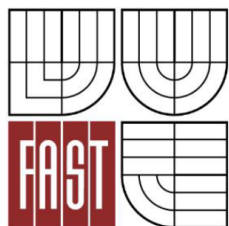




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

NÁVRH SKLADBY ETICS VYUŽÍVAJÍCÍ IZOLAČNÍ JÁDRO Z PÓROBETONU

THE DESIGN OF ETICS USING INSULATION CORE MADE OF AERATED CONCRETE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

David Machala

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá teoretickým návrhem kontaktního samonosného zateplovacího systému s pórobetonovým izolačním jádrem. V textu jsou zpracovány poznatky o systému ETICS, důkladně jsou popsány vlastnosti pórobetonu, včetně historie a nejčastěji používaných technologií výroby pórobetonu. V závěru práce je provedeno porovnání ekonomických a tepelně izolačních vlastností pomocí optimalizačního výpočtu a jsou zde uvedena kritéria použitelnosti navrženého ETICS.

Klíčová slova

Zateplovací systém, ETICS, Izolační jádro, Polystyren, Minerální vlna, Pěnobeton, Plynobeton, Pórobeton, Technologie výroby pórobetonu, Historie pórobetonu, Součinitel prostupu tepla, Tepelná vodivost, Kotvení

ABSTRACT AND KEYWORDS

Abstract

This thesis deals with theoretical suggestions of contact self-supporting insulation system with an insulating core made of porous concrete. The text prepared knowledge about ETICS system, the properties of porous concrete are thoroughly described, including the history and the most often used technology for production of porous concrete. The conclusion is made by comparison of economical and thermal insulation criteria using optimizing calculation and the applicability criteria of proposed ETICS are stated.

Keywords

Insulation system, ETICS, Insulation core, Polystyrene, Mineral wool, Foam concrete, Aerated concrete, Porous concrete, Production technology of porous concrete, History of porous concrete, Heat transfer coefficient, Thermal conductivity, Anchoring

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

MACHALA, David. *Návrh skladby ETICS využívající izolační jádro z pórobetonu*. Brno, 2011. 64 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc..

PROHLÁŠENÍ O PRAVOSTI VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 18.5.2012

.....

podpis autora

David Machala

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 18.5.2012

.....

podpis autora

David Machala

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Rostislavu Drochytkovi, CSc. za přínosné nápady a cenné rady. Zároveň bych chtěl srdečně poděkovat ing. Petře Kejha za hodiny času strávené konzultacemi, za nekonečnou trpělivost, hlavně však za vstřícný, kolegiální a odborný přístup.

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL PRÁCE	10
3	METODIKA PRÁCE	11
4	Zpracování poznatků o systému ETICS.....	13
4.1	ZATEPLOVACÍ SYSTÉM (ETICS) V ČR A V ZAHRANIČÍ	13
4.2	Popis systému ETICS.....	14
4.3	Tepelně izolační materiály Používané v ETICS.....	15
4.3.1	Expandovaný polystyren	17
4.3.2	Extrudovaný polystyren.....	18
4.3.3	Minerální vlna.....	19
4.3.4	Skelná vlna.....	20
4.3.5	Tepelně izolační pórobeton.....	21
5	Pórobeton jako stavební materiál.....	24
5.1	Historie pórobetonu ve světě a u nás	24
5.1.1	Historie pórobetonu ve světě.....	24
5.1.2	Historie pórobetonu u nás	25
5.2	Technologie výroby pórobetonu	25
5.2.1	Suroviny potřebné pro výrobu pórobetonu.....	25
5.2.2	Obecná technologie výroby pórobetonu	26
5.2.3	Užívané technologie výroby pórobetonu u nás	27
5.2.4	Užívané technologie výroby pórobetonu v zahraničí.....	28
5.2.5	Přehled výrobků z pórobetonu	29
5.3	Mechanicko-fyzikální vlastnosti pórobetonů	29
5.3.1	Pevnost v tlaku	30
5.3.2	Objemová hmotnost	30
5.3.3	Pevnost v tahu za ohybu	30
5.3.4	Modul pružnosti	31
5.3.5	Tepelně izolační vlastnosti	31
5.3.6	Vlhkost pórobetonu	32
5.3.7	Difúzní odpor.....	32
6	Teoretický návrh skladby ETICS využívající izolační jádro z pórobetonu	33
6.1	Soupis teoreticky vhodných druhů pórobetonů pro zateplení systémem ETICS.....	33

6.1.1	Pěnobeton	33
6.1.2	Plynobeton	34
6.2	Popis vlastností použitelných pórobetonů	36
6.2.1	Vlastnosti - YTONG MULTIPOR	36
6.2.2	Vlastnosti - YTONG THETA P1,8-300	36
6.2.3	Vlastnosti - PORFIX Plus P2-420	37
6.3	Návrh skladby ETICS s použitelnými pórobetony ve srovnání s EPS, MW	38
6.3.1	Podmínky použitelnosti pórobetonu jako izolačního jádra v ETICS	39
6.4	Výpočet tepelných vlastností prováděného ETICS	40
6.4.1	Součinitel prostupu tepla - PORFIX PLUS P2-420	41
6.4.2	Součinitel prostupu tepla - YTONG THETA	42
6.4.3	Součinitel prostupu tepla - YTONG MULTIPOR	42
6.4.4	Součinitel prostupu tepla - EPS 70 F	43
6.4.5	Součinitel prostupu tepla - ISOVER TF	43
7	Výběr nejvhodnějšího druhu materiálu	45
7.1	zásady kotvení	45
7.2	Výpočet průběhů teplot referenčními stěnami	46
7.2.1	PORFIX PLUS P2-420	48
7.2.2	YTONG THETA	49
7.2.3	YTONG MULTIPOR	50
7.2.4	EPS 70 F	51
7.2.5	ISOVER TF	52
7.3	Porovnání ekonomických a tepelně izolačních kritérií použitím optimalizačního výpočtu	53
7.4	Kritéria a doporučení použitelnosti navrženého Etics	56
8	Shrnutí a Závěr	58
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:		60
SEZNAM ZKRATEK		62
SEZNAM TABULEK		63
SEZNAM OBRÁZKŮ		64

1 ÚVOD

Již v minulosti se lidé snažili o ochranu svých příbytků od nepříznivých povětrnostních vlivů a o zamezení tepelných ztrát. S přibývajícemi zkušenostmi z výstavby postupně rostla úroveň a promyšlenost samotných konstrukcí až do dob minulého století, kdy začaly vznikat první ucelené zateplovací systémy. Zásadním impulzem pro zrod prvních dodatečných zateplování byla 1. ropná krize na konci 60. let, která vyústila v enormní nárůst cen za topení. Kolébkou vývoje prvních zateplovacích systémů bylo Německo a Švýcarsko v 70. letech. Na Českém území se významnější rozvoj dodatečného zateplování projevil až po sametové revoluci přičemž opravdový boom nastal s příchodem programu Zelená úsporám.

Nejčastější formou dodatečného zateplení budov, téměř na celém světě, je užití kontaktního zateplovacího systému s izolačním jádrem z polystyrenu nebo minerální vlny. Tato varianta je bez pochyb velmi vhodná pro celou řadu stávajících konstrukcí vystavěných z materiálů s nízkým tepelným odporem. U některých staveb se však může jevit toto řešení jako nesystémové, což může zapříčinit v budoucnosti značné problémy.

Potíže způsobuje například vysoký difúzní odpor polystyrenu nebo fakt, že dnes používaný fasádní polystyren nevykazuje téměř žádnou požární odolnost. U dnešních zateplovacích systémů je udávána poměrně nízká životnost, která je řádově nižší než životnost celé konstrukce. Tyto negativní aspekty dávají prostor pro výzkum nových izolačních materiálů, jedním z nich může být i pórobeton. Pórobeton zaznamenal v posledních letech značný vývoj a některými svými vlastnostmi polystyren a minerální vlnu předstihuje. Právě tento fakt vyústil v uplatnění myšlenky využít extrémně vylehčený pórobeton jako tepelně izolační jádro v kontaktně zateplovacích systémech.

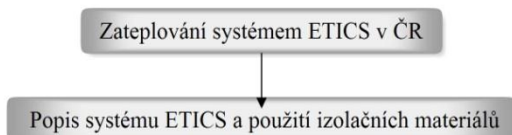
Záměrem této práce je tedy zjistit, jestli je reálné a ekonomicky výhodné použití pevnějších nosných pórobetonů do kontaktně zateplovacích systémů. Nosný pórobeton totiž skýtá mnohé pozitivní vlastnosti a je tudíž na snaze zjistit, zdalipak těmito vlastnostmi dokáže předčít některé negativa oproti dnes tradičně užívaným materiálům.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je vytvoření teoretického návrhu samonosného kontaktního zateplovacího systému na bázi pórobetonů. Před samotným návrhem systému je zapotřebí důkladně zpracovat poznatky o systému ETICS a také shromáždit co nejvíce informací o pórobetonu jako stavební látce. Po seznámení se s vlastnostmi pórobetonů je třeba vybrat nejvhodnější zástupce. Dále provést u vybraných materiálů výpočet průběhu teplot konstrukcí, z čehož vyplyne grafické srovnání tepelně izolačních vlastností. Na závěr bude provedeno porovnání zkoumaných látek za použití optimalizačních výpočtů a tím bude zjištěna vhodnost daného materiálu do ETICS a určení kritérií použitelnosti daného systému.

3 METODIKA PRÁCE

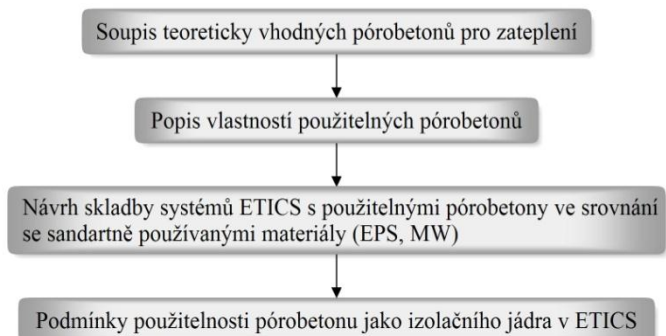
1. Etapa - Zpracování poznatků o systému ETICS



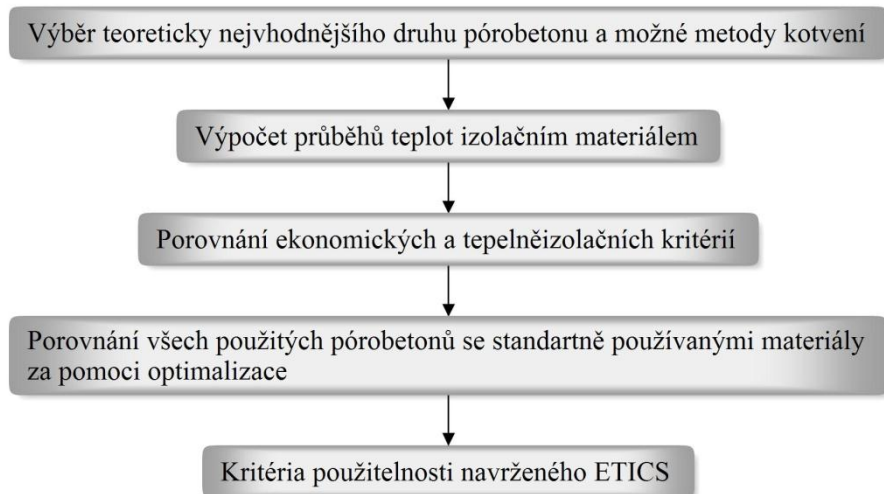
2. Etapa - Pórobeton jako stavební materiál



3. Etapa - Teoretický návrh skladby ETICS využívající izolační jádro z pórobetonu



4. Etapa - Výběr nejvhodnějšího druhu materiálu



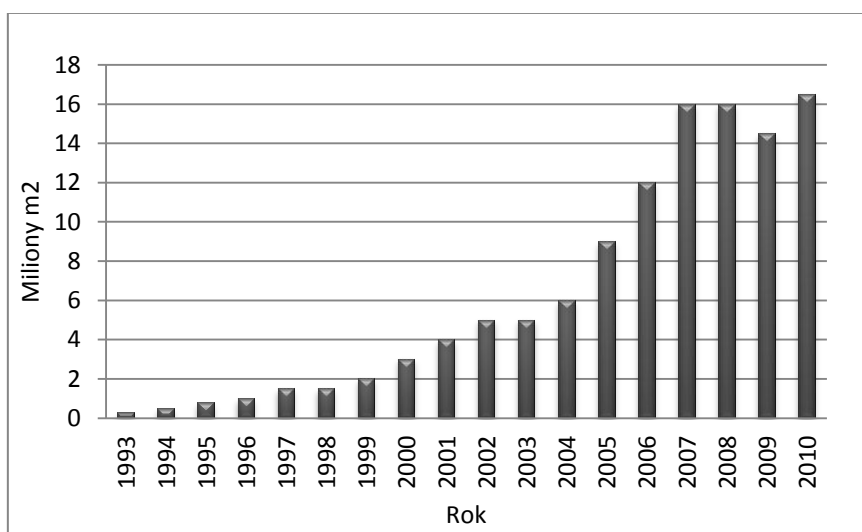
Obr. 1: Metodika práce

4 ZPRACOVÁNÍ POZNATKŮ O SYSTÉMU ETICS

4.1 ZATEPLOVACÍ SYSTÉM (ETICS) V ČR A V ZAHRANIČÍ

Kontaktní tepelně izolační systém, známý pod zkratkou ETICS (External Thermal Insulation Composite System) je systém, s připevněným tepelně izolačním materiálem k nosné konstrukci se základní vrstvou a výztuží, vhodnou penetrací a fasádní omítkou. Využívá tepelně izolačních vlastností použitého izolačního materiálu a utváří komplexní vnější obal budovy, čímž dochází k výraznému zvětšení tepelného odporu konstrukce a zamezení nežádoucích úniků tepla v podobě tepelných mostů.

