

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Iveta Podhorná

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Retence plniv ve speciálních papírech

Bc. Iveta Podhorná

Diplomová práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Iveta Podhorná**
Osobní číslo: **C18459**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie papíru a celulózových materiálů**
Téma práce: **Retence plnidel ve speciálních papírech**
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte dostupné informace o retenci plniv ovlivňující vlastnosti a proces výroby speciálních papírů, jakými jsou např. cigaretové papíry.
2. Proveďte rheosedimentační experimenty s papírovinou na výrobu cigaretového papíru s různou dávkou vybraných retenčních prostředků, včetně analýzy vyčeřených vod.
3. Sledujte vliv přídavku vybraného retenčního prostředku na výrobu a vlastnosti papíru v provozních podmínkách.
4. Získané výsledky a poznatky vyhodnoťte a zapracujte do diplomové práce.
5. Diplomovou práci vypracujte v souladu se směrnici Univerzity Pardubice č. 7/2019.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Břetislav Češek, CSc.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání diplomové práce: **20. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **7. května 2020**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 18. 5. 2020

Bc. Iveta Podhorná

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Břetislavu Češkovi, CSc. za odborné vedení a rady při zpracování této práce. Mé poděkování patří též panu Ing. Pavlovi Čulíkovi za odborný dohled a spolupráci při získávání údajů pro výzkumnou část práce.

ANOTACE

Práce se zabývá náhradou stávajícího retenčního prostředku používaného při výrobě speciálních tabákových papírů. V teoretické části byly popsány informace o retenci plniv ovlivňující vlastnosti a proces výroby tabákových papírů. Byly provedeny rheosedimentační experimenty s papírovinou pro výrobu tabákového papíru s různou dávkou vybraných retenčních prostředků, včetně analýzy vyčeřených vod. Byl sledován vliv přídatku vybraného retenčního prostředku na výrobu a vlastnosti vyráběného papíru v provozních podmínkách. Získané výsledky a poznatky byly vyhodnoceny, včetně ekonomických aspektů a zaznamenány v této diplomové práci.

KLÍČOVÁ SLOVA

retenční prostředky, speciální tabákové papíry, plnidla, rheosedimentace

TITLE

Retention of fillers in special papers

ANNOTATION

This work deals with replace of existing retention aid using for production special tobacco papers. Information about retention of fillers, which affect properties and process of tobacco paper production in the theoretical part were described. Rheosedimentation experiments were performed with slurry for tobacco paper production with different amount of selected retention aids, including clarified white water analysis. There was also performed a monitoring of selected retention aid addition to production and properties of produced paper in terms of production. The results and knowledge of the work were analysed including economical aspects and they were written in this diploma thesis.

KEYWORDS

retention aids, special tobacco papers, fillers, rheosedimentation

OBSAH

Seznam obrázků	11
Seznam tabulek.....	14
Seznam symbolů a zkratk.....	16
Úvod	18
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	19
1.1 Tvorba listu papíru	20
1.2 Papír a jeho podoba.....	20
1.3 Speciální tabákové papíry.....	21
1.3.1 Cigaretový papír	21
1.3.2 Roubíkový papír	21
1.4 Legislativa	21
1.5 Retence	22
1.6 Retenční prostředky	23
1.6.1 Guary	23
1.6.2 Nativní guar	24
1.6.3 Kationický guar	24
1.6.4 Kationický škrob	25
1.6.5 Polyethylenimin	25
1.7 Rheosedimentace	25
1.7.1 Teoretický popis rheosedimentace	28
1.7.2 Faktory ovlivňující rheosedimentaci	29
1.8 Stupeň mletí.....	29
1.9 Náboj.....	30
1.9.1 Použití měření náboje	31
1.10 Stanovení obsahu plnidel.....	31
1.11 Propustnost pro vzduch	32
1.12 Mechanické vlastnosti speciálních tabákových papírů	32
1.12.1 Pevnost v tahu	32
1.13 Optické vlastnosti speciálních tabákových papírů	34

1.13.1	Bělost.....	34
1.13.2	Opacita.....	34
1.13.3	Intenzita molety.....	35
1.14	Turbidimetrie	35
1.15	Zápach.....	35
2	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36
2.1	Výroba tabákových papírů na papírenském stroji	36
2.2	Druhy zkoumaných speciálních tabákových papírů	36
2.2.1	Cigaretový papír	36
2.2.2	Roubíkový papír	37
2.3	Odběrová místa a dávkování retenčních prostředků	37
2.3.1	Příprava retenčních prostředků v provozu papírny	38
2.4	Měření parametrů.....	39
2.4.1	Příprava aršíků	39
2.4.2	Rheosedimentace.....	39
2.4.3	Stanovení zákalu podsítových vod	41
2.4.4	Náboj	41
2.4.5	Stanovení obsahu uhličitanu vápenatého.....	42
2.4.6	Retence	42
2.4.7	Stupeň mletí	43
2.4.8	Pevnostní parametry	44
2.4.9	Optické vlastnosti	44
2.4.10	Propustnost pro vzduch	44
2.4.11	Variační koeficient	45
2.4.12	Stanovení intenzity molety	45
2.4.13	Stanovení zápachu papíru	46
3	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	47
3.1	Druh papíru: CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	47
3.1.1	Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách	47
3.1.2	Průběh výroby v laboratorních podmínkách.....	53
3.1.3	Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru.....	54

3.1.4	Průběh výroby na papírenském stroji	57
3.2	Druh papíru: CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	57
3.2.1	Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách	57
3.2.2	Průběh výroby v laboratorních podmínkách.....	64
3.2.3	Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru.....	65
3.2.4	Průběh výroby na papírenském stroji	68
3.3	Druh papíru: CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	68
3.3.1	Průběh výroby v laboratorních podmínkách.....	75
3.3.2	Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru.....	75
3.3.3	Průběh výroby na papírenském stroji	78
3.4	Druh papíru: CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	79
3.4.1	Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách	79
3.4.2	Průběh výroby v laboratorních podmínkách.....	85
3.4.3	Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru.....	86
3.4.4	Průběh výroby na papírenském stroji	88
3.5	Druh papíru: NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	89
3.5.1	Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách	89
3.5.2	Průběh výroby v laboratorních podmínkách.....	96
3.5.3	Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a různých dávek polyethyleniminu na stejném druhu papíru	96
3.5.4	Průběh výroby na papírenském stroji	100
3.6	Cena retenčních prostředků	101
4	ZÁVĚR.....	103
	Použitá literatura.....	105

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schématické znázornění vzniku a zániku papírového pásu	20
Obrázek 2: Vzorec Guaru (Polygalactomannanu) [2]	23
Obrázek 3: Modifikace Guaru (Polygalactomannanu) [2].....	24
Obrázek 4: Princip rheosedimentace [8].....	26
Obrázek 5: Příklad závislosti výšky rozhraní na čase [4]	26
Obrázek 6: Verifikace závislosti výšky rozhraní na čase [4].....	27
Obrázek 7: Měřicí cela Mütek™ PCD – 04.....	30
Obrázek 8: Schéma konstantní části papírenského stroje [11].....	37
Obrázek 9: Profil papíru napříč PS.....	45
Obrázek 10: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	48
Obrázek 11: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	48
Obrázek 12: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	49
Obrázek 13: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	49
Obrázek 14: Vliv dávkování PEI na náboj u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	50
Obrázek 15: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	50
Obrázek 16: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	51
Obrázek 17: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI	51
Obrázek 18: Závislost koncentrace síťoviny na dávce PEI	52
Obrázek 19: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu.....	52
Obrázek 20: Závislost koncentrace síťoviny na dávce škrobu.....	52
Obrázek 21: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guarou a bez.....	56
Obrázek 22: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guarou a bez...56	
Obrázek 23: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	59
Obrázek 24: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	59
Obrázek 25: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	60
Obrázek 26: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	60

Obrázek 27: Vliv dávkování PEI na náboj u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	61
Obrázek 28: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	61
Obrázek 29: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	62
Obrázek 30: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI	62
Obrázek 31: Závislost koncentrace síťoviny na dávce PEI	63
Obrázek 32: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu.....	63
Obrázek 33: Závislost koncentrace síťoviny na dávce škrobu.....	63
Obrázek 34: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guary a bez.....	67
Obrázek 35: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guary a bez..	67
Obrázek 36: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	69
Obrázek 37: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	70
Obrázek 38: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	70
Obrázek 39: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	71
Obrázek 40: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	71
Obrázek 41: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	72
Obrázek 42: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	72
Obrázek 43: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI	73
Obrázek 44: Závislost koncentrace síťoviny na dávce PEI	73
Obrázek 45: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu.....	73
Obrázek 46: Závislost koncentrace síťoviny na dávce škrobu.....	74
Obrázek 47: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guary a bez.....	77
Obrázek 48: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guary a bez....	78
Obrázek 49: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	80
Obrázek 50: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	80
Obrázek 51: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	81
Obrázek 52: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	81
Obrázek 53: Vliv dávkování PEI na náboj u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	82
Obrázek 54: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	82

Obrázek 55: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	83
Obrázek 56: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI	83
Obrázek 57: Závislost koncentrace síťoviny na dávce PEI	84
Obrázek 58: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu.....	84
Obrázek 59: Závislost koncentrace síťoviny na dávce škrobu.....	84
Obrázek 60: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s gžary a bez	88
Obrázek 61: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guary a bez ...	88
Obrázek 62: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	90
Obrázek 63: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	91
Obrázek 64: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	91
Obrázek 65: Vliv dávkování PEI na zákal u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	92
Obrázek 66: Vliv dávkování PEI na náboj u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	92
Obrázek 67: Vliv dávkování škrobu na zákal u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	93
Obrázek 68: Vliv dávkování škrobu na náboj u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	93
Obrázek 69: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI	94
Obrázek 70: Závislost koncentrace síťoviny na dávce PEI	94
Obrázek 71: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu.....	94
Obrázek 72: Závislost koncentrace síťoviny na dávce škrobu.....	95
Obrázek 73: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guary a bez	99
Obrázek 74: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guary a bez .	100

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti nativního guaru.....	24
Tabulka 2: Vlastnosti kationického guaru.....	24
Tabulka 3: Vlastnosti kationického škrobu typ A	25
Tabulka 4: Vlastnosti kationického škrobu typ B	25
Tabulka 5: Vlastnosti polyethyleniminu	25
Tabulka 6: Specifikace cigaretového papíru CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	36
Tabulka 7: Specifikace cigaretového papíru CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	36
Tabulka 8: Specifikace cigaretového papíru CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	36
Tabulka 9: Specifikace cigaretového papíru CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	37
Tabulka 10: Specifikace roubového papíru NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	37
Tabulka 11: Konzistence dávkovaného PEI.....	38
Tabulka 12: Naměřené hodnoty u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃ s PEI	47
Tabulka 13: Naměřené hodnoty u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃ se škrobem	47
Tabulka 14: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI.....	53
Tabulka 15: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu	53
Tabulka 16: Parametry nastavení papírenského stroje	54
Tabulka 17: Naměřené hodnoty u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃ na PS.....	54
Tabulka 18: Naměřené hodnoty náboje u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃ s guaru	55
Tabulka 19: Naměřené hodnoty náboje u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃ se škrobem	55
Tabulka 20: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	55
Tabulka 21: Naměřené hodnoty u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ s PEI.....	58
Tabulka 22: Naměřené hodnoty u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ se škrobem.....	58
Tabulka 23: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI.....	64
Tabulka 24: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu	64
Tabulka 25: Parametry nastavení papírenského stroje	65
Tabulka 26: Naměřené hodnoty u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ na PS	65
Tabulka 27: Naměřené hodnoty náboje u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ s guaru	66
Tabulka 28: Naměřené hodnoty náboje u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ se škrobem	66
Tabulka 29: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	67
Tabulka 30: Naměřené hodnoty u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ s PEI	68
Tabulka 31: Naměřené hodnoty u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ se škrobem	69
Tabulka 32: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI.....	74

Tabulka 33: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu	74
Tabulka 34: Parametry nastavení papírenského stroje	75
Tabulka 35: Naměřené hodnoty u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	76
Tabulka 36: Naměřené hodnoty náboje u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	76
Tabulka 37: Naměřené hodnoty náboje u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃ se škroby..	77
Tabulka 38: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	77
Tabulka 39: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃ s PEI.....	79
Tabulka 40: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃ se škrobem	79
Tabulka 41: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI.....	85
Tabulka 42: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu	85
Tabulka 43: Nastavení papírenského stroje	86
Tabulka 44: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃ na PS	86
Tabulka 45: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃ s guarý.....	87
Tabulka 46: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃ se škroby	87
Tabulka 47: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	87
Tabulka 48: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ s PEI.....	89
Tabulka 49: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ se škrobem	89
Tabulka 50: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI.....	95
Tabulka 51: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu	95
Tabulka 52: Parametry nastavení papírenského stroje	96
Tabulka 53: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ na PS	97
Tabulka 54: Parametry nastavení papírenského stroje	97
Tabulka 55: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ na PS	98
Tabulka 56: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ s guarý.....	98
Tabulka 57: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ s PEI.....	99
Tabulka 58: Vlastnosti používaného PEI u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	99
Tabulka 59: Ceny retenčních prostředků v době měření	101
Tabulka 60: Cena retenčního prostředku při použití guarů.....	101
Tabulka 61: Cena retenčního prostředku bez použití guarů.....	101

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

b	šířka [mm]
c_p^s	konzistence suspenze papíroviny [kg/m^3]
F	zatížení [N]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]
h	výška rozhraní síťovina – vyčerená voda [m]
h_0	počáteční výška rozhraní síťovina – vyčerená voda [m]
h_∞	celková výška suspenze papíroviny [m]
l_t	tržná délka [m]
l_0	tahem zatěžovaná délka [mm]
l_{\max}	délka proužku v okamžiku přetření [mm]
m	strukturní jednotka, která se v molekule guaru m -krát opakuje, (obrázek 2)
m	hmotnost [g], (rovnice 1.9)
m_s	plošná hmotnost [g/m^2]
R^2	koeficient determinace lineární regrese
t	čas [s]
V	objem [ml]
v_s	rheosedimentační rychlost [m/s]
v_0	rychlost částic tvořících síťovinu [m/s]
x_1	koncentrace zhomogenizované suspenze [kg/m^3]

Řecká písmena

α	konstanta [s/m], (rovnice 1.2)
β	konstanta [m^{-1}], (rovnice 1.2)
δ	tažnost [%]
ρ	objemová hustota suspenze [kg/m^3]

Zkratky

a.s.	absolutně suchý
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertungen (federální instituce veřejného práva Spolkové republiky Německo)
CIE	bělost (whiteness)

CP	cigaretový papír
CU	Coresta Unit - jednotka propustnosti pro vzduch
D65	standardizovaný zdroj světla
DV	dlouhovláknitá buničina
EBC	jednotka zákalu používaná v pivovarech
FDA	Food and drug administration (Úřad pro kontrolu potravin a léčiv USA)
FNU	jednotka zákalu, Formazine Nephelometrics Units
ISEGA	mezinárodní analytická laboratoř
ISO	bělost (brightness)
KV	krátkovláknitá buničina
M1	mannogalaktan 1 – nativní guar
M2	mannogalaktan 2 – kationický guar
NTU	jednotka zákalu, Nephelometric Turbidity Unit
NPW	roubikový papír
PCD	typ přístroje pro měření náboje
PEI	polyethylenimin
PS	papírenský stroj
SR	Schopper-Riegler
TEF	jednotka zákalu
TVO	German tobacco ordinance (Německý zákon vztažený na tabákové výrobky)
VK	variační koeficient
ZF	jednotka zákalu

ÚVOD

Existují snahy o zefektivnění retenčního procesu při výrobě tabákových papírů s důrazem na hospodárnost chemikálií a dosažení požadovaných parametrů vyráběných tabákových papírů.

Pojem retence neznamena jen zachycení jednotlivých složek papíroviny v listu papíru, ale je s ní spojena celá řada dalších efektů jako je odvodnění papíroviny, zaklížení, charakter rozdělení částic plnidel a dalších složek papíroviny v listu papíru. Dále má retence vliv na vlastnosti už finálně vyrobeného papíru jako jsou mechanické a optické vlastnosti, dvoustrannost papíru, homogennost jeho struktury, pórovitost atd.

Problematika retence plnidel a vláken je poměrně starou, avšak stále diskutovanou záležitostí. Plnidla jsou v dnešní době používána pro snížení nákladů na vláknité suroviny z důvodu jejich ceny. Dále se dávkuje do papíroviny ke zlepšení některých vlastností vyráběného papíru. Plnění papíru s hodnotou a mechanismem retence úzce souvisí. Cílem této diplomové práce bylo nalézt alternativní nahrazení používaných guarů jiným retenčním prostředkem s ohledem na jeho účinnost a cenu.

