklářská technologie), žárobeton (betonářská technologie), brusiva, oxidová vlákna (technologie minerálních a skelných vláken) apod.

7.2 Keramické suroviny

Suroviny používané v keramice jsou většinou přírodní (neplastické suroviny mohou být i průmyslové odpady nebo synteticky připravené látky), které svým chemickým, mineralogickým i granulometrickým složením tvoří vytváří předpoklady pro požadované vlastnosti keramického střepu nebo glazury. Rozdělují se na suroviny plastické (obecně jílovinové zeminy) a neplastické, rozdělené podle funkce na: ostřiva, taviva, lehčiva.

7.2.1 Plastické suroviny (jílovinové zeminy)

Plastické suroviny jsou po rozdělání s vodou schopné tvarování. Jílovinové zeminy jsou sedimenty a vznikly zvětráváním hornin bohatých na živcové minerály (žuly, pegmatity, arkózy aj.), hydrotermálním rozkladem a přemístěním rozrušených hornin a sedimentací složek rozpadu. Plastičnost jílovinovým zeminám propůjčují jílové minerály (tab. 7.1), kromě kterých ještě obsahují i určitý podíl neplastických součástí (tab. 7.2). Podle velikosti zrn rozlišujeme: jílovinu (zrna < 2 μm), prachovinu (zrna 2 – 50 μm) a pískovinu (zrna > 50 μm). Jílovinové zeminy využitelné v keramice se dělí na **jíly** (obsahují více než 50 % jílovinu) a **hlíny** (20 – 50 % jílovinu). S rostoucím podílem jílovinu roste plastičnost zemin. Speciálním druhem zemin s rozsáhlým praktickým využitím jsou kaoliny (zeminy s převládajícím jílovým minerálem kaolinitem) a bentonity (jílový minerál montmorillonit). Jílovinové zeminy mohou být sypké (např. jíl, hlína) nebo zpevněné (např. jílovec, lupek).

Tabulka 7.1. Základní druhy jílových minerálů

Skupina nerostů	Název nerostu (chemický vzorec)
kaolinitu	Kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Halloysit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
montmorillonitu	Montmorillonit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), Nontronit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
illitu	Illit ($n\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)
chloritu	Chlorit ($10(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

Tabulka 7.2. Ostatní nejílové nerosty v jílových zeminách

Typ nerostů	Název nerostu (chemický vzorec)
Oxidy	Křemen (β - SiO_2), Rutil, Anatas (TiO_2), Hematit (α - Fe_2O_3)
Živce	Ortoklas ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), Albit ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
Slídy	Muskovit ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Biotit ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Uhlíčitany	Kalcit (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Siderit (FeCO_3)
Sírany	Sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Hydroxidy	Goethit (α - $\text{FeO} \cdot \text{OH}$), Lepidokrokite (γ - $\text{FeO} \cdot \text{OH}$), Hydrargillit (γ - $\text{Al}(\text{OH})_3$), Diaspor (α - $\text{AlO} \cdot \text{OH}$), Böhmit (γ - $\text{AlO} \cdot \text{OH}$)
Sírníky	Pyrit, Markasit (FeS_2)

7.2.2 Neplastické suroviny

Neplastické suroviny jsou nezbytnými přísadami převážné většiny výrobních směsí, které plní funkce: ostřiva, taviva, lehčiva a barviva. Některé přísady plní různou měrou více funkcí současně.

Ostřiva

Ostřiva jsou přírodní nebo umělé (v cihlářství i odpadní) látky, které se v syrovém stavu projevují snížením plastičnosti plastického těsta, snižují smrštění sušením a vytvářejí kostru střepu. Ostřiva lze rozdělit podle chemické povahy (křemičitá – křemen, křemenec; hlinítokřemičitá; zvláštní např. korund, odpadní látky), podle granulometrie (maximální zrno, tvar zrn a křivka zrnitosti) a spojené funkce (současně jsou tavivem nebo lehčivem).

U křemičitých ostřiv je třeba během výpalu brát ohled na modifikační přeměny křemene, které jsou spojeny s objemovými změnami (nárůst při zvyšování teploty).

Hlinitokřemičitá ostřiva (**šamot**) jsou vypálené jíly nebo lupky na teplotu 1000 až 1400 °C. Výpalem došlo k tepelné stabilizaci vznikem různého množství mullitu a dalším výpalem již nedochází k žádným podstatným fyzikálně chemickým změnám.

Jako ostřivo především při výrobě obkladaček se používá také vápenec a dolomit.

Taviva

Taviva se účastní tvorby taveniny a snižují teplotu výpalu. Taviva lze rozdělit na **základní** (suroviny s nízkou teplotou tavení) a na **eutektikální** (suroviny obsahující oxidy, které reakcemi v žáru s dalšími oxidy ve střepu vytváří nízkotavitelné sloučeniny).

Nejčastěji používaným základním tavivem v keramice jsou **živce** - živec draselný ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ – např. ortoklas), živec sodný ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ – albit) a vápenatý ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ - anortit). Nízká tavitelnost živců je dána obsahem alkálií - Na_2O , K_2O . V přírodě se nejčastěji vyskytují jako směsné: oligoklasy (ortoklas a albit) a plagioklasy (albit a anortit). Pro tavicí účinek je důležitý obsah alkalických oxidů. Sodný živec se začíná tavit při 1120 °C, draselný od 1170 °C, tavitelnost vápenatých živců začíná nad 1500 °C.

Vyžívají se i suroviny s nižším obsahem alkálií - živcové pegmatity (minimální množství alkálií 7 %), pegmatity (5 % alkálií). Jako základní tavivo se s úspěchem používá i nefelinitický syenit a nefelinitický fonolit (znělec).

Eutektikální taviva jsou suroviny obsahující oxidy CaO , MgO , FeO , K_2O , Na_2O aj. Zdrojem jsou uhličitany (vápenec, magnezit, dolomit), mastek ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$).

Lehčiva

Lehčiva slouží ke snížení objemové hmotnosti keramického střepu, resp. jeho tepelné vodivosti. Podle způsobu vytváření pórovité struktury rozeznáváme:

Lehčiva působící nepřímo - mají malou objemovou hmotnost a mohou být přírodní (křemelina), odpady (škvára) nebo upravená (např. expandovaný perlit).

Lehčiva působící přímo - látky, které při výpalu vyhoří, tj. obsahují organické složky. Používají se většinou různé odpady (dřevěné piliny, korková drť, uhelný prach, briketová drť, popílek, pěnový polystyren aj.).

Jejich použití se volí podle povahy keramického střepu a druhu výrobku. Lehčiva většinou v hrubé keramice plní i funkci ostřiva při úpravě plastičnosti těsta a vždy snižují pevnosti vypáleného střepu.

7.3 Technologie výroby stavební keramiky

Technologie výroby keramiky lze obecně shrnout do následujících etap: těžba a úprava surovin, vytváření, sušení, výpal.

7.3.1 Těžba a zpracování surovin

Zpracováním natěžených vstupních surovin začíná keramický výrobní proces. Zpracováním rozumíme úpravu surovin zahrnující především drcení, mletí a mísení jednotlivých složek výrobní směsi. Každý keramický výrobek potřebuje určitou jemnost výrobní směsi, kterou popisujeme maximálním zrnem ve směsi: porcelán, zdravotní keramika 100 μm ; obkladačky 60 μm ; dlaždice 60 – 200 μm ; lícové cihly 90 – 500 μm ; kamenina 300 – 2000 μm ; žárovzdorný materiál 3 mm; cihly 5 mm. Úprava konzistence výrobní směsi se volí také podle způsobu vytváření.

Zpracování surovin se uskutečňuje v sestavě vhodných strojů ve vhodném pořadí, které jsou vzájemně propojené mezioperační dopravou podle skupenství dopravovaného materiálu. Základní operace jsou: dávkování (např. skříňový podavač), drcení (např. kolový mlýn), mletí (např. bubnový mlýn, válce), třídění, mísení, obohacování, granulování a mezioperační skladování. Z hlediska vlhkosti surovinové směsi při zpracování surovin rozlišujeme mokrou a suchou úpravu surovin.

7.3.2 Keramické vytváření (formování)

Představuje převedení polydisperzního systému výrobní směsi v kompaktní systém konkrétních geometrických rozměrů (= výlisek). Při vytváření dochází ke změně tvaru a změně vzájemné polohy částic působením vnějších sil.

Podle tvaru a rozměrů výrobku se v keramice používají tři základní druhy vytváření.

Lití suspenze (břečky) do forem. Používá se k vytváření složitých tvarů (např. zdravotní keramika) s obsahem vody v suspenzi 30 – 40 %. Vytváření litím břečky obecně může být tzv. **na střep** (voda ze suspenze je jednostranně odsávána formou, nejčastěji sádrovou, a po vytvoření střepu se přebytek suspenze vylije) nebo **na jádro** (suspenze zcela vyplní formu).

Vytváření z tvárného (plastického) těsta při vlhkosti těsta 15 – 25 %. Základním strojem je šnekový lis (dnes výhradně vakuový) a výlisky jsou tvarovány horizontálním tažením (cihlářské výrobky) nebo vertikálním tažením (kameninové trouby větších světlostí), ražením (pálená krytina), vytáčením (nádoby kruhového průřezu, talíře, hrnky aj.), vytlačováním do formy (např. kachle).

Lisováním ze suché (granulát) nebo zavlhle (drolenky) směsi při vlhkosti od nuly do 15 %. Ze suché směsi se lisují obkladačky a dlaždice, ze zavhlé směsi se dusají žárovzdorné tvarovky. Drobné elektrotechnické keramické výrobky, ale také užitkové keramiky se v poslední době tvarují izostatickým lisováním.

7.3.3 Sušení

Sušení je technologický proces, při němž působením tepla odstraňujeme nebo snižujeme vlhkost výlisku na takovou hodnotu, která je určena podmínkami výpalu. Vysušený výlisek (výsušek) ztrácí schopnost přetváření, kterou mu poskytovala přítomná voda a přechází do stavu s výrazně vyšší pevností. Části-

ce se přibližují v důsledku odstraňování vody, vodní filmy na částicích se snižují a dochází ke stahování částic k sobě (smršťování).

