

Hornicko-hutnická akademie
Stanislawa Staszica v Krakově

Fakulta materiálového inženýrství a keramiky

Ústav stavebních materiálů
Kraków 30-053, Al. Mickiewicza 30/B6 tel.0048 12 617-29-24, 617-23-33

Vliv zařízení MAZER SOM-01 na vysušování některých
stavebních materiálů

Zadavatel: MAZER 2000 Sp. zo.o. (spol. s r.o.)
44-330 Jastrzebie Zdroj
ul. Cieszyńska 7

Kolektiv autorů: dr inž. Marek Petri – vedoucí
mgr inž. Waldemar Pichór
mgr inž. Grażyna Jaśkiewicz
technik Ryszard Jazowy

Vědecká konzultace: Prof. dr hab.inž. Jan Małolepszy

Krakov- AGH 1997

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Metody zkoušek.....	3
3. Výsledky zkoušek.....	4
3.1 Prostý beton.....	4
3.2 Pórobeton.....	7
3.3 Plná cihla pálená.....	12
3.4 Minerální vlna.....	17
3.5 Sosnové dřevo.....	17
3.6 Termoizolační materiály.....	20
4. Zkoušky strukturální.....	23
4.1 Zkoušky mikrostruktury vysušovaných materiálů..	23
4.1.1 Popis.....	23
4.1.2 Mikroskopická pozorování.....	23
4.1.3 Rozložení velikosti pórů.....	34
5. Závěr.....	39

1. Úvod

V této práci je popsán vliv mikrovlnné metody vysušování použitím zařízení SOM-01 na základní vlastnosti některých stavebních materiálů a taktéž měření rychlosti vysušování těchto materiálů. V rámci této práce byly provedeny zkoušky na typických vzorcích těchto materiálů:

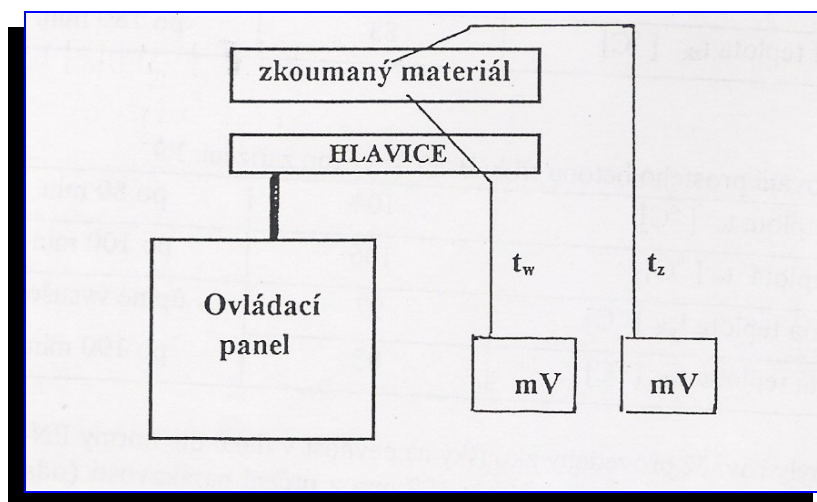
1. prostý beton třídy B-50
2. pórobeton typ 06
3. plná cihla pálená z hlíny 100
4. sosnové dřevo
5. minerální vlna typu 120
6. termoizolační soustava Styrosuperma (polystyrénová deska o tloušťce 5 cm)
7. termoizolační soustava (polystyrénová deska o tl. 5 cm + akrylová omítka o tl. 5 cm)

V případě některých materiálů byly použity metody vizuálního pozorování účinků vysušování a určení dynamiky vysušování.

Vzorky ke zkouškám dodala firma Mazer 2000, spol. s r.o. z Jastrzębia Zdroju (dále dodavatel) a v souladu se smlouvou zadavatel ručí, že jejich parametry odpovídají příslušným předmětným normám pro dané třídy a typy. V případě prostého betonu, pórobetonu a plné cihly pálené byly provedené zkoušky za účelem zjištění, zda základní užitné parametry (v tomto případě pevnost a nasákavost) jsou ve shodě s normou (PN) a struktura materiálu po procesu vysušení mikrovlnnou metodou byla podrobena pozorování v elektronovém skaningském mikroskopu (SEM). Dále byly provedeny porozimetrické zkoušky použitím metody rtuťové porozimetrie (MIP).

2. Metody zkoušek

Ve všech případech byl použit elektronický systém měření teploty užitím lineárních termočlánekových čidel typu V40 33 s kompenzací teploty okolí a multimetrů typu V550. Čidla byla umístěna, ve vývrtech o průměru 5 mm ve vzorku, v hloubce 5 mm na obou stranách vysušovaných vzorků (obr. č.1). V případě měkkých materiálů (minerální vlna, polystyrén) čidla byla umístěna v materiálu přímo během prováděných měření. Úbytek vody v materiálu během vysušování byl zjišťován pomocí metody vážení vzorků na elektronické váze s přesností do 0,2 gr.



Obr. č 1 Umístění zařízení a zkoumaného materiálu při sušení

Všechny vzorky byly nasyceny vodou v souladu s procedurou používanou k určování nasákavosti pomocí namáčení metody (v souladu s normami PN-88/B-06250, PN-89/B-06258, PN-70/B-112016). Všechny vzorky po vysušení v laboratorní sušičce, po dosažení ustálené hmotnosti, byly namáčeny do poloviny výšky vodou o teplotě $20 \pm 2^\circ\text{C}$, následně po dobu 24 hodin byly zality vodou nad horní hranu a po dalších 24 hodinách vzorky byly zvaženy a sušeny zařízením SOM-01.

Měření teploty a úbytku vody ze vzorku bylo prováděno každých 20 min. až do úplného vysušení (až se dosáhlo ustálené hmotnosti). Během zkoušek byly používány různé úrovně výkonů od P3 do P9 (dle ukazatelů na ovládacím panelu, což přibližně odpovídá ~30 až ~90 % max. výkonu). Výkon byl určován dle typu vysušovaného materiálu a předpokládaného výkonu zařízení v provozních podmínkách (např. prostý beton byl vysušován při výkonu P6 a P9, přičemž vědomě nebyl používán výkon P3 pro nízkou účinnost). Navíc materiály, u kterých mohla být narušena vnitřní struktura (beton, cihla pálená) byly pozorovány elektronovým skaninovým mikroskopem typu TESLA BS-301 s maximálním zvětšením 15.000 x. Rovněž byly provedeny zkoušky na rozložení velikosti pórů v materiálu před a po vysušování metodou rtuťové porozimetre pomocí porozimetru CARLO-ERBA PO-225 do max. tlaku 200 MPa (měřená pórovitost byla v rozsahu 3,75-53.000 nm).

3. Výsledky zkoušek

3.1 Prostý beton

Na grafech č. 2 až 5 jsou změny teploty a obsahu vody pro vzorky z prostého betonu třídy B-50 během nahřívání zařízením SOM-01. Vzorky z prostého betonu o rozměrech 100 x 100 x 100 mm byly zcela nasyceny vodou před měřením (až dosažení ustálené hmotnosti). Výkon byl nastaven na úroveň P6 a P9. Vnitřní teplota je teplota vzorku měřená od strany hlavice. Dobu vysušování je možno vztahovat jedině na homogenní vrstvu betonu o velikosti plochy rovnající se nejvýše velikosti plochy hlavice. V provozních podmínkách (izolace, spoje, jiná tloušťka zdi) tato veličina může mít hodnoty odlišné.

Tab. 1 Vysušování prostého betonu třídy B-50 - výkon zařízení: P6

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	104	po 80 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	98	po 120 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	83	úplné vysušení po 180 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	83	

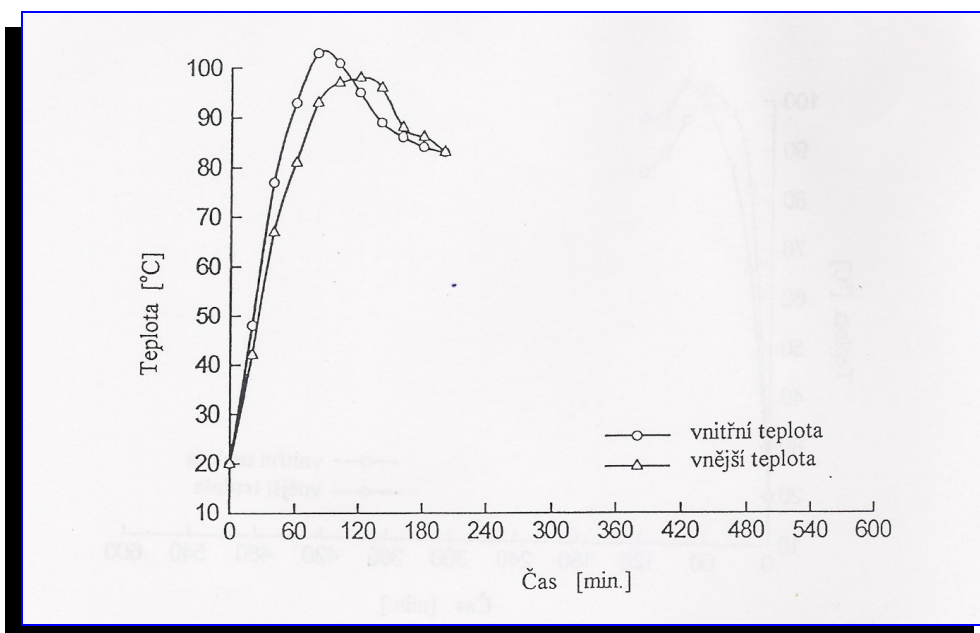
Tab. 2 Vysušování prostého betonu třídy B-50 - výkon zařízení: P9

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	104	po 80 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	106	po 100 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	97	úplné vysušení po 100 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	85	

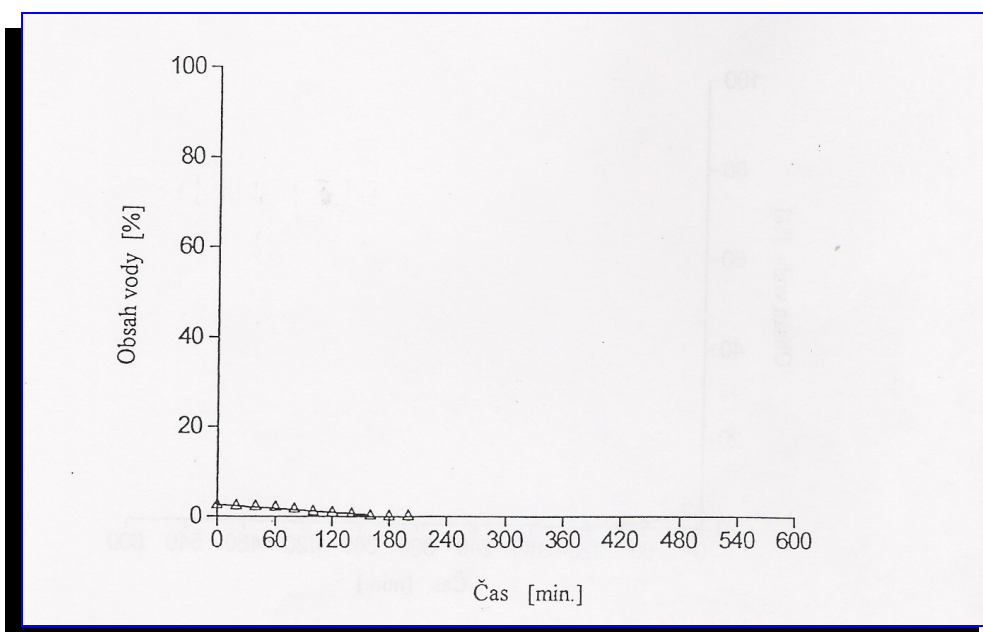
Po vysušení byly rovněž provedeny zkoušky na pevnost v tlaku dle normy PN-88/B-06250 odst.6. 3 na krychli o rozměrech 100 x 100 x 100 mm a určení nasákavosti (odst. 6. 4). Výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Pevnost v tlaku a nasákavost betonu po vysušení