Diplomová práce je členěna na čtyři kapitoly: na část teoretickou a část experimentální, kapitolou s výsledky měření a diskuzí dosažených výsledků, poslední kapitolou je závěr práce.

První kapitola je zaměřena na literární rešerši, kde jsou z dostupné literatury popsány podmínky retence.

Ve druhé kapitole jsou popsány experimentální podmínky a používané provozní aparatury. Jsou zde zmíněny obecné postupy prováděných experimentů s důrazem na všechny proměnné podmínky a dávkování jednotlivých chemikálií.

Ve třetí kapitole jsou podrobně rozepsány výsledky jednotlivých měření, jsou dány navzájem do souvislostí a je diskutován jejich teoretický podklad a možné vysvětlení vzniklé změny při daných podmínkách na základě prostudovaných teoretických podkladů z literatury.

V poslední kapitole nalezneme závěrečné shrnutí získaných poznatků nejen o vlivu různých podmínek, které byly studovány při odvodňování papíroviny, ale také o vlivu samotných retenčních prostředků na vlastnosti vyráběného tabákového papíru.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Diplomová práce se zabývala náhradou používaných guarů jinými retenčními prostředky při výrobě tabákových papírů na papírenském stroji. Guary se v OP papírně, s.r.o. Olšany používají jako standardní retenční prostředky pro výrobu těchto speciálních papírů. Z důvodu změny evropské legislativy je používání guarů jako retenčních prostředků ohroženo. Ke sledování retence plniv v tabákovém papíru byla využita metoda tzv. rheosedimentace, měření náboje, zákalu podsítových vod a vliv těchto vlastností na parametry vyráběného papíru. Dále byla sledována koncentrace a vlastnosti koloidních složek pro zajištění maximální depozice plniv v papírovině.

Plnění papíru úzce souvisí s velikostí a mechanismem retence. Plnidla se do papíru přidávají pro dosažení optimálních optických vlastností papíru. U cigaretového papíru mají plnidla vliv na rychlost spalování. Vysoký obsah uhličitanu vápenatého v těchto papírech má negativní vliv na kroucení papíru při spalování. Velký obsah plnidla způsobí zvýšenou dvoustrannost papíru. Optické vlastnosti jsou charakterizovány bělostí a především opacitou. Vedle pozitivních efektů plnění papíru se objevují i negativní jevy. S rostoucím množstvím plnidla v papíru dochází ke zhoršení jeho mechanických vlastností. Vysvětlit důvod zhoršování mechanických vlastností s rostoucím množstvím plnidla, je složitější neboť záleží nejen na velikosti, ale i tvaru částic plnidla. Zvětšováním velikosti kompaktních částic plnidla klesá množství přerušovaných mezivlákněných vazeb. Místo plnidla je mezivlákněný prostor vyplněn vzduchem. Kromě velikosti a tvaru plnidla, hraje důležitou roli rozložení částic plnidla napříč listem papíru. Čím je rozložení rovnoměrnější, tím jsou za srovnatelných podmínek mechanické vlastnosti lepší a naopak [1].

Optické vlastnosti papíru jsou dány rozptylem a absorpcí světla papírem. Bělost je určena zastoupením jednotlivých komponent tvořící papír. Naproti tomu opacita je dána rozptylem světla, který je určen množstvím a velikostí diskontinuit s rozdílným indexem lomu. Rozptyl světla stoupá s růstem velikosti rozdílných indexů lomu diskontinuit a poklesem jejich velikosti [1].

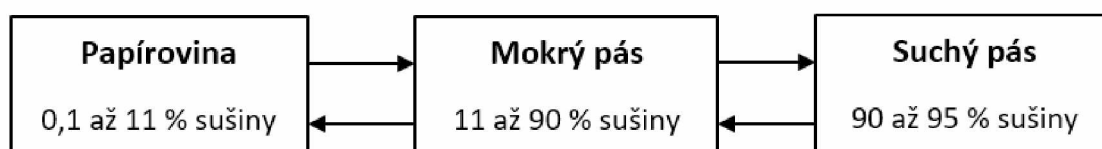
Technologie plnění papíru spočívá v dávkování plnidel do papírenské suspenze, ve které dochází k vzájemné interakci za přítomnosti retenčních a dalších pomocných prostředků. Zefektivňování výroby resp. rychlosti papírenského stroje, výrazně zvýšilo význam retenčních prostředků v papírenském průmyslu.

1.1 Tvorba listu papíru

Speciální tabákové papíry se vyrábí na konstrukčně upravených papírenských strojích, aby se dosáhlo požadované gramáže, pevnosti a pórovitosti. K tvorbě listu papíru dochází v sítové části papírenského stroje při odvodňování tzv. papíroviny. Papírovinou rozumíme směs vláken, plniv a pomocných prostředků. Papírovina přichází na síto papírenského stroje, kde dochází k formaci a odvodnění papíroviny. Podsítové vody jsou zachycovány do speciálních žlabů umístěných pod sítím papírenského stroje. V sítové části musí dojít k takovému odvodnění papíroviny, aby mokřý papírový pás byl schopen přenosu do lisové části, tzv. musí mít dostatečnou iniciální pevnost. V lisové části dochází k mechanickému odvodnění papírového pásu soustavou lisových válců. Zbytek vázané vody v papírovém pásu je následně odstraňován v sušící sekci papírenského stroje. Na klížícím lise dochází k aplikaci aditiv hoření a papír je dosušen v dosušecí části papírenského stroje. Na konci papírenského stroje dochází k navíjení papírového pásu na tzv. tambory.

1.2 Papír a jeho podoba

Než vznikne finální podoba vyráběného papíru s požadovanými vlastnostmi, papírová hmota projde těmito formami:



Obrázek 1: Schématické znázornění vzniku a zániku papírového pásu

Tyto tři formy papíru jsou spojovány se vznikem nebo zánikem papíru. Při rozvláknování buničiny ve vodě nastává počátek vzniku vazebného systému, neboť jednotlivé částice papíroviny se volně pohybují. V sítové části papírenského stroje nastává nárůst vazebného systému. Jednotlivé složky v papírovině spolu navzájem interagují pomocí hydratačních sil a vzniká zesílení papírenské suspenze tzv. mokřý pás. Mokřý pás papíru je schopen přejít do lisové části díky adhezi složek papíroviny. Při následném odstranění vázané vody z papíru, vznikají mezi vlákny vodíkové vazby a tím i poslední nejpevnější forma papíru tzv. suchý pás. U cigaretových papírů se sušina suchého pásu papíru pohybuje okolo 95 %.

1.3 Speciální tabákové papíry

Historie výroby tabákového papíru v OP papírně, s.r.o. sahá do roku 1870 a dnes je uznávaným výrobcem speciálních tabákových papírů. Tyto papíry jsou speciální v tom, že jejich vlastnosti jsou upraveny pro konkrétní použití.

OP papírna, s.r.o. se orientuje na výrobu dvou druhů tabákových papírů:

1.3.1 Cigaretový papír

Cigaretový papír se používá jako obalový papír pro fixaci tabáku v cigaretě. Gramáže cigaretového papíru se pohybují v rozmezí 10 až 30 g/m² s propustností pro vzduch 5 až 130 CU. Mezi složky cigaretového papíru patří 68 až 90 % buničiny, 8 až 30 % plnidla, 1 % aditiva hoření a 1 % pomocné prostředky. Celkové složení vstupních surovin však závisí na druhu cigaretového papíru.

1.3.2 Roubíkový papír

Roubíkový papír se používá jako obal filtru. Gramáže roubíkového papíru se pohybují v rozmezí 24 až 100 g/m². Mezi složky roubíkového papíru patří 83 % buničiny, 16 % plnidla a 1 % pomocné prostředky.

1.4 Legislativa

Jak již bylo zmíněno, speciální tabákové papíry obsahují kromě buničiny další látky chemické povahy, a proto podléhají celé řadě zákonů. Zákony, kterými se řídí speciální tabákové papíry:

- TVO – *German tobacco ordinance* je německá vyhláška o tabákových výrobcích, která vznikla v roce 1977. I když dnes už není v platnosti, byla základním kamenem legislativy speciálních tabákových papírů dlouhé roky a dodnes se jí některé firmy drží [12].
- FDA – *Food and Drug Administration* je norma zodpovědná za ochranu a dohled nad bezpečností potravin, léků a tabákových výrobků v USA [13].
- BfR – *German Recommendation XXXVI* je doporučení pro materiál z papíru a lepenky, které mají přijít do styku s potravinami nebo léky.

OP papírna, s.r.o. pro potvrzení kvality a získání certifikátu kvality tabákového papíru se využívá dvou akreditovaných laboratoří:

- ISEGA – uznávaná mezinárodní analytická laboratoř a certifikační institut pro papírenský průmysl.
- Labor Dr. Böhm – jedna z nejznámějších a nejstarších potravinářských laboratoří s akreditací pro papírové produkty.

1.5 Retence

Retence plnidel a ostatních složek papíroviny je v podstatě jejich mechanické zachycení a fyzikálně-chemické zachycení na vláknech papíroviny způsobené adsorpčními silami při odvodňování papíroviny. Adsorpční síly mohou vyvolat takové vzájemné interakce jednotlivých komponent, které mohou způsobovat vznik kompaktních a relativně rigidních agregátů z částí plnidel nebo nadýchaných chomáčků vláken. Z hlediska dosažení co nejhomogennější struktury vyráběného papíru je adsorpce plnidel na velká a hrubá vlákna nejvýhodnější [1].

Cílem retence, je mimo jiné, i rovnoměrné zesílení papíroviny při odvodňování v sítové části papírenského stroje.

Druhy retence vláknitých a nevláknitých složek papíroviny:

a) *Mechanická retence*

Mechanická část retence je dána způsobem odvodnění papíroviny v sítové části, respektive filtrací pomocí mechanických sil. Při mechanické retenci dochází k zadržení částic o velikosti větší než 5 μm .

b) *Fyzikálně-chemická retence*

Fyzikálně-chemická retence je dána adsorpcí jemného podílu respektive plnidla na povrchu vláken. Dále také koagulací a flokulací jednotlivých částic do větších celků, které jsou schopny mechanické retence. Při fyzikálně-chemické retenci dochází k zadržení částic o velikosti menší než 5 μm .

c) *Celková retence*

Udává poměr množství sledované látky zachycené v listu papíru k množství této složky do systému vstupujícího jako surovina.

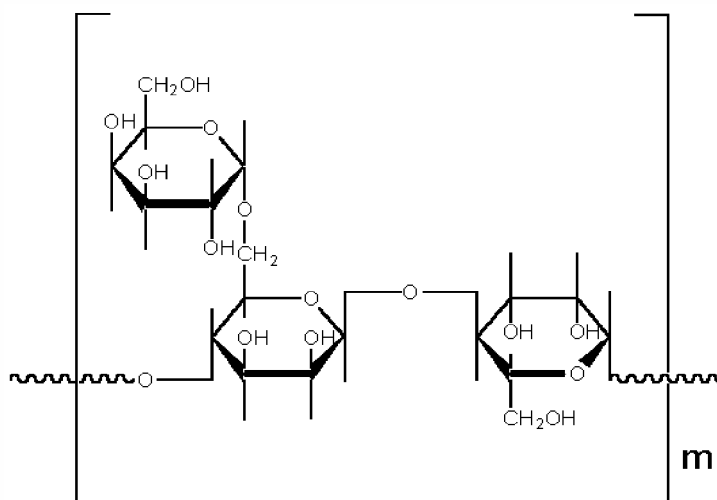
1.6 Retenční prostředky

Pro zvýšení retence na papírenském stroji se používají různé druhy retenčních prostředků.

1.6.1 Guary

Guarový prášek je v dnešní době známou surovinou, pro svou výbornou zahušťovací schopnost se používá jako stabilizátor, zahušťovadlo a emulgátor. Guar je polysacharid získaný ze semen rostliny *Cyamopsis tetragonolobus*, která se pěstuje v oblasti Indie a Pákistánu. Lusk obsahuje 10 až 12 semen, které vypadají podobně jako zrna čočky. Získání guaru ze semene je založena na termo-mechanickém procesu odstranění slupek a klíčků. Zbylá část je upravena další technologií do formy prášku, který obsahuje 95 % čistého polysacharidu a zbytek tvoří bílkoviny, vlákna a popel. Při tomto termomechanickém procesu se nepoužívají žádná rozpouštědla ani chemikálie. Vzniklý odpad bohatý na proteiny, jako jsou slupky a klíčky, je využit jako krmivo pro dobytek.

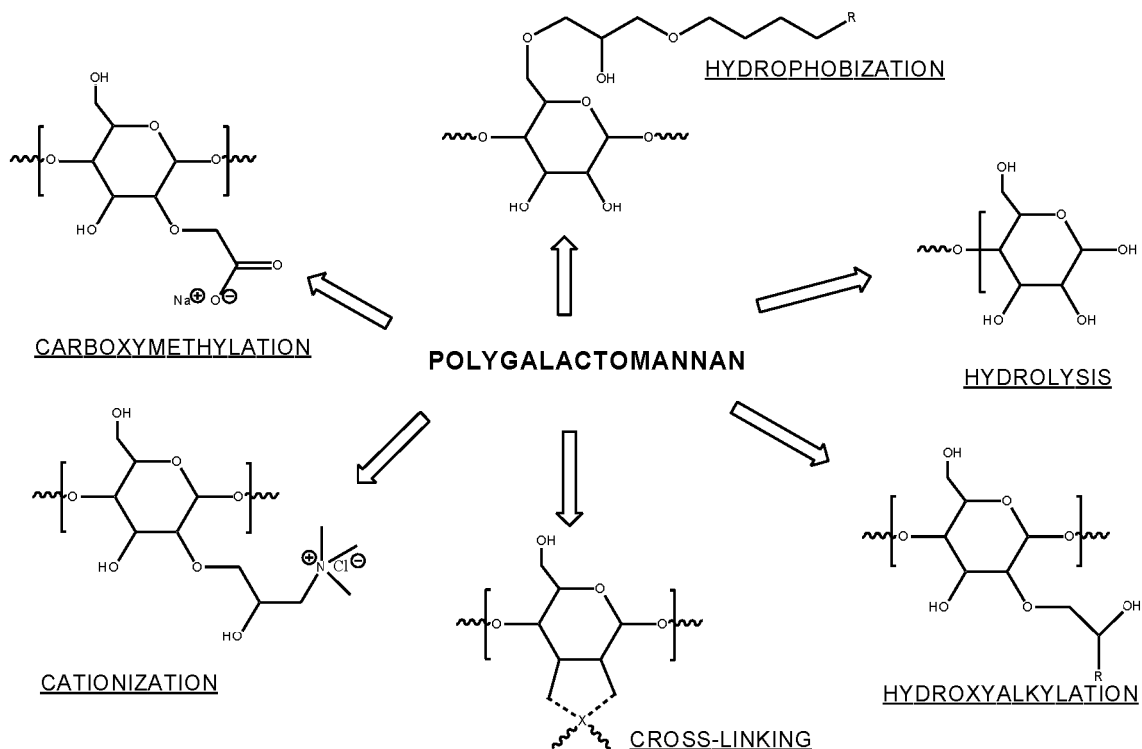
Guar (Polygalactomannan)



Obrázek 2: Vzorec Guar (Polygalactomannanu) [2]

Chemická struktura guaru poskytuje této látce určité vlastnosti, jako je rozpustnost ve studené vodě, vysoká reaktivita a viskozita.

Díky své struktuře může guar (Polygalactomannan) reagovat s řadou reaktantů a vytvářet různé modifikace. Řada těchto modifikací má velký význam v různých průmyslových odvětvích. Kdy každé odvětví využívá konkrétní derivát guaru, podle požadovaných vlastností.



Obrázek 3: Modifikace Guarů (Polygalactomannanu) [2]

1.6.2 Nativní guar

Nativní guar je netoxický přípravek na bázi přírodního polymeru (polysacharid), který je biologicky zcela odbouratelný.

Tabulka 1: Vlastnosti nativního guaru

registrační číslo CAS	9000 – 30 – 0
skupenství	prášek
barva	slabě béžová
pH	6 – 8 (1% roztok ve vodě)

1.6.3 Kationický guar

Kationický guar je netoxický přípravek na bázi chemicky modifikovaného, přírodního polymeru (polysacharid), který je biologicky zcela odbouratelný.