Zákonitosti sušícího procesu rozdělujeme na tři části:

1. Dynamika sušení. Stanovuje závislost změny vlhkosti výlisku na době sušení s ohledem na parametry sušícího media a fyzikální vlastnosti struktury výlisku (smrštění aj.), který má určitou citlivost k rychlosti sušení. Dynamika sušení vysvětluje a popisuje jevy probíhající ve vysoušeném výlisku, určuje stavy teplot a vlhkosti materiálu v průběhu sušení s cílem definovat maximální rychlost sušení. Rychlost sušení je podmíněna množstvím dodávaného tepla a schopností výlisků ztrácet vlhkost bez vzniku trhlin a deformací.

2. Statika sušení. Popisuje proces sušení z hlediska látkové a tepelné bilance výlisku a fyzikálních parametrů sušícího media (tzn. vlhkého vzduchu). Znalosti vlastností vlhkého vzduchu jsou nezbytností. Stavy vlhkého vzduchu se zobrazují v Moliérově diagramu $i - x$ vlhkého vzduchu (i – enthalpie a x – měrná vlhkost vzduchu).

Modely teoretické sušárny (sušárny bez tepelných ztrát) umožňující bilancování množství vstupního a výstupního vzduchu, množství odpařené vody. Energetická náročnost sušení se vyjadřuje měrnou spotřebou tepla, tj. množství tepla [kJ] potřebného na odpaření 1 kg vody z výlisků (včetně tepelných ztrát sušárny).

3. Technologie sušení aplikuje poznatky dynamiky a statiky sušení na výrobní zařízení. Popisuje konstrukci a regulaci sušícího procesu s cílem získat kvalitní vysušené výlisky (bez trhlinek a jiných deformací) s minimální spotřebou tepla. Posuzují se konkrétní sušárny.

Druhy sušáren

Sušárny rozdělujeme na periodické (stabilní poloha výlisku po celou dobu sušení) a kontinuální (výlisky jsou v pohybu na dopravním prostředku).

Periodické sušárny vyžadují změnu sušárenského klima (stav vzduchu) podle režimu sušení. Sušárenský prostor (komory) se periodicky zavazuje a vyvazuje. Současným představitelem periodických sušáren jsou **komorové sušárny**. Teplý vzduch je přiváděn z chladnacího pásma pece a dále ohříván parními radiátory v komorách. Doba sušení podle druhu výrobků je 2 – 4 dny při spotřebě tepla 3400 – 7000 kJ.kg⁻¹H₂O. Výhodou komorových sušáren je snadná změna režimu sušení podle změny formátu a vlastností vysoušeného materiálu a nezávislost navážky a vyvážky komor. Nevýhodou je vyšší spotřeba tepla, vyšší náklady na obsluhu (navážka a vyvážka) sušáren, větší obestavěný prostor.

Kontinuální sušení se uskutečňuje převážně v kanálových nebo v jednovrstvých sušárnách, které pracují na principu nepřetržitého průchodu výlisků sušícím kanálem. V hrubé keramické výrobě se používají **kanálové sušárny**, které opět využívají teplý vzduch z chladnacího pásma pece a v některých případech i doplňující vnitřní přitápění parními registry. Výhodami kanálových sušáren ve srovnání s komorovými sušárnami jsou: krátká doba sušení (1 – 3 dny) při nižší měrné spotřebě tepla (asi 3200 kJ.kg⁻¹ H₂O), jednoduchá obsluha, velmi dobré podmínky mechanizace a automatizace. Mezi nevýhody patří znaitelná reakce sušícího režimu na změnu formátu nebo vlastností výlisků a nedostatečná rezerva pro případné poruchy výrobního procesu.

Ve větší míře se rozšiřuje, zejména v jemné keramice, **jednovrstvé rychlé sušení**. Vysušované výlisky se posouvají v jedné vrstvě na dopravním zařízení sušárnou, kde v jednotlivých úsecích proudí vzduch s vlastnostmi podle režimu sušení. Výrazně se zkracuje doba sušení při malé měrné potřebě tepla $3100 - 3700 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{H}_2\text{O}$. Sušení je vhodné pro výrobky s tloušťkou střepu $\leq 6 \text{ mm}$.

7.3.4 Výpal

Výlisek (tzv. syrový střep) získává pálením (obecně nejčastěji v intervalu $900 - 1400 \text{ }^\circ\text{C}$) nové strukturní uspořádání, které mu propůjčuje technické a technologické vlastnosti, potřebné pro jeho aplikaci. Vypálený výrobek (střep) má proti nevypálenému vyšší pevnost, stabilní tvar, jinou barvu a je odolný proti působení povětrnosti i proti řadě agresivních látek.

Zpevňování keramických střepů během výpalu se děje procesem slinování.

Slinování je zpevňování práškové nebo pórovité látky vzájemným spojováním zrn účinkem teploty, aniž by se musela látka tavit.

Charakteristické etapy výpalu

Jednotlivé etapy výpalu se velmi liší charakterem probíhajících změn a proto rozhodující technologický faktor, tj. rychlost změny teploty se musí přizpůsobit povaze výrobku. Proces výpalu rozdělujeme na:

- Údobí ohřevu do teploty počátku slinování, které se dále dělí na dosoušení a údobí počátku reakcí v tuhém stavu.
- Údobí vypalovací teploty, rozdělené na údobí zhutňování a údobí slinování.
- Údobí ochlazování.

Údobí dosoušení je pokračováním sušení, střep se zbavuje zbytkové fyzikálně vázané vody. Podle rychlosti ohřívání se konečná teplota údobí posouvá do $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Rychlost ohřívání musí respektovat vznikající napětí ve střepu, neboť zvláště na povrchu výrobku se mohou vyskytovat trhlinky a odlupování.

Údobí reakcí v tuhém stavu zahrnuje oblast odstraňování chemicky vázané vody jílových minerálů ($450 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$), reakce v tuhém stavu ($800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$) a úsek vyhořívání organických látek. V tomto úseku také dochází k dekarbonizaci postupně magnezitu, dolomitu a kalcitu. Probíhají objemové změny.

Údobí zhutňování je doprovázeno smršťováním střepu. Údobí probíhá od teploty $800 \text{ }^\circ\text{C}$ do $1100 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ a teoreticky je ukončeno teplotou zhutnění (definované nasákavostí 8%). Ve střepu se často objevuje prvotní tavenina, což se projevuje smrštěním střepu.

Údobí slinování se vyznačuje značným zhutněním až slinutím střepu. Údobí končí dosažením požadované vypalovací teploty a dobou izotermické výdrže na maximální teplotě. Slinutí je charakterizováno nasákavostí do 2% . V tomto údobí roste podíl taveniny a střep získává své vlastnosti.

Údobí chlazení prakticky začíná snížením teploty výpalu. V prvních fázích asi do $800 \text{ }^\circ\text{C}$ nebývá střep citlivý na rychlý pokles teploty, neboť gradienty napětí

se mohou vyrovnat důsledkem plastického stavu. Pod uvedenou teplotu nastává vlastní chlazení, již podstatně pomaleji (významné jsou modifikační změny SiO₂).

Keramické pece

Vývoj keramických pecí, základního výrobního agregátu, směřuje od periodicky pracujících pecí do 19. století (např. milíře) ke kontinuálním pecím (kruhové pece od roku 1858) a v současné době k přechodu na rychlovýpal některých výrobků v jednovrstvých válečkových pecích. Vývoj je patrný i v používaném palivu, přešlo se od tuhých paliv k výpalu zemním plynem. Pece rozdělujeme podle druhu i množství vypalovaných výrobků a způsobu výpalu na:

- **periodické pece**, vhodné pro malosériovou nebo kusovou výrobu, které se podle konstrukce dělí na vozokomorové nebo pokloповé pece,
- **kontinuální pece**, v hrubé keramice se používají především **tunelové pece** (v cihlářské výrobě již nahradily kruhové pece) a v jemné keramice se stále ve větším rozsahu používají **válečkové pece**, které nahrazují dřívější tunelové pece.

Cílem výpalu je realizace vypalovací křivky (teplotní režim) při minimalizaci spotřeby energie, maximálního kapacitního využití pece s vyloučením nekvalitních výrobků. Součástí výrobního procesu je ochrana životního prostředí odstraněním škodlivých emisí (HF, SO₂, uhlovodíky aj.) Významnou položkou v energetické bilanci pecí jsou pálicí pomůcky, běžné při výpalu jemné keramiky a dnes i při výrobě pálené krytiny.

7.4 Výrobky stavební keramiky

7.4.1 Cihlářské výrobky

Cihlářské výrobky představují největší objem výroby stavební keramiky a používají se jako zdící prvky, jako krytina pro šikmé střechy a prvky pro horizontální konstrukce. Vyznačují se obecně vysokou nasákavostí nad 12 % (kromě hutných lícových cihel), pevností v tlaku od 3 do 60 MPa a objemovou hmotností od 800 do 2000 kg.m⁻³. Vytváření se děje zásadně z plastického těsta s obsahem vlhkosti až 25 % na vakuových šnekových lisech a vypalují se většinou při teplotách 930 až 1050 °C. Výrobky jsou přijatelné pro životní prostředí, jsou schopny ve výrobě nezávadně spotřebovat řadu průmyslových odpadů a po dožití jsou schopné recyklace.

Jako základní surovina se používají cihlářské zeminy, které lze je rozdělit na kvartérní (spraše a sprašové hlíny) a na terciérní nezpevněné (jíly a slíny) nebo zpevněné (jílovce, slínovce). Jako přísady se v cihlářství používají nejčastěji ostřiva a lehčiva. Ve velké míře se používají odpadní látky vzhledem ekonomickým a ekologickým parametrům. Jako ostřivo se používá přírodní písek a odpady, která současně působí i jako lehčiva: škvára, uhelný prach, briketová drť, odpady z výroby minerálních vláken, struska.