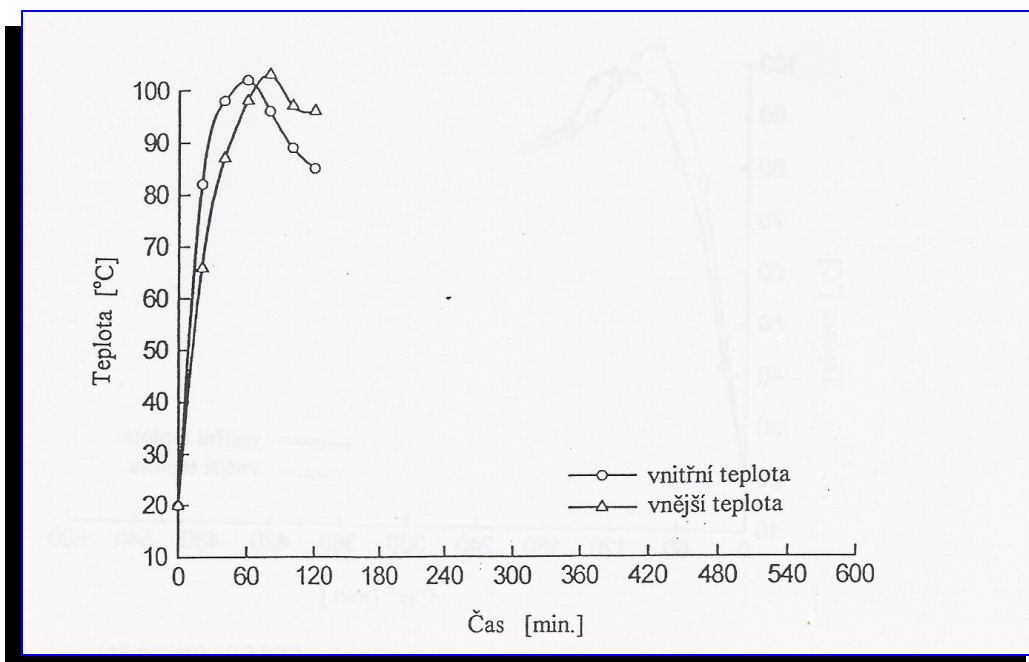
Veličina / výkon	P6	P9
Pevnost v tlaku [MPa]	62.2	61.1
Nasákavost [%]	3.4	3.6



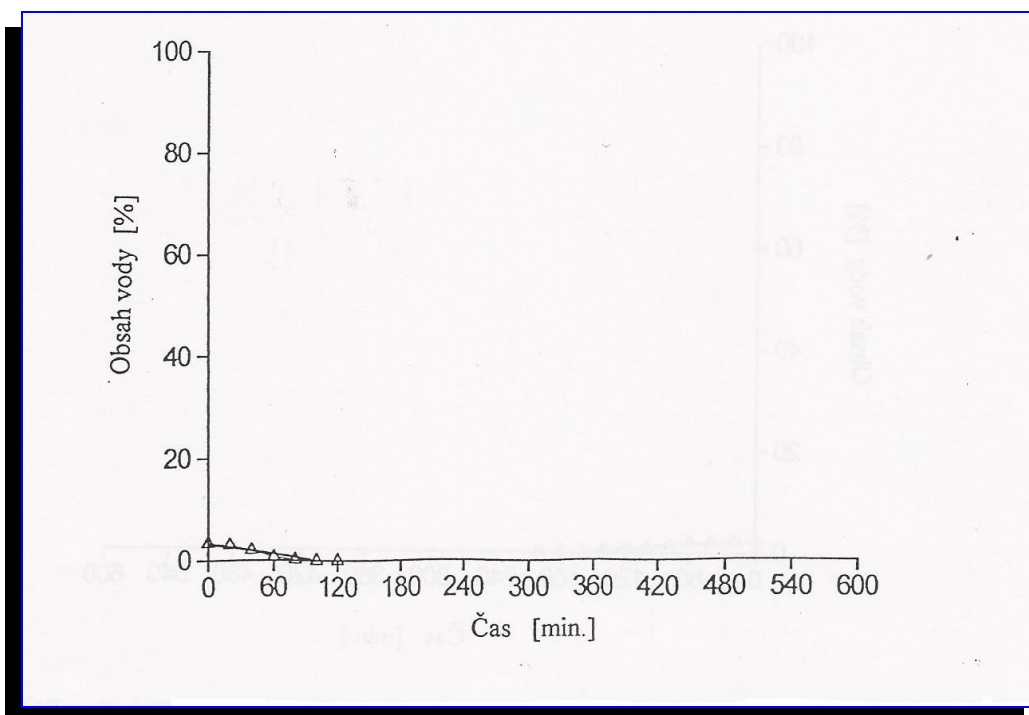
Graf č. 2 Změny teploty vzorku při vysušování zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 3 Změny obsahu vzorku betonu při vysušování zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 4 Změny teploty vzorku betonu při vysušování zařízením SOM-01 (výkon P9)



Graf č. 5 Změny teploty vzorku betonu při vysušování zařízením SOM-01 (výkon P9)

K zjišťování pevnosti v tlaku byl, s ohledem na rozměry vzorku, použit koeficient $\omega = 0,90$ a za účelem zařazení betonu do příslušné třídy byl přijat koeficient $\alpha = 1.15$ (PN-88/B-06250).

Výsledek je průměrem třech měření.

Zkoumaný prostý beton po procesu vysušování splňoval požadované parametry pro beton třídy B-50 (PN) a C40/5 (ENV-206).

Nasákavost prostého betonu vystaveného působení atmosférických vlivů nemá přesahovat 5 % (PN).

Během vysoušení byla pozorována kondenzace vody na vnějším povrchu betonu.

3.2 Pórobeton

Na grafech č. 6 až 11 jsou znázorněny změny teploty a obsahu vody u vzorků pórobetonu typu 06 (měrná hmotnost 600 kg / m³) během nahřívání zařízením SOM-01. Vzorky pórobetonu o rozměrech 250 x 120 x 65 mm byly před měřením zcela nasyceny vodou (až do dosažení ustálené hmotnosti). Výkon zařízení byl nastaven na P3, P6 a P9. Vnitřní teplota je teplota vzorku měřená od strany hlavice. Dobu vysušování je možno vztahovat jedině na homogenní vrstvu pórobetonu tloušťky 65 mm a o velikosti plochy rovnající se nejvýše velikosti plochy hlavice zařízení SOM-01. V provozních podmínkách (izolace, spoje, jiná tloušťka zdi) tato veličina může mít hodnoty odlišné.

Tab. 4 Vysušování pórobetonu typu 06 – výkon zařízení P3

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	47	po 180 mi.
Vnější max. teplota t_z [°C]	46	po 300 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	29	úplné vysušení po 520 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	33	

Tab. 5 Vysušování pórobetonu typu 06 – výkon zařízení P6

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	53	po 180 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	53	po 240 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	41	úplné vysušení po 280 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	47	

Tab. 6 Vysušování prostého betonu třídy B-50 - výkon zařízení P9

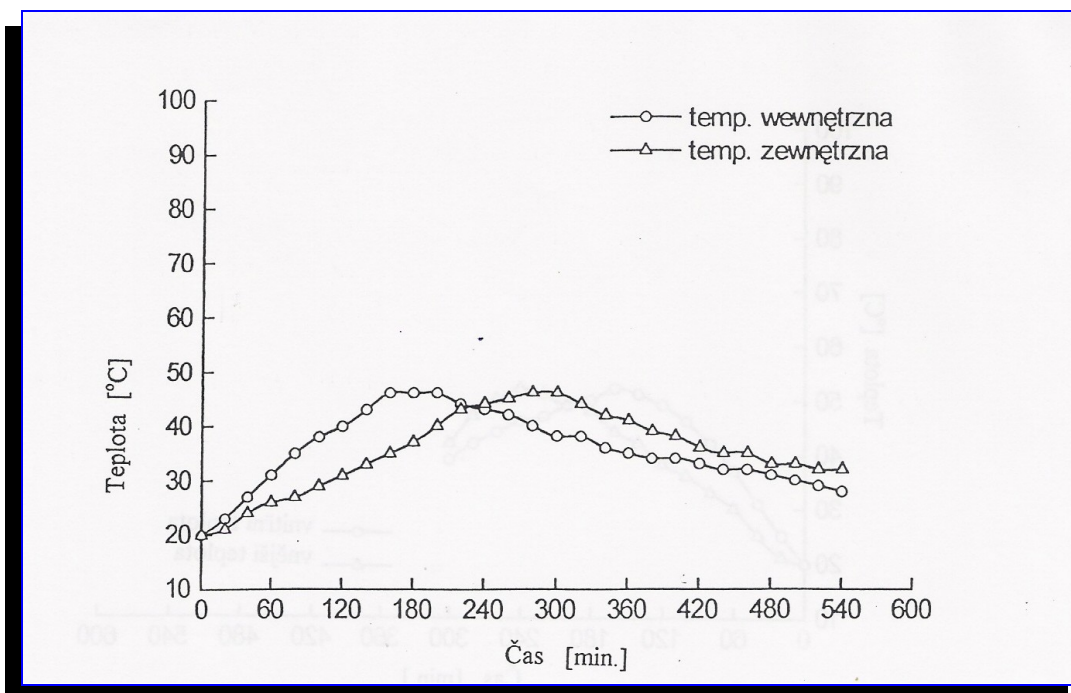
Vnitřní max. teplota t_w [°C]	85	po 60 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	85	po 120 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	46	úplné vysušení po 160 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	53	

Dále po vysušení byly provedeny zkoušky na pevnost v tlaku dle PN 89/B-06258 odst. 5. 5 a určení nasákavosti. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.

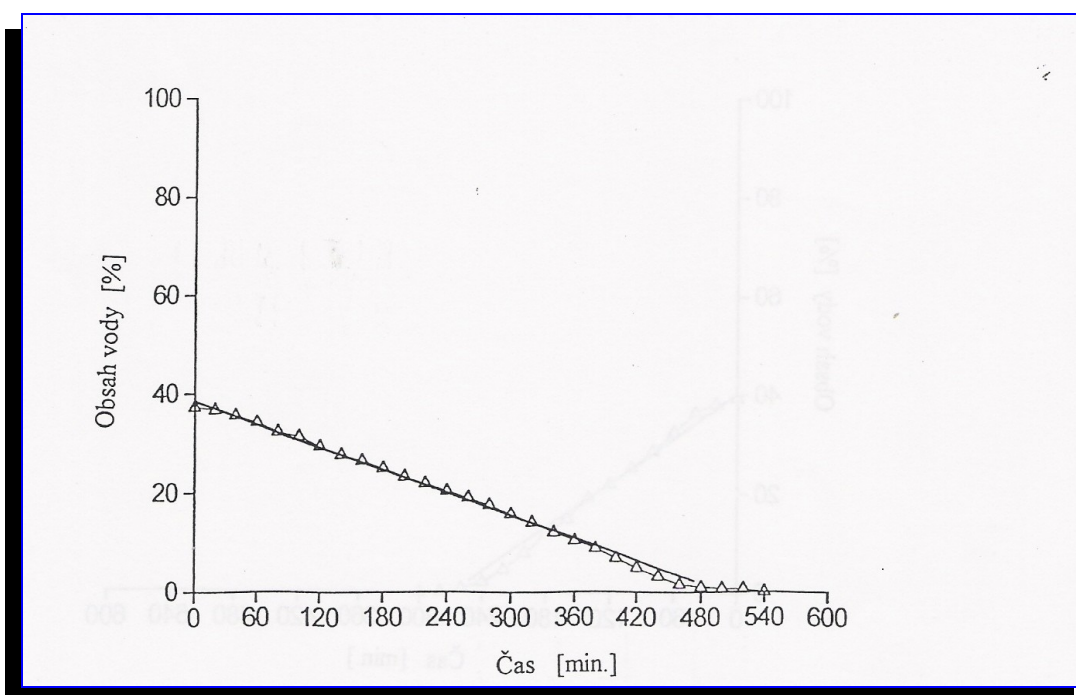
Tab. 7 Pevnost v tlaku a nasákavost pórobetonu po vysušení