Tabulka 2: Vlastnosti kationického guaru

registrační číslo CAS	65497 – 29 – 2
skupenství	prášek
barva	béžová
pH	6 (3% roztok ve vodě)

1.6.4 Kationický škrob

Pro měření byly použity dva typy kationického škrobu typ A a typ B, které se lišily na základě substituce a rozdílnou viskozitou.

Typ A (K 102)

Tabulka 3: Vlastnosti kationického škrobu typ A

<i>viskozita</i>	45 mPa·s
<i>vlhkost</i>	18 %
<i>pH</i>	3 – 6

Typ B (K 105)

Tabulka 4: Vlastnosti kationického škrobu typ B

<i>viskozita</i>	12 mPa·s
<i>vlhkost</i>	18 %
<i>pH</i>	3 – 6

1.6.5 Polyethylenimin

Polyethylenimin je netoxický kationický vodný roztok s vysokou molekulovou hmotností.

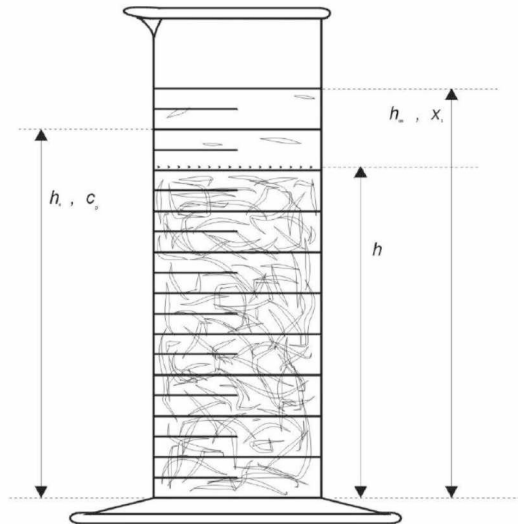
Tabulka 5: Vlastnosti polyethyleniminu

<i>registrační číslo</i>	114133 – 44 – 7
<i>skupenství</i>	kapalné
<i>barva</i>	žlutá
<i>pH</i>	8,3
<i>hustota při 20 °C</i>	1,06 g/cm ³

1.7 Rheosedimentace

Princip rheosedimentace

Metoda rheosedimentace je založena na sledování a popisu kinetiky samovolného pohybu vytvořené síťoviny z vláknitých a nevláknitých složek suspenze při sedimentaci. Síťovina je definována jako určitá kompaktní fáze prostupující kapalinou a vyznačující se zřetelným rozhraním vytvořené síťoviny a kapaliny. Síťovina se tvoří až po dosažení určité koncentrace suspendovaných látek, cca 1 kg/m³ [3]. Vznik rheosedimentující síťoviny způsobuje hydratační vazebný systém, který při sušení papíroviny přechází na systém vodíkových vazeb.



Obrázek 4: Princip rheosedimentace [8]

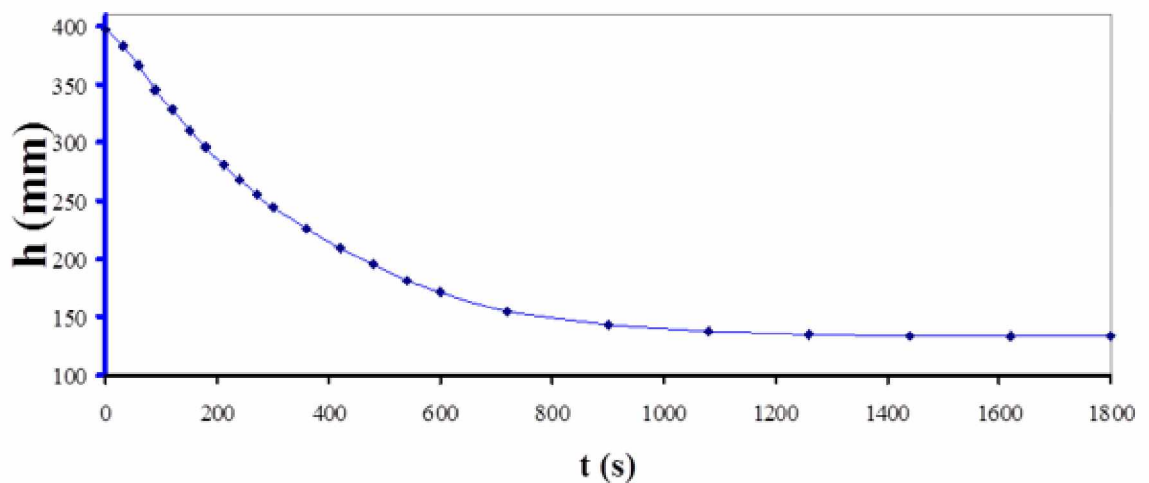
Při rheosedimentaci lze pohyb síťoviny popsat obecnou rovnicí kontinuity (1.1):

$$\frac{d\rho}{dt} + \text{div}(\rho \cdot v) = 0, \quad (1.1)$$

kde: $v = - (dh/dt)$ – je rychlost poklesu rozhraní vyčerená voda - vláknitá síťovina,
pro $t = 0$ je $h = h_0$,

pro $t > 0$ je $h < h_0$,

ρ – je objemová hustota vláknité síťoviny, tj. objem pevných částic vztažený na jednotku objemu volné vody [4].



Obrázek 5: Příklad závislosti výšky rozhraní na čase [4]

Závislost výšky h rheosedimentující síťoviny na čase t , je třeba linearizovat podle následující rovnice (1.2) :

$$\frac{t}{h_0 - h} = \alpha + \beta \cdot t, \quad (1.2)$$

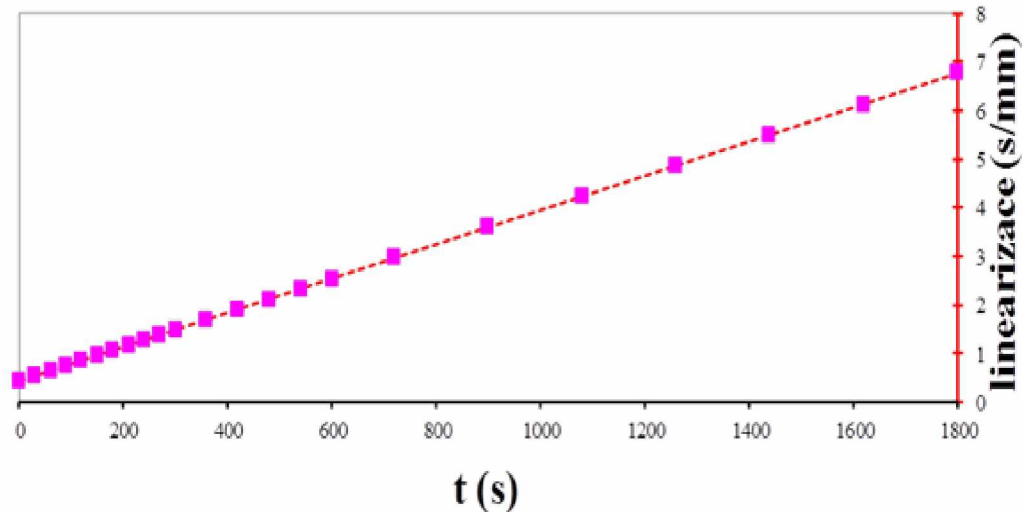
kde: t – je čas měření [s],

h_0 – je výška rozhraní síťovina - vyčeřená voda v m na počátku měření v čase $t = 0$,

h – je výška rozhraní síťovina - vyčeřená voda [m] v čase t ,

α – je konstanta [s/m], vyjadřuje převrácenou hodnotu rychlosti pohybu částic tvořících síťovinu v čase $t = 0$,

β – je konstanta [m⁻¹], charakterizuje konečnou koncentraci vláknité sítě – c_k .



Obrázek 6: Verifikace závislosti výšky rozhraní na čase [4]

Výpočet standardní rheosedimentační rychlosti v_s vztažené pro počáteční koncentraci suspenze papíroviny $c_p^s = 1 \text{ kg/m}^3$, lze provést pomocí dvou na čase nezávislých konstant α a β :

$$v_s = \frac{1}{\alpha} = \frac{c_p^2 \cdot v_0 \cdot (c_k \cdot c_p^s)^2}{(c_p^s)^2 \cdot (c_k - c_p)^2}, \quad (1.3)$$

počáteční koncentrace síťoviny c_p odpovídající koncentraci celé suspenze pro dosažení výšky h_0 [kg/m³]:

$$c_p = \frac{h_\infty \cdot x_1}{h_0}, \quad (1.4)$$

konečná koncentrace rheosedimentující suspenze c_k resp. síťoviny dosažená za nekonečnou dobu klesání [kg/m^3]:

$$c_k = \frac{h_\infty \cdot x_1}{h_0 \cdot \frac{1}{\beta}}, \quad (1.5)$$

kde: v_0 – je rychlost částic tvořících síťovinu,

h_∞ – je celková výška suspenze papíroviny ve válci [m],

x_1 – je koncentrace suspenze rovnoměrně zhomogenizované a používané k měření rheosedimentace [kg/m^3].

Nerheosedimentující složky papíroviny deformují tvar křivek závislosti výšky síťoviny h na čase t . Tato zkušenost je velmi často pozorována na začátku rheosedimentujícího procesu. Sklon papíroviny k rheosedimentaci se rapidně zhoršuje se zvyšující se hodnotou c_k , zvláště pak s rostoucí hodnotou v_s [4].

1.7.1 Teoretický popis rheosedimentace

Základem rheosedimentace je popsat sedimentaci zesíťovaných útvarů hydratačními vazbami, jako tomu dochází u opracovaných vláken buničiny. Z hlediska mechanismu sedimentace hydratovaných útvarů v suspenzi papíroviny, lze sedimentaci rozdělit do několika fází:

1. *prostá sedimentace* – jedná se o sedimentaci jednotlivých hydratovaných útvarů řídicí se obecným Stokesovým zákonem,
2. *sedimentace ve druhé fázi* – sedimentace řídicí se obecnou rovnicí kontinuity,
3. *přechodná oblast sedimentace* – děj, při kterém současně probíhá prostá sedimentace a sedimentace stlačováním síťoviny.

Jednotlivé fáze sedimentace jsou charakterizovány jiným chováním suspenze papíroviny. První fáze označovaná jako prostá sedimentace probíhá při takových koncentracích suspenze, při kterých není dosaženo kontaktu částic v suspenzi. Oproti tomu ve druhé fázi sedimentace

dochází ke kontaktu částic v suspenzi. Tím dochází ke vzniku síťoviny, která prostupuje celou suspenzí papíroviny.

Při sledování kinetiky klesání rozhraní síťovina – vyčřeňná voda se zpočátku, vzhledem k nestejnorožnému složení suspenzí papíroviny z hlediska geometrického, zastoupení jednotlivých vláknitých i nevláknitých útvarů, flokulačních i koagulačních schopností jednotlivých složek suspenze papíroviny apod. jedná se obvykle o třetí dějovou fázi nazývanou přechodná oblast sedimentace [6].

1.7.2 Faktory ovlivňující rheosedimentaci

Základním faktorem ovlivňujícím rheosedimentaci je stupeň opracování vláken. Čím je stupeň mletí buničiny větší, tím rheosedimentace probíhá pomaleji. Je potřeba rozlišovat i charakter mletí, kráticí vs. fibrilační mletí buničiny. Z toho plyne, že sledováním rychlosti rheosedimentace papíroviny lze určit charakter mlecího procesu. Počáteční rychlost rheosedimentace také ovlivňuje, zda byla buničina usušena či nikoliv. Sušená buničina rheosedimentuje značně rychleji než nikdy nesušená buničina za srovnatelných podmínek. V případě sušené buničiny je rozhodujícím hlediskem doba namáčení ve vodě. Čím déle se buničina namáčí, tím se rychlost rheosedimentace zvyšuje [6].

1.8 Stupeň mletí

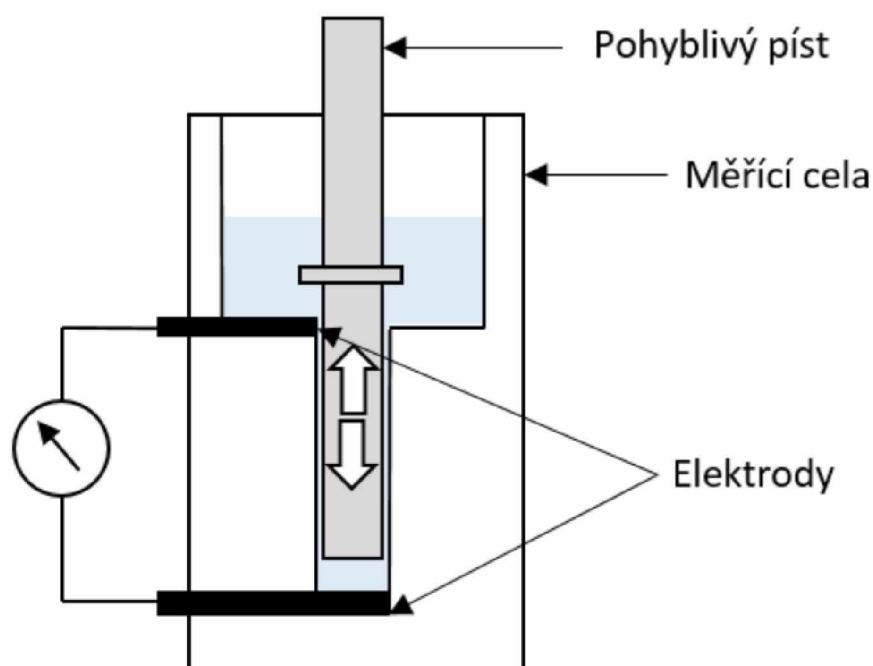
Stupeň mletí vyjadřuje odvodňovací schopnost papíroviny. Ke stanovení se používá přístroj podle Schoppera – Rieglera kalibrováný na 2 g a.s. buničiny. Přístroj se skládá z kovové nálevky opatřené dvěma výtakovými tubusy, na kterou se nasazuje válec s napjatým sítem o ploše 100 cm². Před samotnou zkouškou se síto přiklopí zvonem opatřeným po obvodu pryžovým těsněním, který se následně zvedá po nalití suspenze buničiny. Průměr výtakových tubusů a jejich umístění v nálevce se volí tak, aby voda protékala sítem a vytékala o rychlosti větší než 250 ml/min. Což způsobí, že bude vytékat postranním tubusem. Když průtoková rychlost klesne pod tuto hodnotu, odchází voda pouze svislým tubusem. Pod postranní tubus se umísťuje odměrný válec, který je navíc opatřen Schopperovou – Rieglerovou stupnicí. Číselný údaj stupně mletí SR vyjadřuje objem vody V [ml], který během zkoušky vytekl z postranního tubusu, odečtený od 1000 a dělený desíti [5]:

$$SR = \frac{1\,000 - V}{10}, \quad (1.6)$$

kde: V – je objem vody [ml].

1.9 Náboj

Stanovení náboje na přístroji Mütek™ PCD – 04 je založeno na měření potenciálního proudění. Přístroj je schematicky znázorněn na obrázku 7:



Obrázek 7: Měřicí cela Mütek™ PCD – 04

Ve středu plastové měřicí cely se nachází pohyblivý píst. Do měřicí cely se předkládá roztok obsahující koloidní a pevné látky. Tyto látky mají různý povrchový náboj, který je v roztoku vyrovnáván ekvivalentní koncentrací opačně nabitých iontů resp. protiionů.

Přítomné koloidní látky se za pomoci van der Waalsových sil adsorbují na povrchu plastové cely a pohybujícího se plastového pístu. Kmitající píst v měřicí cele vytváří v meziprostoru intenzivní proudění roztoku. Volné protiionty jsou strhávány a oddělovány z adsorbovaného povrchu. Ve vestavěných elektrodách umístěných v měřicí cele, protiionty vyvolají elektrický proud. Proudící potenciál s odpovídajícím znaménkem [mV] je znázorněn na displeji měřicího zařízení.