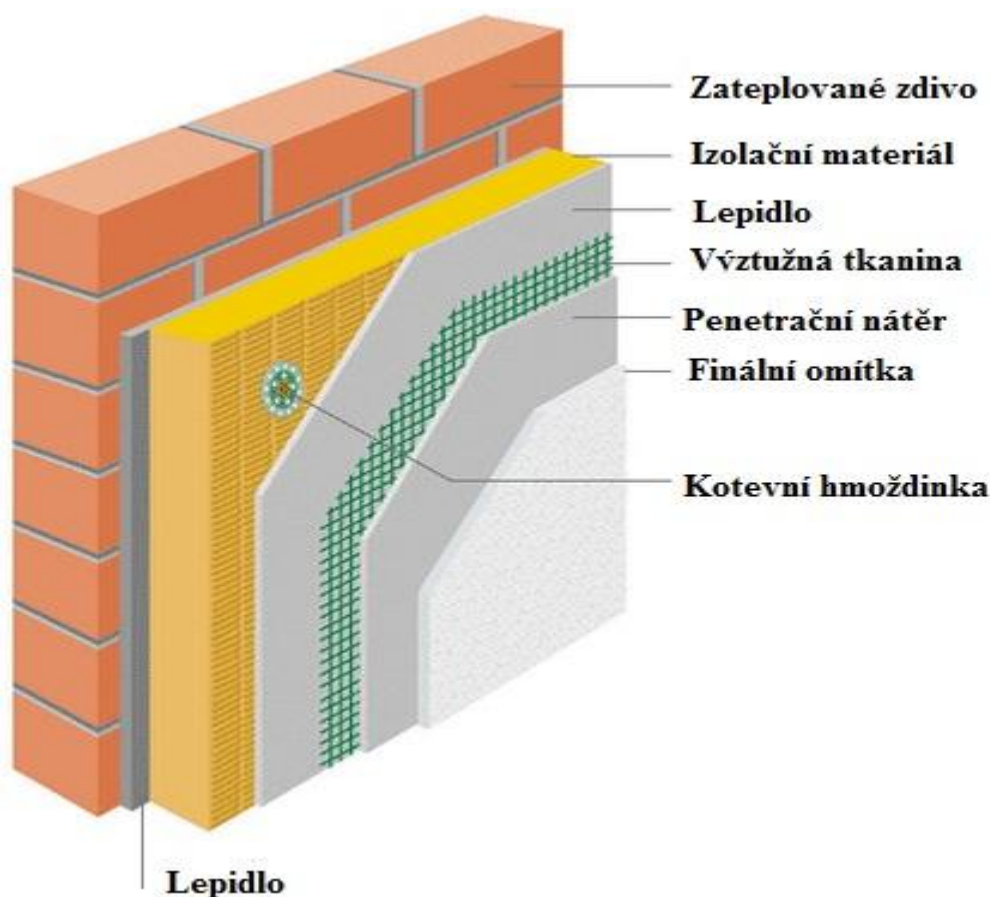
Historie ETICS sahá do druhé poloviny dvacátého století. V 60. letech došlo k první větší ropné krizi, ceny paliv prudce vzrostly a v Německu se začali zabývat otázkou dodatečného zateplení obytných budov masivně vystavovaných od konce druhé světové války. Od roku 1988 je ETICS zahrnut v evropské směrnici ETAG 004, což je řídicí pokyn, pro evropské technické schválení vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů s omítkou. V roce 2010 přibýlo na celém světě více než 150 000 000 m² kontaktně zateplených fasád systémem ETICS provedených v souladu s výše zmíněnou směrnicí ETAG 004 z čehož bylo více než 10 % provedeno v České Republice. Vývoj produkce ETICS v České Republice je zobrazen na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Graf 1: Produkce ETICS v České Republice



Graf 1: Produkce ETICS v České Republice [1]

4.2 POPIS SYSTÉMU ETICS

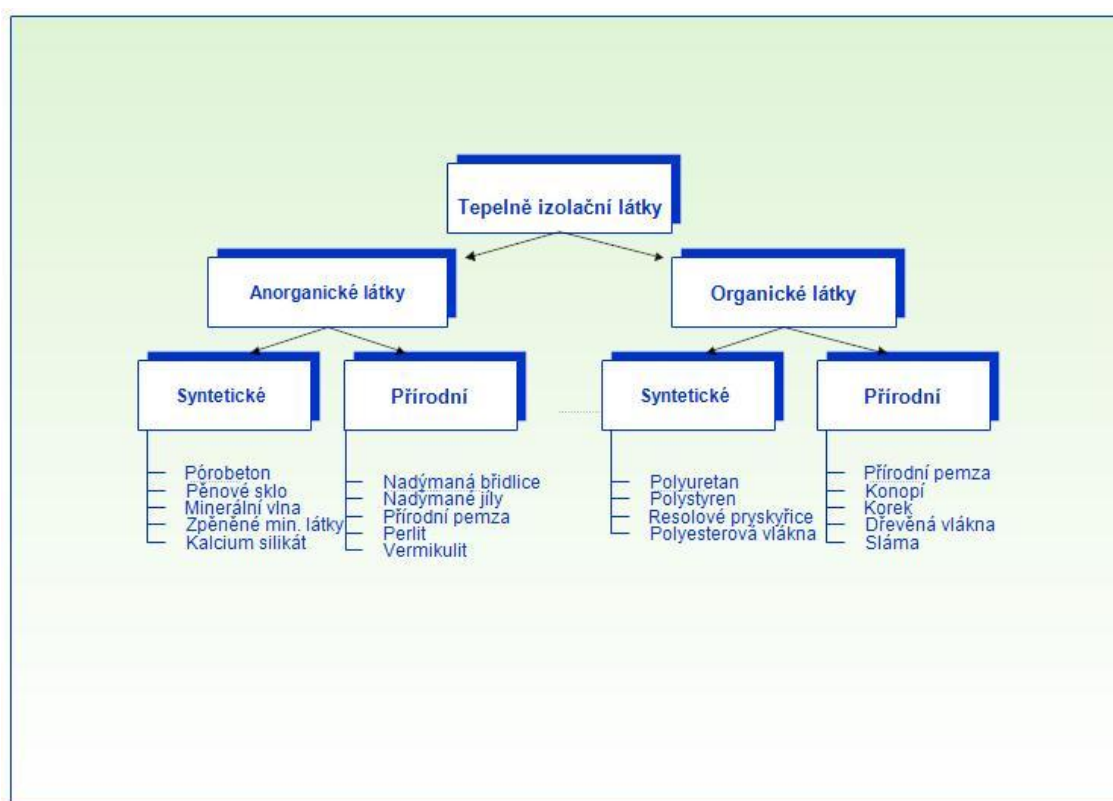
Systém ETICS je určený pro zateplování obvodových stěn z vnější strany pláště budov. Na obvodové zdivo je lepen izolační materiál pomocí tmelů a proti odtržení sáním větru je izolační materiál jištěn kotevními hmoždinkami. Hmoždinky se dělí podle druhu zateplovaneho zdiva a mají různou délku, podle tloušťky použitého izolantu. Na připevněný izolační materiál je nanесena druhá vrstva speciálního tmelu, do které je zatlačena armovací výztuž. Tato vrstva je opatřena penetračním nátěrem, který je většinou již probarvený do odstínu fasádní omítky. Po zaschnutí penetračního nátěru dojde k natažení fasádní omítky. Příklad stěny, která je zateplená systémem ETICS je znázorněn na Obr. 2: Ukázka řezu zateplovacím systémem ETICS



Obr. 2: Ukázka řezu zateplovacím systémem ETICS [2]

4.3 TEPELNĚ IZOLAČNÍ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V ETICS

Tepelně izolační materiál je to hmota, která špatně vede teplo. Čím hůře jej vede, tím lepší izolant to je. Základní vlastnost určující kvalitu tepelného izolantu je tepelná vodivost. Na trhu je několik druhů tepelných izolantů, ovšem ne všechny jsou používány v kontaktním zateplování. Jejich podrobný seznam a dělení je zobrazen na Obr. 3: Rozdělení tepelně izolačních materiálů dle původu.



Obr. 3: Rozdělení tepelně izolačních materiálů dle původu

Pro izolační materiály použité v kontaktním zateplovacím systému jsou nejdůležitější tyto vlastnosti: Součinitel tepelné vodivosti, velikost difúzního odporu, objemová hmotnost a požární odolnost.

Součinitel tepelné vodivosti je fyzikální veličina z oboru termodynamiky, která je označována malým písmenem lambda – λ . Udává schopnost látky vést teplo a její jednotka je $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Čím je jednotka nižší, tím méně materiál vede teplo. Ideální tepelný izolant by se měl svým součinitelem tepelné vodivosti co nejvíce blížit nule.

Velikost difúzního odporu je fyzikální veličina vyjadřující odpor materiálu proti průniku vodních par. Všechny materiály mají větší odpor proti pronikání vodní páry než vzduch. Poměr mezi difúzním odporem určité tloušťky nějakého materiálu a difúzním odporem vrstvy vzduchu o stejné tloušťce se nazývá **faktor difúzního odporu** a označuje se řeckým písmenem μ (mí). Čím tlustší je vrstva materiálu, kterou se snaží vodní pára proniknout, tím větší je její difúzní odpor. Je to bezrozměrná veličina. U ideálního tepelného izolantu se snažíme o co nejnížší hodnotu difúzního odporu.

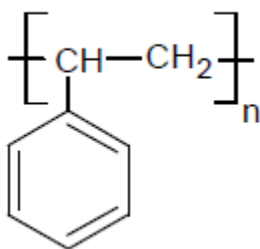
Objemová hmotnost je fyzikální veličina a jedná se o poměr hmotnosti tělesa k objemu tělesa včetně póru, mezer a dutin. Je to objem stanovený z vnějších rozměrů a udává se v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Požární odolnost značí, jak dlouho je materiál schopen zadržovat požár a bránit ohni v šíření. Materiály rozdělujeme podle požární odolnosti do sedmi kategorií: A1, A2, B, C, D, E, F. Kategorie A1 odolává ohni po nejdelší dobu, kategorie F odolává ohni po nejkratší dobu.

V Česku je nejrozšířenější tepelný izolant pěnový polystyren (EPS) a minerální vata (MW). Zřídka se také používají i materiály mnohem různorodější a modernější, např. korek, pěněné sklo, pórobeton, extrudovaný polystyren nebo třeba pěnový polyuretan. Tyto izolační materiály ale nacházejí uplatnění spíše v zahraničí než v České Republice.

4.3.1 EXPANDOVANÝ POLYSTYREN

Polystyren se dělí dle způsobu výroby na pěnový (expandovaný) a extrudovaný. Základní surovinou pro jejich výrobu je zpěnovatelný polystyren ve formě granulí obsahující z pravidla 6–7 % nadouvadla. Tyto perle se vyrábějí polymerací styrenu. Obr. 4: Strukturní vzorec polystyrenu ukazuje strukturní vzorec polystyrenu.



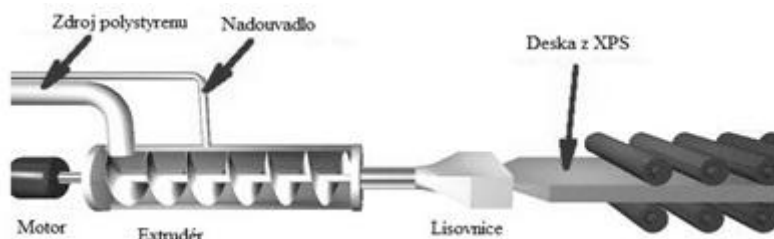
Obr. 4: Strukturní vzorec polystyrenu

Z granulí se vyrábějí tepelně izolační desky používané dále v kontaktním zateplování. Objemová hmotnost expandovaného polystyrenu je 25 až 35 kg·m⁻³. Součinitel tepelné vodivosti je velice příznivý a to 0,039 W·m⁻¹·K⁻¹, naopak pevnost v tlaku je velmi malá 0,1 MPa při 2 % stlačení. Difuzní odpor je 20 - 40, což je bráno jako nevýhoda, protože čím je odpor vyšší, tím víc brání materiál prostupu vodní páry. Donedávna se používal pěnový polystyren bez zhašedla, ten je však v poslední době zcela nahrazen polystyrenem samozhášivým, i přes to spadá jeho protipožární odolnost do třídy E. U pěnového polystyrenu dochází také ke smršťování a to až 4 mm·m⁻¹. Nepodléhá téměř žádným degradačním účinkům, pokud není přímo vystaven slunečnímu záření a proto v ideálních podmínkách vydrží až 50 let. Nehnije a vyniká odolností vůči kyselinám, zásadám a roztokům. Dodávají se v deskách o rozměrech 0,5 x 1,0 m a o tloušťce dle účelu použití. Na zateplení je nejběžnější tloušťka polystyrenové desky od 5 do 25 cm. [3]

4.3.2 EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN

Extrudovaný polystyren (XPS) je podobný deskám, vyrobeným ze zpěňovatelného polystyrenu (EPS). Jejich technologie výroby se však liší. Během výrobního procesu je vytlačována tavenina krystalového polystyrenu pod vysokým tlakem, za současného sycení zpěňovadlem, které po uvolnění tlaku umožní na konci vytlačovací hubice napětí materiálu. Vytváří se tak velice kompaktní hmota utvořená z malých uzavřených buněk pevně sbalených do sebe. Proto nemůže voda proniknout do izolace a díky této uzavřené buněčné struktuře má extrudovaný polystyren vynikající izolační vlastnosti, vynikající odolnost proti vodě a vysokou pevnost v tlaku. Na Obr. 5 je zobrazeno zjednodušené schéma výroby extrudovaného polystyrenu. Přestože mají extrudovaný i expandovaný polystyren chemický základ v polystyrenu, extrudovaný polystyren má odlišné vlastnosti, předurčují jeho používání v těžších provozních podmínkách. Pevnost v tlaku dosahuje u XPS desek až 0,5 MPa při 10% deformaci. Jeho povrch je mnohem drsnější, čímž zajišťuje lepší adhezi a má vyšší tuhost. Tepelná vodivost se mění v závislosti na hustotě, pohybuje se mezi 0,030 – 0,040 W·m⁻¹·K⁻¹. Hustota extrudovaného polystyrenu (XPS) se pohybuje mezi

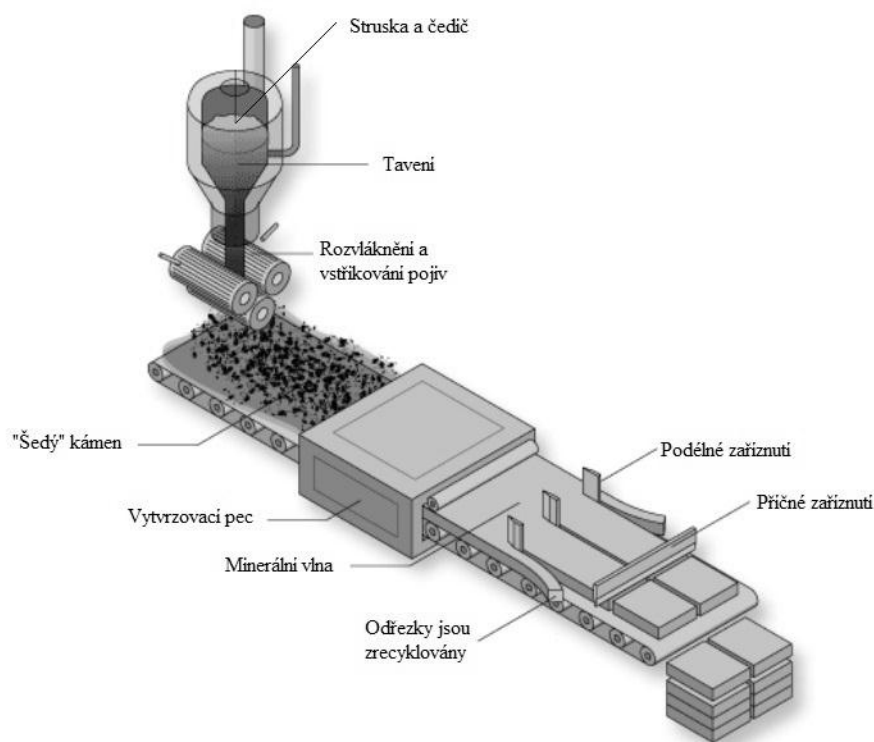
$28\text{--}45\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Difuzní odpor se pohybuje v rozmezí 80-250, což je už vrstva značně bránící prostupu vodních par.