Veličina / výkon	P6	P9
Pevnost v tlaku [MPa]	6,9	7,1
Nasákavost [%]	48,0	49,5

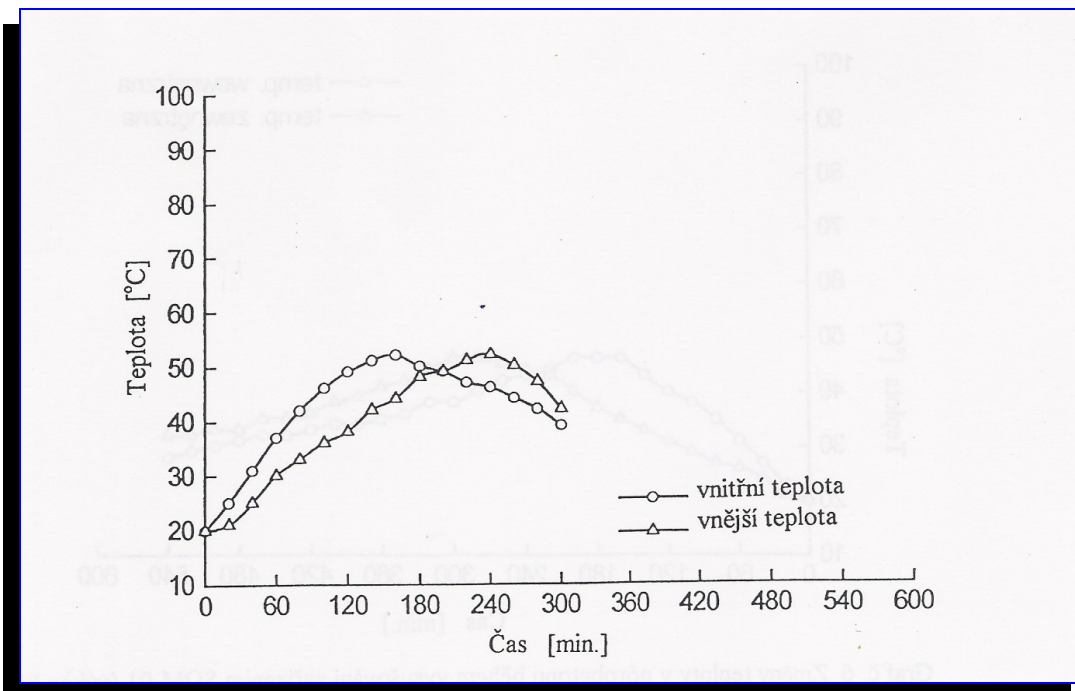
Zkoumaný pórobeton po vysušení splňuje požadavky dle norem pro výrobky o měrné hmotnosti 600 kg / m³ a typu 5.



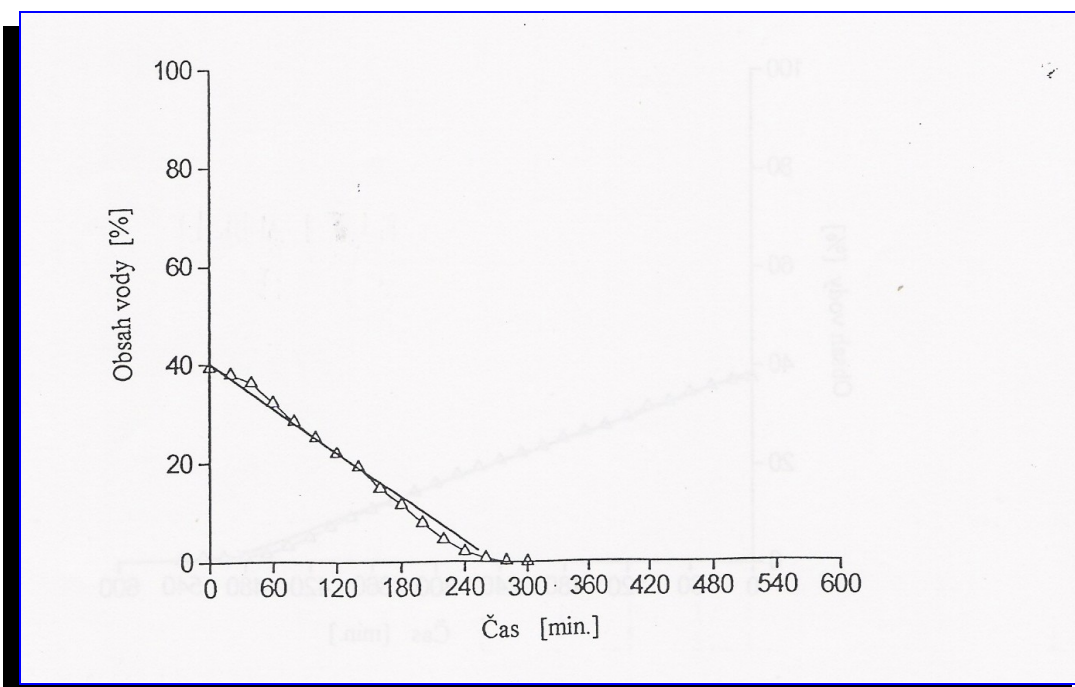
Graf č. 6 Změny teploty v pórobetonu během vysušování zařízením SOM-01 (výkon P3)



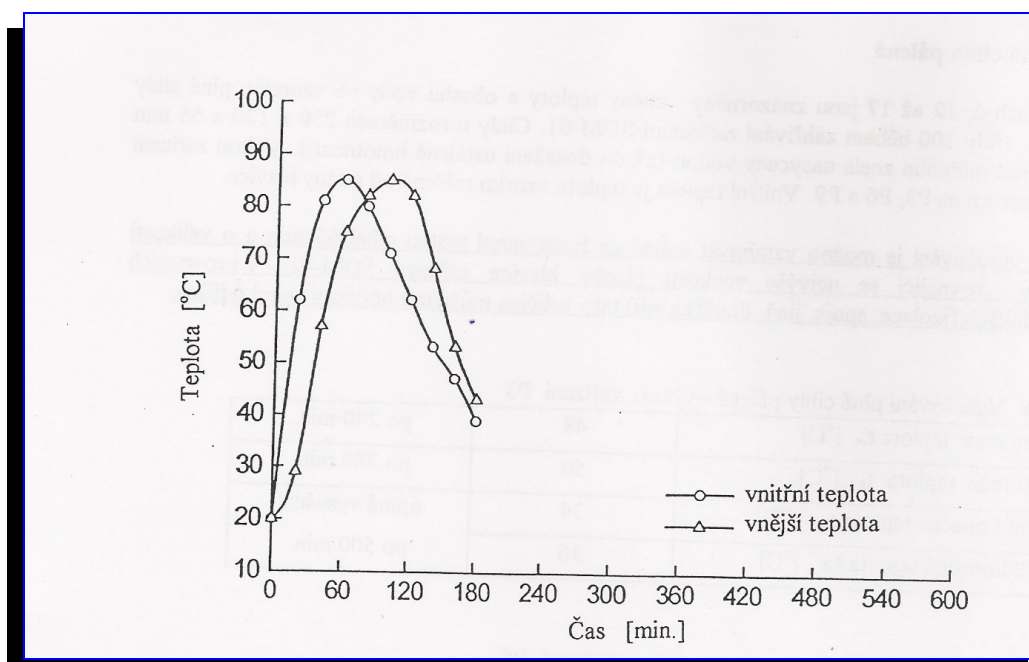
Graf č. 7 Změny obsahu vody v pórobetonu během vysušování zařízením SOM-01 (výkon P3)



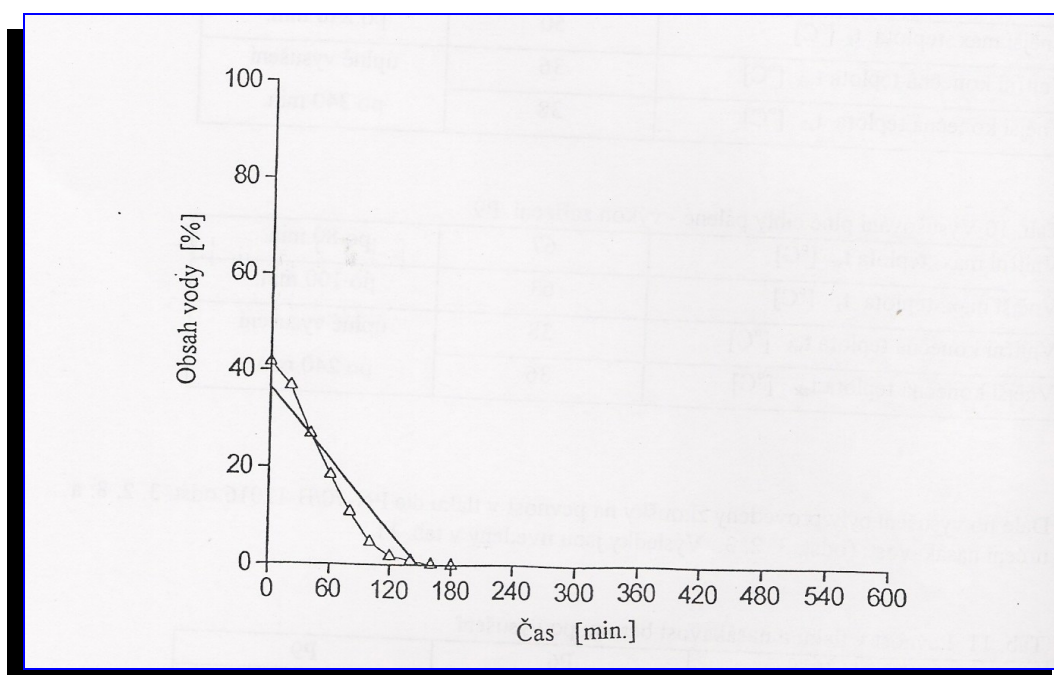
Graf č. 8 Změny teploty v pórobetonu během vysušování SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 9 Změny obsahu vody v pórobetonu během vysušování zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 10 Změny teploty v pórobetonu během vysušování SOM-01 (výkon P9)



Graf č. 11 Změny obsahu vody v pórobetonu během vysušování zařízením SOM-01 (výkon P9)

3.3 Plná cihla pálená

V grafech č. 12 až 17 jsou znázorněny změny teploty a obsahu vody ve vzorcích plné cihly pálené třídy 100 během zahřívání zařízením SOM-01. Cihly o rozměrech 250 x 120 x 65mm byly před měřením zcela nasyceny vodou (až do dosažení ustálené hmotnosti). Výkon zařízení byl nastaven na P3, P6 a P9. Vnitřní teplota je teplota vzorku měřená od strany hlavice.

Dobu vysušování je možno vztahovat jedině na homogenní vrstvu cihel 65 mm a o velikosti plochy rovnající se nejvýše velikosti plochy hlavice zařízení SOM-01. V provozních podmínkách (izolace, spoje, jiná tloušťka zdi) tato veličina může mít hodnoty velmi odlišné.

Tab. 8 Vysušování plné cihly pálené - výkon zařízení P3

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	48	po 240 min
Vnější max. teplota t_z [°C]	50	po 280 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	34	úplné vysušení po 500 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	36	

Tab. 9 Vysušování plné cihly pálené - výkon zařízení P6

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	54	po 200 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	50	po 240 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	36	úplné vysušení po 340 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	38	

Tab. 10 Vysušování plné cihly pálené - výkon zařízení P9

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	67	po 80 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	63	po 100 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	38	úplné vysušení po 240 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	36	

Dále po vysušení byly provedeny zkoušky na pevnost v tlaku dle PN-70/B-12016 odst. 3. 2. 8. a určení nasákavosti (odst. 3. 2. 3. Výsledky jsou uvedeny v tab. 11.