1.9.1 Použití měření náboje

Během posledního desetiletí se měření náboje v papírenském průmyslu stalo běžně používanou metodou, která slouží k učení:

- *Anionické znečištění* – jednoduchým a rychlým stanovením náboje ve filtrátu podsíťové vody jsou zjišťovány hladiny anionického znečištění u rozpuštěných anionických substancí v jakémkoliv místě výrobního procesu.
- *Náboj přísad* – k charakterizování chemických přísad stanovením hladin náboje při různých hodnotách pH se používá titrace náboje.
- *Úspora chemikálií* – měření Zeta potenciálů a nábojů v roztocích před přidáním chemikálií a po něm (kationaktivní škrob pro mokrou část papírenského stroje) umožňuje stanovit, zda některá přísada začala působit s vlákny nebo s anionickým znečištěním. Tímto způsobem lze optimalizovat dávkování chemikálií.
- *Regulace pěny* – neabsorbované přísady mají tendenci hromadit se v procesu a způsobovat pění. Díky měření náboje vláken a nábojů v roztocích lze odhadnout a optimalizovat adsorpční chování přísad [9].

1.10 Stanovení obsahu plnidel

Plnidla jsou obsažena především v tiskových a psacích papírech pro zlepšení opacity, hladkosti a způsobilosti k tisku. U zvláštních druhů papíru, jako je cigaretový papír, se přidavkem plnidla zajišťují specifické funkční vlastnosti a redukuje rychlost spalování. Jako plnidlo se u cigaretových papírů používá uhličitan vápenatý a u tiskových papírů i kaolín. Ke zvýšení bělosti a opacity u grafických papírů, se používá titanová běloba (oxid titaničitý) [5].

Z přírodních uhličitanů se na plnění papíru používá křída. Křída obsahuje asi 96 % uhličitanu vápenatého, jehož specifická hmotnost je 2,5 až 2,8 kg/dm³. Křída dodá speciálním tabákovým papírům měkkost, bělost, opacitu, vysokou nasákavost a hlavně reguluje rychlost hoření. Uhličitan hořečnatý má podobné vlastnosti, ale oproti uhličitanu vápenatému snižuje rychlost spalování. Celkově uhličitanová plniva jsou vhodná pro plnění papírů v neutrálním nebo alkalickém prostředí, protože při dlouhodobém uchovávání je papír chráněn účinku kyselého prostředí [10].

1.11 Propustnost pro vzduch

Propustností pro vzduch se rozumí schopnost papíru propouštět vzduch za stanovených podmínek. Základní jednotkou pro tabákové papíry je Coresta Unit [CU]. Propustnost je definována jako průtok vzduchu v mililitrech za minutu, který projde plochou vzorku o velikosti 1 cm² při podtlaku 1 kPa. Propustnost papíru pro vzduch je určována průchozími póry v jejich struktuře, které spojují obě strany a umožňují proudění vzduchu ve směru tlakového spádu. Na propustnost má vliv především poloměr pórů a jejich délka, která se pokládá za shodnou s tloušťkou vzorku. Propustnost pro vzduch je závislá na pórovitosti papíru a klesá s rostoucím stupněm mletí, obsahem plniv a stupněm zaklížení [5].

Propustnost pro vzduch je u cigaretových papírů důležitým parametrem. Čím více kyslíku se dostane k tabáku, tím méně škodlivin bude v jeho kouři, protože dojde k jeho dokonalejšímu spalování.

1.12 Mechanické vlastnosti speciálních tabákových papírů

Působením vnější mechanické síly na papír, dochází k jeho deformaci či destrukci. Speciální tabákové papíry jsou různě namáhány a jejich pevnost je dána pevností jednotlivých vláken a vazeb mezi nimi. Pevnostní parametry cigaretových papírů jsou důležité při následném zpracování u zákazníků.

1.12.1 Pevnost v tahu

Při zkoušce papíru je vzorek vystaven vnějšímu zatížení, které způsobí jeho přetržení, za definovaných podmínek se zjišťuje tržné zatížení, pevnost v tahu, tržná délka, tažnost a práce potřebná k přetržení tahem podle normy [5].

Tržné zatížení F_{max} udávané [kN/m], je zatížení změřené při zkoušce tahem, při němž dochází k přetržení proužku papíru stanovené délky a jednotkové šířky za stanovených podmínek [5].

Pevnost v tahu σ_t [MPa], je největší zatížení vztažené na jednotku počátečního průřezu zkušební vzorku, které tento vzorek snese při zkoušce tahem. Pevnost v tahu se počítá podle následující rovnice:

$$\sigma_t = \frac{F}{bt}, \quad (1.7)$$

kde: F – je zatížení [N],

b – je šířka zkušebního proužku papíru [mm],

t – je tloušťka zkušebního proužku papíru [mm] [5].

Tržná délka l_t [m] je mírou pevnosti papíru různých plošných hmotností. Je vyjádřena pomyslnou délkou pásu papíru, při které by se volně zavěšený papír přetrhl vlastní tíhou v místě závěsu. Tržná délka se počítá podle rovnice:

$$l_t = \frac{F}{m_s b g} \cdot 10^6, \quad (1.8)$$

Nebo podle rovnice:

$$l_t = \frac{l_0 F}{m g}, \quad (1.9)$$

kde: F – je zatížení při přetrhu vzorku [N],

m_s – je plošná hmotnost zkušebního proužku papíru [g/m^2],

b – je šířka zkušebního proužku papíru [mm],

l_0 – je měřená (tahem zatěžovaná) délka zkušebního proužku papíru [mm],

m – je hmotnost měřené části zkušebního proužku papíru [g],

g – je tíhové zrychlení [m/s^2], které se rovná 9,8 [5].

Protážení tzv. tažnost δ je relativní prodloužení zkušebního proužku papíru při zkoušce tahem v okamžiku přetržení. Vyjadřuje se v procentech původní délky a počítá se podle rovnice:

$$\delta = \frac{(\Delta l)_{max}}{l_0} \cdot 100, \quad (1.10)$$

kde: $(\Delta l)_{\max}$ – je absolutní prodloužení při přetržení [$(\Delta l)_{\max} = l_{\max} - l_0$],

l_0 – je měřená délka proužku [mm],

l_{\max} – je délka proužku v okamžiku přetržení [mm] [5].

U tabákových papírů se pevnost v tahu obvykle udává v jednotkách [N/15 mm], event. i v [kg/15 mm]. Z toho důvodu je tato jednotka v diplomové práci používána.

1.13 Optické vlastnosti speciálních tabákových papírů

Sledováním optických vlastností speciálních tabákových papírů lze pomocí sjednocených hodnot určit dosažení požadovaných parametrů a potlačit tak rozdílnou subjektivitu pozorovatele. Na optické vlastnosti papíru má vliv celá řada aspektů, jako je technologie výroby papíru na papírenském stroji a vlastnosti použitých surovin. V první řadě čistota používané provozní vody, bělost vstupní buničiny, druh plniv a pomocných látek.

1.13.1 Bělost

Bělost je definována reflektivitou povrchu měřeného vzorku. Lze ji stanovit pomocí dvou způsobů, jako bělost ISO nebo bělost CIE. Při měření bělosti ISO (Brightness) se používá standardizovaný zdroj světla D65 a odražené světlo je snímáno přes modrý filtr o vlnové délce 457 nm. Hodnota bělosti zcela nekoreluje se subjektivním lidským okem a je méně citlivá na obsah opticky zjasňujících prostředků obsažených v papíru. Při měření bělosti CIE (Whiteness) se používá standardizovaný zdroj světla D65 a odražené světlo je snímáno v celém rozsahu viditelného záření. Tato hodnota bělosti odpovídá vidění lidského oka a včetně vlivu opticky zjasňujících prostředků. Bělost je důležitým parametrem kvůli vzhledu výsledné cigarety.

1.13.2 Opacita

Neprůsvitnost, čili opacita, je vlastnost papíru nepropouštět světelné paprsky. Neprůsvitný je takový papír, který veškeré dopadající světelné paprsky odráží a pohlcuje [5]. Opacitu vyjadřujeme v procentech zadržitého světla. Opacita je definována jako poměr činitele světelného odrazu jedné vrstvy papíru na černé podložce k limitnímu činiteli světelnému odrazu toho samého vzorku. Opacita je důležitá nejen kvůli vzhledu výsledné cigarety, ale hlavně kvůli neprůhlednosti. Zákazník u klasických cigaret požaduje, aby tabák neprosvítal.

1.13.3 Intenzita molety

Jedná se o měření intenzity resp. ostrosti pravidelné struktury podélných a příčných proužků vytvářených razícím lisem.

1.14 Turbidimetrie

Turbidimetrie je optická metoda ke stanovení stupně zákalu. Princip turbidimetrie spočívá v měření intenzity zeslabeného záření v důsledku absorpce světelných paprsků na jemně rozptýlených částicích. Pro měření zákalu se používají spektrofotometry a absorpční fotometry.

Zákal bývá ve většině případů uváděn v jednotkách FNU (Formazine Nephelometrics Units). Formazin je definovaný jako zákalový standart v přístrojích pro měření zákalu. Jednotka FNU je oficiálně uznávanou jednotkou zákalu. V praxi se však objevují i další jednotky jako je NTU (Nephelometric Turbidity Unit), ZF, TEF nebo SiO₂, popřípadě v pivovarech s jednotkou EBC. Pokud přístroje měří v souladu s normou ČSN EN ISO 7027 „*Jakost vod – stanovení zákalu*“, platí následující vztahy [7]:

$$1 \text{ ZF} = 1 \text{ TEF} = 1 \text{ NTU} = 1 \text{ FNU}$$

$$1 \text{ EBC} = 4 \text{ ZF}$$

$$3,25 \text{ SiO}_2 = 1 \text{ ZF}$$

1.15 Zápach

Zápach je nepříjemný čichový vjem, způsobený mikrobiologickou degradací bioorganické hmoty. Degradaci způsobují spory, které jsou součástí životního cyklu bakterií, hub, řas a prvoků v nepříznivých podmínkách. Vlivem vlhkosti či smočení se mikropóry v papíru zaplní vodou, vzniknou optimální podmínky, spory se začnou množit a začíná degradace papírů. To je způsobeno delignifikací papíru, protože lignin obsažený ve dřevě brání této mikrobiologické degradaci. Při odumírání mikroorganismů obsahujících aminokyseliny se sírou vzniká charakteristický sirný zápach, který je u tabákových papírů nežádoucí.

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Výroba tabákových papírů na papírenském stroji

Pro experimentální účely byl využit papírenský stroj, určený převážně k výrobě cigaretového a roubíkového papíru s gramáží 10 až 30 g/m². Rychlost papírenského stroje se pohybuje v rozmezí 220 až 500 m/min v závislosti na druhu papíru.

2.2 Druhy zkoumaných speciálních tabákových papírů

2.2.1 Cigaretový papír

Tabulka 6: Specifikace cigaretového papíru CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃

CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	
<i>propustnost pro vzduch</i>	60 CU
<i>gramáž</i>	25 g/m ²
<i>optické vlastnosti papíru</i>	moleta
<i>obsah CaCO₃</i>	32 %
<i>obsah aditiv hoření</i>	0,7 %

Tabulka 7: Specifikace cigaretového papíru CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	
<i>propustnost pro vzduch</i>	70 CU
<i>gramáž</i>	26 g/m ²
<i>optické vlastnosti papíru</i>	moleta
<i>obsah CaCO₃</i>	30 %
<i>obsah aditiv hoření</i>	0,6 %

Tabulka 8: Specifikace cigaretového papíru CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	
<i>propustnost pro vzduch</i>	30 CU
<i>gramáž</i>	26 g/m ²
<i>optické vlastnosti papíru</i>	moleta
<i>obsah CaCO₃</i>	30 %
<i>obsah aditiv hoření</i>	1,0 %

Tabulka 9: Specifikace cigaretového papíru CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃

CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	
propustnost pro vzduch	130 CU
gramáž	26 g/m ²
optické vlastnosti papíru	moleta
obsah CaCO ₃	28 %
obsah aditiv hoření	1,0 %

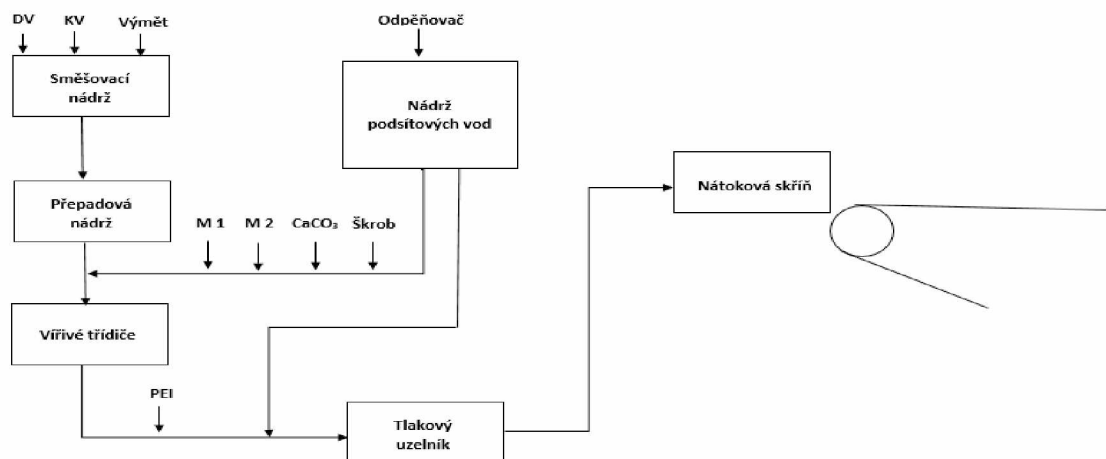
2.2.2 Roubíkový papír

Tabulka 10: Specifikace roubíkového papíru NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃

NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃	
propustnost pro vzduch	10 CU
gramáž	27 g/m ²
obsah CaCO ₃	16 %
obsah aditiv hoření	bez přídavku

2.3 Odběrová místa a dávkování retenčních prostředků

Odběrová místa byla určena v konstantní části papírenského stroje.



Obrázek 8: Schéma konstantní části papírenského stroje [11]

2.3.1 Příprava retenčních prostředků v provozu papírny

Příprava Mannogalaktanu 1 – nativní guar

Do nádrže bylo dávkováno 8 kg M1 a 1000 litrů čisté vody. Tato směs byla 1 minutu míchána a následně byla zahřáta na teplotu 65 °C. Po dosažení této teploty byla opět 1 minutu míchána a podle potřeby naředěna vodou na konzistenci 0,4 %. Takto připravená směs byla vedena do konstantní části papírenského stoje za přepadovou nádrž.

Příprava Mannogalaktanu 2 – kationický guar

Do nádrže bylo dávkováno 5 kg M2 a 500 litrů čisté vody. Tato směs byla 1 minutu míchána a následně byla zahřáta na teplotu 60 °C. Po dosažení této teploty byla opět 1 minutu míchána a podle potřeby naředěna vodou na konzistenci 0,5 %. Takto připravená směs byla vedena do konstantní části papírenského stoje před první směšovací čerpadlo.

Příprava škrobu – typ A

Do nádrže bylo dávkováno 8,1 kg škrobu/t vody a promícháno. Takto připravená směs byla vedena do konstantní části papírenského stoje před první směšovací čerpadlo.

Příprava škrobu – typ B

Do nádrže bylo dávkováno 15 kg škrobu/t vody a promícháno. Takto připravená směs byla vedena do konstantní části papírenského stoje před tlakový uzelník.

Příprava Polyethyleniminu

Pro laboratorní účely byl 1% polyethylenimin naředěn ve 250 ml odměrné baňce vodou v poměru 1:100. Byly vypočítány přídatky polyethyleniminu s ohledem na požadovanou koncentraci podle následující tabulky:

Tabulka 11: Konzistence dávkovaného PEI

<i>koncentrace polyethyleniminu [%]</i>	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
<i>dávka polyethyleniminu [g]</i>	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125

Na papírenský stroj byl polyethylenimin dávkován bez ředění přímo do konstantní části papírenského stroje.

2.4 Měření parametrů

2.4.1 Příprava aršíků

Do nádoby bylo odebráno 5 litrů suspenze z nátoku papírenského stroje. Z toho 200 ml vzorku bylo přefiltrováno přes Büchnerovu nálevku. Filtrační papír se vzorkem byl usušen a po zchlazení v exsikátoru zvážen. Následně byla vypočtena konzistence [g/l]:

$$\text{konzistence} = (m_1 - m_2) \cdot 5, \quad (2.1)$$

kde: m_1 – je hmotnost vzorku + filtrační papír v g,

m_2 – je hmotnost filtračního papíru v g,

5 – faktor přepočtu na 1 litr suspenze.

