



**VYSOKÁ ŠKOLA TECHNICKÁ A EKONOMICKÁ
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

KONSTRUKCE STAVEB

**ANALÝZA
ZKUŠEBNÍCH
POSTUPŮ ZKOUŠEK
ASFALTOVÝCH PÁSŮ
DLE EVROPSKÝCH A
ČESKÝCH Norem**

Autor diplomové práce:

Bc. Lukáš Rieger, učo: 12065

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Plachý, Ph.D.

Oponent diplomové práce:

Ing. Vít Petránek, MBA, Ph.D.

02/2021

OSNOVA PREZENTACE

- Motivace a důvody k řešení problému
- Cíl práce
- Výzkumné otázky
- Dosažené výsledky a přínos práce
- Závěrečné shrnutí
- Doplnující dotazy – vedoucí práce, oponent

MOTIVACE A DŮVODY K ŘEŠENÍ DANÉHO PROBLÉMU

- **Stanovení množství asfaltové hmoty v AP pro HI střech**
- Výrobní normy
 - ČSN 73 0605-1:2014 vs. ČSN EN 13707:2014 (rev. 2005, 2009)
- Zkušební normy
 - Nejednoznačnost normativních postupů zkoušek
 - Možnost urychlení zkušebního postupu
 - Zákaz použití trichlorethylenu
 - Připomínkování nové prEN 544:2020 (rev. 2011)

CÍL PRÁCE

- Analýza výrobních norem
 - Nedostatky, doporučení
- Analýza normativních postupů zkoušek
 - Optimalizace postupů, jasné definování, zkrácení času zkoušek
- Praktický výzkum
 - Extrakce vs. kalcinace (nová metodika)
 - Rozpouštědla – náhrada trichlorethylenu, účinnost (přesnost), průběh zkoušky, úskalí, ekologie, bezpečnost pro obsluhu
 - Doporučení pro implementaci do zkušebních norem ČSN 73 0605-1, ČSN EN 544, ČSN EN 13707 (ČSN EN 13969, ČSN EN 13970) a metodiky SVAP

VÝZKUMNÉ OTÁZKY

- Hypotézy
 - Kalcinace je oproti extrakci rychlejší metodou, avšak méně přesnou
 - Extrakci lze efektivně použít pouze za předpokladu vhodně zvoleného rozpouštědla k rozpouštěnému materiálu
 - Existuje jasně definovaný popis metodiky zkušebního postupu pro stanovení množství asfaltové hmoty, který je univerzálně použitelný

POUŽITÉ METODY

- Sběr dat
 - Analýza literatury a norem
 - Vlastní laboratorní výzkum
- Zpracování a vyhodnocení dat
 - Komparace – nastudovaná fakta s praktickým výzkumem, výsledky materiálových zkoušek
 - Analýza – výsledky materiálových zkoušek
 - Dedukce – odvození zjištěných poznatků, návrh opatření

DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A PŘÍNOS PRÁCE

KOMPARACE VÝROBKOVÝCH NOREM

- ČSN 73 0605-1
 - Kvantitativní vyjádření technických požadavků
 - Podklad pro projekci, reflexe skutečných nároků, kvalitnější výrobky
- ČSN EN 13707
 - Technické požadavky na AP, uvádění výrobků na trh
 - Hodnoty zpravidla MDV, MLV (kompetence výrobce)
 - Nízké požadavky
 - Zahlcení trhu různou kvalitou

Důraz na splnění vyšších požadavků dle CZ normy = kvalitní materiály s jasně daným použitím

PARAMETR	ČSN 73 0605-1	ČSN EN 13707
	HODNOTA	HODNOTA
Přímost	≥ MLV	20 mm na 10 m délky
Plošná hmotnost	X	v toleranci MDV, pokud výr. uvádí
Tloušťka	≥ specifická hodnota dle aplikace	v toleranci MDV, pokud výr. uvádí
Vodotěsnost	≥ 100 / ≥ 60 kPa dle aplikace	≥ 10 kPa
Největší tahová síla a protažení v podélném i příčném směru	≥ specifická hodnota dle aplikace	v toleranci MDV
Odolnost proti protrhávání	≥ MLV / ≥ 150 N dle aplikace	v toleranci MDV
Rozměrová stálost	≤ specifická hodnota dle aplikace	≤ MLV
Ohebnost při nízké teplotě	≤ specifická hodnota dle aplikace	≤ MLV
Odolnost proti stékání při zvýšené teplotě	≥ specifická hodnota dle aplikace	≥ MLV
Obsah nebezpečných látek	Řešeno jinou související normou	Na obalu uvést nebezpečné látky, přičemž azbest a uhelný dehet zakázaný
Množství asfaltové hmoty	≥ specifická hodnota dle aplikace	X