Tab. 11 Pevnost v tlaku a nasákavost betonu po vysušení

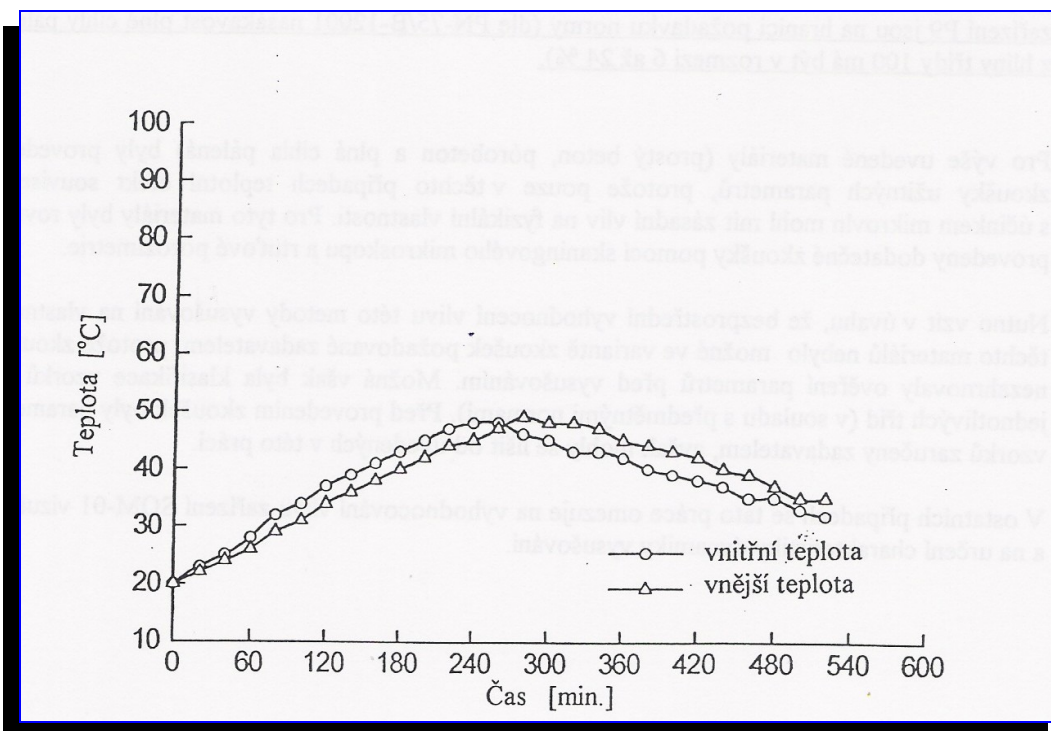
Veličina / výkon	P6	P9
Pevnost v tlaku [MPa]	14,9	13,0
Nasákavost [%]	22,4	24,0

Zkoumané vzorky plné cihly vyhovují požadavkům na pevnost v tlaku plné cihly pálené z hlíny třídy 100. Požadavky na nasákavost při výkonu zařízení P6 jsou dodrženy, avšak při výkonu zařízení P9 jsou na hranici požadavku normy (dle PN-75/B-12001 nasákavost plné cihly pálené z hlíny třídy 100 má být v rozmezí 6 až 24 %).

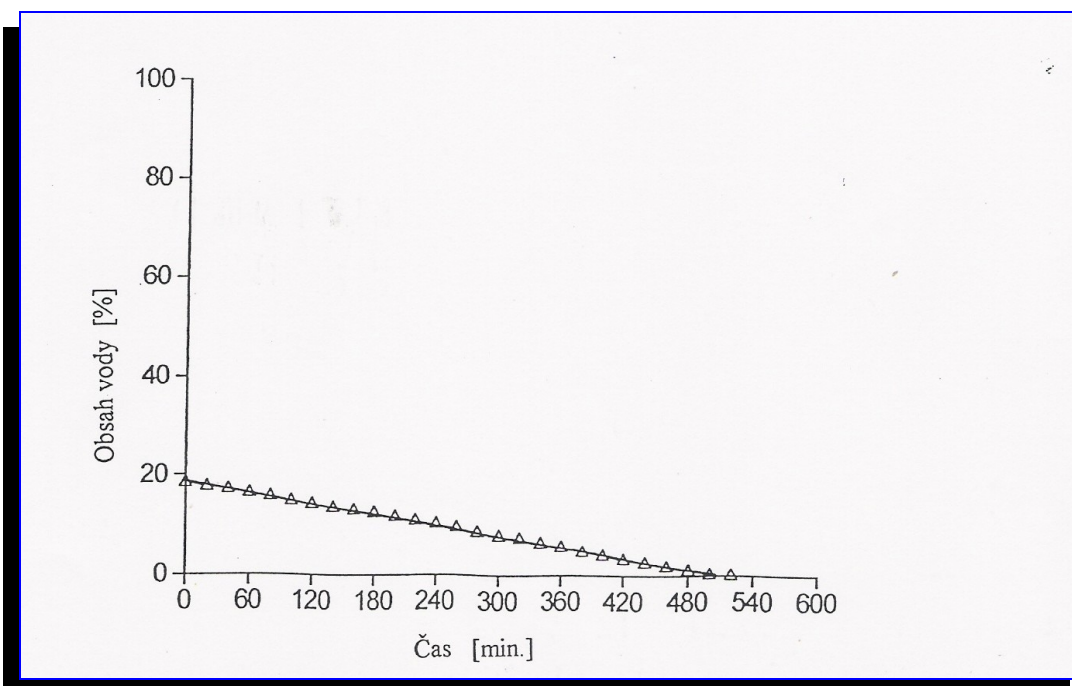
Pro výše uvedené materiály (prostý beton, pórobeton a plná cihla pálená) byly provedeny zkoušky užitných parametrů, protože pouze v těchto případech teplotní efekt související s účinkem mikrovln mohl mít zásadní vliv na fyzikální vlastnosti. Pro tyto materiály byly rovněž provedeny dodatečné zkoušky pomocí skaningového mikroskopu rtuťové porozimetre.

Nutno vzít v úvahu, že bezprostřední vyhodnocení vlivu této metody vysušování na vlastnosti těchto materiálů nebylo možné ve variantě zkoušek požadované zadavatelem, protože zkoušky nezahrnovaly ověření parametrů před vysušováním. Možná však byla klasifikace vzorků do jednotlivých tříd (v souladu s předmětnými normami). Před provedením zkoušek byly parametry vzorků zaručeny zadavatelem, avšak mohly se lišit od uvedených v této práci.

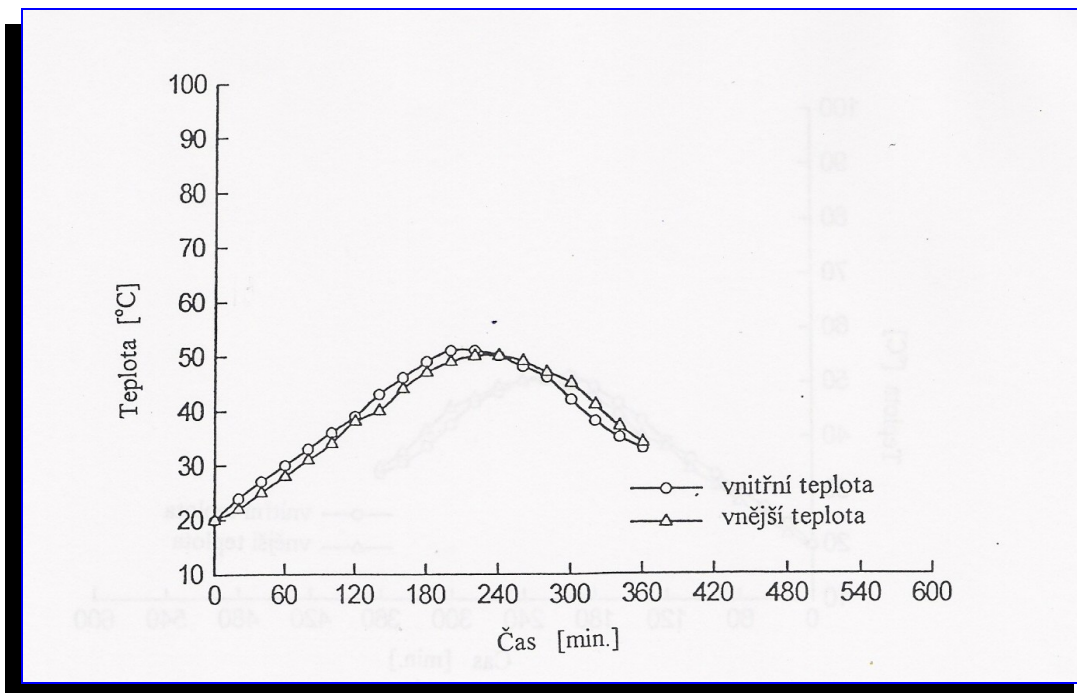
V ostatních případech se tato práce omezuje na vyhodnocení vlivu zařízení SOM-01 vizuálně a na určení charakteristiky dynamiky vysušování.



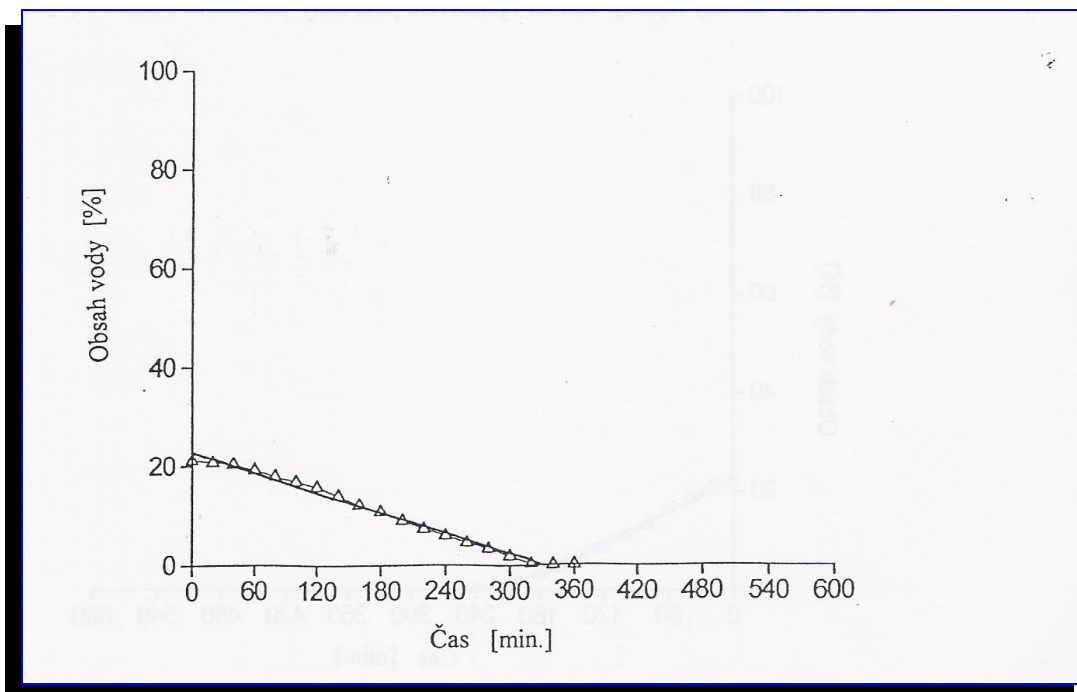
Graf č. 12 Změny teploty během vysušování plné cihly zařízením SOM-01 (výkon P3)



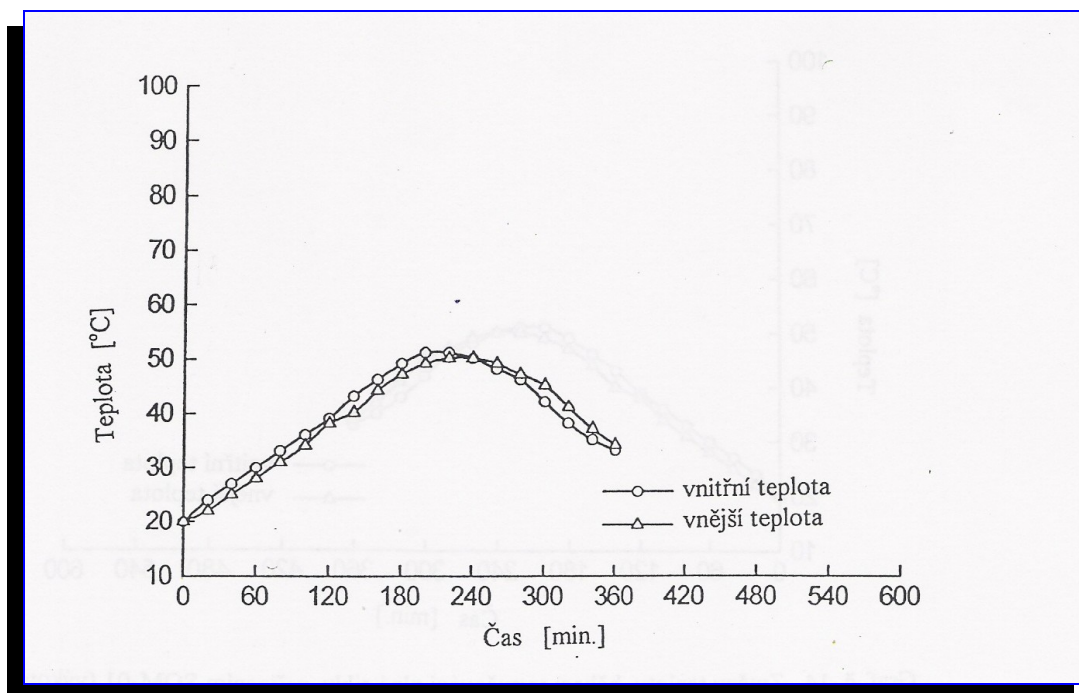
Graf č. 13 Změny obsahu vody během vysušování plné cihly zařízením SOM-01 (výkon P3)