Obr. 5: Zjednodušené schéma výroby extrudovaného polystyrenu [4]

4.3.3 MINERÁLNÍ VLNA

Minerální vlna je v České Republice druhým nejčastějším tepelně izolačním materiálem, který se v kontaktním zateplovacím systému používá. Schéma výroby je zobrazeno na Obr. 6. Je to materiál, který vzniká tavením anorganických látek (zpravidla čedič nebo dolomit), spolu s vysokopecní struskou nebo ocelí. Tyto látky tvoří hlavní složku, kterou tvoří z 96 - 98 %, zbytek jsou pojiva. Tavení probíhá přibližně za $1500 - 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ a poté se materiál rozvláknuje na jemnou vlákninu. Proces rozvláknění závisí na použité technologii, přičemž nejčastěji se používají rychle rotující válce. V této části výroby se přidávají ještě pojiva, která jsou nejčastěji zastoupena termosetickými pryskyřicemi. Poté vlákna šedého kamene padají na pás, na kterém putují dále do vytvrzovací pece. Odtud již vychází hotová minerální vlna, která se již jen podélně a příčně nařeže.



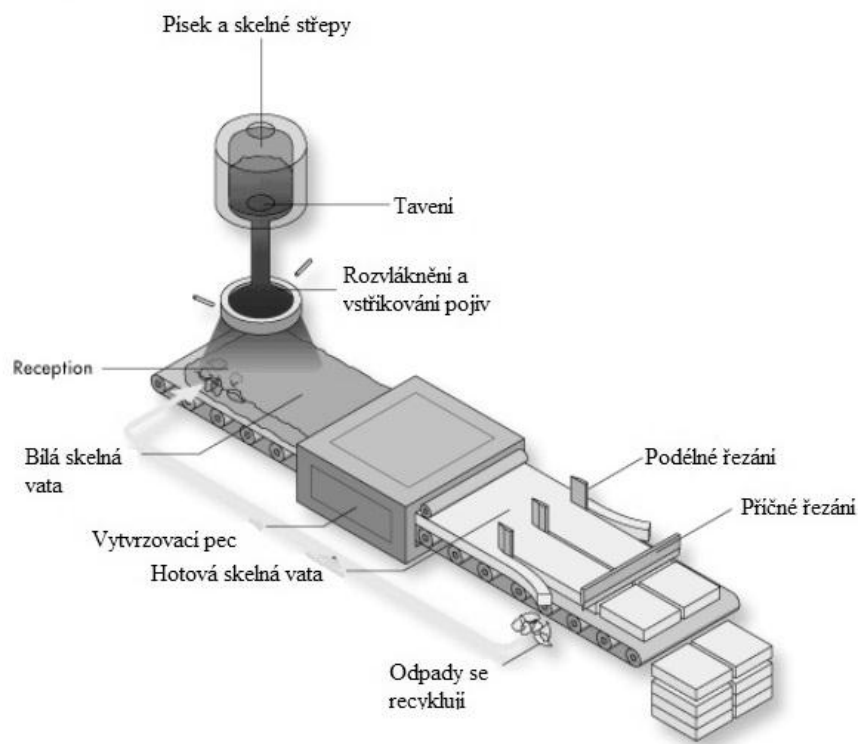
Obr. 6: Schéma výroby minerální vlny [5]

Tepelná vodivost minerální vlny je $0,036 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a hustota do $80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Oproti polystyrenu má mnohem větší protipožární odolnost a to dokonce třídy A1. Kamenná minerální vlna má pevnost v tlaku po 10 % stlačení 0,01 - 0,07 MPa. Hodnota difúzního odporu je 1, což je jedna z nejpříznivějších hodnot ze všech izolačních materiálů. Mezi další vlastnosti patří například výborné akustické vlastnosti z hlediska zvukové neprůzvučnosti, ekologická a hygienická nezávadnost, vysoká vodoodpudivost, dlouhá životnost (až 50 let), odolnost proti dřevokazným škůdcům hlodavcům a hmyzu. Značná nevýhoda v České Republice oproti polystyrenu je vyšší cena a složitější montáž.

4.3.4 SKELNÁ VLNA

Skelná vlna je svým výrobním procesem a vlastnostmi velice podobná minerální vlně, jen se místo kameniva a strusky taví písek a skelné střepy. Tavení probíhá při nižší teplotě než u minerální vlny a to $1350 - 1450 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tavenina dále pokračuje přes rozvláknovací stroje, kde vzniká vlákno, které je dále míseno s pojivem. Tato vlákna

padají na pás, kde vytvářejí rohož bílé skelné vaty. Vata dále pokračuje přes dlouhou vytvrzovací pec, ze které vychází hotový nekonečný koberec skelné vlny. Ten je již pouze podélně a příčně řezán. Při výrobě nevzniká žádný odpad, protože odpady jdou zpět do tavicí pece a jsou plně recyklovány. Schéma výroby skelné vaty je zobrazeno na Obr. 7.



Obr. 7: Schéma výroby skelné vaty Obr. 6: Schéma výroby minerální vlny [5]

Skelná vata vyniká dobrou teplotní snášenlivostí – vydrží až teploty kolem 750 °C. Tato vlastnost pozitivně ovlivňuje její požární odolnost, skelná vata spadá do kategorie B – nesnadno hořlavé. Součinitel tepelné vodivosti λ je 0,030 – 0,036 W·m⁻¹·K⁻¹. Difúzní odpor je 2,5.

4.3.5 TEPELNĚ IZOLAČNÍ PÓROBETON

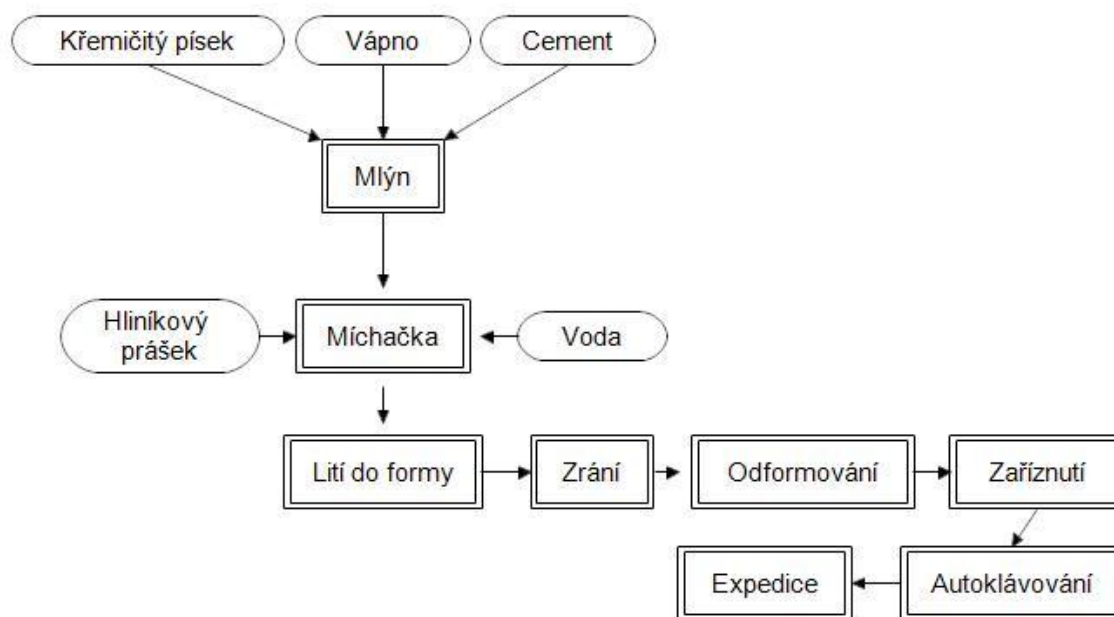
Tepelně izolační pórobetony jsou pórobetony s objemovou hmotností mezi 110–120 kg·m⁻³. Vyrábějí se nejčastěji jako minerální bezvláknité desky o rozměrech

(39 x 60) cm a tloušťkách 5-20 cm v závislosti na použití. Obsahují velké množství pravidelně uspořádaných mikropórů, což zajišťuje jejich nízkou objemovou hmotnost a dobré tepelně izolační vlastnosti. Tepelná vodivost izolačního pórobetonu je $0,045 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Velice příznivý je také faktor difuzního odporu $\mu = 3$. Velká výhoda pórobetonu tkví ve vysoké odolnosti vůči tlaku až 0,350 MPa. Dle evropské normy EN 13501 je třída hořlavosti pórobetonu A1. Celkově se jedná o stavební produkt velmi vyspělý, nepoškozující nijak životní prostředí a hlavně plně recyklovatelný. Příklad tepelně izolačního materiálu vyrobeného z pórobetonu je na Obr. 8



Obr. 8: Ytong Multipor [6]

Pórobeton se skládá z vápna, cementu, křemičité složky, plynotvorné látky a může obsahovat pomocné přísady usnadňující proces výroby. Jako křemičité složky se v pórobetonu vyskytují nejčastěji kvalitní křemičité písky, které mohou být nahrazeny elektrárenským popílkem, jehož použití je však na ústupu. Nejpoužívanější plynotvorná látka je hliníkový prach a jako pomocná přísada může být použit sádrovec, hydroxid sodný, nebo třeba chlorid vápenatý. Schéma výroby pórobetonu je na Obr. 9.



Obr. 9: Schéma výroby pórobetonu

Jemné křemičité látky, písek nebo popílek, putují ze skladu do mlýna, kde jsou velmi jemně rozemlety. Většinou jsou mlety i s vápnem a cementem, dojde tak k homogenizaci všech surovin. Dále jde tato směs do míchačky, kde je přidána voda, popřípadě pomocná přísada. Těsně před koncem míchacího cyklu je přidán hliníkový prášek. Vše se vylíje do formy o rozměrech (6 x 1,5 x 0,6) m ale ne víc jak do 4/5 výšky formy. Poté nastává takzvaný zrací cyklus, při kterém dochází v pórobetonu k expandování. Po zatuhnutí pórobetonu probíhá odformování, nařezání materiálu na potřebné bloky a zařízení přebytku vzniklého neexpandováním směsi. Tyto již nařezané bloky pokračují dále do autoklávu, kde za zvýšené teploty, tlaku a vlhkosti dozrají. Z autoklávu vyjíždí již hotový výrobek, který je potřeba nechat pouze proschnout a je připraven k použití na stavbě. [7]

5 PÓROBETON JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL

5.1 HISTORIE PÓROBETONU VE SVĚTĚ A U NÁS

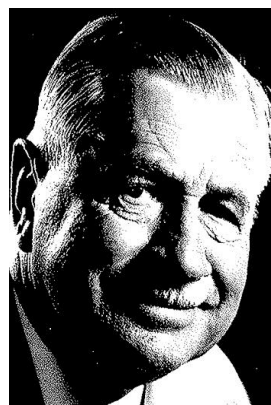
Pórobeton byl objeven již téměř před 100 lety ve Švédsku. U nás se začal objevovat až v šedesátých letech minulého století s příchodem polské technologie UNIPOL.

5.1.1 HISTORIE PÓROBETONU VE SVĚTĚ

První doložený pokus o výrobu autoklávovaného pórobetonu byl uskutečněn v roce 1923 ve Švédsku. Zasloužil se o něj Dr. Johan Axel Eriksson, když pracoval na výrobě různých pórobetonových vzorků a kvůli nedostatku času, se rozhodl urychlit proces zrání hmoty, tvořené páleným vápnem, vodou a hliníkovým práškem, použitím laboratorního autoklávu. Nově vzniklý porézní materiál dosahoval po 12 hodinovém autoklávování vysokých pevností v tlaku. Což bylo způsobeno novou, silnější krystalovou mřížkou. V teple, tlaku a za přítomnosti páry se oxid křemičitý a hydroxid vápenatý přeměnil postupně na Tobermorit ($5 \text{ CaO} \cdot 6 \text{ SiO}_2 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$), což je destičkovitý minerál vyskytující se v přírodě.



Obr. 10: Dr. Johan Axel Eriksson [8]



Obr. 11: Josef Hebel [9]

V roce 1924 byl pórobeton patentován a v září roku 1929 byla postavena první továrna na výrobu pórobetonu. Výrobek byl pojmenován Y-TONG, což byla zkratka města Yxhult ve Švédsku a švédského názvu betonu BETONG.

V roce 1943 získal Josef Hebel technologii na výrobu autoklávovaného pórobetonu a koupil továrnu na vápenopískové cihly v Emmeringu, nedaleko Mnichova. ihned začal výrobu pórobetonu. Po druhé světové válce byla většina poválečného Německa znovu vystavena právě z pórobetonu značky Hebel.

Y-Tong a Hebel byly celou druhou polovinu dvacátého století hlavními výrobci pórobetonu a jejich působení se rozšířilo po celém světě. V roce 2000 se Y-Tong a Hebel spojili a v roce 2002 byly tyto firmy koupeny společností Haniel Bau Industrie a dále existují pod názvem Xella. Obr. 10: Dr. Johan Axel Eriksson [8]

5.1.2 HISTORIE PÓROBETONU U NÁS

Pórobeton se u nás začal vyrábět v roce 1959 v Zemianských Kostolamech, jednalo se však o výrobu plynosilikátu, ve kterých byla křemičitá složka zastoupena popílky. Výroba probíhala polskou technologií UNIPOL. V roce 1963 byla zakoupena technologie SIPOREX, která byla švédského původu. Zde se jedná o pórobeton z křemičitého písku.

V roce 1976 byl otevřen závod na výrobu pórobetonu technologií CALSILOX v Hrušovanech u Brna, který se v roce 1990 osamostatnil. O tři roky později došlo k její fúzi se společností Ytong a v roce 2000 se společnost Ytong spojila se společností Hebel. V roce 2002 došlo k jejich odkoupení společností Haniel Bau Industrie a od tohoto roku nesou výrobky označení Xella.

5.2 TECHNOLOGIE VÝROBY PÓROBETONU

5.2.1 SUROVINY POTŘEBNÉ PRO VÝROBU PÓROBETONU

Obecně se pórobeton skládá z následujících složek:

- Maltovinové složky
- Křemičité složky
- Plynotvorné látky
- Pomocné suroviny

Jako základní maltovina se používá pálené vápno, které nesmí obsahovat přepal a musí mít stejnorodé chemické i mineralogické složení. Rychlost a teplota hašení musí být minimálně 60 °C v mezích 4-12 min., obsah celkového oxidu vápenatého musí být minimálně 90 % a ztráta žháním se má pohybovat mezi 3-6 %. Cement se do pórobetonů přidává hlavně pro rychlejší získání manipulační pevnosti.

Křemičité látky pro výrobu pórobetonů mohou být různého původu. Nejvíce se však používá křemičitý písek a popílek, výjimečně pak struska. Písek musí být čistý, s obsahem oxidu křemičitého nad 90 %, jemně namletý (měrný povrch písku by měl být alespoň 200 m²·kg⁻¹). Obsah síry by neměl přesahovat 1 % a obsah alkálií by neměl být větší než 1,5 %. Výhoda popílku oproti písku je, že je suchý a má mnohem vyšší měrný povrch, tudíž odpadá náklady na mletí a vysoušení. Popílek musí obsahovat minimálně 45 % oxidu křemičitého, ztráta žháním může být maximálně 7 % a celkový obsah síry může být maximálně 0,2 %.

Jako plynotvorná látka je nejčastěji používán hliníkový prach, nebo hliníková pata, u kterých musí být obsah aktivního hliníku nejméně 94 % a měrný povrch minimálně 700-1200 m²·kg⁻¹.