Zdroj: vlastní interpretace

KOMPARACE ZKUŠEBNÍCH NOREM

- ČSN 73 0605-1, ČSN 50 3602, ČSN EN 544, DIN 52123

Specifikace a normy	ČSN 73 0605-1	ČSN 50 3602	ČSN EN 544	prEN 544	DIN 52123
Metoda kalcinace	X	X	X	O	X
Výběr zkušební role AP	X	O	X	X	X
Přesně stanovené místo odběru ZT	X	O	X	X	X
Počet a rozměry ZT	3 x 100/100 mm	4 x 50/100 mm	3 x 100/100 mm	3 x 50/100 mm	3 x 100/100 mm
Teplota a doba kondicionování ZT	23 ± 2 °C 2 hod	20 ± 5 °C 12 hod	23 ± 2 °C 2 hod	23 ± 2 °C 2 hod	18 až 28 °C doba neurčena
Možnost použití filtračního papíru	X	X	X	X	X
Specifikace rozpouštědla dle extrah. materiálu	X	X	X	X	O
Sušicí teplota	105 ± 2 °C	120 °C	105 ± 2 °C	105 ± 2 °C	105 °C
Doba sušení patron před extrakcí	X	1 hod	X	X	X
Doba sušení patron po extrakci	min 3,5 hod	1 hod	min. 2,5 hod	min. 2,5 hod	X

- Komparace a zhodnocení v DP
 - Příprava ZT
 - Zkuš. podmínky a zařízení
 - Zkušební postup
 - Vyhodnocení

Rozpouštědla a normy	ČSN 73 0605-1	ČSN 50 3602	ČSN EN 544	prEN 544	DIN 52123
Dichlormethan (Methylenchlorid)	ANO	NE	ANO	ANO	NE
Tetrachlorethylen (Perchlorethylen)	ANO	NE	ANO	ANO	NE
Trichlormethan (Chloroform)	NE	ANO	NE	NE	ANO ***
Methylbenzen (Toluen)	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
Dimethylbenzen (Xylen)	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
Trichlorethylen (Trichlorethen)	ANO *	ANO *	ANO *	ANO *	ANO **

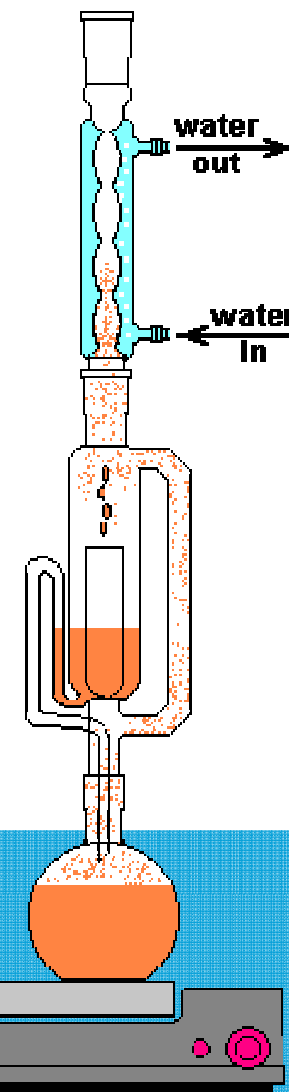
* Norma použití rozpouštědla umožňuje, ale jeho použití v ČR je zakázáno jiným předpisem