Podle použití rozdělujeme cihlářské výrobky na zdící prvky (cihly plné, tvárnice duté a děrované), pálenou krytinu, tvarovky pro horizontální konstrukce a

ostatní (trativodky, komínovky, obkladové pásy, dlažba). Keramické dílce jsou tvarovky spojované betonem a ocelovou výztuží (např. keramické překladky).

Zdící prvky

Zdící prvky lze rozdělit podle umístění zdiva v konstrukci stavby, jako obvodové zdivo, nosné zdivo, nenosné (výplňové) zdivo, režné zdivo.

- **Plná cihla** českého formátu 290×140×65 mm nebo německého 240×115×71 mm mají průměrnou pevnost v tlaku s označením v MPa: P6 až P25. Průměrná pevnost v ohybu je 1 – 3,2 MPa a objemová hmotnost 1600 - 1900 kg.m⁻³. Mohou být vylehčeny otvory do 15 % průřezu. Minimální nasákavost 10 %. Mrazuvzdornost pevnosti P10 může být M15 nebo nemusí být mrazuvzdorné, avšak P25 má vykazovat mrazuvzdornost M25.
- **Tvarovky pro obvodové zdivo** musejí splňovat požadavky na tepelný odpor. Proto mají nízkou objemovou hmotnost (kolem 800 kg.m⁻³) díky děrování a vylehčení střepe. Hovoříme často o tvarovkách typu „Therm“ (mj. Porotherm, Citherm, Keratherm, Supertherm apod.). Vyrábí se výšky (řez) 238 mm na tloušťku zdiva (bez omítek) 440, 400 a 365 mm a v modulu délky 250 mm. Ve svislých spárách mohou být zazubeny. Pevnost v tlaku je 8 – 10 MPa při objemové hmotnosti 800 – 900 kg.m⁻³. Významný je způsob děrování. Otvory mají být úzké, dlouhé a vzájemně přesazené, orientované kolmo k tepelnému toku ve stěně. Čím větší počet řad otvorů kolmo k tepelnému toku, tím má tvárnice vyšší tepelný odpor. Každá řada otvorů zvyšuje tepelný odpor tvarovky o 0,03 – 0,05 m².K.W⁻¹.
- **Tvarovky pro nosné zdivo** (nemusejí splňovat tepelně-izolační požadavky) jsou děrované s objemovou hmotností 850 až 1450 kg.m⁻³ a s pevností v tlaku od 10 do 25 MPa v závislosti na objemové hmotnosti.
- **Duté cihly** pro příčky, ploty a výplňové zdivo, jejichž plocha průřezu otvorů je nejméně 25 cm². Příčkovky mají objemovou hmotnost 1000 kg.m⁻³, pevnost v tlaku 8 – 10 MPa při děrování asi 45 %. Používají se pro příčky tloušťky 65 a 115 mm (bez omítek) a pro svislé spáry na pero a drážku.
- **Cihly pro režné (lícové) zdivo** jsou plné (vylehčení otvory do 15 %) a přičně děrované (vylehčení otvory 25 – 50 %) cihly s pevností P10 až P40, které při použití v exteriéru musí vykazovat mrazuvzdornost M25 a M50 cyklů. Nežádoucí jsou výkvěty a projevy cicváru – odprýskávání. Lícové plochy se také engobují nebo glazují a upravují rustikováním, drásáním, pískováním, falešnými spárami apod. Nejosvědčenější pro režné zdivo fasády jsou cihly klinker (český název zvonivka se nevžil). Požaduje se mrazuvzdornost zkoušená na 50 cyklů. Nasákavost klinkerů je nejvýše 6 – 8 %, pevnost v tlaku nad 60 MPa a pevnost v tahu ohybem ≥ 6 MPa, objemová hmotnost klinkrů je 1800 – 2200 kg.m⁻³.

Pálené cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce

Jsou cihelné stropní desky, např. trámce HURDIS s patkami, stropní vložky pro skládané stropy např. typu MIAKO a prvky pro prefabrikované keramické překladky a nosníky. Keramické dílce pro stropy se vyrábí omezeně. Skládají se z prvků např. ARMO. Keramické tvarovky jsou duté a tenkostěnné, částečně spolupůsobí s betonem, proto se vyžaduje pevnost v tlaku střepe minimálně 12

až 33 MPa. Únosnost stropních vložek se požaduje 4 a 6 kN. Desky HURDIS se vyrábí s kolmými čely délek 580 mm až 1180 mm, to odpovídá osové vzdálenosti nosníků 600 až 1200 mm a se šikmými čely včetně patek na pásnici ocelového nosníku. Šířka je jednotná 250 mm a výšky 80 mm, zkosení je 60°. Největší hmotnost desek je podle rozměru od 10 do 20 kg. Požaduje se průměrná lomová síla 3,5 až 14,7 kN podle délky výrobku. Stropní vložky MIA-KO mají jednotnou délku 250 mm, šířku 525 a 400 mm, výšku vložky 150, 190 a 230 mm a výška ozubu je 65 mm. Keramické nosníky jsou vyrobeny z tvarovek ve tvaru U o délce 250 mm vložení ocelové výztuže a zabetonováním betonem C 25/30. Vyrábí se délky 1750 až 8250 mm. Podobně se vyrábí i překlady.

Pálená krytina

Pálená krytina se vyrábí **tažením** na vakuovém šnekovém lisu, většinou bobrovky s různým zakončením. Druhou skupinou jsou tašky vyráběné **ražením**, které na rozdíl od bobrovek mají dvě drážky podélné i příčné. Vyrábí se v několika tvarech s krycí délkou 290 - 390 mm a šířkou 200 - 230 mm a hmotnosti od 2,7 do 3,7 kg. Pro údržbu památek se vyrábí i prejzy sestávající z dolního dílu (hák) a horního dílu (prejz). Tašky musí být opatřeny jedním nebo dvěma ozuby minimálně 10 mm vysokým. Doplnkové tašky jsou: hřebenače, levé a pravé krajové tašky, tašky větrací a další prvky pro různé funkce. Pálená krytina musí být odolná působení mrazu minimálně 25 zmrazovacích cyklů, jednotné barvy s předepsanou průměrnou neprosákavostí (do 3 hodin nesmí odkápnout kapka při vodním sloupci 60 mm). Výkvěty tvořené vápenatými sloučeninami se nepovažují za škodlivé. Kameninové bobrovky odolávají více jako 140 zmrazovacím cyklům, mají kyselinovzdornost > 99 %, únosnost nad 1,3 kN a jsou neprosákové s nasákavostí do 5 %.

Cihlářské výrobky pro zvláštní účely

Jsou vyráběné v malém rozsahu, jedná se např. o trativodky a obkladové prvky (podle užití se nazývají stájovky, půdovky, obkladové pásy). **Trativodky** se vyrábí se světlostí od 50 mm do 200 mm, délky 333 mm, s mrazuvzdorností 15 cyklů. Minimální průměrná únosnost je 2500 N (do Ø 100) a 3500 N (Ø > 100 mm). **Stájové dlaždice** jsou dutinové se šikmými drážkami na lícím povrchu rozměrů 290×140/215 mm a tloušťky 65 mm. Pevnost v tlaku 8 a 10 MPa a s průměrnou minimální nasákavostí 10 %. **Půdovky** (pro pochůzný překrytí násypu) jsou dlaždice vylehčené plošnými šterbinami rozměrů 200×200×30 mm.

7.4.2 Kamenina (hrubá)

Kameninou nazýváme výrobky s hrubým hutným střepem (nasákavost do 6 %) a vysokou pevností (v tahu za ohybu asi 70 MPa) a chemickou odolností. Technologie se vyznačuje vyšší precizností než cihlářská výroba, vzhledem k vyšší kvalitě střepu a výpalu při teplotách 1200 – 1300 °C. Výrobky jsou většinou glazovány. Surovinou jsou kameninové jíly a neplastickou složkou je křemen nebo šamot (vypálený jíl). Výrobky jsou vytvářeny z plastického těsta.

Sortiment, vlastnosti a užití kameniny

Do skupiny hrubé kameniny zařazujeme kameninu:

- stavební – kameninové dlaždice, obkladové pásy,
- kanalizační – glazované kameninové trouby. Pro kanalizační a stokové sítě je kamenina vhodným materiálem osvědčeným staletím. Kamenina se užívá pro vnitřní a vnější kanalizaci. Kameninové trouby vynikají chemickou odolností (od pH 0,4 do pH 13,4) i při vysokých teplotách, vodonepropustností, otěruvzdorností a dobrými hydraulickými vlastnostmi. Trvanlivost je 100 let a překračuje dvojnásobně požadovanou trvanlivost kanalizace 50 roků,

chemická – kameninové výrobky s vysokou odolností proti kyselinám (nad 97 %) a zásadám.

7.4.3 Zdravotnická keramika

Výrobky zdravotnické keramiky jsou nezbytnou součástí hygienického chování člověka v civilizovaném světě. Umyvadla, záchodové mísy, bidety, pisoáry jsou součástí technického zařízení budov a zařazujeme je mezi stavební výrobky.

Slinutý stěp zdravotnické keramiky propůjčuje výrobkům při nízké nasákavosti do 1 % velkou pevnost v tahu ohybem, která je pro velkorozměrové a tvarově členité výrobky nutností. Stěp je tvořen velkým podílem skelnou fází, má homogenní mikrostrukturu, je bílý, vždy glazovaný a užívá se také pro něj název vitreous china.

Výrobní směs je tvořena 25 – 27 % plavený kaolin (nositel bělosti) a 16 – 20 % bílé se pálicími jíly, které zajišťují vaznost (jíly mají mít nízký obsah barvicích oxidů – např. železa). Tavivem jsou živce a živcové pegmatity (45 – 50 % ve výrobní směsi). V malém podílu se také dávkuje ostřiva - křemen, mastek, lupěk a rozemleté pálené střepe vlastní výroby, které upravují vlastnosti suspenze i vypáleného střepe. Mineralogické složení výrobní směsi: 40 – 50 % jílové minerály, 20 – 30 % křemen a 20 – 30 % živce. Tato výrobní směs se nejčastěji mele za mokra v bubnových mlýnech.