Pomocí konzistence bylo určeno množství 1,2 litru nátoku, které bylo odebráno do směšovací nádrže “egalizační nádoba“. Toto množství bylo doplněno vodou na 10 litrů. Po důkladném promíchání byl odebrán 1 litr suspenze na tvorbu zkušební aršíku. Na archovacím zařízení byl vytvořen aršík, který byl usušen v sušící části archovače. Po usušení byl aršík cca 30 minut v klimatizované místnosti (23 °C a 50 % relativní vlhkost) a poté byl zvážen. Pro odběr přesného množství suspenze buničiny z egalizační nádoby byl proveden následující přepočet objemu suspenze:

$$\text{Přepočet} = \frac{1000 \cdot m_1}{m_2} \quad (2.2)$$

kde: m_1 – je cílová hmotnost aršíku v g,

m_2 – je skutečná hmotnost aršíků v g.

Bylo odebráno přepočítané množství a bylo vytvořeno 10 aršíků pro následné stanovení mechanických a optických vlastností.

2.4.2 Rheosedimentace

Přístroje a pomůcky:

- skleněný válec
- skleněná tyčinka

- kruhové míchadlo
- stopky
- filtrační aparatura

Postup:

Pro měření rheosedimentace bylo potřeba získat přibližně 2 g a.s. vláken, tak aby výsledná koncentrace suspenze činila 1 g/l.

Pro měření byl využit skleněný válec o objemu 2 litry opatřený výškovou stupnicí s hodnotami od 0 do 400 mm. Maximální výška 400 mm odpovídala maximálnímu objemu 2 litry. V případě mokrého vzorku papíroviny, bylo potřeba pomocí sušiny vypočítat a navážít potřebné množství do odměrného válce. Toto navážené množství bylo pomalu po stěně doplněno vodou tak, aby nedošlo k zavzdušnění vzorku do celého objemu. Voda potřebná k naředění vzorku musela být odstátá (minimálně přes noc v kbelíku). Vzniklé bublinky na stěnách a ve vláknech byly odstraněny kruhovým mícháním papírové suspenze skleněnou tyčinkou. Poté byla suspenze důkladně promíchána speciálním míchadlem, na jehož konci byl kruhový element o průměru 8 cm se 4 kruhovými otvory o průměru 2 cm. Během míchání se muselo dbát na to, aby nebyla kruhová část míchadla vytažena nad hladinu suspenze papíroviny. Tím se zabránilo nežádoucímu zavzdušnění.

Po vytažení míchadla začalo vlastní měření rheosedimentace. Na začátku měření byla zaznamenána výška suspenze papíroviny ve válci h_{∞} , která odpovídá objemu 2 litry. V okamžiku kdy vzniklo viditelné rozhraní vyčeřená voda – síťovina, byly spuštěny stopky a zaznamenána výška rozhraní h_0 . Dále byla sledována výška rozhraní h v předepsaných časových intervalech. Prvních 5 minut po 30 sekundách, dalších 5 minut po 1 minutě, od 12. do 30. minuty po 3 minutách a nakonec po 5, 10 a 15 minutách. Celé měření rheosedimentace bylo ukončeno v okamžiku, kdy již nedocházelo ke stlačování resp. poklesu síťoviny ve válci.

V případě nejistoty přesnosti dávky vláken, bylo provedeno upřesnění pomocí filtrace celého objemu suspenze přes zvážený filtrační papír. Po jeho následném usušení při 105 °C a zvážení byla určena přesná konzistence suspenze.

Pro každý vzorek se měření provádělo 3x. Měření rheosedimentace bylo vyhodnoceno pomocí počítačového programu verifikací časové závislosti výšky síťoviny. Výsledkem každého měření byly hodnoty standardní sedimentační rychlosti v_s a konečné koncentrace síťoviny c_k .

2.4.3 Stanovení zákalu podsítových vod

Přístroje a pomůcky:

- turbidimetr

Postup:

Čistá kyveta byla 3x vypláchnuta cca 20 ml vzorku, uzavřena víčkem a několikrát důkladně protřepána. Po důkladném proplachu naplněna 30 ml vzorku, uzavřena ochranným víčkem a z vnější strany očištěna suchým hadříkem. Následně byla vložena do kyvetového otvoru v turbidimetru. Kyveta byla nastavena tak, aby šipka na označovacím proužku směřovala k indexové značce na turbidimetru. V přístroji proběhlo vlastní měření vzorku a na displeji se zobrazila výsledná hodnota.

2.4.4 Náboj

Přístroje a pomůcky:

- MütekTM PCD – 04

Postup:

Z mlecí linky byl odebrán vzorek pro měření o objemu 200 ml a následně byl přelit do odměrné kádinky o objemu 2 litry. Takto odebraný a přelitý vzorek se intenzivně promíchal za pomoci skleněné tyčinky. Poté byl filtrační kelímek ponořen do této kádinky se vzorkem. Přístroj byl vypláchnut čistou vodou. Měřící cela a posuvný píst byly očištěny speciálním kartáčkem. Bylo odebráno přesně 10 ml homogenizovaného vzorku a následně umístěno do měřící cely použitím pipety. Opatrně se vsunul píst. Měřící cela s posouvacím pístem a vzorkem se vsunula do PCD přístroje. Elektrody byly otočeny zadní částí k přístroji. Cela se zasunula podél vodící lišty, až se dotkla zadní části. Byl vytáhnut píst směrem nahoru a otočil se ve směru hodinových ručiček, aby se uzamkl. Byly vloženy titrační hadičky a bylo potřeba se ujistit, že špičky se ponořily do vzorku. Byl zadán název vzorku a stisknuto „OK“. Následným stisknutím „ON“ se spustil motor a potenciál proudění byl na zařízení zobrazován. Přibližně po 30 sekundách došlo k ustálení signálu. Bylo stisknuto tlačítko „START“, pro počátek titrace. Modul titrace byl automaticky vybrán opačně nabitým roztokem (anionický vzorek, použil se kationický roztok) a přidáním ke vzorku ve chvíli, kdy došlo k dosažení 0 mV. Bylo stisknuto tlačítko „OFF“, aby došlo k vypnutí motoru. Po ukončení měření bylo vždy nutné očistit měřící celu. Při 0 mV byl modul titrace automaticky zastaven a spotřeba roztoku v ml se zaznamenala

na displeji. Ideálně by se spotřeba roztoku měla pohybovat v rozmezí 0,2 až 10 ml, jinak by bylo nutné vzorek naředit (1:1). Aby byl zaznamenán náboj roztoku v eq/l bylo nutno stisknout tlačítko „Menu-Setup“, pak bylo stisknuto tlačítko „Titrant“ a byla nastavena změna z „ml“ na „µeq/l“.

2.4.5 Stanovení obsahu uhličitanu vápenatého

Přístroje a pomůcky:

- muflová pec s termostatem
- žihací kelímky
- exsikátor

Postup:

Bylo odebráno 250 ml buničiny a přefiltrováno přes Büchnerovu nálevku. Filtrační papír se vzorkem byl usušen a po zchladnutí v exsikátoru zvážen. Následně byla stanovena sušina v g/l a filtrační papír byl složen do žihacího kelímku. Kelímek byl v muflové peci při teplotě 525 °C po dobu 2 hodin. Po spálení byl kelímek uložen do exsikátoru a následně zvážen. Výpočet obsahu popela byl proveden podle následující rovnice:

$$Plnidla (\%) = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (2.3)$$

kde: m_1 – je cílová hmotnost aršíku v g,

m_2 – je skutečná hmotnost aršíků v g.

2.4.6 Retence

Postup:

Celková retence

Podíl hmotnosti vláken a plnidla zachycených na síť a celkové hmotnosti vláken a plnidla přicházejících na síť. Výpočet celkové retence byl proveden podle následující rovnice:

$$Retence\ celková (\%) = 100 - \left(\frac{\text{konzistence v okruhu}}{\text{konzistence v nátoku}} \right) \cdot 100 \quad (2.4)$$

Retence plnidel

Podíl hmotnosti plnidla zachyceného v papíru z daného množství suspenze papíroviny a celkové hmotnosti plnidla v této suspenzi. Výpočet retence plnidel byl proveden podle následující rovnice:

$$\text{Retence plnidel (\%)} = \frac{\text{obsah popela v papíru}}{\text{obsah popela v nátoce}} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Retence vláken

Podíl hmotnosti vláken zachycených na síti a celkové hmotnosti vláken přicházejících na síto. Výpočet retence vláken byl proveden podle následující rovnice:

$$\text{Retence vláken (\%)} = \frac{\text{vlákna ve vodním okruhu}}{\text{vlákna v nátoce}} \cdot 100 \quad (2.6)$$

2.4.7 Stupeň mletí

Přístroje a pomůcky:

- přístroj Schopper – Riegler
- speciální odměrný válec se stupnicí v SR

Postup:

Zkušební vzorek obsahoval 2 g a.s. vláken a byl naředěn přesně na objem 1 litr. Naplněný odměrný válec byl umístěn na vodorovnou podložku přístroje tak, aby se spodní meniskus hladiny kryl se značkou na odměrném válci.

Před každým měřením muselo být důkladně očištěno síto odvodňovací komory. Těsnící kužel se pomocí tlačítka spustil do odvodňovací komory. Pod přední výtokovou trubičku byl umístěn speciální odměrný válec. Pod zadní výtokovou trubičku se postavil druhý odměrný válec. Zkušební vzorek se rozmíchal několikanásobným přelitím do druhého odměrného válce. Takto rozmíchaný vzorek se rychle a plynule převedl do odvodňovací komory. Následně bylo stisknuto tlačítko START, tím došlo ke zvednutí těsnícího kužele a proběhlo měření. Vzorek se začal odvodňovat a voda odtékala sítkem a tekla do předního a současně i zadního odměrného válce. Když z přední výtokové trubice přestala kapat voda, bylo stisknuto tlačítko STOP. Na displeji zařízení se zobrazil výsledek v SR.

2.4.8 Pevnostní parametry

Přístroje a pomůcky:

- řezačka
- trhačka L&W TENSILE TESTER

Postup:

Ze zkoušených aršíků bylo vytvořeno 10 proužků o šířce 15 mm. Vzorek musel být před samotným měřením minimálně 20 minut klimatizován. Na trhačce byl zvolen program pro příslušný druh papíru a provedena zkouška z 10 proužků. Pokud se některý proužek přetrhl těsně u čelisti upínacího zařízení nebo neodpovídala doba přetrhu, bylo nutné tuto hodnotu vyloučit a přetřhnout nový proužek. Když byla 10x potvrzena správnost stanovení, trhačka automaticky vyhodnotila průměr tržné délky, tahové síly a protažení zkoušeného vzorku.

2.4.9 Optické vlastnosti

Přístroje a pomůcky:

- přístroj L&W ELREPHO 070/071

Postup:

Byly nachystány 3 aršíky z dané suspenze a přeloženy tak, aby vytvořily silnou vrstvu papíru. Tato vrstva byla proměřena na přístroji Elrepho 070/071.

2.4.10 Propustnost pro vzduch

Přístroje a pomůcky:

- přístroj Borgwaldt A10

Postup:

Ze dvou aršíků byly uříznuty 2 pásy. Z prvního pásu se stanovila porozita. Pokud byla shoda porozity a variačního koeficientu bylo měření ukončeno. Pokud byla porozita nebo variační koeficient v neshodě, bylo nutno proměřit druhý pásek a přidat toto měření k prvnímu.

2.4.11 Variační koeficient

Přístroje a pomůcky:

- přístroj Borgwaldt A10

Postup:

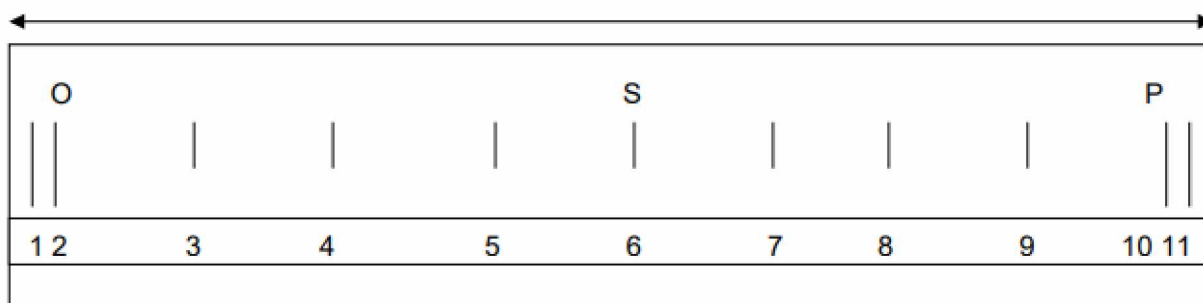
Hodnota variačního koeficientu je výstupem ze zařízení Borgwaldt A10 společně s propustností pro vzduch. Variační koeficient je charakteristikou variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny a výpočet byl proveden podle následující rovnice:

$$VK (\%) = \frac{\text{směrodatná odchylka}}{\text{průměrná hodnota}} \cdot 100 \quad (2.7)$$

U tabákových papírů je variační koeficient využíván jako míra tzv. rozkolísanosti propustnosti pro vzduch v celé šíři vyráběného papíru. Z toho důvodu byla hodnota variačního koeficientu sledována a je v diplomové práci uváděna.

2.4.12 Stanovení intenzity molety

Z profilu papíru napříč papírenským strojem byl vyříznut vzorkový pás o šířce 7 cm. Na vzorku byla označena strana obsluhy a strana pohonu papírenského stroje. Vzorek se začal měřit od strany obsluhy a tzv. plstěncovou stranou nahoře. Na vzorku byl označen střed. Na každou stranu od středu byly zaznačeny 3 značky po 22 cm. Na straně obsluhy a pohonu byly proměřeny pozice hned vedle sebe. Pro vyhodnocení byl použit laboratorní přístroj EMCO 3000, který je vyvinutý speciálně pro tento parametr, kdy se měří intenzita molety optickou cestou. Hodnota intenzity molety byla vyjádřena v interních jednotkách 0 až 20.



Obrázek 9: Profil papíru napříč PS

2.4.13 Stanovení zápachu papíru

Přístroje a pomůcky:

- sušárna
- skleněná láhev se zabroušeným hrdlem + uzávěr

Postup:

Z odebraných aršíků byly natrhány kousky o velikosti cca 5 x 5 cm, aby zaplnily ¼ skleněné lahve. Vzorky byly uloženy do lahví pro studenou zkoušku a zkoušku pro zahřátí. Vzorky pro zahřátí se ponechaly v sušárně při teplotě 80 ± 3 °C po dobu 24 h. Po uplynutí dané doby, vzorky byly vytaženy ze sušárny. Při senzoričtém vyhodnocení byly nejdříve hodnoceny vzorky studené a potom vzorky zahřáté (ne horké). Kontrola zápachu byla opětovně provedena i po úplném vychladnutí zahřátých vzorků. Vzorky byly hodnoceny stupnicí od 0 až 2, hodnota 0 je pro vzorek bez zápachu.

3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Proces retence byl sledován u pěti druhů speciálních tabákových papírů. Jako retenční činidla byly nejdříve použity ověřené guaru a následně se použily další retenční prostředky.

3.1 Druh papíru: CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃

3.1.1 Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách

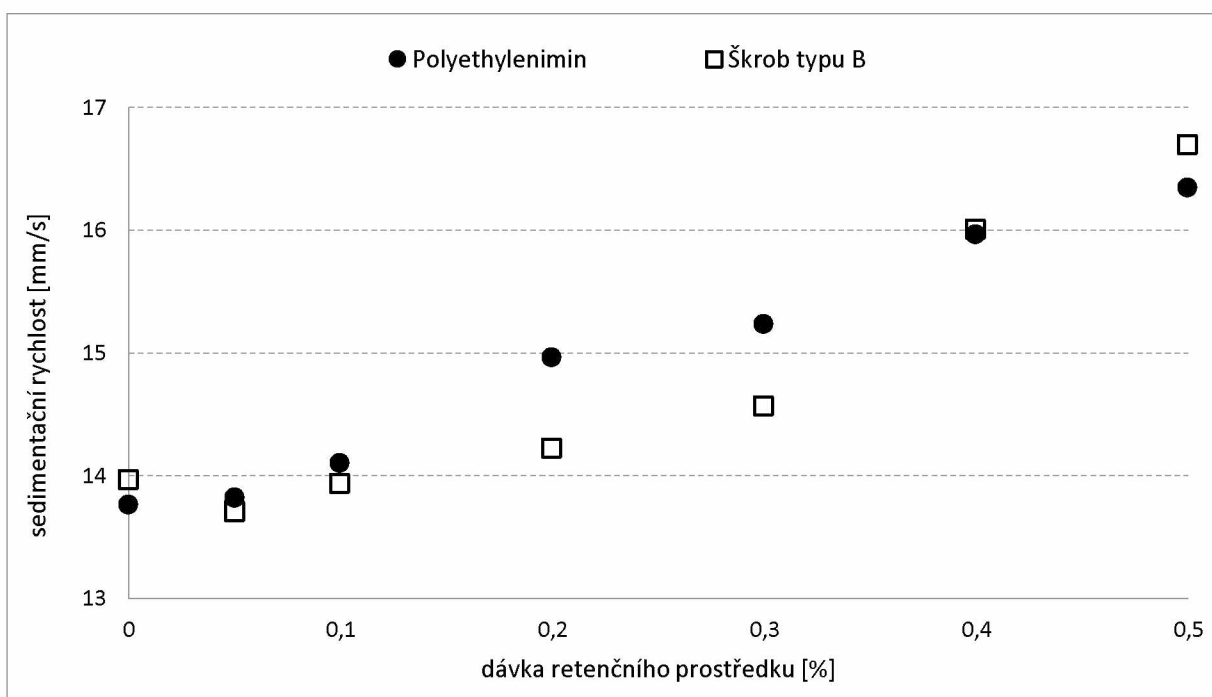
V laboratorních podmínkách byl sledován vliv retenčních prostředků na chování papíroviny při tzv. rheosedimentaci. Standardně používané guaru byly nahrazeny polyethyleniminem a kationickým škrobem.