** Platí popis * + není určeno pro extrakci AP s modifikovanou asfaltovou hmotou

*** Není určeno pro extrakci AP s modifikovanou asfaltovou hmotou

EXTRAKCE

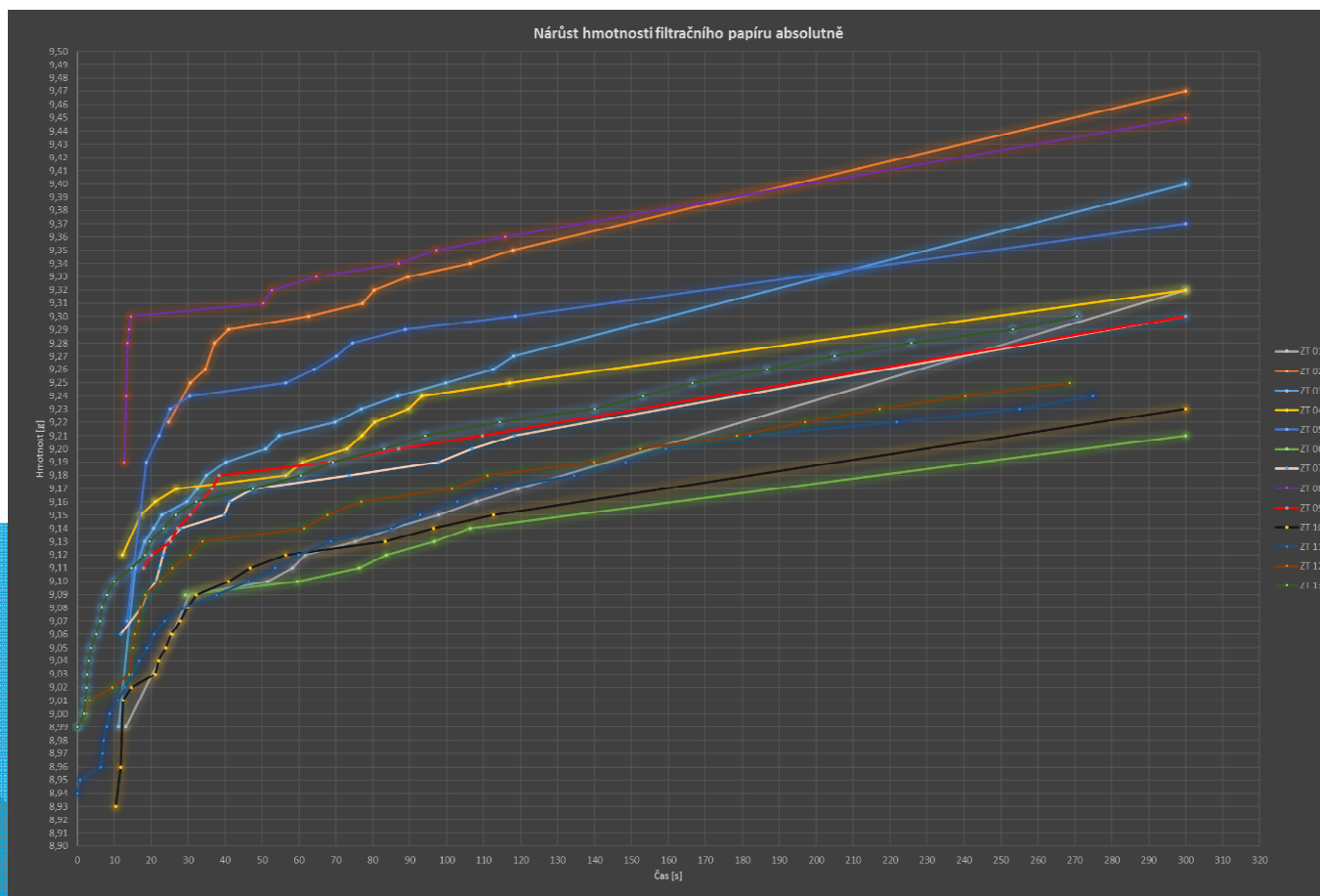
- Soxhletův extraktor
- 4 x modifikovaný pás
 - Vrchní vrstva vícevrstevných systémů střech
 - SBS – Rusko, Německo
 - APP – Itálie, Rusko
- 5 x rozpouštědlo dle norem
 - Dichlormethan, tetrachlorethylen, chloroform, toluen, xylen
- 1 x ZV = 3 x ZT



Zdroj animace:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soxhlet_mechanism.gif

EXTRAKCE – VÁŽENÍ

- Vysoká počáteční navlhavost filtračního materiálu (papír)
- 13 x ZT pro průběh navlhavosti
- Vážení ZT v určitém intervalu s nejmenším váhovým přírůstkem
- 0-5 min, rozdíl 0,55 g = 55 g/m² = 2% při 2500 g/m²
- Požadavek 0,05 g
- 30 – 40 s (0,03 g)



EXTRAKCE – PŘÍPRAVA ZT

- Nepřesnosti v přípravě vyřezáním
 - Proměřování ve třech místech a průměrná plocha
 - Příprava vyražením