Základním výrobním principem tvarování je **lití do sádrových forem**. Převažuje lití na stěp (voda je odsávána jednostranně), ale užívá se také lití na jádro (voda je odsávána oboustranně), případně kombinace obou způsobů. Rychlost tvorby střepe je 6,5 – 7,5 mm za 60 minut. Výrobky mají většinou tloušťku střepe 8 – 10 mm podle druhu výrobku. **Glazování** se provádí stříkáním v elektrostatickém poli a nepřístupná místa se glazují poléváním a malé výrobky také máčením do glazovací břečky. **Výpal** se provádí v tunelových pecích při teplotách 1250 – 1280 °C po dobu 18 – 22 hodin.

Sortiment a vlastnosti výrobků zdravotnické keramiky

Vzhledem k užívání jsou vlastnosti definovány hygienickými a estetickými požadavky a dostatečnou pevností. Výrobky musí být pokryty bílou nebo barevnou glazurou, kde to vzhled a funkčnost zabudovaného výrobku vyžaduje. Glazura na výrobcích musí být tepelně a chemicky odolná.

Výrobky zdravotnické keramiky jsou součástí hygienického zařízení a musí být kompletovány přívody a odvody vody, včetně doplňujícího vybavení, armatur a těsnění. **Vlastnosti střepe**: objemová hmotnost $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, nasákavost ko-

lem 0,5 % (norma požaduje do 1 %), teplotní roztažnost střepu $5,6 - 6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, pevnost v ohybu 45 – 60 MPa.

7.4.4 Keramické obkladové prvky

Keramické obkladové prvky jsou tenkostěnné výrobky používané pro dlažby, obklady stěn a fasád, které mohou být glazované nebo neglazované.

Podle způsobu vytváření se dělí na tažené na vakuovém šnekovém lisu (způsob vytváření A), za sucha lisované (B) a odlévané (C). Podle nasákavosti NV jsou rozdělené do skupin: Ia – $NV \leq 0,5 \%$, Ib – $0,5 \% < NV \leq 3 \%$, IIa – $3 < NV \leq 6 \%$, IIb – $6 < NV \leq 10 \%$ a III – $NV > 10 \%$.

Výroba za sucha lisovaných obkladových prvků se sjednocuje na využití rozprachových sušáren a na jednožárový výpal ve válečkových pecích. Rozdíly jsou ve složení výrobní směsi, teplotě výpalu a tím i nasákavosti výrobků.

Pórovinové obkladačky (B III) se v současné době vyrábí ze směsi obsahující vápenec (nebo s přísadou dolomitu, mastku), která při výpalu omezuje objemové změny. Plastickou složkou jsou pórovinové jíly, vypalující se bílé. Často se používá více druhů plastických surovin, např. plavený kaolin, vazné jíly). Hutné a slinuté dlaždice (nasákavost do 3 %) se vyrábí z kameninových jíků, jako taviva se používá znělec, živce a přidávají se rozemleté střepy z vlastní výroby. Někdy jsou zařazovány mezi výrobky jemné kameniny.

Technologie výroby a vlastnosti za sucha lisovaných keramických obkladových prvků

Příprava výrobní směsi je založena na mokřím mletí v bubnových mlýnech, kde se mele celá vsázka odvážených komponent. Suspenze z mlýna je dopravena čerpadly do rozprachové sušárny, kde odvodněním při 400 – 600 °C vznikne granulát o vlhkosti 5 – 6 %. Následuje **lisování** na hydraulických lisech v kovových formách tlakem 25 – 35 MPa (obkladačky) nebo 30 – 45 MPa (dlaždice). **Glazování a dekorování** se provádí na válečkových a řemíkových dopravnících s řadou dílčích zařízení, která automaticky podávají jednotlivé polotovary, otáčejí je podle potřeby, kartáčují a oprašují, zvlhčují a vykonávají další funkce. Na lícovou plochu se projížděním clonou nanáší suspenze engoby v tloušťce 0,1 – 0,15 mm a na ní stejným způsobem vrstva glazury. Po odsátí vody střepem lze na povrch aplikovat dekor.

Dlaždice a obkladačky se dnes **vypalují ve válečkových pecích**. První výpal dvoužárových obkladaček (přežah) při teplotě 1050 – 1100 °C (v tunelové peci 45 hodin, ve válečkové peci 45 minut) způsobuje odplynění střepu. Druhý výpal obkladaček s glazurou se děje dnes ve válečkových pecích při teplotě 960 – 980 °C za 45 i 30 minut. Jednožárové obkladačky se vypalují ve válečkové peci za 45 minut při teplotách 1100 – 1130 °C, hutné dlaždice při teplotách nad 1100 °C za 50 – 70 minut a vysoce slinuté dlaždice při 1200 – 1230 °C za 60 – 65 minut.

Zcela slinuté (nasákavost do 0,1 %) neglazované dlaždice typu gres porcellanato se vyznačují dokonale slinutým mrazuvzdorným střepem s vysokou pevností v ohybu (nad 40 MPa).

Vybrané požadované vlastnosti za sucha lisovaných keramických obkladových prvků podle ČSN EN 14411 jsou uvedeny v tab. 7.3.

Tabulka 7.3 Vybrané požadované vlastnosti obkladových prvků skupiny B

Vlastnosti		B Ia	B Ib	B IIa	B IIb	B III
Nasákavost [%]	průměr jednotlivě	≤ 0,5 Max. 0,6	0,5 - 3 Max. 3,3	3 - 6 Max. 6,5	6 - 10 Max. 11	> 10 ²⁾ Min. 9
Pevnost v ohybu [MPa]	průměr jednotlivě	≥ 35 Min. 32	≥ 30 Min. 27	≥ 22 Min. 20	≥ 18 Min. 16	≥ 15 ¹⁾
Lomové zatížení [N]		1300	1100	1000	800	600
Odolnost proti vlivům mrazu		ano	ano	Přípustný zkušební postup		

¹⁾ pro tl. > 7,5 mm

²⁾ Jestliže E překročí 20 %, musí být výrobcem uvedena

7.4.5 Tvarová žárovzdorná keramika

Žárovzdorné výrobky jsou konstrukčním materiálem tepelných technologických agregátů, ale z hlediska certifikace jsou zařazeny mezi stavební výrobky. Jsou definovány žárovzdorností minimálně 1500 °C.

Žárovzdorné výrobky rozdělujeme podle několika hledisek. Podle zpracování na tvarové (vyzdívka se provádí zděním) a netvarové (vyzdívka se vytváří v tepelném agregátu technologií podobné betonářské - žárobetony). Podle složení jsou výrobky křemičité (dinas), hlinitokřemičité (šamotové, korundové), zásadité (magnezitové, chrom-magnezitové, dolomitové) a ostatní (tuhové, SiC, zirkonové, speciální). Podle pórovitosti se dělí na hutné tvarové (lisované a tavené) a na izolační (tvarové a vláknité). Dnes představují netvarové žárovzdorné výrobky více jak polovinu všech nově budovaných žárovzdorných konstrukcí (vyzdívek).

Vyrábí se převážně na bázi oxidů. Minerály použité k výrobě musí být jednak dostupné a jednak musí mít vysoký bod tání nad 1500 °C. Hlavní minerály v žárovzdorných výrobcích jsou v tab. 7.4. Vzhledem k široké škále žárovzdorných výrobků jsou uvedeny pouze nejtypičtější z nich.

Tabulka 7.4. Hlavní minerály v žárovzdorných výrobcích

Minerál	Chemický vzorec	Bod tání [°C]	Výrobek, vlastnost
Trydimit	SiO ₂	1710	Dinas
Korund	Al ₂ O ₃	2050	Vysocehlinité
Mullit	3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	1810	Šamoty
Zirkon	ZrO ₂ .SiO ₂	2500	Zirkoničité výrobky
Baddeleyit	ZrO ₂	2700	
Escolite	Cr ₂ O ₃	2300	Chrom-magnezitové výrobky
Spinel Mg-Cr	MgO.Cr ₂ O ₃	1780	
Spinel	MgO.Al ₂ O ₃	2135	Magnezitové výrobky
Periklas	MgO	2800	
Dolomit	MgO.CaO	2600	Zásadité výrobky
Siliciumkarbid	SiC	2500	SiC - výrobky
Grafit	C	> 3000	Uhlíkaté výrobky
Cordierit	2MgO.2Al ₂ O ₃ .5SiO ₂	1435	Nízká teplotní roztažnost, odolnost proti náhlým změnám teploty
Celsian	BaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	1740	

Šamot

Šamot je nejčastěji používaným žárovzdorným materiálem. Vyznačuje se vysokým obsahem SiO_2 a Al_2O_3 (s rostoucím obsahem Al_2O_3 roste žárovzdornost šamotu).

Plastickou surovinou pro výrobu šamotu jsou žárovzdorné jíly nebo kaoliny a jako ostřívo se používá šamot (tak se obecně také nazývá vypálený žárovzdorný jíl nebo lupek - vypalují se v rotačních pecích asi na $1200\text{ }^\circ\text{C}$, případně cihlářskou technologií se vypalují v tunelových pecích a drtí).

Šamot vykazuje dobrou pevnost a únosnost v žáru, je odolný proti náhlým změnám teploty, ale vždy v závislosti na obsahu Al_2O_3 a nežádoucích oxidů (Fe_2O_3 aj.) a také na velikosti zrn ostřiva. Šamot špatně odolává zásaditým agresivním látkám a měkne v širokém teplotním intervalu a dodatečně se smršťuje.

Dinas

Dinas je žárovzdorný materiál s vysokým obsahem SiO_2 (nad 93 %). Vyrábí se z tmelových nebo krystalických křemenců (SiO_2). Přidává se vápenné mléko v dávce asi 2 % CaO nebo asi 3 % Fe_2O_3 , které působí jako mineralizátory přeměny modifikací SiO_2 . Výrobní směs obsahuje 5 – 6,5 % vlhkosti. Lisuje se na hydraulických lisech tlakem 30 – 50 MPa. Výlisky po dosušení se vypalují v tunelové peci při teplotě $1400\text{ }^\circ\text{C}$ s relativně dlouhou dobou výpalu 200 – 300 hodin, aby spolehlivě proběhly objemové změny (6 – 10 %) způsobené modifikačními změnami SiO_2 . Střep dinasu obsahuje především modifikace křemene jako β - cristobalit, γ - tridymit a malé množství nepřeměněného β - SiO_2 .