Tabulka 12: Naměřené hodnoty u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ s PEI

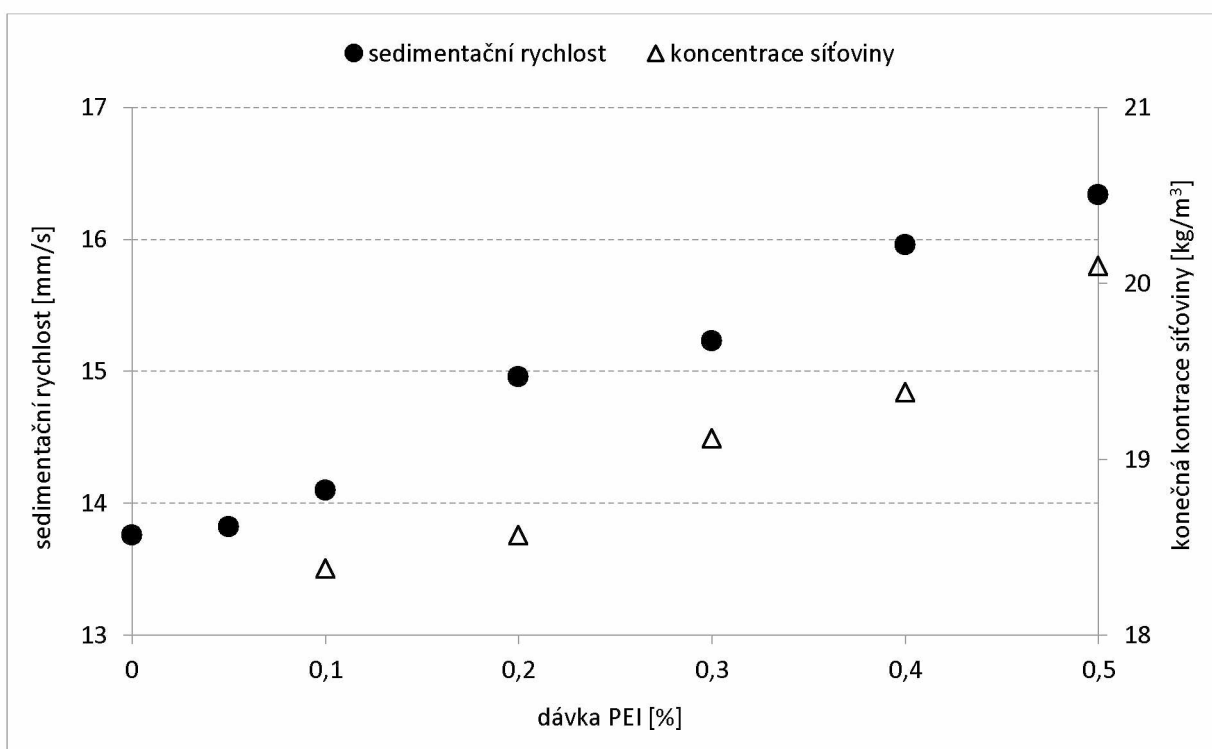
<i>dávka</i> <i>PEI [g]</i>	<i>koncentrace</i> <i>PEI [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sítoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[μeq/l]</i>
0	0	13,76	17,71	4,88	-20
0,0125	0,05	13,82	17,76	3,90	-19
0,025	0,1	14,10	18,38	3,30	-15
0,05	0,2	14,96	18,57	2,61	-14
0,075	0,3	15,23	19,12	1,33	-17
0,1	0,4	15,96	19,38	0,92	-13
0,125	0,5	16,34	20,10	0,84	-12

Tabulka 13: Naměřené hodnoty u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ se škrobem

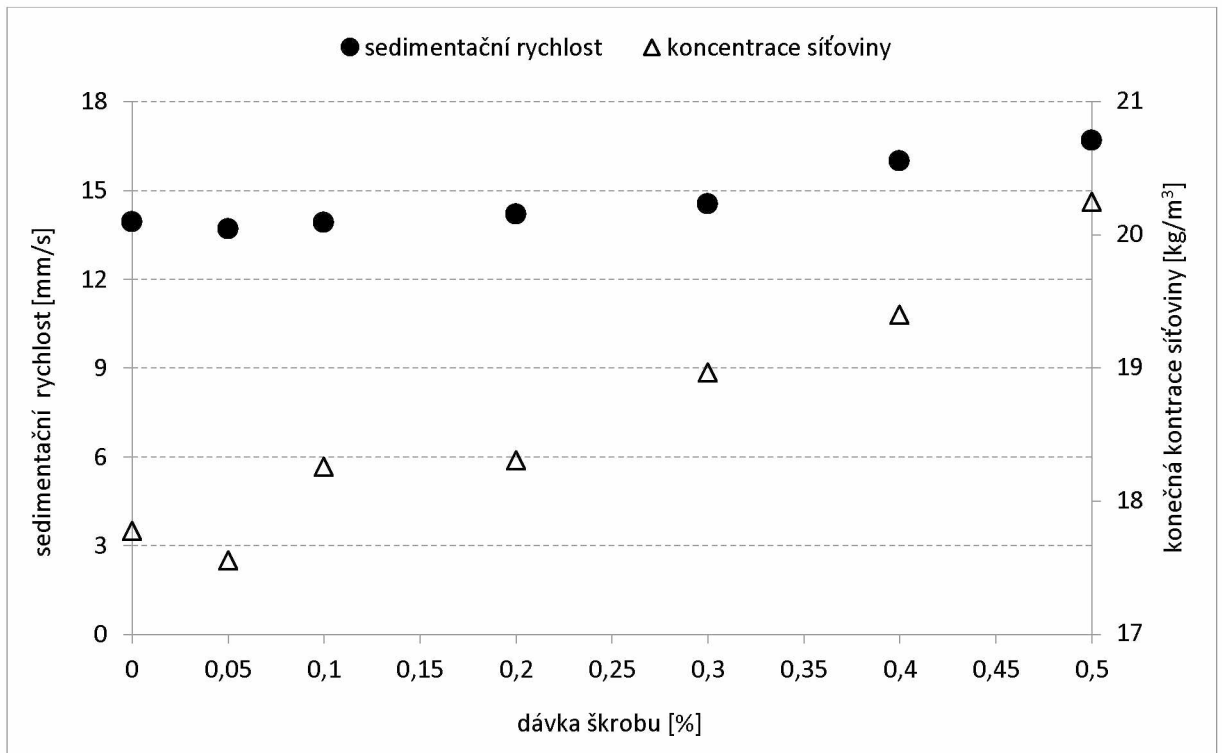
<i>dávka</i> <i>škrobu typu B [g]</i>	<i>koncentrace</i> <i>škrobu typu B [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sítoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[μeq/l]</i>
0	0	13,96	17,78	5,10	-19
0,0125	0,05	13,71	17,56	3,93	-13
0,025	0,1	13,93	18,26	3,65	-12
0,05	0,2	14,22	18,31	3,10	-20
0,075	0,3	14,56	18,97	2,92	-8
0,1	0,4	16,00	19,40	1,01	-7
0,125	0,5	16,69	20,25	0,96	-6,7



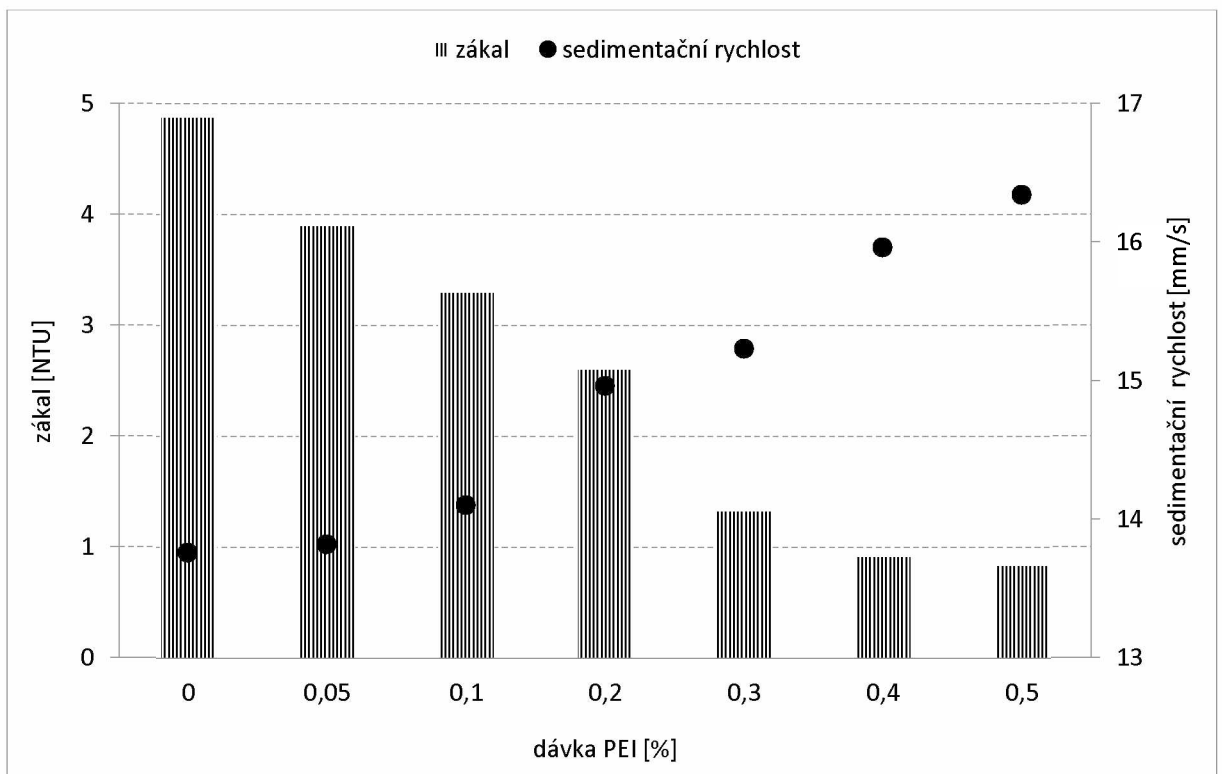
Obrázek 10: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



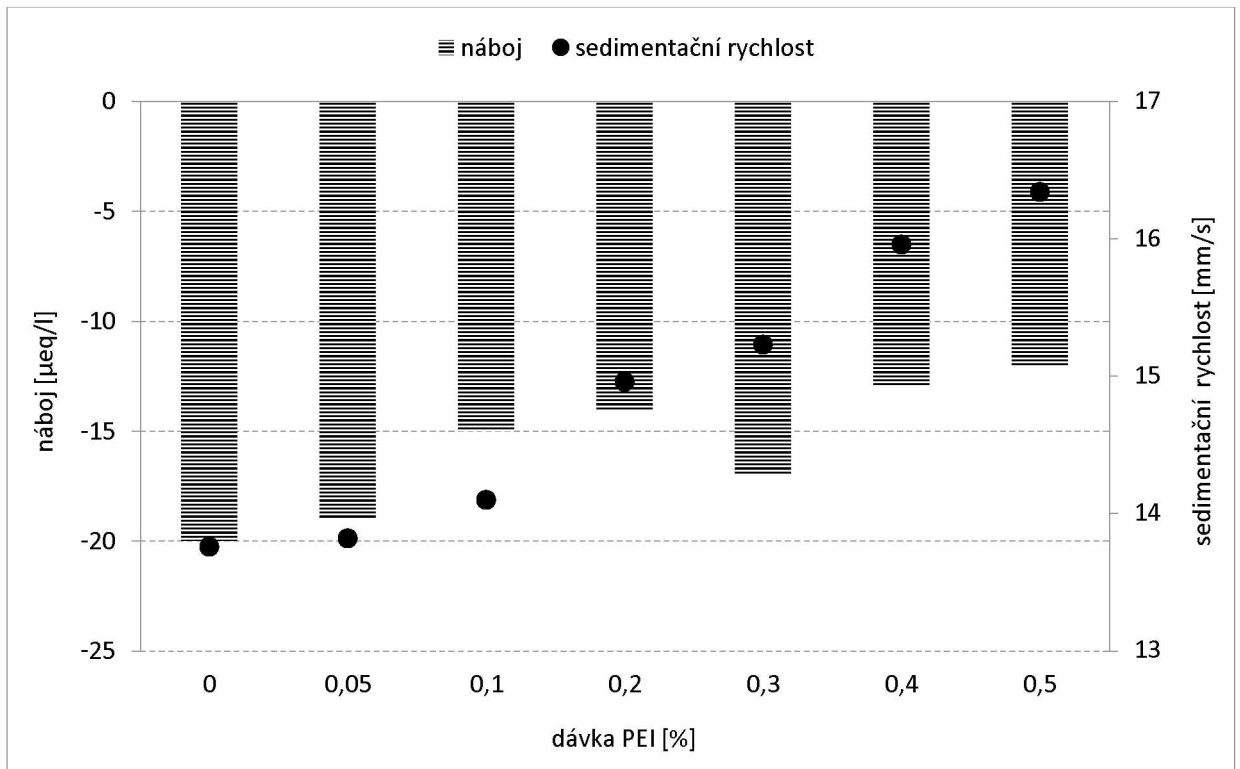
Obrázek 11: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



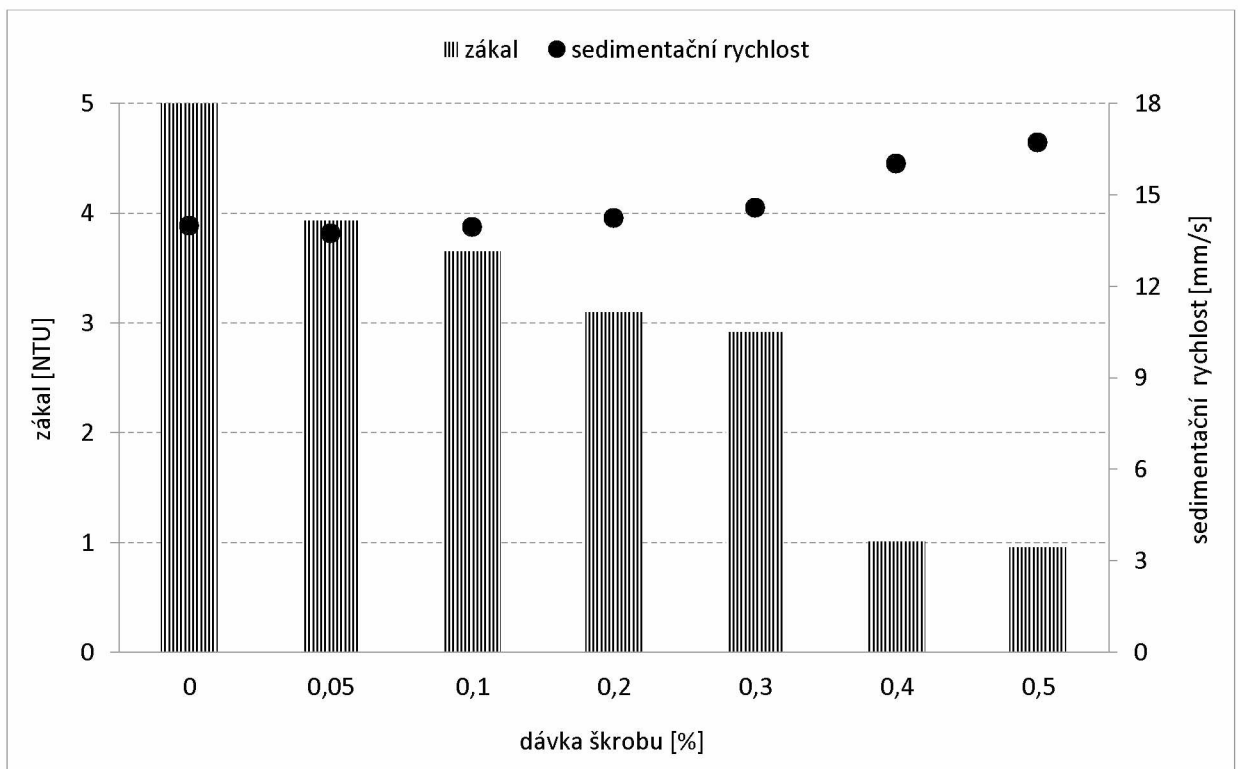
Obrázek 12: Vliv dávkování škrobu na parametry rhesedimentace u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