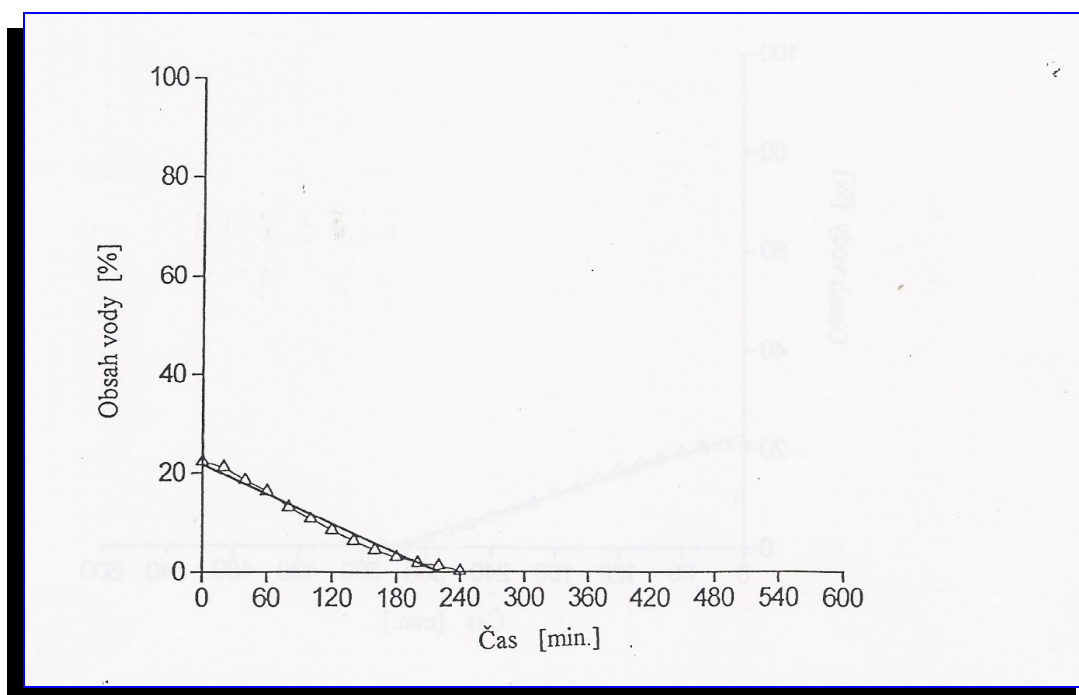
Graf č. 14 Změny teploty během vysušování plné cihly zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 15 Změny obsahu vody během vysušování plné cihly zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 16 Změny teploty během vysušování plné cihly zařízením SOM-01 (výkon P9)



Graf č. 17 Změny obsahu vody během vysušování plné cihly zařízením SOM-01 (výkon P9)

3.4 Minerální vlna

Na grafech č. 18 a 19 jsou znázorněny změny teploty a obsahu vody ve vzorku minerální vlny typu 160 (měrná hmotnost 160 kg / m³). Vzorky minerální vlny o rozměrech 250 x 150 x 60 mm byly před provedením zkoušek zcela nasyceny vodou (až do dosažení ustálené hmotnosti). S ohledem na možnost emise škodlivých organických sloučenin ze živičného tmelu vlny byl výkon zařízení nastaven na P6. Vnitřní teplota je teplota vzorku měřená od strany hlavice.

Tab. č. 12 Vysušování vrstvy minerální vlny – výkon zařízení P6

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	38	po 20 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	53	po 20 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	25	úplné vysušení po 160 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	24	

3.5 Sosnové dřevo

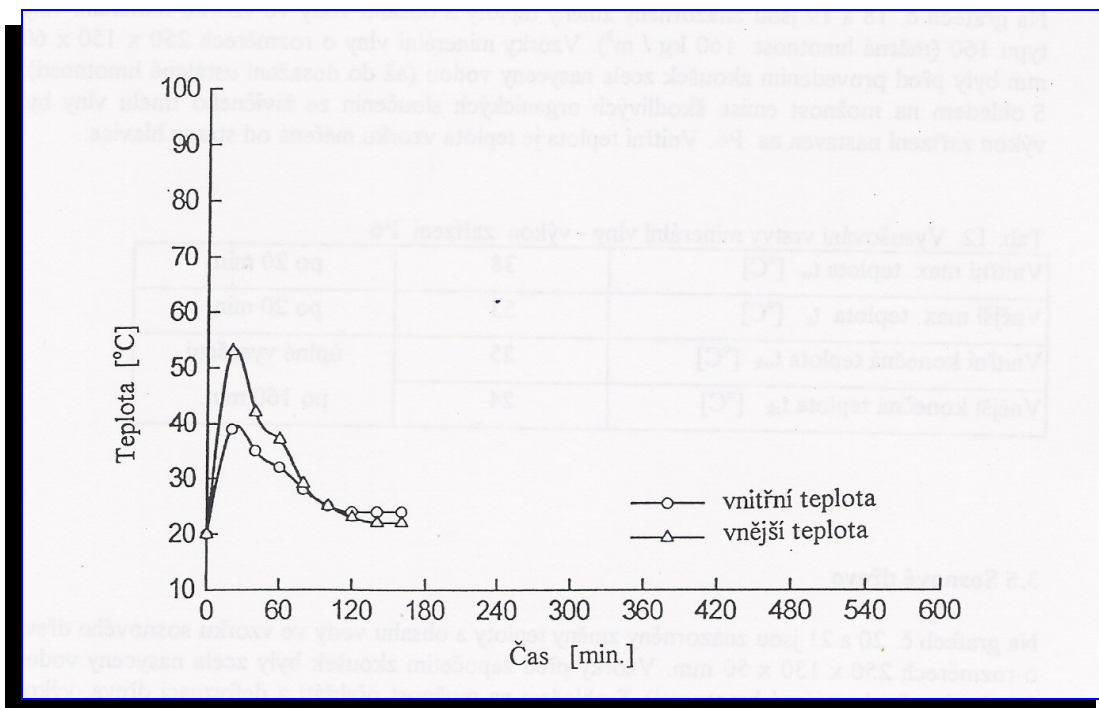
Na grafech č. 20 a č. 21 jsou znázorněny změny teploty a obsahu vody ve vzorku sosnového dřeva o rozměrech 250 x 150 x 50 mm. Vzorky před započítáním zkoušek byly zcela nasyceny vodou (až do dosažení ustálené hmotnosti). S ohledem a možnost přehřátí a deformaci dřeva, výkon zařízení byl nastaven na P6.

Tab. č. 13 Vysušování desky ze sosnového dřeva – výkon zařízení P6

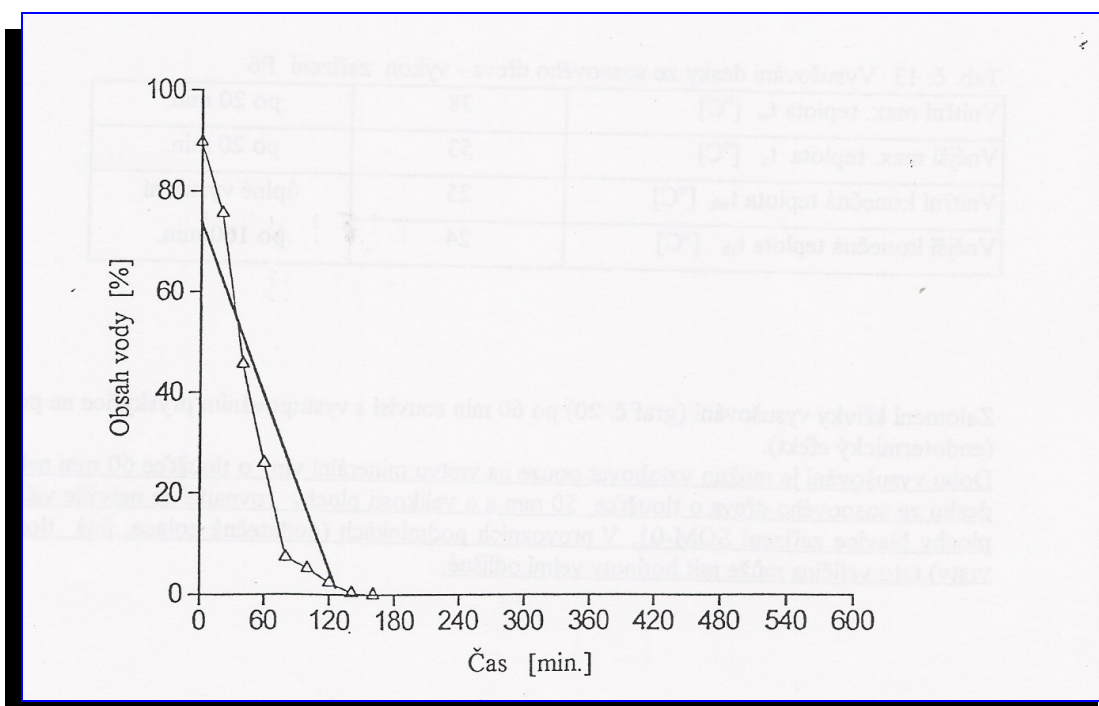
Vnitřní max. teplota t_w [°C]	38	po 20 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	53	po 20 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	25	úplné vysušení po 160 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	24	

Zalomení křivky vysušování (graf č.20) po 60 min souvisí s vystupováním pryskyřice na povrch (endotermický efekt).

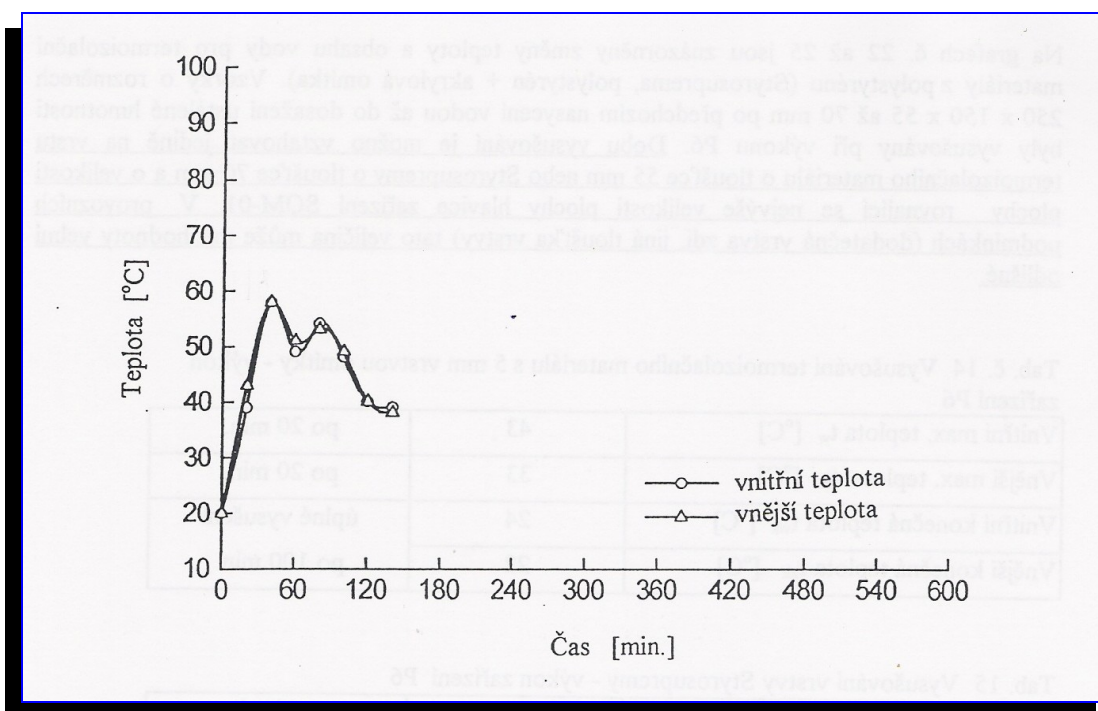
Dobu vysušování je možno vztahovat pouze na vrstvu minerální vlny o tloušťce 60 mm nebo na desku ze sosnového dřeva o tloušťce 50 mm a o velikosti plochy rovnající se nevyšší velikosti plochy hlavice zařízení SOM-01. V provozních podmínkách (dodatečná izolace, jiná tloušťka vrstvy) tato veličina může mít hodnoty velmi odlišné.