Vlastnosti dinasu: žárovzdornost kolem $1700\text{ }^\circ\text{C}$, vysoká únosnost v žáru, odolnost proti kyselým taveninám (křemičité sklo), trvanlivost v agregátech trvale pracujících při vysokých teplotách, malá odolnost proti změnám teploty pod $870\text{ }^\circ\text{C}$.

Korund

Výchozí surovinou výroby **korundu** (Al_2O_3) jsou bauxity. (směsi hydroxidů hlinitých) Pro žárovzdorné výrobky se používá nejčastěji elektrotavený korund, který vzniká tavením Al_2O_3 v elektrickém oblouku při teplotách nad $2000\text{ }^\circ\text{C}$, získávají se tabulovité krystaly velikosti asi $10\text{ }\mu\text{m}$. Výsledný produkt se poté drtí, mele a třídí na frakce, které se používají jako brusivo a jako ostřívo žárovzdorných výrobků. Korund má teplotu tavení kolem $2050\text{ }^\circ\text{C}$, má vysokou tvrdost a měrnou hmotnost $3,9\text{ g.cm}^3$.

Zásadité žárovzdorné materiály

Zásadité žárovzdorné materiály jsou rozděleny podle obsahu uhlíku do 7 % a s obsahem uhlíku 7 až 30 %. Do první skupiny patří materiály hořečnaté (80 – 98 % MgO), hořečnato-dolomitové (40 – 90 % MgO a 10 – 50 % CaO), vápe-

naté (MgO do 30 % a CaO nad 70 %) a dále výrobky chrom-magnezitové s obsahem spinelu $\text{MgO} \cdot (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$. Surovinou je přírodní magnezit MgCO_3 , který se vypaluje v rotační peci při teplotě 1550 – 1600 °C nebo chemicky získané MgO z mořské vody (slnutý periklas). Tavený periklas se získá při výpalu na 2200 °C. Pro chrommagnezitové výrobky je potřebná chromová ruda. Výrobky se lisují na hydraulických lisech tlakem asi 100 MPa z výrobní směsi a vypalují se v tunelových nebo periodických pecích na teplotu 1500 – 1850°C.

8 Zkoušení technologických vlastností keramických surovin, vytvářecích směsí a vypálených střepů



Text této kapitoly popisuje základní laboratorní postupy, které se používají v oblasti výroby a zkoušení keramického střepu.

Poznámka



Pokud se zde objeví nové nevysvětlené termíny, určitě najdete jejich vysvětlení v kapitolách 7.1 – 7.4.

8.1 Stanovení vlhkosti keramických surovin

Vlhkostí keramických surovin se rozumí množství vody, kterou lze odstranit sušením při teplotě 110 °C. Obecný postup stanovení vlhkosti je následující: vlhký vzorek se zváží na vahách o dostatečné přesnosti (podle hmotnosti navážky) a nechá se vysušit v laboratorní sušárně při 110 °C do konstantní váhy (není rozdíl váhy vzorku mezi dvěma následujícími měřeními). Vlhkost potom vypočteme nejčastěji jako absolutní jako:

Rovnice 8.1 Absolutní vlhkost

$$w = \frac{m_w - m_s}{m_s} [\%] \quad (8.1)$$

m_w ...hmotnost vlhkého vzorku [g],

m_s ...hmotnost vysušeného vzorku [g].

8.2 Granulometrie jílovinových zemin

Jílovinové zeminy se skládají z velkého počtu částic různých minerálů (nejčastěji jílové minerály, zrna křemene, živce, vápenec apod.) různé velikosti od makroskopických až po submikroskopické (jílovina, prachovina, pískovina). Velikosti zrn a jejich množství v surovině ovlivňuje některé významné vlastnosti keramických surovin, jako například plastičnost, smrštění, pevnost apod.

Nejčastěji se používají dvě metody stanovení granulometrie jílovinových zemin:

- síťový rozbor plavením – stanovení granulometrie nad 0,063 mm,
- sedimentační rozbor podle Andreasena – stanovení mikrogranulometrie pod 0,063 mm.

8.2.1 Sítový rozbor plavením

Principem metody je oddělení zrn pod 0,063 mm proplavováním zeminy sítím této velikosti. Asi 500 g vzorku se rozplaví v přebytku vody a pod stálým proudem vody se poté proplavuje na sítu 0,063 mm až do doby, kdy začne ze síta vytékat čirá voda. Zbytek na síti se umístí do sušárny a při 110 °C se vysuší a následně prosévá na sadě kontrolních sítí (4,0 – 2,0 – 1,0 – 0,5 – 0,25 – 0,125 mm). Stanoví se zbytky na jednotlivých sítích, zhotoví se číselná tabulka a vykreslí se součtová křivka zrnitosti. Zakreslením zrnitosti do grafu o dvojité logaritmické síti (obr.1) se určí koeficient α (exponent zrnitosti) a D (průměr teoreticky největšího zrna vzorku). Platí:

$$y = 100 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^\alpha \quad [\%] \quad (8.2)$$

y ...procentové množství zrn propadlých sítím o velikosti otvorů d [mm],

D ...velikost teoretického největšího zrna v množině zrn vzorku, která se určí jako průsečík proložené přímkou s hodnotou $y = 100$ % [mm],

n ...exponent zrnitosti [-].

Toto stanovení se provádí také pro neplastické keramické suroviny materiály, například ostřiva.

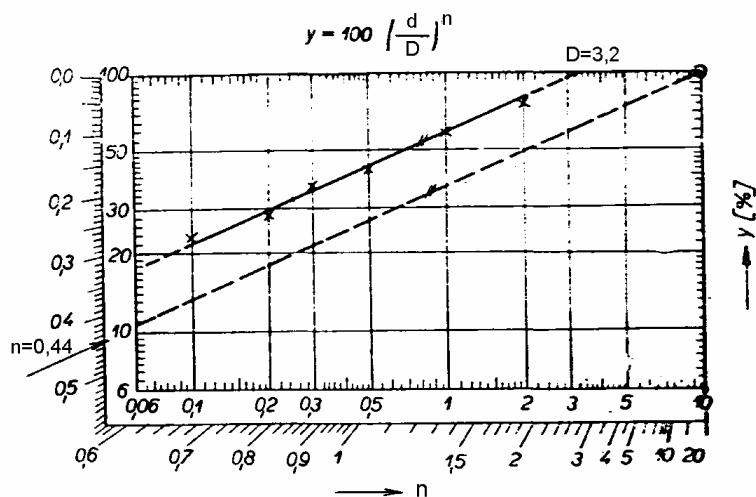
Příklad 8.1

Stanovte graficky exponent zrnitosti n a velikost teoretického největšího zrna D vzorku s propadem jednotlivými sítí v mm: 2 mm – $y = 75$ %, 1 mm – $y = 59,5$ %, 0,5 mm – $y = 45$ %, 0,3 mm – $y = 36$ %, 0,2 mm – $y = 29$ %, 0,1 mm – $y = 23$ %.

Řešení

Řešení příkladu naleznete na obr. 8.1. Do logaritmické sítě zakreslíme zadané body a proložíme je přímkou, která vytíná při $y = 100$ % hodnotu $D = 3,2$ mm. S přímkou vedeme rovnoběžku z pólu ($d = 10$; $y = 100$ %), která nám protne okrajovou stupnici s hodnotou $n = 0,44$. Výsledná křivka zrnitosti má potom tvar:

$$y = 100 \cdot \left(\frac{d}{3,2} \right)^{0,44} \quad [\%]$$



Obr.8.1. Grafické řešení funkce

8.2.2 Sedimentační analýza

Metoda je založena na rozdílné rychlosti usazování částic v kapalině v závislosti na jejich velikosti působením gravitace. Měření je poměrně dlouhodobé (částice 0,5 μm sedimentují 70 hodin), proto se často užívá zkrácená analýza pro stanovení zrn 0 – 20 a 0 – 2 μm u cihlářských zemin podle ČSN 72 1565. Zanesením těchto podílů například do trojúhelníkového Winklerova diagramu (obr.2) lze usuzovat na vhodnost suroviny pro výrobu cihlářských výrobků.

Sedimentační analýzou podle Andreasenova postupu stanovujeme dobu pádu částic t [s]. Vypočítáme příslušnou velikost částice a ze sušiny pipetou odebraného vzorku jejich podíl v rozsahu zrnitosti 0,2 – 50 μm . Velikost částic různého tvaru se vyjadřuje poloměrem nebo průměrem ekvivalentní koule (r , d) nebo hranou ekvivalentní krychle a . Do suspenze zrn do 0,05 mm se přidává peptizátor pro zamezení agregace částic (pyrofosforečnan sodný $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

Rychlost sedimentace v se řídí Stokesovým zákonem:

$$v = \frac{h}{t} = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 \cdot (\rho - \rho_w)}{9 \cdot \eta} \Rightarrow d = 1355 \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot h}{(\rho - \rho_w) \cdot t}} \quad [\text{mm}] \quad (8.3)$$

h ...výška sedimentace v m,

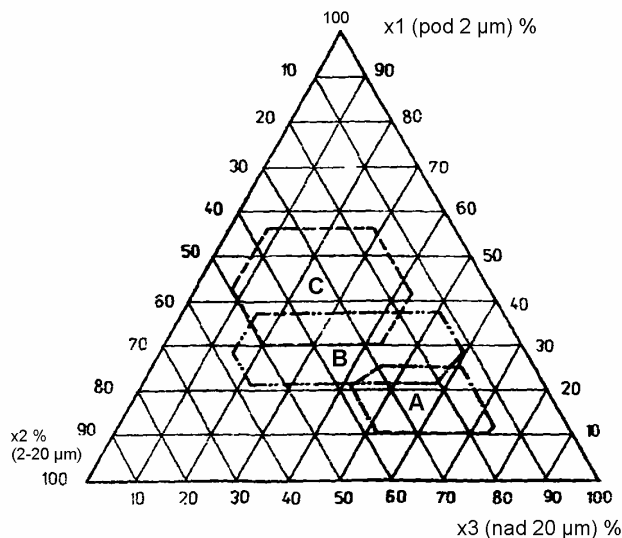
t ...doba sedimentace v s,

g ...zemské zrychlení ($= 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),

d ...poloměr ekvivalentní koule v μm ($d = 2 r$, $a = 0,806 d$),

ρ , ρ_w ...objemové hmotnosti částice v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a vody (při 20 °C = 998,2 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),

η ...viskozita vody (při 20 °C = 0,001005 Pa.s).