PLOCHA ZKUŠEBNÍCH TĚLES							
[m ²]							
9,53E-03	1,01E-02	1,03E-02	1,06E-02	9,98E-03	9,78E-03	8,91E-03	1,04E-02
9,27E-03	1,00E-02	9,83E-03	9,90E-03	9,99E-03	1,00E-02	8,56E-03	1,03E-02
9,19E-03	1,01E-02	9,89E-03	1,04E-02	1,01E-02	1,01E-02	9,31E-03	1,00E-02
9,52E-03	1,01E-02	9,69E-03	1,03E-02	9,96E-03	9,77E-03	9,43E-03	9,73E-03
9,46E-03	9,76E-03	9,74E-03	1,03E-02	9,69E-03	9,71E-03	9,48E-03	9,67E-03
9,45E-03	1,00E-02	1,03E-02	1,02E-02	9,82E-03	9,68E-03	9,44E-03	1,00E-02
9,95E-03	1,01E-02	1,04E-02	9,71E-03	1,02E-02	9,33E-03	1,01E-02	1,04E-02
1,01E-02	9,88E-03	9,72E-03	1,02E-02	1,02E-02	9,41E-03	1,02E-02	9,27E-03
1,00E-02	1,01E-02	1,02E-02	1,00E-02	1,00E-02	9,27E-03	1,00E-02	1,00E-02
Maximum	1,06E-02				Aritmetický průměr		9,87E-03
Minimum	8,56E-03				Medián		9,98E-03
Rozptyl	2,01E-03				Modus		9,27E-03

Zdroj: vlastní výzkum

EXTRAKCE – DÉLKA ZKOUŠKY

- Veškeré zkoušky hotové do 24 hod (100 x 100 mm)
 - Kontrola osobní přítomností
- Některá rozpouštědla v kombinaci s daným materiálem rychleji
 - Kontrola 24/7 IP kamerou se záznamem
 - Zpětné odečtení času

Rozpouštědla a ZV	E01	E02	P01	P02
	čas [hod]	čas [hod]	čas [hod]	čas [hod]
Dichlormethan	13 - 24	13 - 24	/	/
Tetrachlorethylen	14	13 - 24	18	19
Trichlormethan	8 - 12	8 - 18	/	/
Toluen	10 - 24	10 - 24	10 - 24	10 - 24
Xylen	10 - 24	10 - 24	15 - 20	15 - 20

Zdroj: vlastní výzkum

EXTRAKCE – DÉLKA SUŠENÍ ZV

- Dle bodu varu a tenze par rozpouštědla
- Nejprve 30 min tĕkání v digestoři
- Vážení v čase 0,0 hod, 0,5 hod, 1,0 hod, 1,5 hod, 24 hod
- Do ustálené hmotnosti

	DÉLKA SUŠENÍ [hod]	TEPLOTA VARU [°C]	TENZE PAR [hPa]
Dichlormethan	0,5	40	475
Tetrachlorethylen	0,5	121	19
Trichlormethan	0,5	61	213
Toluen	1,0	110	31
Xylen	1,0	136	8

Zdroj: vlastní výzkum

EXTRAKCE – BEZPEČNOST PRO OBSLUHU

- Parametr DNEL – max expozice bez nepříznivých účinků
- Parametr LC50 – smrtelná koncentrace pro 50% organismů

MAXIMÁLNÍ EXPOZICE	DNEL inhalačně pro pracovníky
Dichlormethan	353 mg/m ³
Tetrachlorethylen	138 mg/m ³
Chloroform	333 mg/m ³
Toluen	384 mg/m ³
Xylen	442 mg/m ³

Zdroj: BL rozpouštědel

Rozpouštědlo	LC ₅₀ inhalačně [mg/l]	Doba expozice [hod]	Druh zvířete
Dichlormethan	86	4	Krysa
Tetrachlorethylen	35	4	Krysa
Trichlormethan	11	4	Krysa
Toluen	29	4	Krysa
Xylen	27	4	Krysa