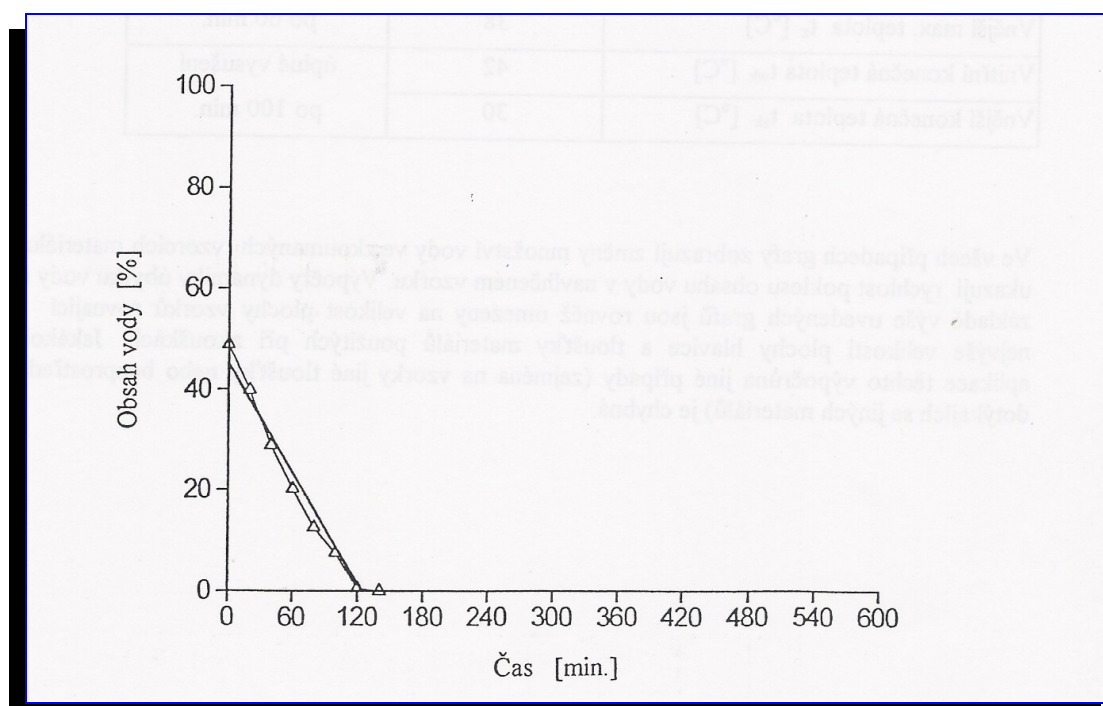
Graf č. 18 Změny teploty minerální vlny během vysušování zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 19 Změny obsahu vody v min. vlně během vysušování zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 20 Změny teploty během vysušování sosnového dřeva zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 21 Změny obsahu vody během vysušování sosnového dřeva zařízením SOM-01 (výkon P6)

3.6 Termoizolační materiály

Na grafech č. 22 až 25 jsou znázorněny změny teploty a obsahu vody pro termoizolační materiály z polystyrénu (Styrosuprema, polystyrén + akrylová omítka). Vzorky o rozměrech 250 x 150 x 55 až 70 mm po předchozím nasycení vodou až do dosažení ustálené hmotnosti byly vysušovány při výkonu P6.

Dobu vysušování je možno vztahovat pouze na vrstvu termoizolačního materiálu o tloušťce 55 mm nebo Styrosupremy o tloušťce 70 mm a o velikosti plochy rovnající se nejvýše velikosti plochy hlavice zařízení SOM-01. V provozních podmínkách (dodatečná vrstva zdi, jiná tloušťka vrstvy) tato veličina může mít hodnoty velmi odlišné.

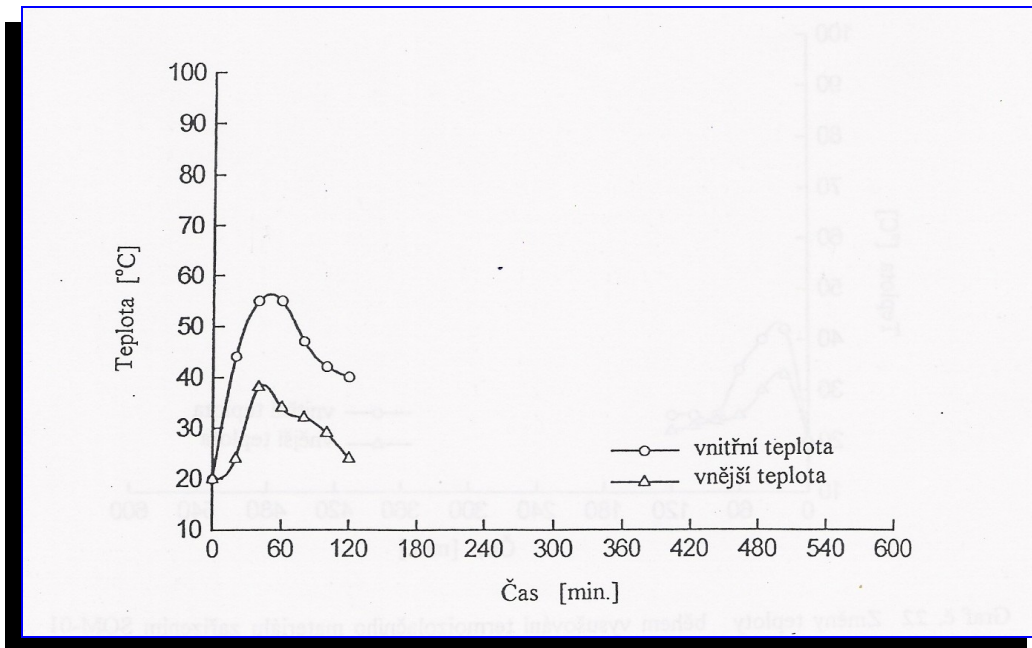
Tab. č. 14 Vysušování termoizolačního materiálu s 5 mm vrstvou omítky – výkon zařízení P6

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	43	po 20 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	33	po 20 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	24	úplné vysušení po 100 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	22	

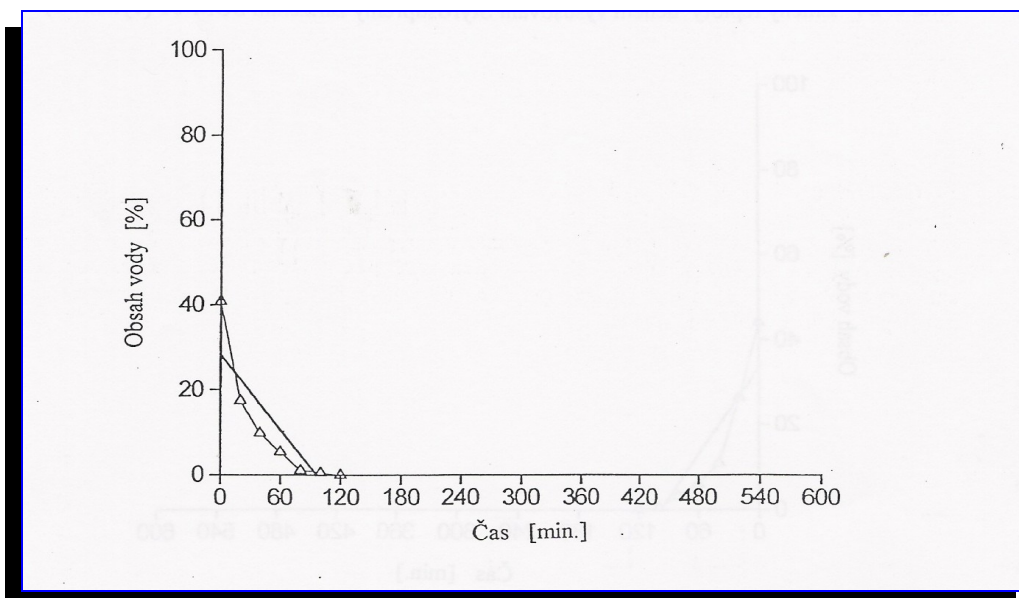
Tab. č. 15 Vysušování vrstvy Styrosupremy – výkon zařízení P6

Vnitřní max. teplota t_w [°C]	56	po 60 min.
Vnější max. teplota t_z [°C]	38	po 60 min.
Vnitřní konečná teplota t_{wk} [°C]	42	úplné vysušení po 100 min.
Vnější konečná teplota t_{zk} [°C]	30	

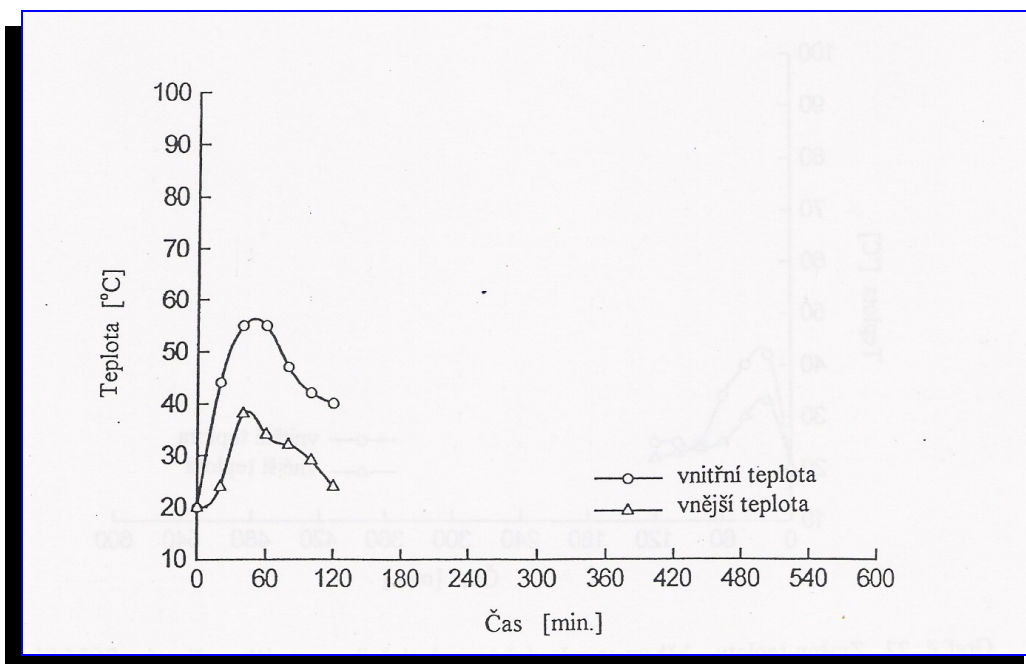
Ve všech případech grafy zobrazují změny množství vody ve zkoumaných vzorcích materiálu a ukazují rychlost poklesu obsahu vody v navlhčeném vzorku. Výpočty dynamiky úbytku vody na základě výše uvedených grafů jsou rovněž omezeny na velikost plochy vzorků rovnající se nejvýše velikosti plochy hlavice a tloušťky materiálů použitých při zkouškách. Jakákoliv aplikace těchto výpočtů na jiné případy (zejména na vzorky jiné tloušťky nebo bezprostředně dotýkajících se jiných materiálů) je chybná.