Dále mohou být použity pomocné suroviny, například energosádrovec, který reguluje časový průběh tuhnutí autoklávovaných betonů anebo chlorid vápenatý, který urychluje tuhnutí cementu, čímž je docíleno rychlejšího zatvrdnutí směsi. Ten se používá jen u pórobetonů bez ocelové výztuže, protože obecně chloridy urychlují degradaci kovů. Méně časté je používání hydroxidu sodného, který způsobuje větší zalkalizování směsi, což podporuje vznik vodíku.

5.2.2 OBECNÁ TECHNOLOGIE VÝROBY PÓROBETONU

Existuje několik různých technologií na výrobu pórobetonu, i když se mezi sebou liší, tak u každé technologie jsou potřeba 4 základní složky: maltoviny, křemičité látky, plynotvorné přísady a látky pomocné

Jemně rozemleté křemičité složky se podle užití technologie předem pomelou, nebo se pomelou společně s maltovinami. Poté jde hmota do míchačky, která je buď

stacionární, nebo pojízdná. Zde dochází k homogenizaci směsi složené z křemičitých látek, vápna, cementu, ohřáté vody a pomocných surovin. Před koncem míchání je přidán hliníkový prášek, nebo pasta. Před vstupem do míchačky je každá dílčí surovina vážena na tenzometrických vahách. Po důkladném homogenizování směsi dochází k lití do formy, která má rozměry (6 x 1,5 x 0,6) m. Forma je naplněna pouze do 2/3 až 4/5 své výšky a poté je velmi jemně vibrována (z důvodu zarovnání povrchu). Vibrace nesmí být příliš intenzivní, protože každou další vibrací unikají ze směsi plyny tvořící mikropóry a tím pádem narůstá objemová hmotnost. Po odlití směsi do formy vzniká reakcí hliníku v alkalickém prostředí vodík, který směs nakypří a vytvoří velké množství mikropórů.

Po vylití břečky putuje forma na zrací pole, kde setrvává do získání manipulačních pevností. Během doby strávené na zracím poli dochází k vlastnímu nakypření a potom zatuhnutí směsi. Nakypřený povrch je posléze zaříznut a celý blok je rozřezán podle potřeby tenkými dráty, díky čemuž lze dosáhnout vysoké rozměrové přesnosti a přitom velké rozmanitosti rozměrů. Nařezaný materiál postupuje do autoklávu, kde za zvýšené teploty, tlaku a vlhkosti dochází k rekrytalizaci hmoty za vzniku minerálu tobermoritu, který má tvar drobných, vzájemně prorostlých listovitých krystalků vytvářejících pevný skelet. Z autoklávu vyjíždí již hotový pórobeton, který dále pokračuje na balicí linku a po zabalení do fólie je připraven k expedici.

5.2.3 UŽÍVANÉ TECHNOLOGIE VÝROBY PÓROBETONU U NÁS

V České Republice je pórobeton vyráběn několika různými technologiemi, které se mezi sebou liší hlavně použitými základními surovinami a jejich úpravou, použitými přísadami, oběhem forem a řezání pórobetonového bloku.

Nejstarší technologie u nás je technologie UNIPOL, ve které jsou křemičité složky zastoupeny popílky a jako pomocné složky jsou použity sádrovec a hliník. Formy jsou stacionární a míchačka je pojízdná, veškerá úprava pórobetonového bloku (řezání a autoklávování) probíhá ve formách, což zkracuje životnost samotné formy.

Další používaná technologie nese označení SIPOREX. Jedná se o pískový pórobeton (křemičité látky jsou zde zastoupeny kvalitními křemičitými písky), jako pomocné suroviny jsou použity sádra a hliník. Na začátku výrobního procesu probíhá mokré mletí písku, míchačka je mobilní, pórobetonový blok zraje v klidu na místě. Formy jsou složeny z lamel a snímatelných bočnic, krájení probíhá na lamelách a autoklávování ve formách.

V roce 1975 byla na českém území zavedena technologie CALSILOX, ve které může být použit písek nebo popílek. Jako pomocné suroviny jsou zde použity sádra, hliník a anhydrit. Na začátku výrobního procesu probíhá suché mletí cementu, vápna a popílku nebo písku. Tím dochází k částečné homogenizaci surovin, a proto může být doba míchání ve stacionární míchačce zkrácena. Formy jsou rozebratelné a po zatuhnutí je pórobetonový blok přemístěn na rošt, na kterém probíhá krájení, seřezávání a autoklávování.

5.2.4 UŽÍVANÉ TECHNOLOGIE VÝROBY PÓROBETONU V ZAHRANIČÍ

Nejrozšířenější technologie jsou HEBEL a YTONG, v České Republice nejsou však zatím zastoupeny.

Technologie YTONG je charakterizována použitím vápna, cementu, písku (velmi ojediněle může být použit popílek) a hliníkového prášku. Směs cementu, vápna a písku je před mícháním velmi jemně pomleta, při čemž dochází i k samotné homogenizaci směsi, čímž je zkrácen čas míchání. Míchačka je stabilní, obíhají formy, které jsou charakteristické zesílenou bočnicí. Při získání manipulačních pevností je forma s pórobetonovým blokem otočena na zesílenou bočnici a probíhá odformování. Veškerá následující manipulace probíhá na zesílené bočnici.

Při technologii HEBEL se používá vápno, cement a kvalitní křemičitý písek. Jako plynotvorná složka je použit hliníkový prach. Do míchačky je přidáván také anhydrit, jako pomocná surovina. Před samotnou homogenizací probíhá mokré mletí písku. Zrání probíhá v pohyblivých formách a řezání a autoklávování na speciálních roštích.

5.2.5 PŘEHLED VÝROBKŮ Z PÓROBETONU

Již na počátku padesátých let 20. stol představil Josef Hebel první ucelený systém na výstavbu rodinných domů složený z pórobetonu, nazvaný „Hebel Haus“. Dnes je na trh dodáváno několik kompletních systémů na výstavbu rodinných a bytových domů. Vyrábí se tedy obvodové zdící prvky, příčkovky, překlady, věncové tvárnice, bednicí prvky, armované stropní panely, střešní panely, kompletizované panely, obloukové segmenty nebo třeba schodišťové stupně. Ze všech uvedených prvků jsou pro tuto práci nejdůležitější nosné obvodové zdící prvky, proto je přehled několika vybraných tvarovek i s jejich vlastnostmi uveden v Tab. 1.

Název výrobku	Rozměry [mm]	Součinitel prostupu tepla $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Objemová hmotnost $[kg \cdot m^{-3}]$	Požární odolnost [min]	Pevnost v tlaku [MPa]
P1,8-300	374x249x599	0,21	300	180	1,8
P2-350	375x249x599	0,23	350	180	2
P4-500	200x249x599	0,54	500	180	4
P6-650	300x249x499	0,5	650	180	6

Tab. 1: Přehled nosných tvarovek z pórobetonu a jejich základní vlastnosti

5.3 MECHANICKO-FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PÓROBETONŮ

Staviva z pórobetonu jsou navrhována hlavně s důrazem na nízkou objemovou hmotnost a velmi dobré tepelně izolační vlastnosti. Čím nižší je objemová hmotnost, tím lepší jsou tepelně izolační vlastnosti, ale tím nižší je i pevnost v tlaku. Proto je důležité získat pórobetony s co nejnižší objemovou hmotností, ale zároveň s co nejvyšší pevností v tlaku. Důležité je i zajištění co nejnižší navlhavosti a trvalého obsahu vlhkosti, s čímž souvisí i požadavek na co nejvyšší trvanlivost, která je dána odolností pórobetonu proti mrazu a odolností proti působení atmosférických, chemických a biologických vlivů.

5.3.1 PEVNOST V TLAKU

Pevnost v tlaku je jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností pórobetonu, která velmi závisí na objemové hmotnosti, dále také závisí na směru působení síly, na aktuálním obsahu vlhkosti.

Zkouší se na krychlích o hraně 100 mm, které jsou vysušeny při 60 °C na konečnou vlhkost $6 \pm 2 \%$. Pevnost v tlaku se u dnešních pórobetonů používaných pro nosné stavební účely se zvýšeným důrazem na tepelně izolační vlastnosti pohybuje od 1,8 – 3 MPa. Může však dosahovat až 7 MPa, avšak se zvyšující se pevností v tlaku se zhoršují tepelně izolační vlastnosti.[10]

5.3.2 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Objemová hmotnost určuje pevnostní i tepelně izolační charakteristiky pórobetonu. U nosných stavebních prvků se pohybuje od 300 – 650 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, u izolačního pórobetonu je tato hodnota jen 115 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato objemová hmotnost se měří při stavu vysušení při 105 °C a proto je skutečná hmotnost vyšší. Odchylka objemové hmotnosti může být maximálně 50 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [11]

5.3.3 PEVNOST V TAHU ZA OHYBU

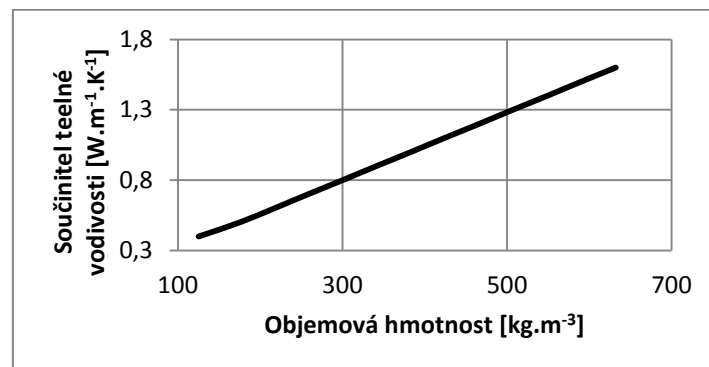
Hodnoty pevnosti v tahu za ohybu se pohybují mezi 0,40 – 0,80 MPa a závisí na vlhkosti a směru působení napětí vzhledem ke směru nakypření směsici výrobě. Proto se zkouší vždy ve směru skutečného namáhání prvku ve výrobě. Stanovuje se na trámcích o hranách (100 x 100 x 500) mm, které jsou zatěžovány dvěma břemeny o stejné síle, působících v 1/3 rozpětí podpor, které je 400 mm. [12]

5.3.4 MODUL PRUŽNOSTI

Modul pružnosti pórobetonů závisí hlavně na objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku. Udává závislost mezi napětím a relativním přetvořením, je znázorněn tzv. pracovním diagramem. Trvalé deformace jsou malé, modul pružnosti a modul přetvárnosti je téměř shodný. Modul pružnosti se zjišťuje na zkušebních tělesech tvaru hranolu o hranách (100 x 100 x 300) mm a to při praktické vlhkosti. U běžných nosných pórobetonů dosahuje modul pružnosti 1100 – 4500 MPa. [13]

5.3.5 TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI

Největší výhodou pórobetonů oproti ostatním stavivům je jsou jejich tepelně izolační vlastnosti. Tepelná vodivost v suchém stavu je dána jejich objemovou hmotností a dosahuje hodnot $0,040 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ u izolací, u zdiva $0,080 - 0,170 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Závisí však velmi na obsahu vlhkosti, se zvyšující se vlhkostí se zvyšuje tepelná vodivost. Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti je zobrazena na Graf 2: Závislost součinitele tepelné vodivosti pískového pórobetonu na objemové hmotnosti [14]



Graf 2: Závislost součinitele tepelné vodivosti pískového pórobetonu na objemové hmotnosti [14]

5.3.6 VLHKOST PÓROBETONU

Vlhkost má zcela zásadní vliv na téměř všechny fyzikálně mechanické vlastnosti pórobetonu, zejména na jeho trvanlivost. S rostoucí vlhkostí pórobetonu se snižuje pevnost v tlaku, zhoršují se tepelně izolační vlastnosti a zvyšuje se objemová hmotnost. Je třeba dbát i na zvýšený obsah expediční vlhkosti, který může dosahovat u pórobetonů až 45 %.

5.3.7 DIFÚZNÍ ODPOR

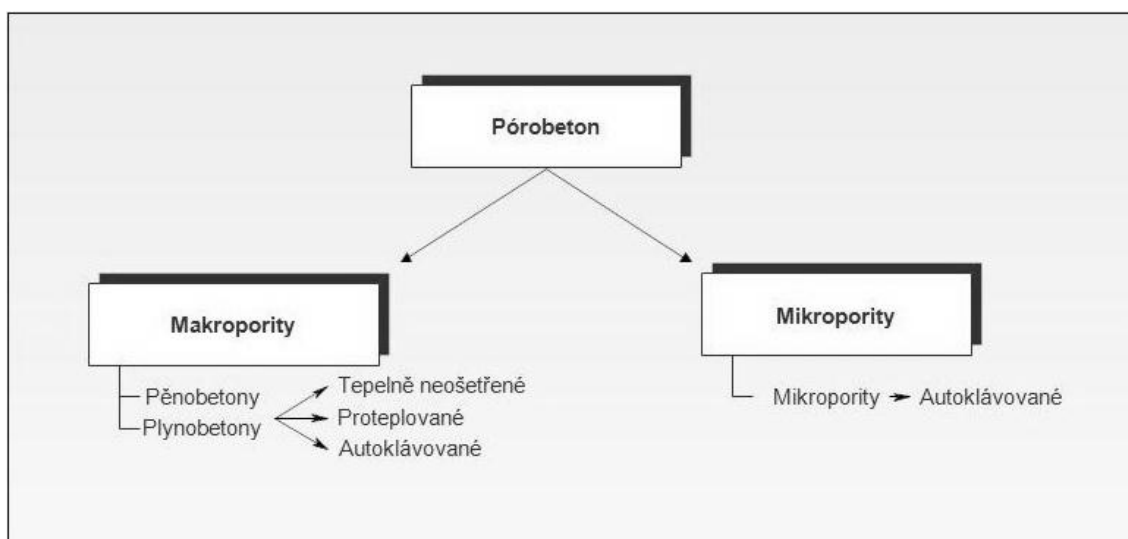
Je vlastnost materiálu propouštět vodní páru. Je udáván faktorem difúzního odporu, což je poměr difúzního odporu zkoumaného materiálu oproti difúznímu odporu vrstvy vzduchu. Vzduch klade vodním parám nejnižší možný odpor. Faktor difúzního odporu je veličina absolutní (bezrozměrná jednotka), je pro všechny plyny stejná a je nezávislá na teplotě i tlaku vodní páry. Čím je nižší hodnota difúzního odporu zdiva, tím lépe zdivem procházejí vodní páry, pórobeton patří obecně mezi zdiva s velmi nízkým difúzním odporem a to 5-10. Hodnota difúzního odporu se značí obvykle řeckým písmenem μ .

6 TEORETICKÝ NÁVRH SKLADBY ETICS

VYUŽÍVAJÍCÍ IZOLAČNÍ JÁDRO Z PÓROBETONU

6.1 SOUPIS TEORETICKY VHODNÝCH DRUHŮ PÓROBETONŮ PRO ZATEPLENÍ SYSTÉMEM ETICS

Pórobetony lze rozlišovat podle velikosti pórů na makropority a mikropority. Jejich dělení je zobrazeno na Obr. 12: Druhy pórobetonu. U makroporitů jsou póry makroskopické (průměr 0,1-1,0 mm), což znamená, že je lze vidět pouhým okem. Vznikají buď chemickou reakcí plynotvorné přísady, nebo reakcí přísady pěnотvorné. Mikropority jsou betony tvořené jemnozrnnou maltou vylehčenou submikroskopickými póry (průměr menší než 0,001 mm), které vznikají odpařením nadbytečné vody.