Obr. 8.2. Winklerův diagram vhodnosti cihlářských zemin pro různá použití. A- plné cihly, B-děrované cihly, C-tenkostěnné děrované výrobky.

Příklad 8.1

Podle ČSN 72 1565-2 stanovte podíl částic cihlářské zeminy do $2 \mu\text{m}$ a do $20 \mu\text{m}$. Výsledek zakreslete do potrojného Winklerova diagramu (obr. 8.2).

Vlhkost zeminy: navážka $m_w = 15,716 \text{ g}$, vysušený vzorek $m_s = 15,056 \text{ g}$.

Měrná hmotnost zeminy byla stanovena $\rho = 2532 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Řešení

Doba odběru vzorku z hloubky 100 mm pro velikost zrn $0 - 20 \mu\text{m}$ při 20°C se vypočítá úpravou vzorce:

$$t_1 = 1355^2 \cdot \frac{\eta \cdot h}{(\rho - \rho_w) \cdot d^2} = 1836025 \cdot \frac{0,001005 \cdot 0,1}{(2532 - 998,2) \cdot 0,02^2} = 300,8 \approx 300\text{s}$$

a podobně pro $h = 50 \text{ mm}$ pro zrna do $2 \mu\text{m}$

$$t_2 = 1836025 \cdot \frac{0,001005 \cdot 0,05}{(2532 - 998,2) \cdot 0,002^2} = 15037,9 \approx 4 \text{ hodiny } 10 \text{ min } 38 \text{ s.}$$

Ve vypočítané době byly odebrány v příslušné hloubce vzorky o objemu 50 ml , které byly vysušeny a zvážena jejich sušina. Pro stanovení vlivu peptizátoru byl proveden slepý pokus a stanovena sušina $m_0 = 0,042 \text{ g}$. V čase t_1 odebraného vzorku vážila sušina $m_{20} = 0,455 \text{ g}$ a v čase t_2 byla hmotnost sušiny $m_2 = 0,248 \text{ g}$. Navážka činila $m = 10,081 \text{ g}$.

$$\text{Vlhkost vzorku } w_p = 100 \cdot \frac{m_w - m_s}{m_w} = 100 \cdot \frac{15,716 - 15,056}{15,716} = 4,2 \%$$

Podíl částic do $2 \mu\text{m}$:

$$x_2 = \frac{m_2 - m_0}{m \cdot \left(1 - \frac{w_p}{100}\right)} \cdot 2000 = \frac{0,248 - 0,042}{10,081 \cdot \left(1 - \frac{4,2}{100}\right)} \cdot 2000 = 42,7\%$$

Podíl částic 2 – 20 μ :

$$x_{2-20} = \frac{m_{20} - m_2}{m \cdot \left(1 - \frac{w_p}{100}\right)} \cdot 2000 = \frac{0,455 - 0,248}{10,081 \cdot \left(1 - \frac{4,2}{100}\right)} \cdot 2000 = 42,9\%$$

Podíl částic nad 20 μ m:

$$x_{20} = 100 - x_2 - x_{2-20} = 100 - 42,7 - 42,9 = 14,4\%$$

Závěr: Zemina na obr.2 leží v oblasti nejlepší kvality cihelného střepu.

8.3 Přetvárné (reologické) vlastnosti vytvářecích směsí

Reologické vlastnosti jsou důležité především v případě keramických těst, případně břečky pro lití, které jsou připraveny ze všech komponent s určitým množstvím vody.

8.3.1 Viskozita licí suspenze (břečky)

Viskozita licích břeček se stanovuje výtokovým viskozimetrem (ČSN 72 1075), který je oceňován olejem o známé viskozitě. Měří se doba výtoku t_s [s] při změřené objemové hmotnosti suspenze ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Cejchování a vlastní měření se provádí při teplotě 25 ± 2 °C (parametry oleje η_o , t_o , ρ_o). Dynamická viskozita suspenze η_s [Pa.s] se vypočítá:

$$\eta_s = \left(\frac{\eta_o}{t_o \cdot \rho_o} \right) \cdot t_s \cdot \rho_s \quad [\text{Pa.s}] \quad (8.4)$$

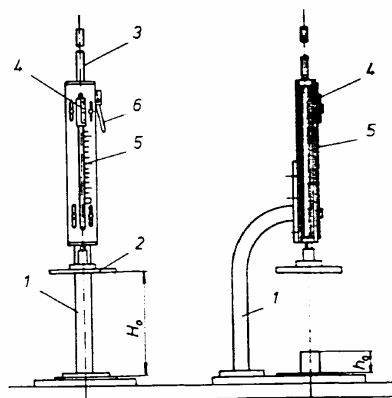
Zkouška napodobuje lití břečky do sádrových forem a je vhodná pro stanovení optimální dávky ztekucovaadla.

8.3.2 Plastičnost těsta podle Pfefferkorna

Plastičnost vytvářecích těst se nejčastěji stanovuje na základě deformačního poměru na Pfefferkornově přístroji. Zhotovíme zkušební válečky keramického těsta s určitým množstvím vlhkosti (**rozdělovací vody**) o průměru $33 \pm 0,5$ mm a výšce $40 \pm 0,1$ mm. V přístroji podle obr. 3 stanovíme výšku válečku po stlačení pádem závaží 1200 g těžkým z výšky $H_0 = 185$ mm. Současně stanovíme množství vody obsažené v plastickém těstě. Interpolací několika měření v oblasti deformačního poměru $d \in (0,2; 0,8)$ s různým množstvím vody vypočítáme optimální vlhkost keramických těst při deformačním poměru $d = 0,4$ a optimální množství vody cihlářského těsta při $d = 0,6$ a množství vody čísla plastičnosti při deformačním poměru 0,3. Deformační poměr d se vypočítá:

$$d = \frac{h_n}{h_0} [-] \quad (8.5)$$

h_0, h_n ... výška válečku před (h_0) a po (h_n) deformaci.



Obr.8.3. Schéma Pfefferkornova přístroje. 1 – stojan, 2 – padací deska, 3 – vodící tyč, 4 – nonius, 5 – milimetrová stupnice, 6 – spoušť.

Příklad 8.2

Pomocí Pfefferkornova přístroje stanovte optimální množství rozdělovací vody w_R cihlářského plastického těsta. V laboratoři byly vyzkoušeny dvě vlhkosti těsta s výsledky.



Výška válečku před a po stlačení h_0 / h_n a průměrná vlhkost w .

Vzorek a $h_0/h_n = 39,5 / 31,5 \text{ mm}$; $w_a = 17,5 \%$.

Vzorek b $h_0/h_n = 39,7/16,5 \text{ mm}$; $w_b = 24,3 \%$.

Řešení

Vypočítáme deformační poměry:

$$d_a = \frac{h_n}{h_0} = \frac{31,5}{39,5} = 0,80; d_b = \frac{16,5}{39,7} = 0,42.$$

Sestavíme rovnici přímky vedoucí dvěma body a, b

$$\frac{w - w_a}{d - d_a} = \frac{w_b - w_a}{d_b - d_a} \Rightarrow w = \frac{w_b - w_a}{d_b - d_a} \cdot (d - d_a) + w_a = \frac{24,3 - 17,5}{0,42 - 0,80} \cdot (d - 0,80) + 17,5$$

Pracovní vlhkost při $d = 0,6$: $w_R = (-17,9) \cdot (0,6 - 0,80) + 17,5 = 21,1\%$

Závěr: Optimální množství rozdělovací vody plastického těsta je 21,1 %



8.4 Vlastnosti vysušených výlisků

8.4.1 Smrštění sušením

Při sušení dochází v mikrostruktuře odpařováním vody k přibližování částic, které se makroskopicky projevuje délkovou i objemovou kontrakcí – smrštěním. Smrštění je tím větší, čím bylo použito větší množství rozdělovací vody a čím surovina obsahuje více jemnějších zrn do 2 μm . **Smrštění sušením DS** (délková změna sušením) se stanovuje podle ČSN 72 1073 na vzorcích rozměrů (ČSN 72 1072): velká cihelka 100×50×20 mm nebo malá cihelka 70×35×12 mm. Rychlost a způsob sušení je definované normou při vzdálenosti měřících bodů 50 ± 0,05 mm (ryška je umístěna úhlopříčně cihelkou). Smrštění sušením se vypočítá ze vzorce:

$$DS = \frac{l_s - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%] \quad (8.6)$$

l_s , l_0 – délka po vysušení a před sušením [mm].

8.4.2 Citlivost k sušení

Citlivostí k sušení rozumíme schopnost keramických výlisků se nezávadně vysušovat, tzn. bez vzniku nebo deformací. Vyšší citlivost k sušení znamená vyšší riziko poškození výlisků během sušení.

Citlivost k sušení se hodnotí řadou zkušebních postupů, většinou se používá metoda podle Bigota (ČSN 72 1565-11).