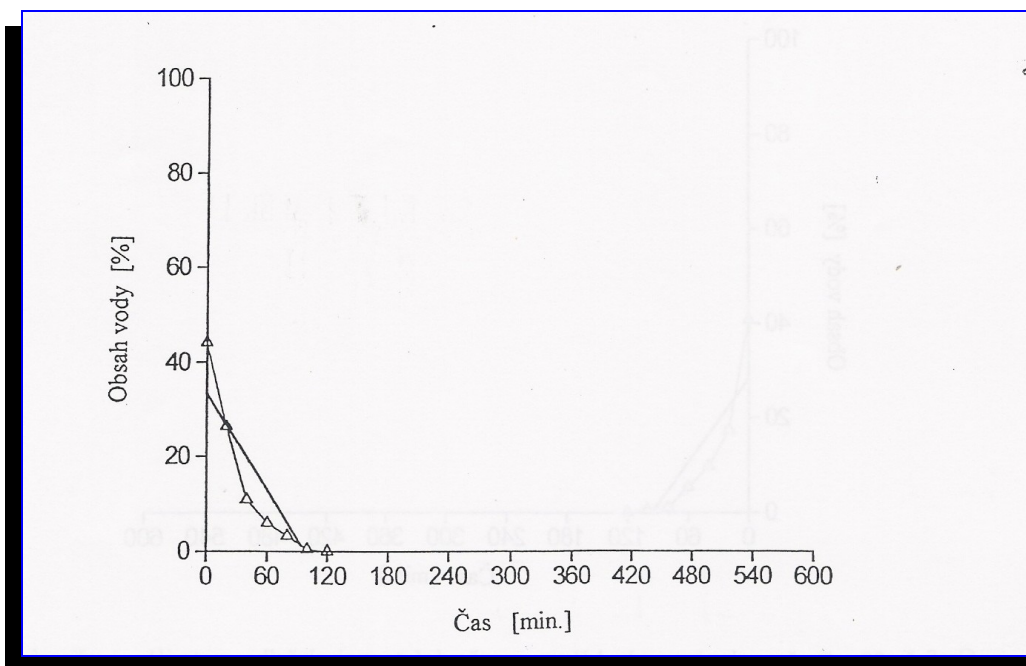
Graf č. 22 Změny teploty během vysušování termoizolačního materiálu zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 23 Změny obsahu vody během vysušování termoizolačního materiálu zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 24 Změny teploty během vysušování Styrosupremy zařízením SOM-01 (výkon P6)



Graf č. 25 Změny obsahu vody během vysušování Styrosupremy zařízením SOM-01 (výkon P6)

4. Zkoumání struktur materiálu

4.1 Zkoumání mikrostruktury sušených materiálů

4.1.1 Popis

Proces vysušování komunálních a průmyslových objektů použitím mikrovlnné technologie a zvlášť zařízení SOM-01 způsobuje zahřívání vysoušeného materiálu nejen na povrchu, ale v celé jeho tloušťce. Teplota vysoušeného objektu překračuje někdy 100 °C. Proto může docházet v těchto materiálech k fyzikálním a chemickým změnám, které snižují jejich užitné vlastnosti. Nebezpečné mohou být zejména změny vyplývající z procesu vysušování stavebních materiálů, získávaných při použití cementu, vápna nebo sádry jako spojovacích materiálů. Při jejich reakci s vodou dochází ke vzniku křemičitanů a síranů, které dehydrují při teplotách nižších než 100 °C. Tato dehydratace může způsobovat mikropraskliny, povrchové vrypy a pukliny, čímž se snižuje odolnost vůči mrazu, pevnosti (hlavně na ohyb), otěru, nasákavosti apod. Analýza případných změn mikrostruktury, které se mohly vyskytnout během vysušování zařízením SOM-01, byla provedena na základě pozorování skaningovým mikroskopem typu TESLA BS-301 a ve rtuťovém porozimetru Carlo Erba PO 225

4.1.2 Mikroskopová pozorování (SEM)

Dle autorů, zásady měření jsou všeobecně známy, proto není nutno se o nich zvlášť rozepisovat. Předmětem pozorování byly materiály, ve kterých během vysušování mohlo docházet k mikrostrukturálním změnám – prostý beton, pórobeton a (v menší míře) plná cihla pálená.

Souhrn mikroskopického pozorování:

Během vysušování prostého betonu, pórobetonu a plné cihly pálené zařízením SOM-01 s výkonem P9 nebyly zjištěny změny v mikroskopovém obraze mikrostruktury.

4.1.3 Rozložení velikostí pórů

Určení rozložení velikostí pórů bylo provedeno v porozimetru. Bylo předpokládáno, že změny velikosti pórů, které by se mohly vyskytnout během procesu vysušování stavebních materiálů zařízením SOM-01, zejména vznik pórů větších rozměrů, svědčilo by o destrukci mikrostruktury u zkoumaných materiálů, vznikem vrypů a mikroprasklin a z toho vyplývajícím snížením užitných vlastností. To, že takové změny nebyly zjištěny, potvrzuje, že proces vysušování nemá negativní vliv na užitné vlastnosti testovaných materiálů.

Různé metody určování pórovitosti jsou založeny na různých fyzikálních základech, proto dosažené výsledky jsou nesrovnatelné. V tabulce jsou uvedeny význačnější metody určování pórovitosti se stručným komentářem. Z této tabulky je zřejmé, že rtuťová porozimetre zahrnuje nejširší spektrum určení velikosti pórů a podává nejvíc informací o zkoumaném materiálu.

Metody zkoušek pórovitosti materiálů

Metoda	Popis
Určení měrné hmotnosti	Metoda umožňuje určení celkového objemového množství pórů
Optická mikroskopie	Použití optické mikroskopie umožňuje určení rozměrů a geometrii pórů, s obtížemi však lze určit objemové množství pórů. Spodní mez měření je cca 1 μm .
Elektronová mikroskopie	Metoda umožňuje určení velikosti a geometrii pórů v širokém rozsahu. Nevýhodou je záběr na velmi malou plochu testovaného vzorku.
Plynová absorpce	Výsledkem je objemový podíl pórů a rozložení velikosti pórů v rozmezí 1,4 μm . až 60 μm .
Plynová porozimetrie	Výsledkem je objemový podíl pórů a rozložení velikosti pórů v rozmezí 3,7 μm . až 100 μm .
Nízkoúhlová rentgenová spektroskopie	Metoda spočívá na měření rozptylu impulsů v rozsahu malých úhlů – horní mez měření je 20 μm .

Každá z výše uvedených popsanych metod je založená na určitých předpokladech a každá je zatížena chybami, které je nutno mít na paměti. V případě rtuťové porozimetrie příčiny chyb jsou následující:

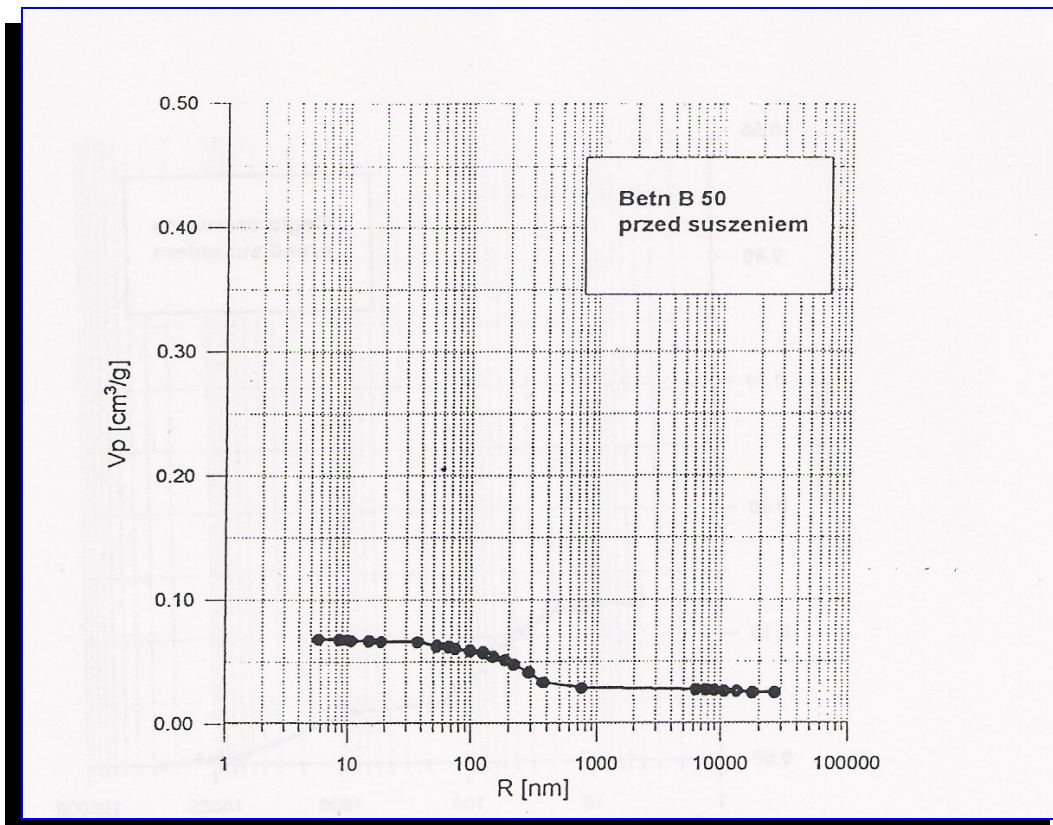
1. stlačitelnost rtuti,
2. stlačitelnost zkoumaného vzorku,
3. nedokonalé odvzdušnění vzorku,
4. ztížený průtok rtuti v pórech (ink bottle) způsobující objemovou hysterézu. Průměr pórů vypočten dle Washgurnovy rovnice předpokládá, že rtuť proniká z větších do menších pórů,
5. změna povrchového napětí rtuti a teploty. Tepelný koeficient povrchového napětí je $d\gamma/dT=0,1.103\text{N}/(\text{mK})$. Chyba v měření při pominutí tohoto faktu může dosáhnout až 2,5 %,
6. proměnlivá hodnota úhlu navlhčování rtuti pro různé materiály. Jeho velikost je v rozsahu 135° až 142°, jako uvažovaný průměr přijato 141,3°,
7. možnost stlačování testovaného pórovitého materiálu vlivem působícího tlaku (část uzavřených pórů se stává dostupnou pro rtuť).

Průběh měření pórovitosti metodou rtuťové porozimetrie je rozložen na 3 etapy probíhající v jediné měřicí nádobě:

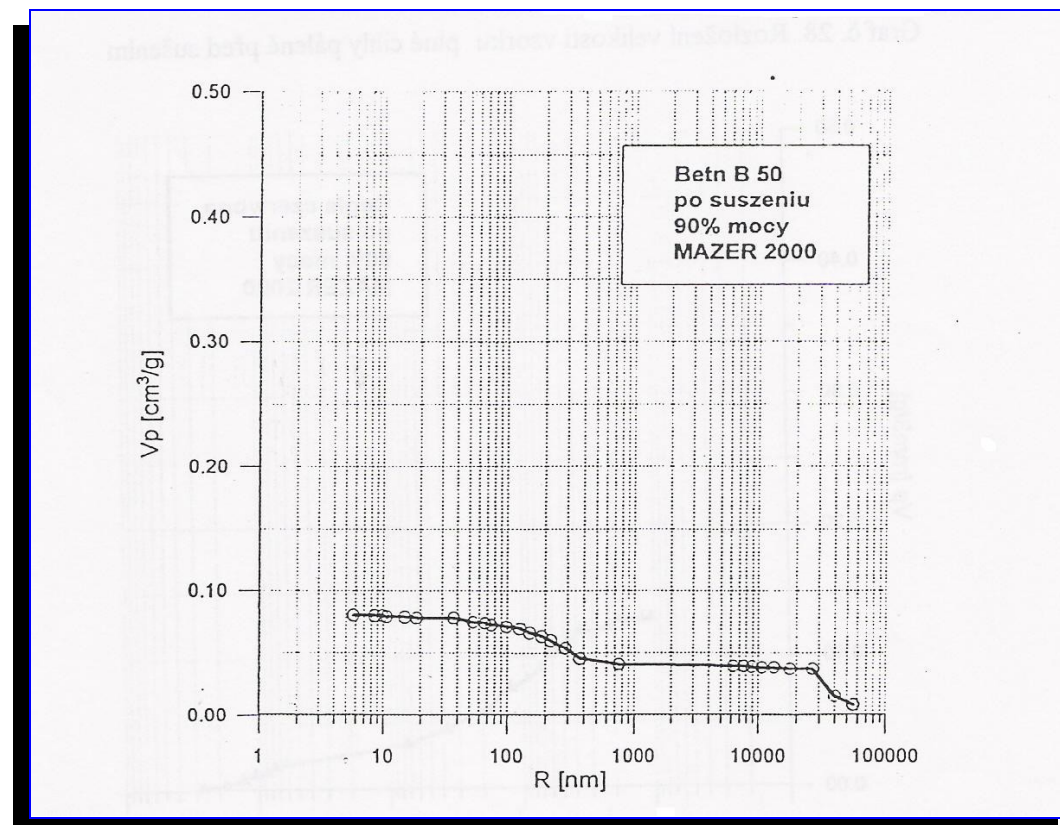
1. odvzdušnění vzorku
2. nízkotlaková porozimetrie (nižší než atmosférický tlak)
3. vysokotlaková porozimetrie (vyšší než atmosférický tlak)

4.1.3. 1 Výsledky porozimetrických zkoušek (prostý beton, pórobeton, plná cihla pálená)