Obr. 12: Druhy pórobetonu

6.1.1 PĚNOBETON

Jedná se o makroporit složený z cementového mléka a technické pěny. Po zatuhnutí cementového mléka se pěna uzavře za vzniku malých vzduchových komůrek. Pěnobeton je odolný vůči vlhkosti, kyselinám, chemickým přípravkům a vykazuje vysokou požární odolnost. Používá se na vodorovné konstrukce podlah, stropů, nebo

střech, na výplňové a díky svým samonivelačním schopnostem na vyrovnávací vrstvy podlah. Z toho vyplývá, že se jeho použití do systému ETICS nejeví jako vhodné. Fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 2. Struktura pěnobetonu je znázorněna na Obr. 13.

Objemová hmotnost pěnobetonu	300 - 900 kg·m ⁻³
Pevnost v tlaku pěnobetonu	0,3 - 3 MPa
Součinitel tepelné vodivosti pěnobetonu	0,10 - 0,20 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹

Tab. 2: Fyzikálně-mechanické vlastnosti pěnobetonu



Obr. 13: Struktura pěnobetonu [15]

6.1.2 PLYNOBETON

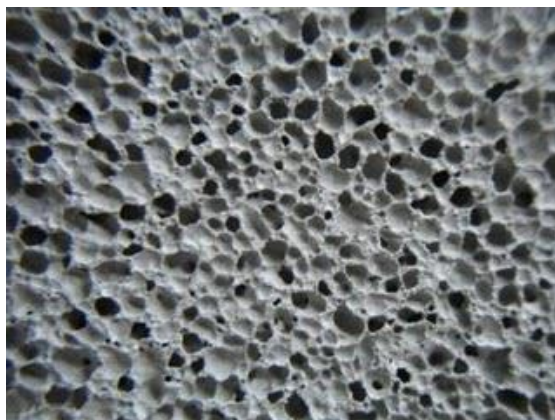
Jedná se o makroporit, u kterého je pojivem cement (vápno v případě plynosilikátu), nebo jejich kombinace. Jako plnivo je použito křemičitého písku, nebo elektrárenského popílku (popřípadě strusky). Vylehčení u plynobetonu je dosaženo chemickou reakcí v důsledku vložení hliníkového prášku, nebo pasty. Plynobeton má dobré tepelné technické vlastnosti, velmi nízkou objemovou hmotnost v porovnání s ostatními stavebními materiály. Jedná se o velmi šetrný stavební materiál z ekologického

pohledu, který je navíc snadno zpracovatelný. Vzhledem k výrobní technologii pórobetonu, který se vyrábí hydrotermálním procesem, je potřeba počítat s vysokým obsahem vlhkosti (až 30%). Důležité je proto počítat s následným odvětráváním vlhkosti po zabudování do konstrukce, což je doprovázeno objemovými změnami. U pískových plynobetonů vlhkost klesne až na 6 % a u popílkových pórobetonů na 9 %. Plynobeton je vhodné použít jako izolační jádro do kontaktního zateplovacího systému. Fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 3. Řez pěnobetonovou tvárnici je uveden na Obr. 14.

Objemová hmotnost plynobetonu	115 - 700 kg·m ⁻³
Pevnost v tlaku plynobetonu	0,35 - 6 MPa
Součinitel tepelné vodivosti plynobetonu	0,045 - 0,8 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹

Tab. 3: Fyzikálně-mechanické vlastnosti plynobetonu

Vhodný pórobeton pro užití v systému ETICS je takový, který má co nejnižší objemovou hmotnost, díky čemuž má příznivě nízký součinitel prostupu tepla. Mezi takovéto pórobetony patří např. YTONG MULTIPOR, který se již v systému ETICS užívá, dále tvárnice YTONG THETA (P1,8-300) a PORFIX Plus P2-420, což jsou tvárnice pro nosné i nenosné stěny.



Obr. 14: Struktura plynobetonu [16]

6.2 POPIS VLASTNOSTÍ POUŽITELNÝCH PÓROBETONŮ

6.2.1 VLASTNOSTI - YTONG MULTIPOR

Jedná se o extrémně vylehčený pórobetonový výrobek s výbornými tepelně izolačními schopnostmi. Vyrábí se ve tvaru desky o rozměrech 390 mm x 600 mm přičemž tloušťka může být v rozmezí 50–200 mm. Primární použití tohoto materiálu je v tepelně izolačních podhledech garáží, sklepů, přejezdů a podjezdů kde je kladen rovněž zvýšený důraz na požární odolnost, která je v tomto případě velmi příznivá. Dále je také používán YTONG MULTIPOR při venkovním zateplení obvodových konstrukcí a střech.

Rozměry výrobku YTONG MULTIPOR	390 x 600 mm, tloušťka 50 - 200 mm
Objemová hmotnost	115 kg·m ⁻³
Tepelná vodivost	0,045 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Faktor difúzního odporu μ	3
Pevnost v tlaku	0,350 MPa

Tab. 4: Fyzikálně-mechanické vlastnosti YTONG MULTIPOR Obr. 8: Ytong Multipor [6]

6.2.2 VLASTNOSTI - YTONG THETA P1,8-300

Tyto pískové pórobetonové tvárnice jsou vyráběny pro nosné i nenosné obvodové a vnitřní stěny, stěny ztužující, výplňové a požární pro nízkopodlažní i vícepodlažní objekty.

Rozměry výrobku YTONG THETA	(499 x 249 x 300) mm
Objemová hmotnost	300 kg·m ⁻³
Tepelná vodivost	0,080 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Faktor difúzního odporu μ	5
Pevnost v tlaku	1,8 MPa

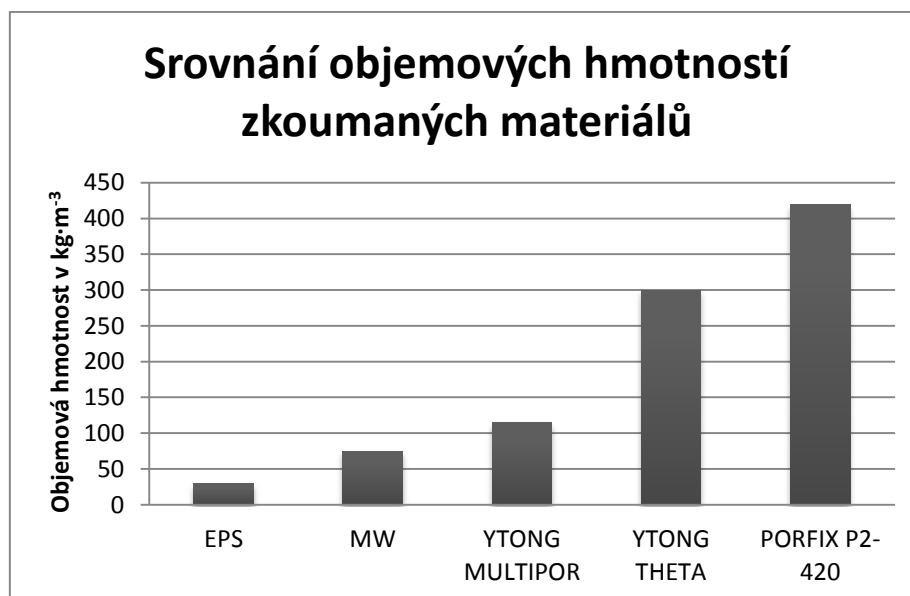
Tab. 5: Fyzikálně-mechanické vlastnosti YTONG THETA Obr. 8: Ytong Multipor [6]

6.2.3 VLASTNOSTI - PORFIX PLUS P2-420

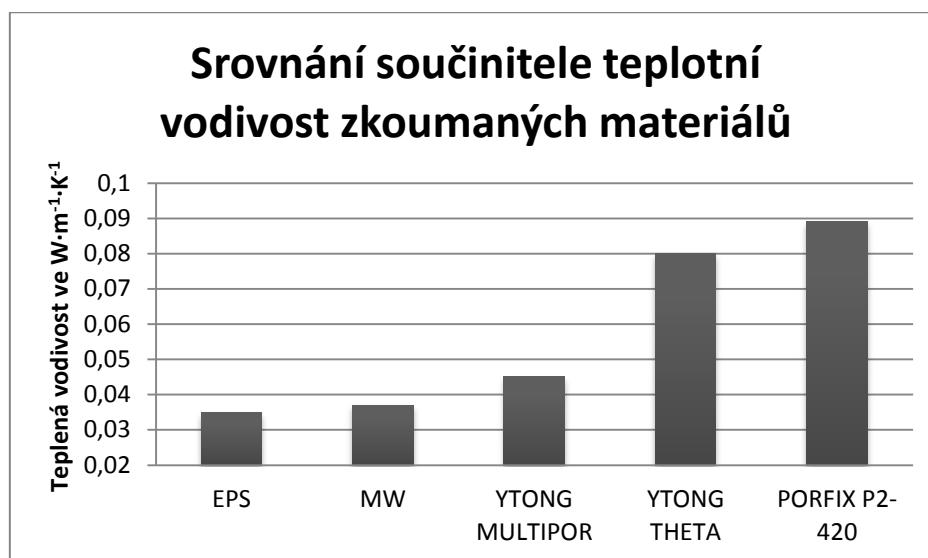
Jedná se o zástupce popílkového pórobetonu. Pórobeton popílkový je typický šedým zbarvením, které je výsledkem použití elektrárenských popílků. Obecně platí, že popílkové pórobetony mohou dosahovat nižších hodnot součinitele prostupu tepla za stejné objemové hmotnosti než pórobetony pískové. PORFIX PLUS je stejně jako YTONG THETA určen pro nosné účely nízkopodlažních objektů hlavně tam, kde je zvýšený důraz na tepelné technické vlastnosti.

Rozměry výrobku PORFIX PLUS	(499 x 249 x 300) mm
Objemová hmotnost	420 kg·m ⁻³
Tepelná vodivost	0,089 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Faktor difúzního odporu μ	5
Pevnost v tlaku	2,5 MPa

Tab. 6: Fyzikálně-mechanické vlastnosti PORFIX [17]



Graf 3: Srovnání objemových hmotností použitých pórobetonů s klasicky používanými tep. izolanty pro ETICS



Graf 4: Srovnání součinitele teplotní vodivosti použitých pórobetonů s klasicky používanými tep. izolanty pro ETICS

Z grafů 3 a 4 vyplývá, že součinitel teplotní vodivosti je přímo úměrný objemové hmotnosti. Nejnížší objemové hmotnosti dosahuje EPS a MW, proto vynikají také nejnižšími hodnotami tepelné vodivosti.

6.3 NÁVRH SKLADBY ETICS S POUŽITELNÝMI PÓROBETONY VE SROVNÁNÍ S EPS, MW

Složení systémů ETICS je popsáno v kapitole 1.2. Použití tepelně izolačních pórobetonů se bude lišit od pěnového polystyrenu (EPS) a minerální vlny (MW) hlavně v použití lepicích a stěrkových hmot. Je třeba dbát co největší difúzní otevřenosti, s důrazem na co nejnižší součinitel prostupu tepla. Použitím difúzně uzavřené lepicí či stěrkové hmoty by došlo k přerušení prostupu vzduchu zateplovacím systémem, což je jedna ze stěžejních vlastností pórobetonů. Difúzní odpor takovéto malty by měl být $\mu \leq 15$.

Jako armovací výztuž může být použita klasická sklovápnitá síťovina, avšak se zvýšeným důrazem na působení agresivního prostředí.

Kotvení izolačního jádra by mělo probíhat v souladu s normou ČSN 73 2901 – Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS),

přičemž délka hmoždinky závisí na tloušťce izolačního materiálu a hloubka kotvení závisí na materiálu, do kterého je kotvená.

Finální povrchová úprava by měla být provedena tenkovrstvou silikátovou nebo silikonovou omítkou, které jsou svým složením předurčeny pro dosažení nízkých hodnot difúzního odporu.

Penetrační nátěr pod finální povrchovou úpravu by měl splňovat požadavky pro použití se silikátovou nebo silikonovou omítkou. Měl by také být již probarvený do barevné varianty fasádní omítky.

Pokud je použit EPS, není potřeba klást důraz na použití stěrkových a lepicích hmot s extrémně nízkým difúzním odporem. Samotné izolační jádro z EPS totiž vykazuje přibližně stejné hodnoty jako tradičně používané stěrkové a lepicí hmoty.

Pro kotvení tepelné izolace z minerální vlny, je nutné použít hmoždinky s kovovým trnem a pro tloušťky minerálních fasádních desek nad 140 mm pouze šroubovací hmoždinky.

6.3.1 PODMÍNKY POUŽITELNOSTI PÓROBETONU JAKO IZOLAČNÍHO JÁDRA V ETICS

Charakteristické vlastnosti pórobetonu si vyžadují specifické zacházení jak při výstavbě, tak i u stávající konstrukce. Obsah vlhkosti v materiálu velice negativně ovlivňuje výsledné tepelné izolační vlastnosti a pevnost v tlaku. Je potřeba izolovat pórobeton od trvalého působení vody v kapalném stavu, čemuž lze zabránit důkladně provedenou hydroizolací u základů. Výsledná vlhkost poté závisí pouze na relativní vlhkosti prostředí.

Při výrobě autoklávovaného pórobetonu dochází k významným hydrotermálním reakcím, které utvářejí výsledné vlastnosti materiálu. Vzhledem k těmto pochodům dosahuje vlhkost čerstvě vyrobeného pórobetonu až 30%. Vlhkost čerstvého YTONGU MULTIPOR dosahuje až 50%, ale ještě před expedicí dochází k jeho vysoušení, což je energeticky náročný proces, který se negativně projeví na ceně. Běžné nosné

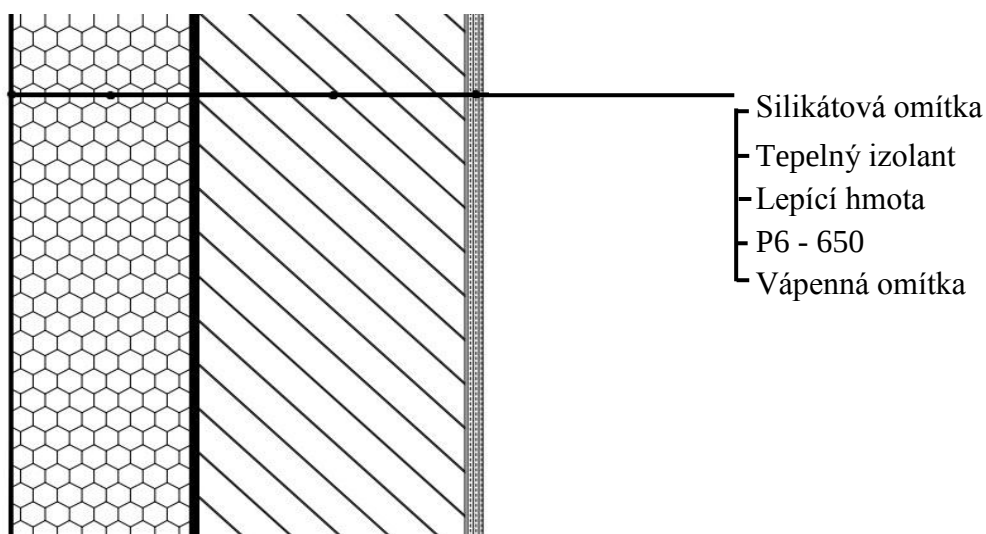
pórobetony, u kterých k vysoušení na konci výroby nedochází, by proto bylo potřeba zbavit technologické vlhkosti.