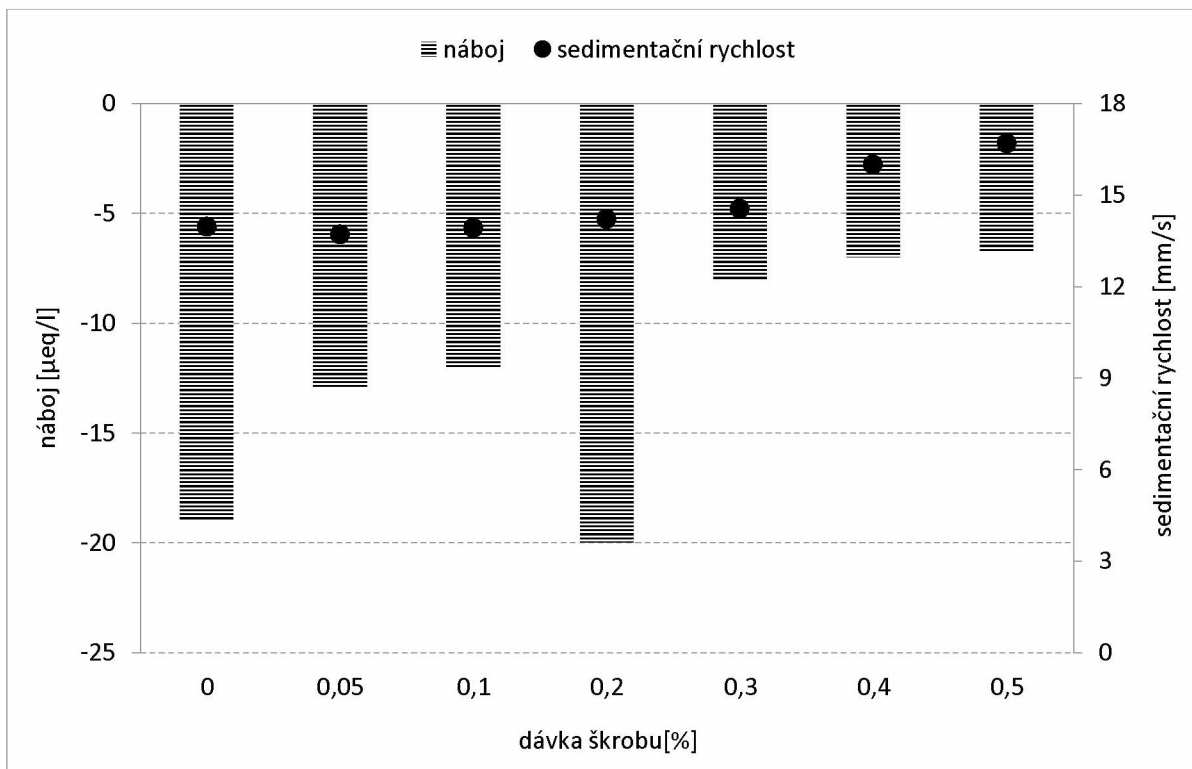
Obrázek 13: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



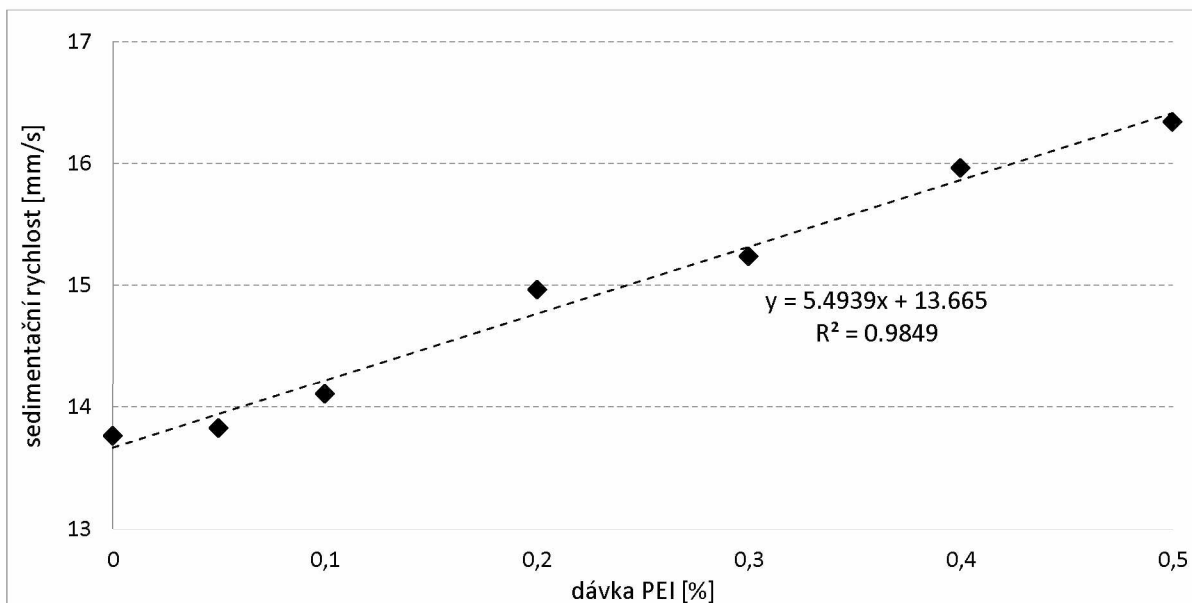
Obrázek 14: Vliv dávkování PEI na náboj u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



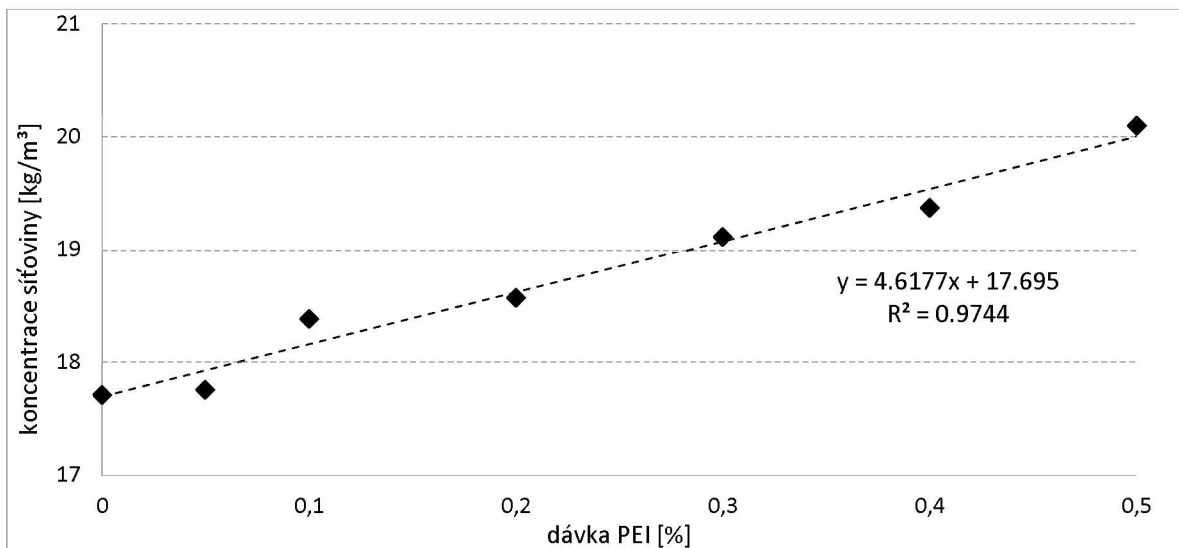
Obrázek 15: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



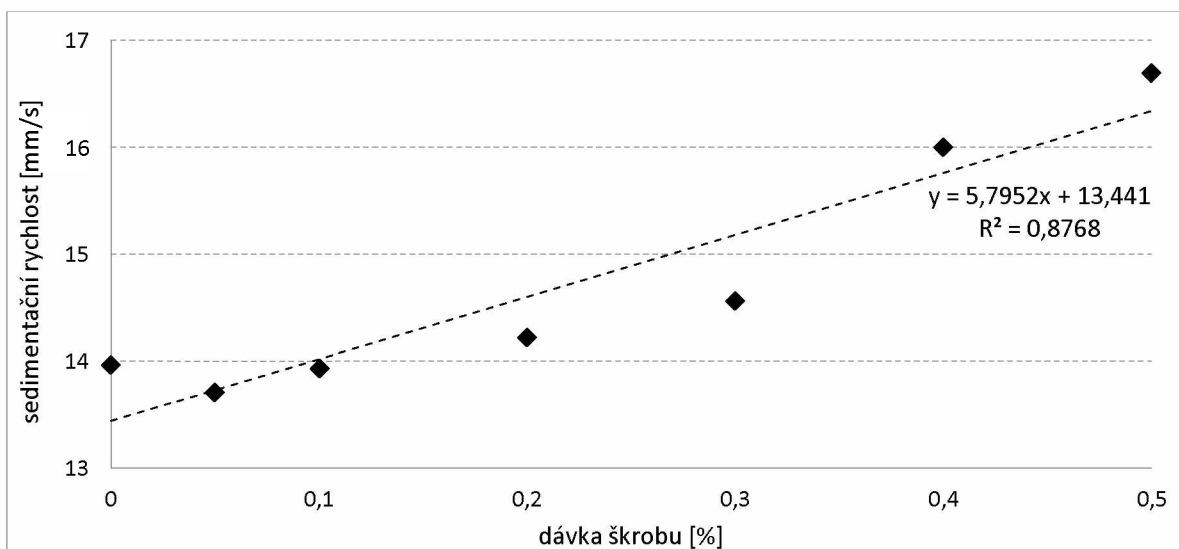
Obrázek 16: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃



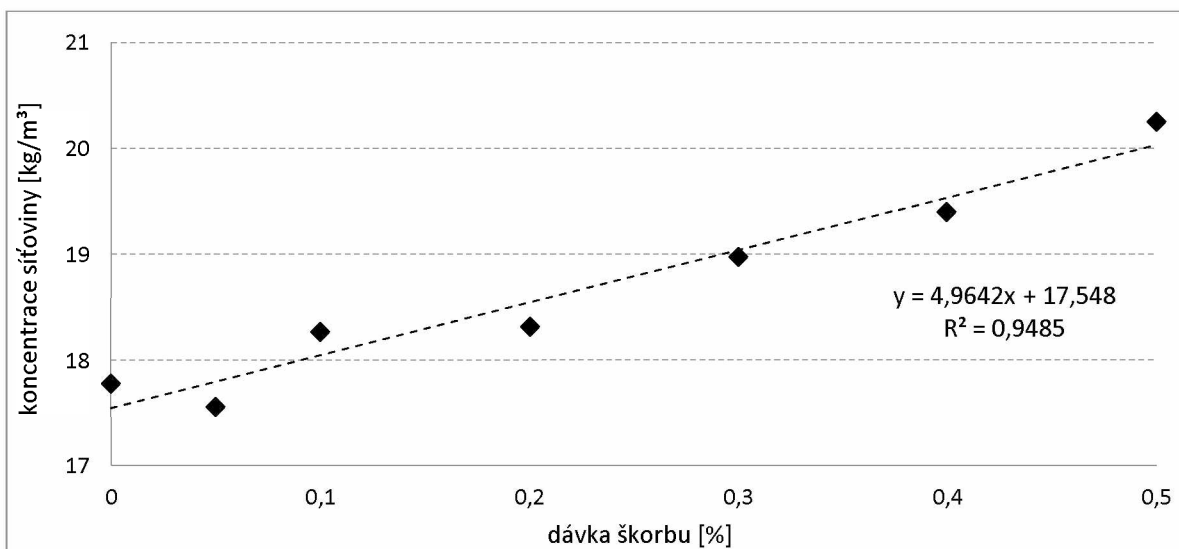
Obrázek 17: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI



Obrázek 18: Závislost koncentrace sířoviny na dávce PEI



Obrázek 19: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu



Obrázek 20: Závislost koncentrace sířoviny na dávce škrobu

Tabulka 14: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI

<i>koncentrace PEI</i> [%]	<i>plošná hmotnost aršíku</i> [g/m ²]	<i>pevnost</i> [N/15 mm]	<i>bělost</i> [%]	<i>opacita</i> [%]
0	25,2	16,41	92,0	74,0
0,05	24,9	16,37	92,0	74,0
0,1	25,1	16,35	92,0	74,0
0,2	25,6	16,32	92,4	74,2
0,3	24,9	16,27	92,6	74,5
0,4	25,0	16,28	92,8	74,6
0,5	25,2	16,20	92,5	74,3

Tabulka 15: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu

<i>koncentrace škrobu</i> [%]	<i>plošná hmotnost aršíku</i> [g/m ²]	<i>pevnost</i> [N/15 mm]	<i>bělost</i> [%]	<i>opacita</i> [%]
0	25,0	14,41	91,8	75,01
0,05	25,4	14,42	91,9	74,91
0,1	25,0	14,31	91,9	74,92
0,2	25,3	14,29	92,0	74,80
0,3	25,2	14,15	92,0	74,80
0,4	25,1	14,05	92,12	74,72
0,5	25,4	13,98	92,22	74,69

3.1.2 Průběh výroby v laboratorních podmínkách

Ze strojní nádrže byla odebrána buničina, která obsahovala 25 % dlouhvláknité buničiny mleté na 90 SR, 57 % nemleté krátkovláknité buničiny a 18 % výmětu určeného k recyklaci. U daného druhu cigaretového papíru byla sedimentační rychlost v_s a konečná koncentrace c_k poměrně vysoká (viz tabulky 12 a 13). To bylo způsobeno větším podílem krátkých vláken, která sedimentují mnohem rychleji než dlouhá vlákna. Z naměřených hodnot je patrné, že se zvyšující se dávkou retenčního prostředku se sedimentační rychlost zvyšovala.

V případě dávkování polyethyleniminu a škrobu docházelo s růstem sedimentační rychlosti resp. s dávkou retenčního prostředku k poklesu zákalu vyčeřených vod. To je spojeno s lepší tvorbou flokulí, které lépe sedimentují. Závislost sedimentační rychlosti na dávce polyethyleniminu vykazovala lineární závislost s pozitivní korelací ($R^2 = 0,9849$) a stejné chování vykazovala i závislost koncentrace síťoviny s dobrou korelací ($R^2 = 0,9744$). Závislost

sedimentační rychlosti na dávce škrobu vykazovala lineární závislost s trochu horší korelací ($R^2 = 0,8768$) a závislost koncentrace síťoviny se slušnou korelací ($R^2 = 0,9485$).

Z buničiny byly vytvořeny aršíky s plošnou hmotností $\pm 25 \text{ g/m}^2$ pro určení mechanických a optických vlastností. V obou případech retenčních prostředků bylo vidět, že se zvyšující se dávkou retenčních činidel mechanické vlastnosti nepatrně klesly a optické vlastnosti naopak mírně vzrostly. Ale změny vlastností s dávkou retenčního činidla nejsou dramatické (viz tabulky 14 a 15). Vyšší hodnoty pevnostních parametrů vykazovaly aršíky s polyethyleniminem a vyšší hodnoty bělosti vzorků vykazovaly aršíky, kde byl jako retenční prostředek použit škrob.