Zdroj: BL rozpouštědel

Rozpouštědlo	02	02	02	02	03	03	03	03	06	06	06	06	07	07	08	08	08	08	08	
ZT 01	12,91	0,21	15,34	16,56	2,89	11,26	39,53	39,55	5,51	3,64	39,39	40,62	18,01	23,75	7,72	0,72	15,47	22,57	28,76	
ZT 02	7,70	0,50	17,24	13,21	2,31	9,57	10,87	0,08	2,66	4,65	35,27	41,80	8,84	26,61	8,18	0,42	10,19	15,98	38,48	
ZT 03	17,31	0,14	17,03	13,99	31,07	12,41	8,87	17,30	7,68	3,48	37,58	41,25	12,79	23,56	6,86	1,39	18,46	25,35	27,90	
A) Vypařené množství rozpouštědla na jedno sušení [g]	37,92	0,85	49,61	43,76	36,27	33,24	59,27	56,93	15,85	11,77	112,24	123,67	39,64	73,92	22,76	2,53	44,12	63,90	95,14	
Aritmetický průměr A) [g]	48,60		Medián A) [g]			43,76		Maximum A) [g]			123,67			Minimum A) [g]			0,85			

Zdroj: Vlastní výzkum

Polomaska s filtry min. třídy 6057

EXTRAKCE - ÚČINNOST

- Různé složky asfaltu rozpustné jen v určitých látkách
- Různé polymery rozpustné jen v určitých látkách
- Dle účinnosti (tetrachlorethylen vyloučen):
 - SBS – trichlormethan, xylen, toluen, dichlormethan
 - APP – xylen, toluen

trichlormethan



ZT	A [g]	DICHLORMETHAN		TETRACHLORETHYLEN		TRICHLORMETHAN		TOLUEN		XYLEN	
		B [g]	C [g]	B [g]	C [g]	B [g]	C [g]	B [g]	C [g]	B [g]	C [g]
E01	2801	2660	-141	3344		2938	137	2991	190	3221	
		2813	12			2790	-11			2770	-31
		2819	18							2741	-60
										2722	-79
E02	3106	2851	-255	3948		3275	169	3081	-25	3486	
		2916	-190			2838	-268			2850	-256
		2969	-137							3035	-71
P01	3085	2662		3040	-45	2763		3049	-36	3084	-1
										3021	-64
P02	3281	2967		4749		3041		3279	-2	3305	24
										3260	-21

ARITMETICKÝ PRŮMĚR ODCHYLKY	-116	-45	7	32	-62
MEDIAN ODCHYLKY	-139	-45	63	-14	-60
ARITMETICKÝ PRŮMĚR ODCHYLKY E01+E02				83	-99
MEDIAN ODCHYLKY E01+E02				83	-71
ARITMETICKÝ PRŮMĚR ODCHYLKY P01+P02				-19	-16
MEDIAN ODCHYLKY P01+P02				-19	-11

PARAMETRY:

A - PRŮMĚRNÁ HODNOTA

B - NAMĚŘENÉ HODNOTY

C - ODCHYLKA

Zdroj: Vlastní výzkum

EXTRAKCE – MÍSTO ODBĚRU

- Bez vlivu na výsledek
- Kvalitní materiály (SVAP)
- Méně kvalitní materiály větší význam

E01					
KRAJ PÁSU		STŘED PÁSU		KRAJ PÁSU	
ZT	g/m ²	ZT	g/m ²	ZT	g/m ²
XXX.02.01	2648	XXX.02.02	2672	XXX.02.03	2661
XXX.06.02	2846	XXX.03.01	3267	XXX.03.02	3439
XXX.07.03	3074	XXX.03.03	3324	XXX.07.01	2959
XXX.08.03-2	2754	XXX.06.01	2863	XXX.08.01-2	2763
		XXX.06.03	3106		
		XXX.07.02	2935		
		XXX.08.02-2	2705		

E02					
KRAJ PÁSU		STŘED PÁSU		KRAJ PÁSU	
ZT	g/m ²	ZT	g/m ²	ZT	g/m ²
XXX.02.01	2870	XXX.02.02	2828	XXX.02.03	2854
XXX.06.02	3323	XXX.03.01	4045	XXX.03.02	3888
XXX.07.03	3042	XXX.03.03	3912	XXX.07.01	3227
XXX.08.03-2	3012	XXX.06.01	3312	XXX.08.01-2	3029
		XXX.06.03	3189		
		XXX.07.02	2975		
		XXX.08.02-2	3063		

P01					
KRAJ PÁSU		STŘED PÁSU		KRAJ PÁSU	
ZT	g/m ²	ZT	g/m ²	ZT	g/m ²
XXX.02.01	2640	XXX.02.02	2666	XXX.02.03	2680
XXX.06.02	2800	XXX.03.01	2937	XXX.03.02	3253
XXX.07.03	3025	XXX.03.03	2935	XXX.07.01	3081
XXX.08.03-1,2	3026 / 2941	XXX.06.01	2757	XXX.08.01-1,2	3074 / 3004
		XXX.06.03	2733		
		XXX.07.02	3039		
		XXX.08.02-1,2	3153 / 3117		