Jelikož je objemová hmotnost pórobetonů mnohem vyšší než pěnového polystyrenu, který je často používán jako izolační jádro v ETICS, je potřeba brát v úvahu dodatečné založení pod zateplovací jádro. Stávající zdivo by tíhu izolantu jednoduše nemuselo vydržet. Srovnání objemových hmotností zkoumaných materiálů je uvedeno v obrázku 14.

Pórobeton a MW mají na rozdíl od EPS vynikající protipožární vlastnosti. Minerální vlna je nehořlavá a proto může být použita v místech, na které jsou kladeny přísnější protipožární požadavky. Podle normy ČSN 73 0802 nesmí být použit EPS na novostavby obytných budov výškou objektu nad 9 m a u stávajících bytových objektů nesmí přesáhnout výšku 22,5 m.

6.4 VÝPOČET TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ PROVÁDĚNÉHO ETICS

Cílem výpočtů je získání součinitele prostupu tepla U , který je považován v tepelné technice budov za stěžejní veličinu. Čím nižších hodnot U konstrukce dosahuje, tím má vyšší tepelně izolační vlastnosti. Součinitel prostupu tepla je udáván v jednotkách: $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Pro jeho výpočet je potřeba znát odpor proti prostupu tepla konstrukcí R , který je roven poměru šířky konstrukce a součinitele tepelné vodivosti λ . Požadavky na tepelnou schránku objektu jsou formulovány v normě ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Požadavky. Pro pasivní domy je požadován součinitel prostupu tepla U nosné stěny $U = 0,30 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, ale norma doporučuje hodnoty $0,12 - 0,18 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Stěny nově postavených domů mají většinou i bez dodatečného zateplení součinitel prostupu tepla odpovídající normou požadovaným hodnotám. V těchto případech není pomocí zateplovacího systému dosažená roční úspora tak markantní, jako u zateplení starších domů. Proto bude ve výpočtech použita referenční stěna, která má tepelně izolační vlastnosti shodné s obvodovou konstrukcí z pórobetonu vystavěnou v 80. letech. Součinitel prostupu tepla je u takovéto stěny přibližně roven $0,9 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ při tloušťce 300 mm. Skladba referenční stěny je znázorněna na Obr. 15



Obr. 15 Skladba referenční zdi

V následujících teoretických výpočtech bude uvažována skladba stěny odpovídající výstavbě z 80. let 20. stol. Výstupem z výpočtů bude odpor proti prostupu tepla konstrukcí R , jehož obrácená hodnota je rovna součinitele prostupu tepla U .

6.4.1 SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA - PORFIX PLUS P2-420

U prvního zkoumaného materiálu bude teoreticky řešena konstrukce referenční stěny opatřené izolačním jádrem z materiálu PORFIX PLUS, jehož součinitel tepelné vodivosti je $0,089 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Skladba zdiva	$d \text{ [m]}$	$\lambda \text{ [W} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}]$	$R \text{ [W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}]$
Vápenná omítka	0,020	0,700	0,029
Pórobeton	0,300	0,270	1,111
Lepící hmota	0,010	0,700	0,014
PORFIX PLUS P2 - 420	0,200	0,089	2,247
Silikátová omítka	0,003	0,700	0,004
$\Sigma d =$	0,533	$\Sigma R =$	3,405
Součinitel prostupu tepla	$U =$		

Tab. 7: Výpočet součinitele prostupu tepla u PORFIX PLUS

Z výpočetní tabulky je patrné, že navržená skladba by po zateplení materiálem PORFIX PLUS splňovala normou navržené požadavky a součinitel prostupu tepla U by

se snížil z $0,900 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na $0,294 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Konstrukce by však nedosáhla na normou doporučenou hodnotu U , která je $0,12 - 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.4.2 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA - YTONG THETA

Další zkoumaný materiál je YTONG THETA, bílý, nosný pórobeton.

Skladba zdiva	d [m]	λ [W·m·K ⁻¹]	R [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Vápenná omítka	0,020	0,700	0,029
Pórobeton	0,300	0,270	1,111
Lepící hmota	0,010	0,700	0,014
Ytong THETA	0,200	0,080	2,500
Silikátová omítka	0,003	0,700	0,004
Σd =		0,533	ΣR = 3,658
Součinitel prostupu tepla	U= 0,273		

Tab. 8: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu YTONG THETA

Vypočteno bylo, že po zateplení materiálem YTONG THETA budou splněny normou navržené požadavky a součinitel prostupu tepla U se sníží z $0,900 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na $0,273 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Konstrukce však nedosáhne na normou doporučenou hodnotu U , která je $0,12 - 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.4.3 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA - YTONG MULTIPOR

Následující materiál je YTONG MULTIPOR, což je tepelně izolační pórobeton.

Skladba zdiva	d [m]	λ [W·m·K ⁻¹]	R [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Vápenná omítka	0,020	0,700	0,029
Pórobeton	0,300	0,270	1,111
Lepicí hmota	0,010	0,700	0,014
Ytong MULTIPOR	0,200	0,045	4,444
Silikátová omítka	0,003	0,700	0,004
$\Sigma d =$		$\Sigma R =$	5,603
Součinitel prostupu tepla	U=		0.178

Tab. 9: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu YTONG MULTIPOR

Zateplením referenční zdi YTONGEM MULTIPOR by bylo dosaženo nejpříznivějších hodnot testovaných pórobetonů. Součinitel prostupu tepla U se sníží

z $0,900 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na $0,178 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, splňuje tedy dokonce i normou doporučené hodnoty.

6.4.4 SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA - EPS 70 F

Jako čtvrtý materiál je zvolen fasádní polystyren EPS 70 F.

Skladba zdiva	d [m]	λ [W·m·K ⁻¹]	R [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Vápenná omítka	0,020	0,700	0,029
Pórobeton	0,300	0,270	1,111
Lepící hmota	0,010	0,700	0,014
EPS 70 F	0,200	0,039	5,128
Silikátová omítka	0,003	0,700	0,004
$\Sigma d =$		$\Sigma R =$	6,286
Součinitel prostupu tepla	U= 0,159		

Tab. 10: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu EPS 70 F

Po zateplení materiálem EPS 70 F, splňuje referenční stěna požadavky na součinitel prostupu tepla U stanovený normou. Vypočtený součinitel by činil $0,159 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.4.5 SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA - ISOVER TF

Poslední zkoumaný materiál je minerální vlna ISOVER TF.

Skladba zdiva	d [m]	λ [W·m·K ⁻¹]	R [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Vápenná omítka	0,020	0,700	0,029
Pórobeton	0,300	0,270	1,111
Lepící hmota	0,010	0,700	0,014
ISOVER TF	0,200	0,038	5,263
Silikátová omítka	0,003	0,700	0,004
Σd =		0,533	ΣR = 6,421
Součinitel prostupu tepla	U= 0,156		

Tab. 11: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu ISOVER TF

Referenční stěna s izolačním jádrem z minerální vlny splňuje doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U, který byl vypočten $0,156 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Z výpočtů je patrné, že po zateplení zkoumaným materiálem bude teoretický výsledný součinitel tepelné vodivosti U vyhovovat normativním požadavkům. Nejnižší hodnoty U by dosáhl systém s izolačním jádrem z MW, avšak výsledek je velmi podobný jako u EPS a YTONGU MULTIPOR. U dvou zbývajících materiálů je snížení součinitele prostupu tepla po zateplení také markantní.

7 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍHO DRUHU MATERIÁLU

Při výběru nejvhodnějšího materiálu je potřeba zkoumat jednak veškeré fyzikálně-mechanické vlastnosti izolačního materiálu, ale také možnosti kotvení, založení a hlavně ekonomická a tepelně izolační kritéria.

7.1 ZÁSADY KOTVENÍ

Kontaktní zateplovací systém s izolačním jádrem z pórobetonu je nutné vzhledem k jeho vyšší pevnosti vždy dodatečně založit a následně kotvit hmoždinkami. Základní zásady kotvení pórobetonových desek:

- Do minerální desky není možné vrtat za pomoci příklepu.
- Kotvení hmoždinek je prováděno do nosné konstrukce obvodového pláště. Hmoždinka může být osazena pouze do vrtu provedeného kolmo k rovině podkladu.
- Průměr vrtáku se musí shodovat s průměrem požadovanému v příložené dokumentaci k provádění ETICS. Nejčastěji je to 8 mm.
- Tloušťka stavebního dílu kotevního materiálu musí u zděné konstrukce být alespoň o 20 mm, u betonu alespoň o 30 mm větší, než kotevní hloubka, aby nedošlo k provrtání (neplatí u krycí vrstvy třívrstvého stěnového panelu).
- Hloubka provedeného vrtu musí být o 10 mm delší, než je předepsaná kotevní délka použité hmoždinky.
- Nejmenší vzdálenost osazení hmoždinky od krajů stěny, podhledu, nebo dilatační spáry je 100 mm, neurčuje-li stavební dokumentace jinak.
- Hmoždinky smí být vystaveny působení UV záření maximálně po dobu 6 týdnů tj. po dobu, po kterou nebudou hmoždinky kryty dalšími vrstvami systému.
- Talíř osazené hmoždinky nesmí narušovat rovinnost základní vrstvy.
- Pro osazování zatloukacích hmoždinek se doporučuje použít gumovou palici.
- Při zatloukání trnu hmoždinky postupovat tak, aby se trn nepoškodil.

- Špatně osazená, deformovaná nebo jinak poškozená hmoždinka se musí nahradit poblíž novou hmoždinkou. Špatně osazená hmoždinka se pokud možno odstraní a celý zbylý otvor v deskách tepelné izolace se vyplní používaným tepelně izolačním materiálem. Případný zbylý otvor v základní vrstvě se vyplní stěrkovou hmotou.
- Nelze-li špatně osazenou nebo poškozenou hmoždinku odstranit, upraví se tak, aby nenarušovala rovinnost základní vrstvy a celistvost tepelně izolační vrstvy.
- Montáž hmoždinek lze provádět pouze při teplotách nad 0 °C.
- Hmoždinky se nesmí osazovat do zmrzlé konstrukce. [18]

7.2 VÝPOČET PRŮBĚHŮ TEPLOT REFERENČNÍMI STĚNAMI

Průběh teploty zateplenou stěnou ukazuje, v jakém materiálu konstrukce dochází k největším teplotním změnám. Pokud stěna nebude zateplena vůbec, tak bude k největší změně docházet v její nosné konstrukci, což může mít několik negativních důsledků:

- Promrzání nosného zdiva
- Snížení akumulačních schopností zdiva
- Riziko kondenzace vlhkosti ve stěnách
- Riziko růstu plísní v oblasti tepelných mostů

Při výpočtu průběhů teplot ve stěnové konstrukci vycházíme při stacionárním tepelném proudění z předpokladu, že hustota tepelného toku je konstantní ve všech rovinách konstrukce. Samotná hustota tepelného toku je definována jako podíl teplotního rozdílu a příslušného tepelného odporu a značí se písmenem q .

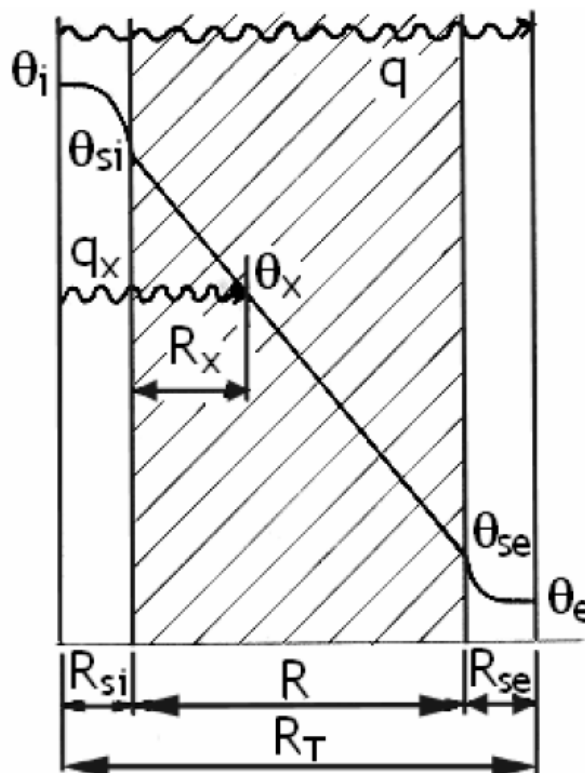
$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

θ_i = vnitřní teplota

θ_e = vnější teplota

R_T = odpor proti prostupu tepla

Po vyjádření teploty získáváme rovnici pro θ_x což je teplota na daném materiálovém rozhraní.



Obr. 16: Průběh tepla stěnou

$$\theta_x = \theta_i - (R_{si} + R_x) \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \text{ [}^\circ\text{C]}]$$

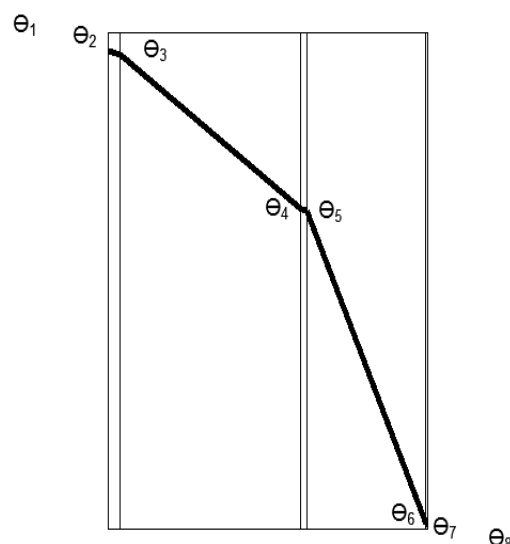
- φ_1 ... vnitřní teplota
- φ_2 ... teplota na povrchu vápenné omítky
- φ_3 ... teplota na rozhraní vápenné omítky a nosného zdiva P2 – 400
- φ_4 ... teplota na rozhraní nosného zdiva a lepící hmoty
- φ_5 ... teplota na rozhraní lepící hmoty a izolačního jádra
- φ_6 ... teplota na rozhraní izolačního jádra a silikátové omítky
- φ_7 ... teplota na povrchu silikátové omítky
- φ_8 ... venkovní omítka
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- U ... součinitel prostupu tepla konstrukcí

[19]

7.2.1 PORFIX PLUS P2-420

Výpočet prostupu tepla konstrukcí, zateplenou popílkovým pórobetonem:

$\phi_1 =$	20,000
$\phi_2 =$	18,727
$\phi_3 =$	18,448
$\phi_4 =$	7,571
$\phi_5 =$	7,431
$\phi_6 =$	-14,566
$\phi_7 =$	-14,608
$\phi_8 =$	-15,000



Tab. 12: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem PORFIX PLUS

Graf 5: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem PORFIX PLUS

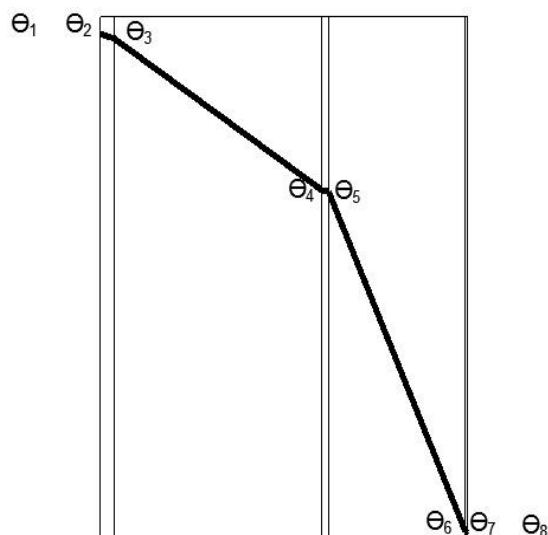
- ϕ_1 ... vnitřní teplota
- ϕ_2 ... teplota na povrchu vápenné omítky
- ϕ_3 ... teplota na rozhraní vápenné omítky a nosného zdiva P2 – 400
- ϕ_4 ... teplota na rozhraní nosného zdiva a lepící hmoty
- ϕ_5 ... teplota na rozhraní lepící hmoty a izolačního jádra
- ϕ_6 ... teplota na rozhraní izolačního jádra a silikátové omítky
- ϕ_7 ... teplota na povrchu silikátové omítky
- ϕ_8 ... venkovní omítka
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- U ... součinitel prostupu tepla konstrukcí

Popílkový pórobeton dosahuje nejvyššího součinitele prostupu tepla, což se projevuje i na průběhu teplot konstrukcí po zateplení. Teploty jsou nižší, než při zateplení dalšími zkoumanými materiály. Což bude mít za následek zhoršení tepelně izolačních vlastností výsledné stěny, ve srovnání s EPS a MW.