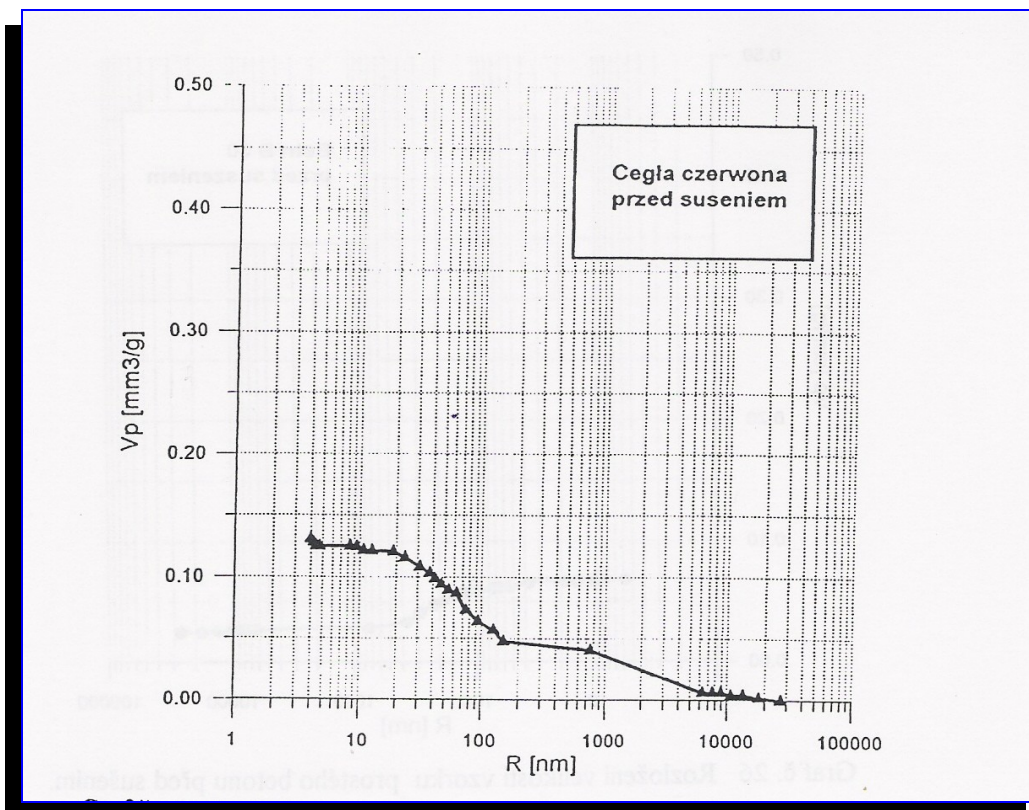
Zkoušky byly provedeny na vzorcích prostého betonu, pórobetonu a plné cihly pálené. Vzorky byly zkoumány před sušením a po vysušení mikrovlnným zařízením SOM-01.



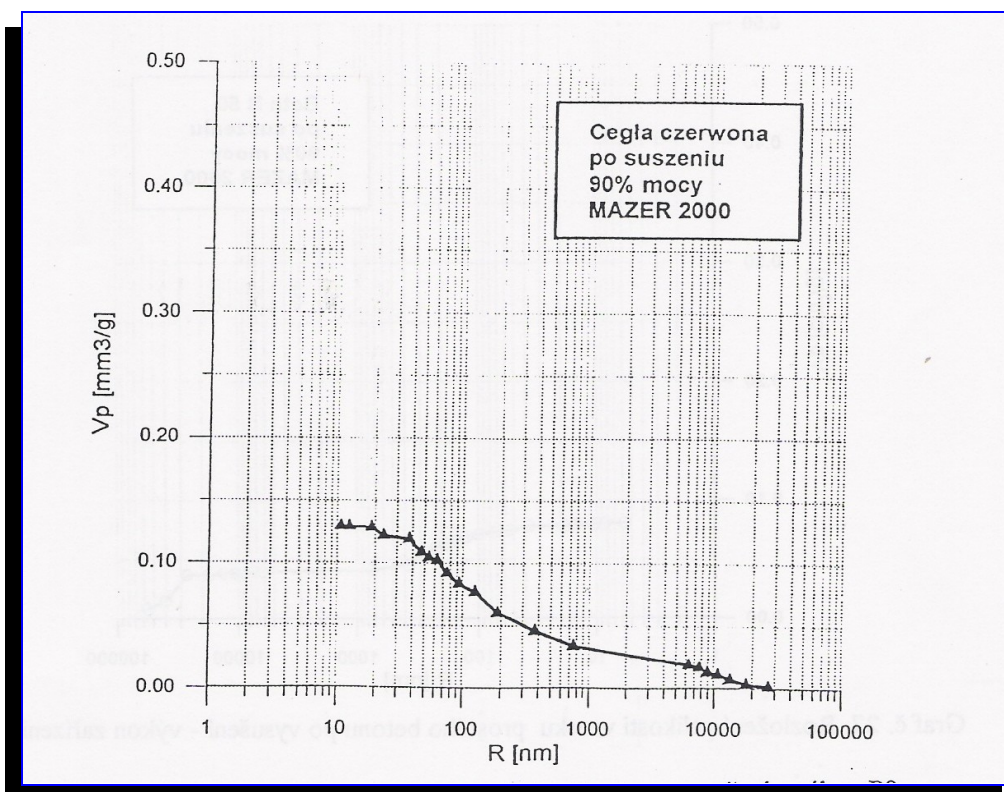
Graf č. 26 Rozložení velikosti vzorku prostého betonu před sušením



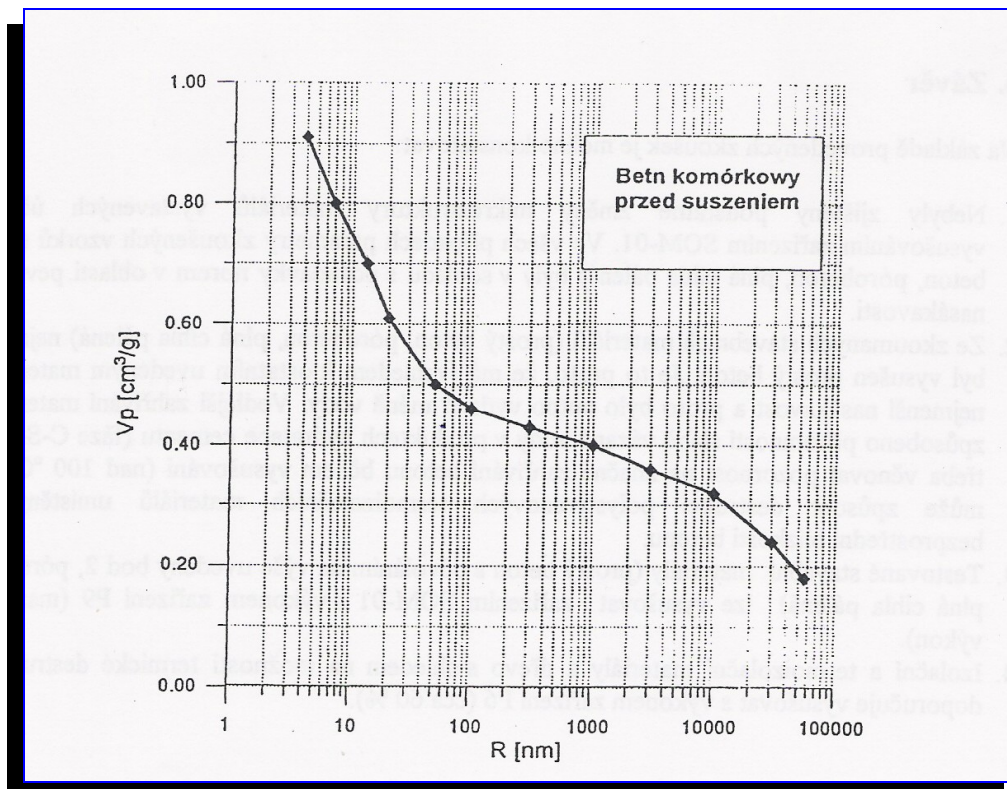
Graf č. 27 Rozložení velikosti vzorku prostého betonu po vysušení – výkon zařízení P9.



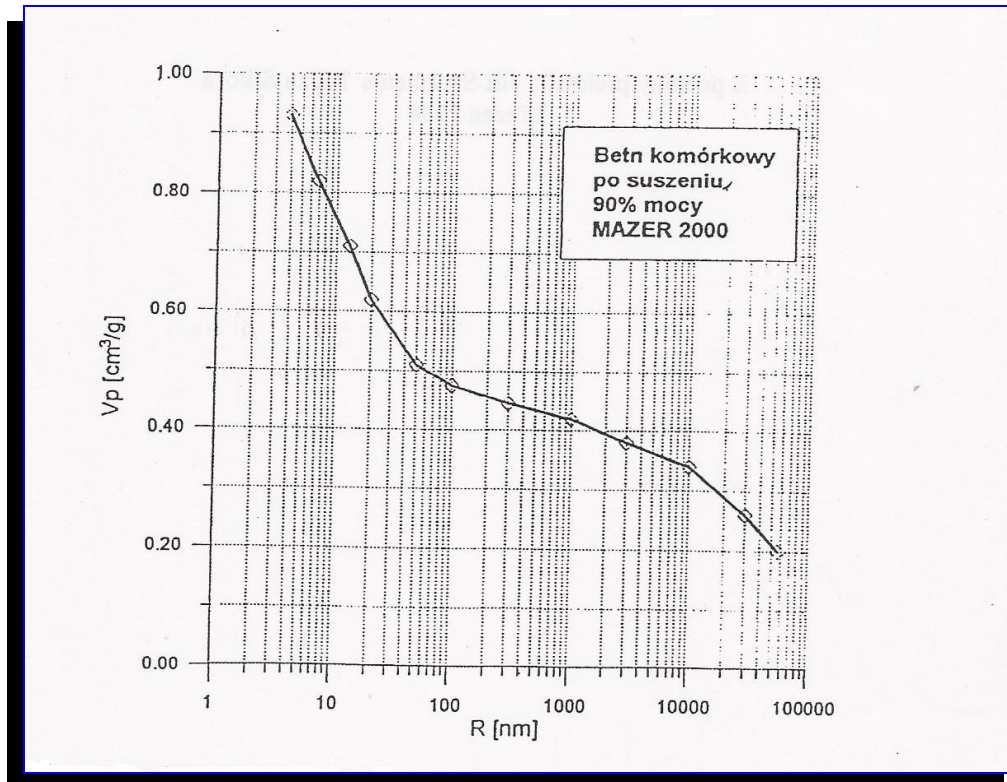
Graf č. 28 Rozložení velikosti vzorku plné cihly pálené před susšením



Graf č. 29 Rozložení velikosti vzorku plné cihly pálené po vysušení – výkon P9



Graf č. 30 Rozložení velikosti vzorku pórobetonu před susšením



Graf č. 31 Rozložení velikosti vzorku pórobetonu po vysušení – výkon P9

5. Závěr

Na základě provedených zkoušek je možno konstatovat:

1. Nebyly zjištěny podstatné změny mikrostruktury materiálů vystavených účinkům vysušování zařízením SOM-01. Ve všech případech parametry zkoušených vzorků (prostý beton, pórobeton, plná cihla pálená) byly v souladu s požadavky norem v oblasti pevnosti a nasákavosti.
2. Ze zkoumaných stavebních materiálů (prostý beton, pórobeton, plná cihla pálená) nejrychleji byl vysušen prostý beton. Je to proto, že má (vzhledem k ostatním uvedeným materiálům) nejmenší nasákavost a proto bylo nutno vytlačit méně vody. Vedlejší zahřívání materiálu je způsobeno přítomností slabě vázané vody v produktech hydratace cementu (fáze C-S-H). Je třeba věnovat pozornost na značné zahřívání betonu během vysušování (nad 100 °C), což může způsobit destrukci polystyrenových termoizolačních materiálů umístěných v bezprostřední blízkosti betonu.
3. Testované stavební materiály (prostý beton s odvoláním na uvedený bod 2, pórobeton, plná cihla pálená) lze vysušovat zařízením SOM-01 s výkonem zařízení P9 (maximální výkon).
4. Izolační a termoizolační materiály a dřevo s ohledem na možnosti termické destrukce se doporučuje vysušovat s výkonem zařízení P6 (cca 60 %).

Z polštiny přeložili: Jiří Szurman a Milan Sikora
Březen 1998