P02					
KRAJ PÁSU		STŘED PÁSU		KRAJ PÁSU	
ZT	g/m ²	ZT	g/m ²	ZT	g/m ²
XXX.02.01	2942	XXX.02.02	2970	XXX.02.03	2988
XXX.06.02	3043	XXX.03.01	3332	XXX.03.02	4077
XXX.07.03	3279	XXX.03.03	6824	XXX.07.01	3305
XXX.08.03-1,2	3349 / 3205	XXX.06.01	3042	XXX.08.01-1,2	3349 / 3226
		XXX.06.03	3037		
		XXX.07.02	3253		
		XXX.08.02-1,2	3295 / 3349		

EXTRAKCE – POČET OPAKOVÁNÍ

- Čtyři zkoušky při ZT 100 x 100 mm na 1000 ml rozpouštědla
- Vyšší využitelnost max. koncentrace roztoku (přesycený roztok)

ROZPOUŠTĚDLO	PRŮMĚRNÁ MAX. HMOTNOSTNÍ KONCENTRACE	PRŮMĚRNÁ MAX. OBJEMOVÁ KONCENTRACE	MNOŽSTVÍ ASFALTU NA OBJEM ROZPOUŠTĚDLA g/l
Dichlormethan	7,3%	9,1%	104
Tetrachlorethylen	8,5%	12,7%	151
Trichlormethan	7,6%	10,5%	122
Toluen	12,5%	10,6%	124
Xylen	13,4%	10,6%	123
PRŮMĚRNÁ HODNOTA	9,9%	10,7%	125

Rozměry ZT	Objem Rozpouštědla	Možný počet zkoušek
100 x 100 mm	1000 ml	4 x
	II V	
50 x 100 mm	200 ml	1,6 x

* Výpočet proveden pro následující hustotu látek:	
Asfalt - 1040 g/l	Trichlormethan - 1480 g/l
Dichlormethan - 1325 g/l	Toluen - 866 g/l
Tetrachlorethylen - 1620 g/l	Xylen - 871 g/l

Zdroj: Vlastní výzkum

KALCINACE

- Nepřesná metodika
 - Nezohlednění spalitelných komponent AP
 - Nezohlednění spálených zbytků
 - Návrh pro další výzkum (součinitel, odečtení)
- Nízké náklady a spotřeba médií
- Rychlost zkoušky při dané teplotě a velikosti a druhu ZT (3 hod) – nutná optimalizace
- Simultánně probíhající výzkum

ZT	PRŮMĚRNÁ HODNOTA [g]	KALCINACE	
		NAMĚŘENÁ HODNOTA [g]	ODCHYLKA [g]
E01	2801	2967	166
		3062	261
		3120	319
		2891	90
E02	3106	3229	123
P01	3085	3422	337
P02	3281	3856	575
		3819	538
ARITMETICKÝ PRŮMĚR ODCHYLKY			301
MEDIAN ODCHYLKY			290

Zdroj: Vlastní výzkum a fotodokumentace



ZÁVĚREČNÉ SHRNU TÍ

- Hypotézy
 - Kalcinace je oproti extrakci rychlejší metodou, avšak méně přesnou
 - Extrakci lze efektivně použít pouze za předpokladu vhodně zvoleného rozpouštědla k rozpouštěnému materiálu
 - Existuje jasně definovaný popis metodiky zkušebního postupu pro stanovení množství asfaltové hmoty, který je univerzálně použitelný
- Extrakce vs. kalcinace
 - Extrakce - prozatím přesnější
 - Kalcinace – čas (počet zk.), náročnost pro obsluhu, bezproblémový průběh, bezpečnost pro obsluhu, náklady, ekologie
 - Rozhodovací proces laboratoří - nahrazení rozpouštědla nebo metodiky stanovení

DOPLŇUJÍCÍ DOTAZY – VEDOUcí PRÁCE, OPONENT

- **Vedoucí práce**
 - ∅ - nejsou
- **Oponent práce**
 - „Jaké jsou dle vašeho názoru limity kalcinační metody?“
 - Objem pece
 - Kalcinační teplota vs. velikost ZT vs. druh materiálu ZT

DĚKUJI ZA POZORNOST