7.2.2 YTONG THETA

Výpočet prostupu tepla konstrukcí zateplenou pórobetonem YTONG THETA:

$\phi_1 =$	20,000
$\phi_2 =$	18,811
$\phi_3 =$	18,550
$\phi_4 =$	8,392
$\phi_5 =$	8,261
$\phi_6 =$	-14,595
$\phi_7 =$	-14,634
$\phi_8 =$	-15,000



Tab. 13: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem YTONG THETA

Graf 6: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem YTONG THETA

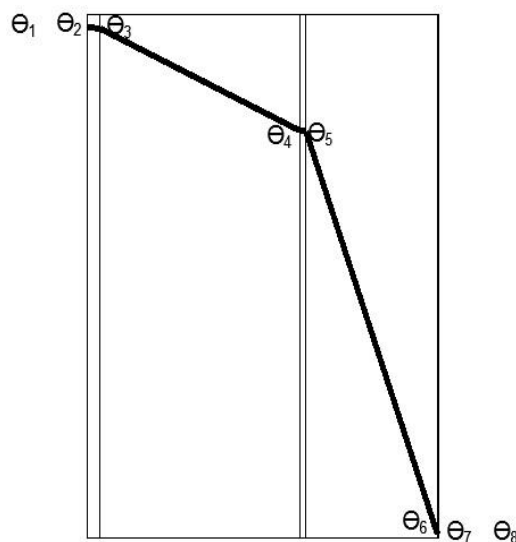
- ϕ_1 ... vnitřní teplota
- ϕ_2 ... teplota na povrchu vápenné omítky
- ϕ_3 ... teplota na rozhraní vápenné omítky a nosného zdiva P2 – 400
- ϕ_4 ... teplota na rozhraní nosného zdiva a lepící hmoty
- ϕ_5 ... teplota na rozhraní lepící hmoty a izolačního jádra
- ϕ_6 ... teplota na rozhraní izolačního jádra a silikátové omítky
- ϕ_7 ... teplota na povrchu silikátové omítky
- ϕ_8 ... venkovní omítka
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- U ... součinitel prostupu tepla konstrukcí

Nosný pórobeton YTONG THETA dosahuje o něco nižšího součinitele prostupu tepla než pórobeton popílkový. Tím jsou ovlivněny i teploty v konstrukci, které jsou oproti popílkovému pórobetonu lehce vyšší, avšak v porovnání s ostatními materiály jsou stále poměrně nízké. Tepelně izolační vlastnosti teoreticky řešené skladby jsou tudíž horší, než u EPS a MW.

7.2.3 YTONG MULTIPOR

Výpočet prostupu tepla konstrukcí zateplenou lehkým pórobetonem YTONG MULTIPOR:

$\phi_1 =$	20,000
$\phi_2 =$	19,212
$\phi_3 =$	19,039
$\phi_4 =$	12,302
$\phi_5 =$	12,215
$\phi_6 =$	-14,731
$\phi_7 =$	-14,757
$\phi_8 =$	-15,000



Tab. 14: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem YTONG MULTIPOR

Graf 7: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem YTONG MULTIPOR

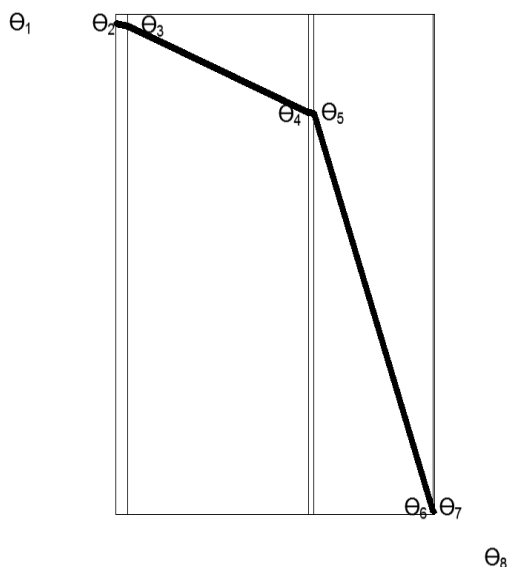
- ϕ_1 ... vnitřní teplota
- ϕ_2 ... teplota na povrchu vápenné omítky
- ϕ_3 ... teplota na rozhraní vápenné omítky a nosného zdiva P2 – 400
- ϕ_4 ... teplota na rozhraní nosného zdiva a lepicí hmoty
- ϕ_5 ... teplota na rozhraní lepicí hmoty a izolačního jádra
- ϕ_6 ... teplota na rozhraní izolačního jádra a silikátové omítky
- ϕ_7 ... teplota na povrchu silikátové omítky
- ϕ_8 ... venkovní omítky
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- U ... součinitel prostupu tepla konstrukcí

YTONG MULTIPOR je vyráběn primárně jako tepelná izolace, jeho součinitel tepelné vodivosti je ze zkoumaných pórobetonů nejnižší. Teplota uvnitř konstrukce je vyšší než u ostatních pórobetonů.

7.2.4 EPS 70 F

Výpočet prostupu tepla konstrukcí zateplenou fasádním pěnovým polystyrenem EPS 70 F:

$\phi_1 =$	20,000
$\phi_2 =$	19,295
$\phi_3 =$	19,140
$\phi_4 =$	13,117
$\phi_5 =$	13,040
$\phi_6 =$	-14,760
$\phi_7 =$	-14,783
$\phi_8 =$	-15,000



Tab. 15: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem EPS 70 F

Graf 8: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem EPS 70 F

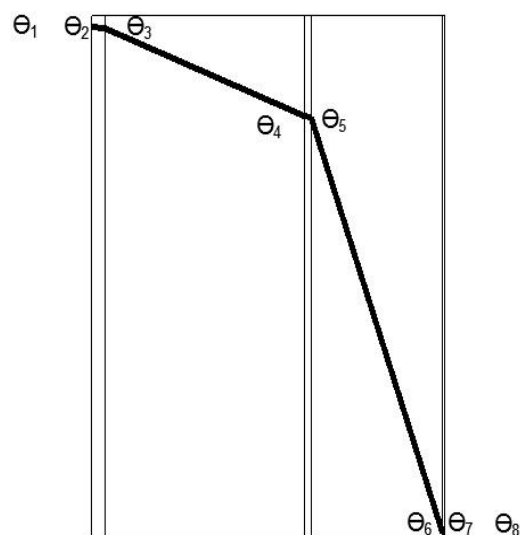
- ϕ_1 ... vnitřní teplota
- ϕ_2 ... teplota na povrchu vápenné omítky
- ϕ_3 ... teplota na rozhraní vápenné omítky a nosného zdiva P2 – 400
- ϕ_4 ... teplota na rozhraní nosného zdiva a lepící hmoty
- ϕ_5 ... teplota na rozhraní lepící hmoty a izolačního jádra
- ϕ_6 ... teplota na rozhraní izolačního jádra a silikátové omítky
- ϕ_7 ... teplota na povrchu silikátové omítky
- ϕ_8 ... venkovní omítka
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- U ... součinitel prostupu tepla konstrukcí

Polystyren dosahuje ještě příznivějších tepelně izolačních hodnot než použité pórobetony, proto je teplota uvnitř konstrukce vyšší. Oproti stěně zateplené materiálem YTONG MULTIPOR však není zvýšení teplot tak markantní. Tepelně izolační vlastnosti budou lepší než u pórobetonů.

7.2.5 ISOVER TF

Výpočet prostupu tepla konstrukcí zateplenou minerální vlnou ISOVER TF:

$\phi_1 =$	20,000
$\phi_2 =$	19,310
$\phi_3 =$	19,158
$\phi_4 =$	13,258
$\phi_5 =$	13,182
$\phi_6 =$	-14,765
$\phi_7 =$	-14,788
$\phi_8 =$	-15,000



Tab. 16: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem ISOVER TF

Graf 9: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem ISOVER TF

- ϕ_1 ... vnitřní teplota
- ϕ_2 ... teplota na povrchu vápenné omítky
- ϕ_3 ... teplota na rozhraní vápenné omítky a nosného zdiva P2 – 400
- ϕ_4 ... teplota na rozhraní nosného zdiva a lepící hmoty
- ϕ_5 ... teplota na rozhraní lepící hmoty a izolačního jádra
- ϕ_6 ... teplota na rozhraní izolačního jádra a silikátové omítky
- ϕ_7 ... teplota na povrchu silikátové omítky
- ϕ_8 ... venkovní omítky
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- U ... součinitel prostupu tepla konstrukcí

Po zateplení minerální vlnou dojde k největšímu zvýšení teplot v konstrukci. Oproti teplotám v konstrukci zateplené materiály YTONG MULTIPOR a EPS 70 F však není zvýšení teplot až tak markantní, nicméně ISOVER TF dosahuje nejlepších tepelně izolačních vlastností.

Polystyren a minerální vlna vynikají nejnižším součinitelem tepelné vodivosti λ , proto po zateplení těmito materiály dojde k nejvýznamnějšímu zvýšení teplot v konstrukci. Avšak rozdíl v tepelně izolačních vlastnostech těchto materiálů a nenosným pórobetonem YTONG MULTIPOR je velmi malý. Nosné pórobetony dosahují celkově horších tepelně izolačních vlastností, avšak vynikají jinými důležitými vlastnostmi, jako je cena, životnost, difúzní odpor, nebo pevnost v tlaku. Z výpočtů je však patrné, že po zateplení všemi zkoumanými materiály dojde k výraznému zvýšení teplot v nosné konstrukci. Díky čemuž budou všechny konstrukce splňovat po dodatečném zateplení normou požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U .

7.3 POROVNÁNÍ EKONOMICKÝCH A TEPELNĚ IZOLAČNÍCH KRITÉRIÍ POUŽITÍM OPTIMALIZAČNÍHO VÝPOČTU

Aby bylo možné srovnat všechny zkoumané materiály, je zapotřebí použít optimalizačních výpočtů. Jedná se o výpočetní metodu využívající váhové ohodnocení jednotlivých vlastností, přičemž výstupem je graf vhodnosti jednotlivých materiálů do ETICS.

Č.	Kritérium	i	Pořadí	b_i	v_i
1.	Cena izolantu	1	1	3	0,188
2.	Životnost	2	1	3	0,188
3.	Součinitel tepelné vodivosti	3	1	3	0,188
4.	Difúzní odpor	4	2	2	0,125
5.	Protipožární odolnost	5	2	2	0,125
6.	Pevnost v tlaku	6	2	2	0,125
7.	Objemová hmotnost	7	3	1	0,063
Σ				16	1,0

Tab. 17: Stanovení kritérií a vah pro ekonomické zhodnocení

Každé vlastnosti je přiřazeno pořadí důležitosti a je vypočtena váha v_i , která je vynásobena číslem pořadí izolantu v dané kategorii. Výsledné hodnoty se sčítají a v závěru výpočtu jsou dosazeny do grafu vhodnosti, což je v tomto případě Graf 10: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu

Materiál	Cena [Kč/m ³]	Životnost [rok]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Difúzní odpor [-]	Protipožární odolnost [-]	Pevnost [MPa]	OH [kg·m ⁻³]
PORFIX	2293	100	0,089	5 – 10	A	2,00	420
THETA	3842	100	0,080	5 – 10	A	1,80	300
MULTIPOR	4680	100	0,045	3	A	0,35	115
EPS	1404	50	0,039	30 – 70	E	0,10	20
MW	3036	30 – 50	0,038	1,5	A	0,04	40

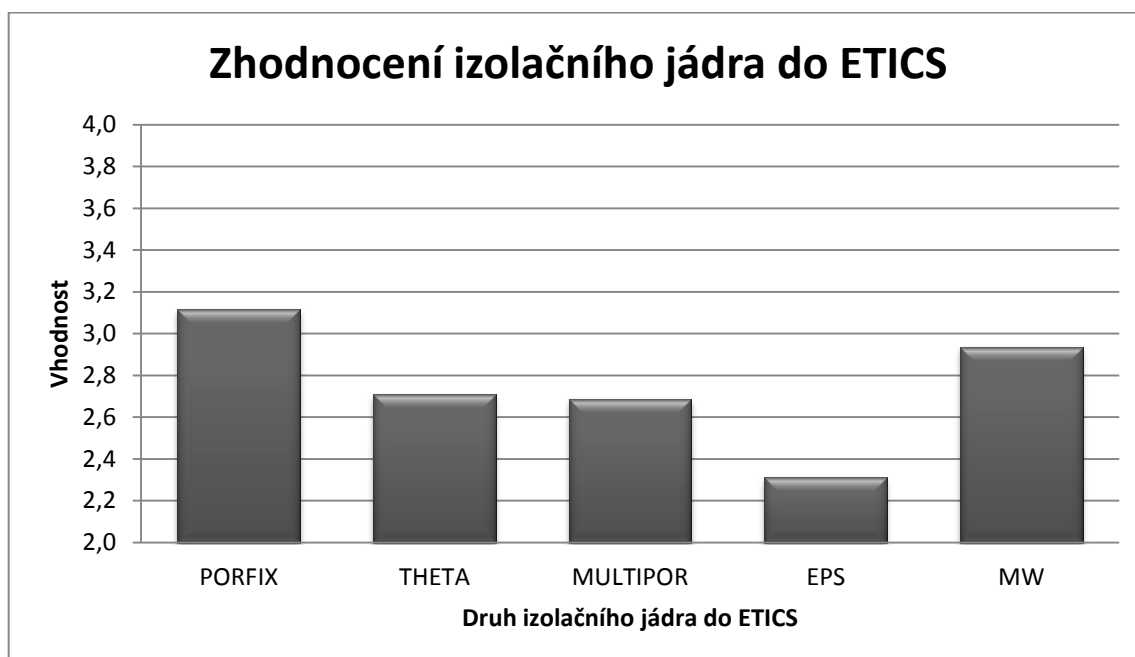
Tab. 18: Hodnoty jednotlivých materiálů pro kritéria

Č.	Zateplovací systém s izolačním jádrem:	Kritérium						
		1	2	3	4	5	6	7
1.	PORFIX	2	1	5	3	1	1	5
2.	THETA	3	1	4	3	1	2	4
3.	MULTIPOR	5	1	3	2	1	3	3
4.	EPS	1	5	2	5	5	4	1
5.	MW	4	4	1	1	1	5	2