Citlivost k sušení se stanovuje graficky z tzv. Bigotovy křivky, což je závislost vlhkosti výlisku na jeho smrštění (obr. 8.4). Odpařování vody je doprovázeno smršťováním jen do určitého kritického množství vlhkosti (w_K) a dalším vysušováním se smrštění již nemění nebo jen nepatrně. Citlivost k sušení podle Bigota (CSB) se vypočítá podle vzorce:

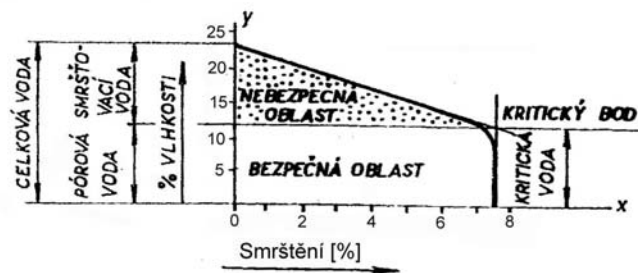
Rovnice 8.7. Koeficient citlivosti k sušení podle Bigota

$$CSB = \frac{w_0 - w_K}{w_K} [-] \quad (8.7)$$

w_0 ...množství rozdělovací vody [%],

w_K ...kritická vlhkost [%], která se stanovuje graficky podle obr. 8.4.

CSB < 1 - surovina je málo citlivá, CSB ∈ (1;1,5) - surovina je středně citlivá, CSB ∈ (1,5;2) - surovina je citlivá, CSB > 2 - velmi citlivá surovina.



Obr. 8.4 – Bigotova křivka

Příklad 8.3

Stanovte citlivost k sušení cihlářské suroviny podle Bigota. Během sušení byly zjištěny následující rozměry (délková změna sušením – DS) výlisku v závislosti na jeho vlhkosti:

Vlhkost [%]	23,5	20,5	14,9	8,0	5,0	0
DS [%]	0	1,9	4,5	7,5	7,8	7,9

Řešení

Kritickou vlhkost vypočítáme jako průsečík dvou přímek proložených body (DS – W). Byla stanovena kritická vlhkost 11,2 %

$$CSB = \frac{w_0 - w_k}{w_k} = \frac{23,5 - 11,2}{11,2} = 1,098$$

Závěr: Surovina je středně citlivá k sušení.

Praktické cvičení 8.1

Z připravené zeminy si připravte následující surovinové směsi:

zemina bez příměsí, zemina s příměsí 15% hmotnostních křemenného písku, zemina s příměsí 5 % hmotnostních dřevěných pilin.

a z připravených směsí vytvořte plastické těsto o deformačním poměru podle Pfefferkorna $d=0,65$. Z plastických těst ručním stloukáním vyformujte zkušební cihelky velikosti $(100 \times 50 \times 20) \text{ mm}^3$, resp. trámečky jejich podélným rozpůlením. Stanovte vlhkost a smrštění sušením plastických těst v závislosti na typu příměsí.

8.5 Vlastnosti vypáleného keramického střepu

8.5.1 Nasákavost

Nasákavost je schopnost vypáleného keramického materiálu přijímat kapalinu.

Nasákavost (NV) je jedním z nejdůležitějších parametrů, který charakterizuje mikrostrukturu keramického střepu, a to konkrétně jeho pórovitou strukturu. Patří k nejčastějším zkouškám v keramice. Nasákavost odpovídá struktuře ma-

teriálu. Vysoká nasákavost odpovídá pórovité struktuře, zatímco hutný a slinitý výrobek má nasákavost nízkou. Stanovuje se (především jako absolutní hmotnostní nasákavost) v % jako poměr hmotnosti vody pohlcené zkušebním vzorkem ke hmotnosti vysušeného vzorku za podmínek stanovených normou, vzorec:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} [\%] \quad (8.8)$$

m_n ...hmotnost vzorku po zkoušce nasákavosti [kg],

m_s ...hmotnost vysušeného vzorku [kg].

Zkouška spočívá v tom, že se vyplní otevřené póry vodou. Pro různé keramické výrobky platí různé postupy sycení pórů vodou. Obecně je možno sytit póry vakuem (pomocí podtlaku) nebo častěji varem.

Vzorky vysušené při 110 °C do ustálené hmotnosti se zváží a uloží na rošt do varné nádoby s vodou tak, aby se nedotýkaly stěn nádoby ani vzájemně mezi sebou a byly zcela ponořeny. Voda se během půl hodiny až jedné hodiny přivede k varu, který se dále udržuje 2 hodiny. Odpařená voda se během varu doplňuje tak, aby vzorky byly stále minimálně 20 mm pod hladinou. Po ukončení varu se nádoba nechá v klidu vychladnout na teplotu místnosti. Potom jsou jednotlivé vzorky postupně vyjímány z nádoby, na povrchu otírány vyždímanou vlhkou tkaninou a ihned váženy.

8.5.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost (OH) udává hmotnost objemové jednotky vysušeného vzorku včetně uzavřených a otevřených pórů.

Vyjadřuje se v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a je vždy menší než měrná hmotnost vzorku. U keramických stěpů se nejčastěji stanovuje hydrostatickým vážením – Vzorky nasycené při zkoušce nasákavosti se potom hydrostaticky váží na vytárovaném závěsu (dbá na to, aby se vzorky při vážení nedotýkaly stěn ani dna nádoby). Objemová hmotnost stěpu se vypočítá ze vztahu:

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot \rho_v \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (8.9)$$

m_s ...hmotnost suchého vzorku [kg],

m_n ...hmotnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu [kg],

m_{nv} ...hmotnost nasáklého váženého hydrostaticky (pod vodou) [kg],

ρ_v ...hustota kapaliny v níž je prováděno hydrostatické vážení [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

8.5.3 Zdánlivá pórovitost

Zdánlivá pórovitost udává, jaký je poměr objemu otevřených pórů vzorku k jeho celkovému objemu včetně pórů

Ne vždy musí být střepek s větší měrnou hmotností při stejné nasákavosti pórovitější. **Zdánlivá pórovitost (PZ)** je přesnějším ukazatelem pórovitosti mikrostruktury než nasákavost (střepek s větší měrnou hmotností bude vždy pórovitější než vzorek s měrnou hmotností nižší při stejné nasákavosti). Stanovuje se společně se zjišťováním nasákavosti a objemové hmotnosti podle vzorce:

$$PZ = \frac{m_n - m_s}{m_n - m'_n} \cdot 100 = NV \cdot \frac{OH}{1000} \quad [\%] \quad (8.10)$$

m_n ...hmotnost vzorku nasáklého [g],

m_s ...hmotnost suchého vzorku [g],

m'_n ...hmotnost nasáklého vzorku pod vodou [g].

8.5.4 Zdánlivá hustota

Zdánlivá hustota (ZH) udává hmotnost vysušeného vzorku na jednotku jeho objemu včetně uzavřených pórů.

Pokud vzorek nemá uzavřené póry, pak se zdánlivá hustota rovná měrné hmotnosti (hustotě). Stanovuje se současně se stanovením nasákavosti, objemové hmotnosti a zdánlivé pórovitosti podle vzorce:

$$ZH = \frac{m_s}{m_s - m'_n} \cdot 10^3 \quad [\%] \quad (8.11)$$

m_s ...hmotnost suchého vzorku [g],

m'_n ...hmotnost nasáklého vzorku pod vodou [g],

m_n ...hmotnost nasáklého vzorku na vzduchu [g].

8.5.5 Skutečná pórovitost

Skutečná pórovitost (PS) udává poměr otevřených i uzavřených pórů zkušební vzorku k jeho objemu včetně všech pórů.

Vyjadřuje se v procentech objemu zkušební vzorku. Skutečná pórovitost je vždy větší než zdánlivá pórovitost, poněvadž zahrnuje také objem uzavřených pórů. K posouzení mikrostruktury např. cihlářského střepeku z hlediska podílu pórů vystačíme často pouze s hodnotou zdánlivé pórovitosti, protože u těchto pórovitých výrobků je relativně menší objem uzavřených pórů. Pouze u výrobků hutných a slinutých se vyskytují uzavřené póry častěji, takže je stanovení skutečné pórovitosti účelné.

$$PS = \left(1 - \frac{OH}{\rho}\right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (8.12)$$

OH ...objemová hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

ρ ...hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

8.5.6 Slínavost

Každá zemina je charakterizována svou slínavostí, která se vyjadřuje teplotou slinutí, intervalem slinutí, resp. slínání.

Teplota slinutí (t_s) – teplota ve °C, při níž má vypálený vzorek po vychladnutí na teplotu místnosti nasákavost $NV = 2 \%$.

Interval slinutí (I_s) – rozdíl mezi teplotou slinutí a teplotou deformace: $I_s = t_d - t_s$

Interval slínání (I_h) – rozdíl mezi teplotou slinutí a zhutnění, $I_h = t_s - t_h$

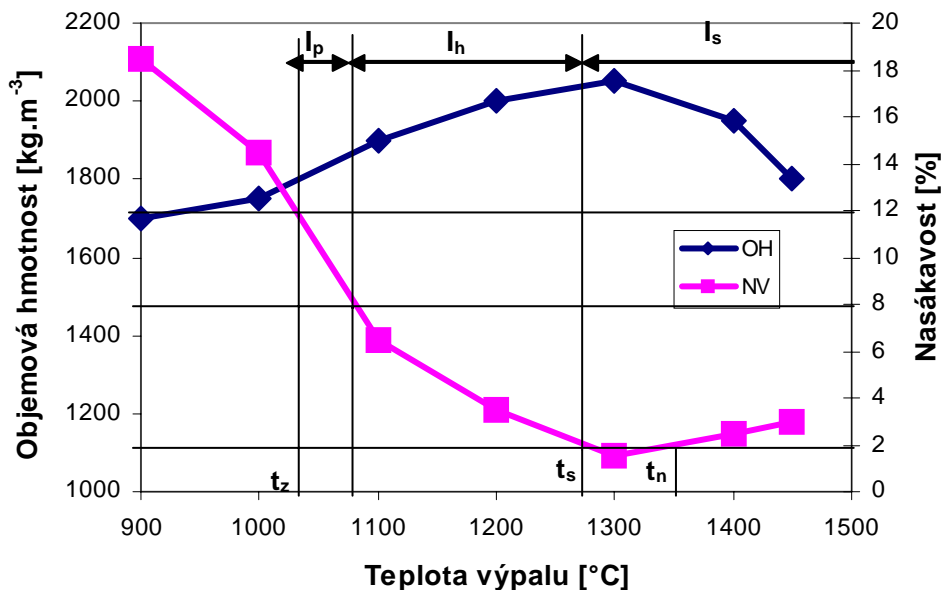
Teplota zhutnění (t_h) – teplota, při níž má vzorek po výpalu a vychladnutí nasákavost $NV = 6 \%$ (8%)

Teplota deformace (t_d) – teplota, při níž nastane deformace žároměrky připravené ze vzorku.