Tab. 19: Ohodnocování jednotlivých materiálů pro ETICS

Č.	Zateplovací systém s izolačním jádrem z:	Kritérium							Σ
		1	2	3	4	5	6	7	
1.	PORFIX	0,469	0,938	0,188	0,208	0,625	0,625	0,063	3,115
2.	THETA	0,313	0,938	0,234	0,208	0,625	0,313	0,078	2,708
3.	MULTIPOR	0,188	0,938	0,313	0,313	0,625	0,208	0,104	2,688
4.	EPS	0,938	0,188	0,469	0,125	0,125	0,156	0,313	2,313
5.	MW	0,234	0,234	0,938	0,625	0,625	0,125	0,156	2,938

Tab. 20: Výpočtová matice zhodnocení ETICS



Graf 10: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu

Porovnáním ekonomických kritérií a tepelně izolačních vlastností bylo pomocí optimalizačních výsledků zjištěno, že nejvyšší procentuální vhodnost vykazuje popílkový pórobeton PORFIX PLUS, který stejně jako YTONG THETA vyniká svojí životností, protipožární odolností, pevností v tlaku a cenou. Nutné je však zdůraznit, že dosahuje dvakrát horších tepelně izolačních vlastností než EPS A MW, ale i přes to je možné dostat se s dodatečným zateplením z popílkového pórobetonu na normou požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U. Druhý nosný pórobeton YTONG THETA vykazuje velmi podobné vlastnosti jako PORFIX PLUS, avšak je o třetinu dražší, což jej řadí až na třetí místo ve vhodnosti použití. Druhým nejvhodnějším materiálem pro dodatečné zateplení je minerální vlna. Ta dosahuje nejnižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti, difúzního odporu a protipožární odolnosti. Grafický výstup z uvedeného výpočtu je znázorněn v Graf 10: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu

7.4 KRITÉRIA A DOPORUČENÍ POUŽITELNOSTI NAVRŽENÉHO ETICS

Kontaktní zateplovací systém s izolačním jádrem z materiálů PORFIX PLUS a YTONG THETA by měl být zejména směřován na stávající konstrukce, které jsou již vystavěné z pórobetonu. Díky tomu by došlo k zachování jedinečných vlastností materiálu (difúzní otevřenost, požární odolnost, trvanlivost, tepelně izolační vlastnosti).

- **Vysoká výrobní vlhkost:**

Specifická technologie vytváření hydrotermálními procesy vyžaduje určitá pravidla, která je třeba dodržovat. Po opuštění výrobní linky obsahuje materiál více než 30% vody, avšak za objemově stálý je považován pórobeton s vlhkostí nižší než 10%. Proto je potřeba dbát na dodatečné vysušení materiálu ještě před výstavbou ETICS.

- **Styk s vodou:**

Trvanlivost pórobetonu je vysoce ovlivněna obsahem kapalné vody v jeho struktuře, proto by neměl materiál v žádném případě stát delší dobu pod vodou.

- **Dodatečné založení:**

Vzhledem k vyšší objemové hmotnosti je potřeba dbát na vytvoření dodatečného základu pod konstrukcí ETICS.

- **Požární odolnost:**

Navržený ETICS s izolačním jádrem z pórobetonu vykazuje vysokou požární odolnost, proto se na něj nevztahují žádné omezující podmínky jako je tomu například u zateplovacích systémů s polystyrenem, které mohou být realizovány pouze do výšky 22,5 m.

- **Pevnost v tlaku:**

Pórobetony vynikají oproti ostatním zateplovacím materiálům svojí pevností v tlaku, proto mohou být použity na místech se zvýšeným důrazem na pevnost fasády. Což může být příklad domů bez předzahrádky, které fasádou přímo přiléhají na chodník, nebo silnici.

- **Vysoká životnost:**

Popílkový i křemičitý pórobeton vyniká oproti polystyrenu svojí životností, která je minimálně trojnásobná.

- **Difúzní odpor:**

Pórobetony společně s minerální vlnou dosahují velmi příznivých hodnot difúzního odporu, oproti polystyrenu, který je téměř difúzně uzavřený.

8 SHRNUTÍ A ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout samonosný kontaktní zateplovací systém s izolačním jádrem z pórobetonu a zjistit, jestli je vůbec ekonomicky výhodné použít jako jádro nosný pórobeton.

V úvodní části byly stručně popsány veškeré poznatky o systému ETICS v České Republice i v zahraničí. Od představení na trhu v 60. letech 20. stol na území dnešního Německa bylo provedeno nespočet modifikací všech složek systému, nejen materiálu izolačního jádra, ale i lepicích hmot a kotvicích prvků. Výčet dnes nejčastěji užívaných izolačních materiálů je uveden v závěru první části. Systém ETICS prošel za celou svoji existenci řadě převratných úprav, které zvyšují celkovou kvalitu a životnost systému. Což dokazuje trend celé společnosti neustále se snažit eliminovat tepelné ztráty a tím pádem se chovat šetrněji vůči přírodě.

Druhá část byla zaměřena na soupis získaných poznatků o historii pórobetonu v ČR i v zahraničí. Dále zde bylo řešeno složení, užívané technologie výroby pórobetonu a také nejdůležitější mechanicko-fyzikální vlastnosti. Tento materiál složený z páleného vápna, křemičité složky a hlavně plynotvorné látky je dnes možné vytvářet několika různými technologiemi. Na zrodu pórobetonu stál švédský vědec, v roce 1923 vložil různé pórobetonové vzorky do laboratorního autoklávu a tím položil základy vzniku převratného materiálu, ze kterého je dnes stavěna značná část budov po celém světě. Neutuchající výzkum a zdokonalování tepelně izolačních vlastností pórobetonu dnes již dovoluje používat materiál nejen jako nosné zdivo, ale i jako samotnou tepelnou izolaci.

Třetí etapa byla věnována návrhu systému ETICS, jenž by využíval nosného pórobetonu jako izolačního jádra. Z jednotlivých druhů pórobetonu nejlépe vyhovuje požadavkům plynosilikát, který dosahuje jak příznivě nízké objemové hmotnosti a nízkého součinitele tepelné vodivosti, tak i vysokých pevností v tlaku. Proto byly zvoleny tři zástupci pórobetonů PORFIX PLUS, YTONG THETA a YTONG MULTIPOR a dva zástupci tradičně používaných materiálů za účelem srovnání, EPS 70 F a ISOVER TF. U všech byly provedeny

výpočty součinitele prostupu tepla pro referenční stěnu zateplenou daným materiálem a také průběh teplot zateplenou konstrukcí. Z výpočtů je patrné, že pokud zateplujeme stávající budovu s nízkým odporem proti prostupu tepla konstrukcí, tak jsou výsledky velice pozitivní a téměř srovnatelné s minerální vlnou a polystyrenem.

Závěrečná část byla věnována výběru nejvhodnějšího materiálu pro ETICS, optimalizačním výpočtem, na základě tepelně izolačních vlastností a ekonomické náročnosti. Z provedených výpočtů dosahuje nejvyšší procentuální vhodnosti popílkový pórobeton PORFIX PLUS a dokazuje tak, že nosný pórobeton může být vhodný materiál pro realizaci ETICS. Vyšší náklady na zhotovení zateplovacího systému mohou být vyváženy vyšší trvanlivostí, požární odolností, nebo difúzní otevřeností. Je nutné striktně dodržet určité požadavků, dané specifickou technologií výroby pórobetonu. Jedná se především o vysokou výrobní vlhkost a o zamezení styku pórobetonu s vodou. Vzhledem k podstatně vyšší objemové hmotnosti pórobetonu je také potřeba dbát na dodatečné založení, které by přenášelo hmotnost zateplovacího systému do základů.

Celkově je nutné poznamenat, že dodatečný zateplovací systém s izolačním jádrem z pórobetonu skýtá mnoho pozitivních vlastností, které mohou vyrovnat, nebo i dokonce předčít horší tepelně izolační vlastnosti oproti tradičně používaným materiálům.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] ZEMENE P.[online], 2011, [citace z 2011-08-26]. Dostupné z:
<<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelne-izolace/evropske-aktivity-ceskych-vyrobcu-a-zpracovatele-penoveho-polystyrenu-eps-2697.html>>
- [2] REALINVEST s.r.o., © 2012, [online], [citace z 2011-10-22]. Dostupné z:
<<http://www.rinvest.cz/etics>>
- [3] ŠUTA M., *Chemické látky v životním prostředí a zdraví*, Ekologický institut Veronica, Brno 2008, 64 stran, ISBN 978-80-87308-00-44
- [4] THE DOW CHEMICAL COMPANY © 2011, [online], [citace z 2011-03-10]. Dostupné z: <http://dow-styrofoam.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/738/~how-is-styrofoam%E2%84%A2-brand-extruded-polystyrene-foam-insulation-manufactured%3F>
- [5] EUROPEAN INSULATION MANUFACTURERS ASSOCIATION, © EURIMA 2008, [online], [citace z 2011-08-10]. Dostupné z:
<<http://www.eurima.org/production-process/>>
- [6] Xella International GmbH, Duisburg, © 2012 [online], [citace z 2011-10-22]. Dostupné z: < <http://www.ytong.cz> >
- [7] DROCHYTKA, R., VÝBORNÝ, J., KOŠATKA, P., PUME, D.: *Pórobeton*, 1. vydání Brno, VUTIUM, 1999, 156 stran, ISBN 80-214-1476-6, skriptum VUT v Brně
- [8] CFG Concrete Limited © 2010 [online], Dostupné z:
<http://www.hebel.co.nz/about/history_AAC.html>
- [9] XELLA, Aircrete systems GmbH, Duisburg, © 2012 [online], [citace z 2011-10-22]. Dostupné z: < http://www.hebel.de/de/content/marke_hebel.php >
- [10] ČSN EN 679 - Stanovení pevnosti v tlaku autoklávovaného pórobetonu, Český normalizační institut, Praha 2006-04-01
- [11] ČSN EN 678 - Stanovení objemové hmotnosti v suchém stavu autoklávovaného pórobetonu, Český normalizační institut, Praha 1995-10-01
- [12] ČSN EN 1351 - Stanovení pevnosti v tahu za ohybu autoklávovaného pórobetonu, Český normalizační institut, Praha 1998-08-01
- [13] ČSN EN 1352 - Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku autoklávovaného pórobetonu a mezerovitého betonu z pórovitého kameniva, Český normalizační institut, Praha 1998-08-01
- [14] ČSN EN 1353 - Stanovení vlhkosti autoklávovaného pórobetonu, Český normalizační institut, Praha 1998-08-01

- [15] PĚNOBETON OSTRAVA, © 2010 All-Biz Ltd., [online], [citace z 2012-05-04]. Dostupné z: <<http://www.cz.all.biz/g9174/>>
- [16] EKOSTYREN PLYNOBETON, © 2012 EKOSTYREN s.r.o., [online], [citace z 2012-01-14]. Dostupné z: <<http://www.ekostyren.cz/public/uploads/images/b2.jpg>>
- [17] PORFIX – pórobeton, a.s. - © 2011[online], Dostupné z: <<http://www.porfix.cz>>
- [18] BAUMIT technologický předpis, [online], [citace z 2012-05-04], 67 stran. Dostupné z: http://www.baumit.cz/upload/Dokumentace/Technol_predpisy/Zateplovaci_systemy_Baumit_-_TP.pdf
- [19] ŠŤASTNÍK, S., *Izolační materiály - Vlhkost ve stavebních materiálech*, 27.04.2006, Skriptum VUT Brno, 120 stran.

SEZNAM ZKRATEK

ETICS – Vnější tepelně izolační kontaktní systém

ETAG 004 – Řídící pokyn, pro evropské technické schválení vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů s omítkou

EPS – Expandovaný polystyren

XPS – Extrudovaný polystyren

MW – Minerální vlna

UV – Ultrafialové záření

d – tloušťka stěny [mm]

λ – Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

R – Odpor konstrukce proti prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

U – Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Φ – Teplota [$^{\circ}\text{C}$]

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled nosných tvarovek z pórobetonu a jejich základní vlastnosti.....	29
Tab. 2: Fyzikálně-mechanické vlastnosti pěnobetonu	34
Tab. 3: Fyzikálně-mechanické vlastnosti plynobetonu	35
Tab. 4: Fyzikálně-mechanické vlastnosti YTONG MULTIPOR Obr. 8: Ytong Multipor [6].....	36
Tab. 5: Fyzikálně-mechanické vlastnosti YTONG THETA Obr. 8: Ytong Multipor [6]	36
Tab. 6: Fyzikálně-mechanické vlastnosti PORFIX [17]	37
Tab. 7: Výpočet součinitele prostupu tepla u PORFIX PLUS	41
Tab. 8: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu YTONG THETA	42
Tab. 9: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu YTONG MULTIPOR.....	42
Tab. 10: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu EPS 70 F	43
Tab. 11: Výpočet součinitele prostupu tepla u materiálu ISOVER TF	43
Tab. 12: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem PORFIX PLUS	48
Tab. 13: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem YTONG THETA	49
Tab. 14: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem YTONG MULTIPOR.....	50
Tab. 15: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem EPS 70 F	51
Tab. 16: Výpočet průběhů teplot stěnou zateplenou materiálem ISOVER TF	52
Tab. 17: Stanovení kritérií a vah pro ekonomické zhodnocení	53
Tab. 18: Hodnoty jednotlivých materiálů pro kritéria.....	54
Tab. 19: Ohodnocování jednotlivých materiálů pro ETICS.....	54
Tab. 20: Výpočtová matice zhodnocení ETICS	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Metodika práce.....	12
Obr. 2: Ukázka řezu zateplovacím systémem ETICS [2].....	14
Obr. 3: Rozdělení tepelně izolačních materiálů dle původu	15
Obr. 4: Strukturní vzorec polystyrenu	17
Obr. 5: Zjednodušené schéma výroby extrudovaného polystyrenu. [4].....	19
Obr. 6: Schéma výroby minerální vlny [5].....	20
Obr. 7: Schéma výroby skelné vaty [6].....	21
Obr. 8: Ytong Multipor [7].....	22
Obr. 9: Schéma výroby pórobetonu	23
Obr. 10: Dr. Johan Axel Eriksson [8].....	24
Obr. 11: Josef Hebel [9]	24
Obr. 12: Druhy pórobetonu	33
Obr. 13: Struktura pěnobetonu	34
Obr. 14: Struktura plynobetonu.....	35
Obr. 15: Skladba referenční zdi.....	41
Obr. 16: Průběh tepla stěnou	47

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Produkce ETICS v České Republice [1].....	13
Graf 2: Závislost součinitele tepelné vodivosti pískového pórobetonu na objemové hmotnosti [10]..	31
Graf 3: Srovnání objemových hmotností použitých pórobetonů s klasicky používanými tep. izolanty pro ETICS	37
Graf 4: Srovnání součinitele teplotní vodivosti použitých pórobetonů s klasicky používanými tep. izolanty pro ETICS.....	38
Graf 5: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem PORFIX PLUS	48
Graf 6: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem YTONG THETA	49
Graf 7: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem YTONG MULTIPOR	50
Graf 8: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem EPS 70 F	51
Graf 9: Vyjádření průběhů teplot konstrukcí zateplenou materiálem ISOVER TF	52
Graf 10: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu	55