Teplota maximálního zhutnění (t_{smax}) – teplota, při níž má vzorek nejmenší nasákavost t , v každém případě menší než 2% .

Při stanovení slínavosti se nejprve zjistí teplota slinutí t_s tak, že se na vzorcích, vypálených na různé teploty, určí nasákavost NV . Dále se stanoví teplota deformace (žároměrné shody) a z jejich rozdílu interval slinutí I_s . Pokud je třeba stanovit ostatní intervaly, postupuje se obdobně. To znamená, že se řada zkušebních cihel vypaluje na různé teploty. Vypalovací teploty se volí podle typu materiálu a jsou odstupňovány po $100 \text{ }^\circ\text{C}$. V blízkosti očekávané teploty slinutí se jejich intervaly zmenšují. Na každou teplotu se vypalují tři zkušební cihelky. Po vychladnutí cihelky na teplotu místnosti se stanoví jejich nasákavost.

Z výsledku zkoušky se sestaví křivka závislosti nasákavosti na vypalovací teplotě tak, že jednotlivé body křivky jsou aritmetickým průměrem tří stanovení. Z křivky se čtou příslušné teploty zaokrouhlené na nejbližších $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Z odečtených teplot je možno určit intervaly zhutňování I_p , slínání I_h a slinutí I_s .



Obr. 8.5 – Příklad závislosti objemové hmotnosti (nasákavosti) na výši vypalovací teploty – interval slinutí, resp. slínání, resp. zhutňování; teplota zhutnění, slinutí, nadýmání.

8.5.7 Hustota (měrná hmotnost)

Hustota (ρ) je poměr hmotnosti látky a jejího objemu, tzn. bez uzavřených pórů.

Ke stanovení hustoty musíme znát hmotnost vzorku a jeho objem. Hmotnost vzorku určíme vážením, objem nepřímo vážením v pyknometru za použití vhodné kapaliny.

Ke stanovení hustoty vypálených stěrů se používá metoda kapalinového pyknometru za použití vody (podle ČSN 72 5011).

Vzorek se ke zkoušce připraví pomletím tak, aby prošel sítím 0063 mm a nechá se vysušit při 110 °C. Pomletý vzorek se poté přesype do zváženého pyknometru (na analytických vahách s přesností 0,0001 g) tak, aby zaplnil asi 1/5 jeho objemu a opět zváží. Poté se vzorek v pyknometru převrství asi o centimetr vodou. Aby kapalina dokonale vyplnila mezery mezi zrny vzorku, musí se vzorek odvzdušnit za použití vývěvy a to tak, že se pyknometry bez uzávěrů umístí do exsikátoru, který je připojen na odvzdušňovací vodní vývěvu. Odvzdušňování poté probíhá asi 10 minut. Po zrušení podtlaku se pyknometry doplní vodou asi 5 mm pod okraj ústí hrdla a nechá se sedimentovat. Poté se pyknometr uzavře zátkou, aby došlo k výtoku přebytku vody kapilárou v zátce. Osušený pyknometr se zváží. Poslední hmotnost se určí při naplnění pyknometru vodou.

$$\rho = \frac{m}{m_w - (m_{pw} - m_p)} \cdot \rho_k \quad [kg.m^{-3}] \quad (8.13)$$

m ...hmotnost vzorku [g],

m_w ...hmotnost kapaliny v pyknometru [g],

m_{pw} ...hmotnost pyknometru se vzorkem a kapalinou [g],

m_p ...hmotnost pyknometru s navážkou vzorku [g],

ρ_k ...měrná hmotnost použité kapaliny při laboratorní teplotě (voda 998 kg.m⁻³).

8.5.8 Pórovitost uzavřená

Pórovitost uzavřená udává poměr uzavřených pórů vzorku k jeho objemu včetně pórů.

Uzavřená pórovitost se vypočítá podle vzorce:

$$PU = PS - PZ \text{ [%]} \quad (8.14)$$

PS...skutečná pórovitost [%],

PZ...zdánlivá pórovitost [%].

8.5.9 Celková délková změna

V průběhu výpalu a především sušení dochází k délkovým změnám střepe (při sušení vždy smrštění), jenž se zaznamenává jako celková délková změna (DC). Kladná hodnota DC znamená prodloužení vzorku (méně časté), záporná DC naopak smrštění střepe. Pokud původní velikost výlisku byla dána velikostí formy ($l_z = 100$ mm), lze hodnotu DC vypočítat následovně:

$$DC = \frac{l_p - l_z}{l_z} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (8.15)$$

l_p ...délka trámečku po výpalu [mm]

Poznámka



Pokud známe délkovou změnu sušením DS, potom je možno vypočítat délkovou změnu pálením DP=DC-DS.

8.5.10 Pevnost v tahu za ohybu

Pro laboratorně vytvořené vzorky se nejčastěji stanovuje na Michaelisově přístroji s roztečí podpěrných břitů $l=80$ mm a poměrem 1:50. Před zkouškou je třeba nejprve změřit průřezy b a h . Pevnost v tahu za ohybu se poté vypočte:

$$\sigma_{po} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} \text{ [MPa]} \quad (8.16)$$

b ... šířka průřezu v mm,

h ...výška průřezu v mm.

8.5.11 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku je dána maximální silou, která působí na danou plochu a způsobí porušení zkušebního tělesa v tlaku. Tlačné plochy musí být rovné a navzájem rovnoběžné (upravíme zabroušením). Pevnost v tlaku σ_{pd} je pak dána poměrem maximální síly a tlačené plochy vzorku.

Praktické cvičení 8.2

Vytvořené laboratorní vzorky v rámci praktického úkolu 1 budou vypáleny na dvě různé teploty. Vaším úkolem bude stanovit délkovou změnu pálením, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, nasákavost, zdánlivou pórovitost, zdánlivou hustotu a objemovou hmotnost těchto vzorků v závislosti na výši vypalovací teploty a použitých příměsích.



9 Autotest

1. Mezi výrobky stavební keramiky nepatří

- a) kameninová dlaždice,
- b) plná cihla,
- c) stavební sklo.

2. Plastická keramická surovina:

- a) je schopná po rozdělení s vodou vytvořit plastické těsto
- b) není schopná po rozdělení s vodou vytvořit plastické těsto
- c) nelze ji nalézt v přírodě

3. Jako ostřívo se běžně používá:

- a) křemenný písek,
- b) jílovinové zeminy, např. jíly a hlíny,
- c) kaoliny

4. Obecný postup technologie výroby keramiky je:

- a) těžba a úprava surovin – vytváření – sušení – výpal,
- b) sušení – vytváření – těžba a úprava surovin – balení,
- c) těžba a úprava surovin – sušení – vytváření – výpal.

5. Mezi žárovzdorné výrobky nepatří:

- a) dinas,
- b) šamot,
- c) pórovinová obkládačka.

6. Optimální množství rozdělovací vody pro keramické zeminy stanovujeme:

- a) na Pfefferkornově přístroji,
- b) Andreasenovou sedimentační metodou,



c) podle pevnosti v tlaku vypáleného střepu.

7. Objemová hmotnost je:

- a) hmotnost určitého objemu látky bez jakýchkoli pórů,
- b) hmotnost určitého objemu látky včetně veškerých pórů,
- c) hmotnost určitého objemu látky nezávisle na pórovitosti.

10 Závěr

10.1 Shrnutí

Výrobek stavební keramiky je každý výrobek, který byl vytvořen z keramických surovin (především jílovinových zemin) pomocí tzv. keramického výrobního postupu (posloupnost operací: těžba a úprava keramických surovin – vytváření – sušení – výpal) a který je pevně zabudován do staveb. Jedná se především o cihlářské a kameninové výrobky, zdravotnickou keramiku, keramické obkladové prvky (obkladačky a dlaždice) a částečně i žárovzdornou keramiku. Každý uvedený typ stavební keramiky má své specifické vlastnosti, které vyplývají z jeho použití a je nutno je neustále kontrolovat pomocí laboratorních zkoušek (mj. objemová hmotnost, nasákavost, pevnost apod.). Pro každý výrobek stavební keramiky jsou potřebné také vhodné keramické suroviny v určitém poměru a určité kvalitě, která je opět velmi detailně kontrolována laboratorními zkušebními postupy (grnulometrie, vlhkost apod.).



Ve třech kapitolách byla stručně nastíněna otázka výroby, sortimentu, vlastností a zkoušení stavební keramiky a keramických surovin. Vzhledem k obšírnosti tohoto tématu je zřejmé, že se do textu vešly pouze základní informace, které se mohou někomu zdát příliš kusé, neúplné nebo nedostatečně vysvětlené. Pokud se čtenář do tohoto stavu dostane, doporučuji nalistovat seznam doporučené literatury k tomuto tématu a vybrat některou z uvedených aktuálních učebnic a publikací, které se detailně probíranou tematikou zabývají.

11 Studijní prameny

11.1 Seznam použité literatury



- [3] Pytlík, P., Sokolář, R. *Stavební keramika*. CERM Akademické nakladatelství, Brno, 2002
- [4] Hanykýř, V., Kutzendorfer, J. *Technologie keramiky*. VEGA, Hradec Králové, 2000

11.2 Seznam doplňkové studijní literatury



- [5] Budnikov, P.,P. *Technologie keramiky a žárovzdorného zboží*. SNTL, Praha, 1960.
- [6] Lach, V. *Keramika*. VUT v Brně, Brno, 1986.

12 Klíč



Správné odpovědi autotestu (technologie betonu – kapitola 4):
1c, 2d, 3b, 4b, 5d, 6d



Správné odpovědi autotestu (stavební keramika – kapitola 9):
1c, 2a, 3a, 4a, 5c, 6a, 7b