3.1.3 Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru

Tabulka 16: Parametry nastavení papírenského stroje

<i>nastavení PS</i>	<i>výroba bez guarů</i>	<i>výroba s guaru</i>
<i>výroba</i>	1 625 kg/h	1 624 kg/h
<i>dávka škrobu typu A + B</i>	55,5 kg/t	-
<i>dávka guaru M1</i>	-	6,15 kg/t
<i>dávka guaru M2</i>	-	1,11 kg/t
<i>rychlost PS</i>	465 m/min	466 m/min

Tabulka 17: Naměřené hodnoty u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ na PS

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guaru</i>
<i>gramáž</i>	25 g/m ²	25 g/m ²
<i>pevnost</i>	17,4 N/15 mm	14,3 N/15 mm
<i>protážení</i>	1,77 %	1,36 %
<i>bělost</i>	92,1 %	92,4 %
<i>opacita</i>	74,6 %	74,3 %
<i>intenzita molety</i>	8,2	9,8
<i>obsah CaCO₃</i>	32,4 %	30,6 %
<i>celková retence</i>	36,54 %	41,64 %
<i>retence plnidel</i>	46,24 %	46,84 %
<i>retence vláken</i>	48,88 %	54,05 %
<i>propustnost pro vzduch</i>	61 CU	60 CU
<i>variační koeficient</i>	12,48 %	8,76 %

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guarý</i>
<i>zápach</i>	0	0
<i>popel při 525°C (nátok na PS)</i>	38,9 %	39 %
<i>SR (nátok na PS)</i>	73	65
<i>náboj (nátok na PS)</i>	-20 $\mu\text{eq/l}$	-7 $\mu\text{eq/l}$
<i>pH (nátok na PS)</i>	8,22	8,21

Tabulka 18: Naměřené hodnoty náboje u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ s guarý

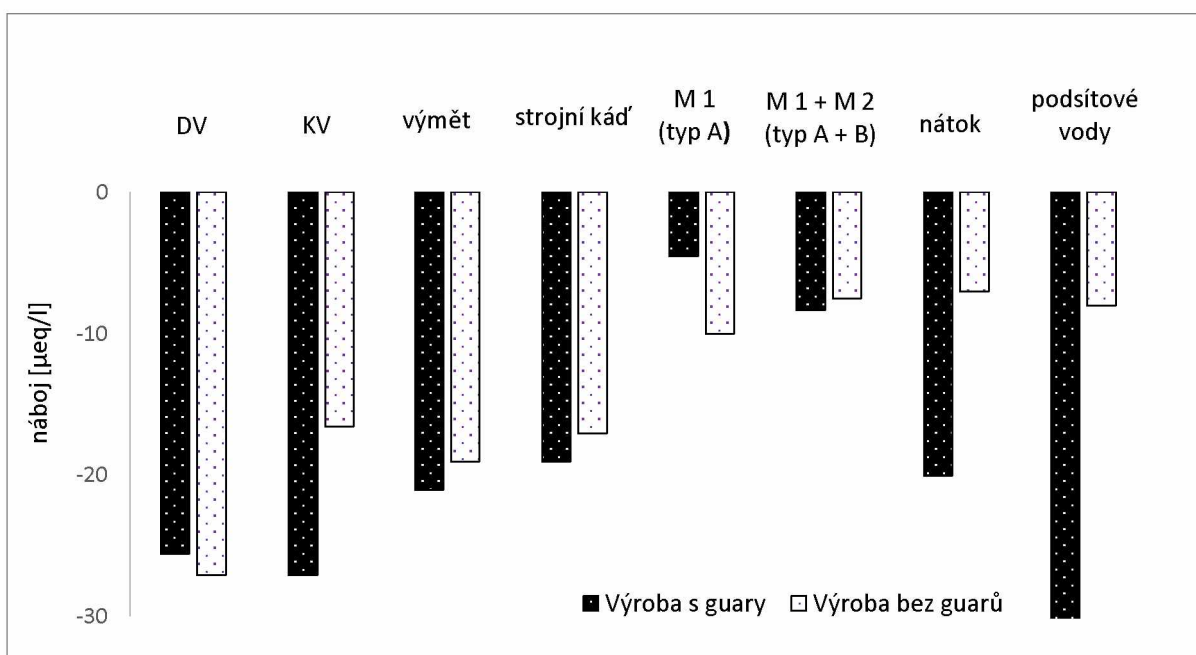
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [$\mu\text{eq/l}$]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-25,5	22,8
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-27	23,4
<i>výmět</i>	-21	33,6
<i>strojní kád'</i>	-19	24,9
<i>M1</i>	-4,5	14,09
<i>M1 + M2</i>	-8,3	12,95
<i>nátok (M1 + M2)</i>	-7	11,3
<i>podšítové vody</i>	-40,5	3,96

Tabulka 19: Naměřené hodnoty náboje u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ se škroby

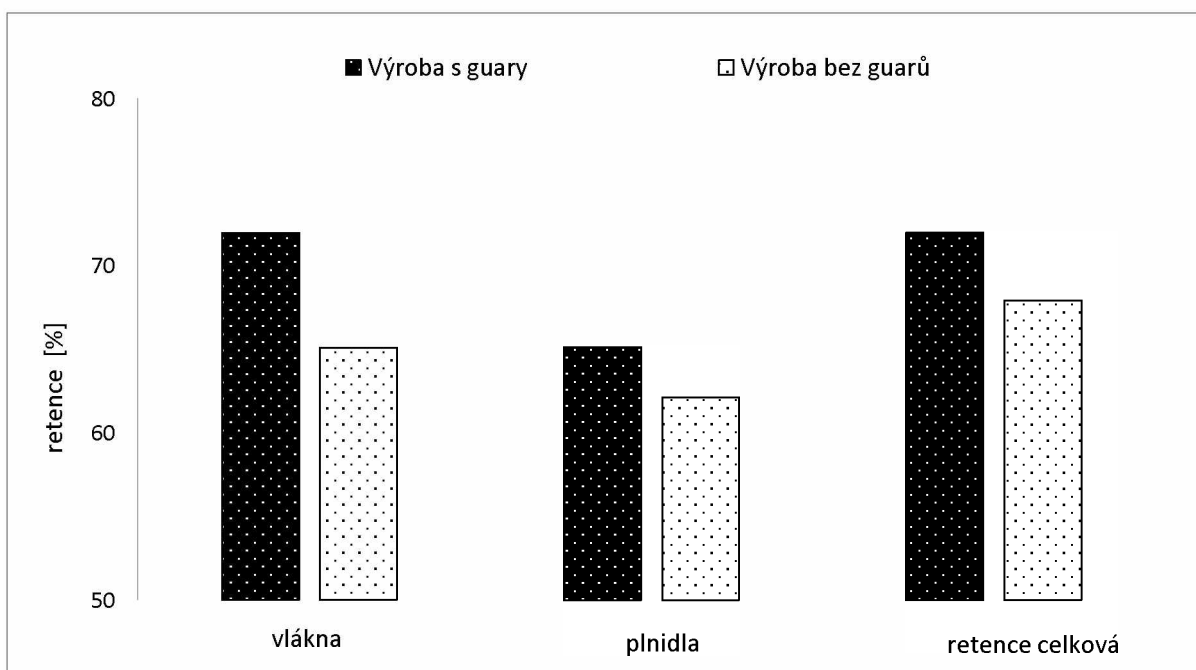
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [$\mu\text{eq/l}$]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-27	22,8
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-16,5	24,4
<i>výmět</i>	-19	32,6
<i>strojní kád'</i>	-17	24,4
<i>škrob typ A</i>	-10	15,78
<i>škrob typu A + B</i>	-7,5	11,65
<i>nátok (škrob typu A + typ B)</i>	-20	14,8
<i>podšítové vody</i>	-8	6,03

Tabulka 20: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃

<i>škrob</i>	<i>konzistence [g/l]</i>	<i>viskozita [mPa·s]</i>	<i>pH</i>
<i>typ A</i>	17,69	80,8	5,2
<i>typ B</i>	17,88	247	5,16



Obrázek 21: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guarý a bez



Obrázek 22: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guarý a bez

3.1.4 Průběh výroby na papírenském stroji

Výroba s guaru na papírenském stroji probíhala klasickým způsobem a kvalita papíru odpovídala specifikaci. Po náhradě guarů škrobem typu A a typu B nastaly komplikace s průhledem papíru. Nejprve se v papíru objevovaly „kapky“ a následně i „vlnky“. Bylo zjištěno, že je to technologický problém spojený s odvodňovacími lištami v síťové části papírenského stroje. Po úpravě nastavení (tzv. odvodňovacích úhlů) těchto lišt se průhled zlepšil a výroba dále probíhala bez komplikací. Parametry vyráběného papíru odpovídaly specifikaci. Při výrobě s guaru u daného cigaretového papíru, docházelo k výrazně větší retenci než při výrobě se škrobem.

Při výrobě se škrobem došlo k poklesu molety z hodnoty 9,8 na 8,2. Pro dosažení stejné molety, bylo potřeba zvýšit tlak na razícím lisu z hodnoty 44 N/cm na 47 N/cm. Tento druh operace vede k rychlejšímu opotřebení razícího válce a do budoucna i častější výměně.

Při výrobě se škrobem došlo ke změně mechanických vlastností, pevnost vzrostla z hodnoty 14,3 N/15 mm na 17,4 N/15 mm. Zvýšení pevnosti vyráběného cigaretového papíru je pozitivní pro následné zpracování u zákazníka. Naopak došlo ke snížení optických vlastností, bělost klesla z hodnoty 92,4 % na 92,1 %. Snížení optických parametrů negativně ovlivňuje vzhled výsledného produktu. Dále došlo ke zhoršení rozkolísanosti propustnosti pro vzduch, hodnocené pomocí variačního koeficientu z hodnoty 8,76 % na 12,48 %. I přes změny některých sledovaných parametrů, kvalita vyráběného papíru se škrobem odpovídala specifikaci, proto lze tento druh papíru vyrábět v dobré kvalitě i bez guarů.

3.2 Druh papíru: CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

3.2.1 Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách

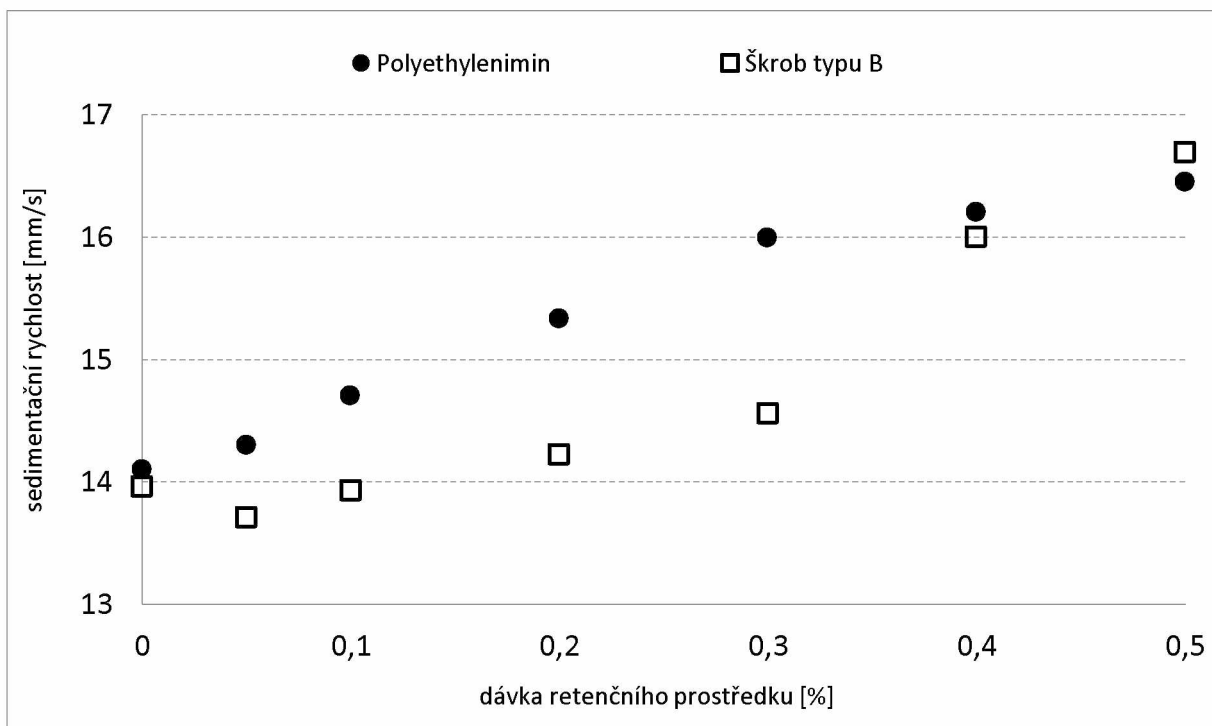
V laboratorních podmínkách byl sledován vliv retenčních prostředků na chování papíroviny při tzv. rheosedimentaci. Standardně používané guaru byly nahrazeny polyethyleniminem a kationickým škrobem.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃s PEI

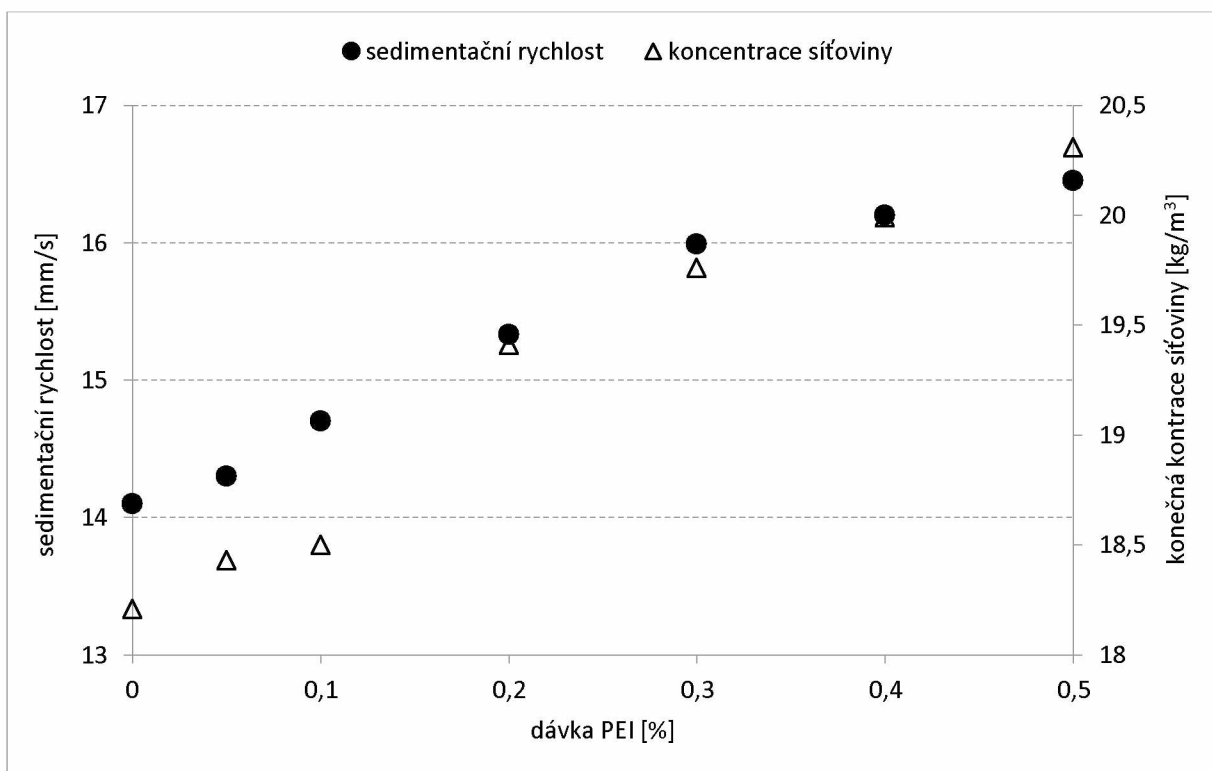
<i>dávka</i> <i>PEI [g]</i>	<i>koncentrace</i> <i>PEI [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sířoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[μeq/l]</i>
0	0	14,10	18,21	4,45	-40
0,0125	0,05	14,30	18,43	3,78	-35
0,025	0,1	14,70	18,50	2,96	-33
0,05	0,2	15,33	19,41	2,55	-27
0,075	0,3	15,99	19,76	1,12	-23
0,1	0,4	16,20	19,99	0,87	-20
0,125	0,5	16,45	20,31	0,80	-18

Tabulka 22: Naměřené hodnoty u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃se škrobem

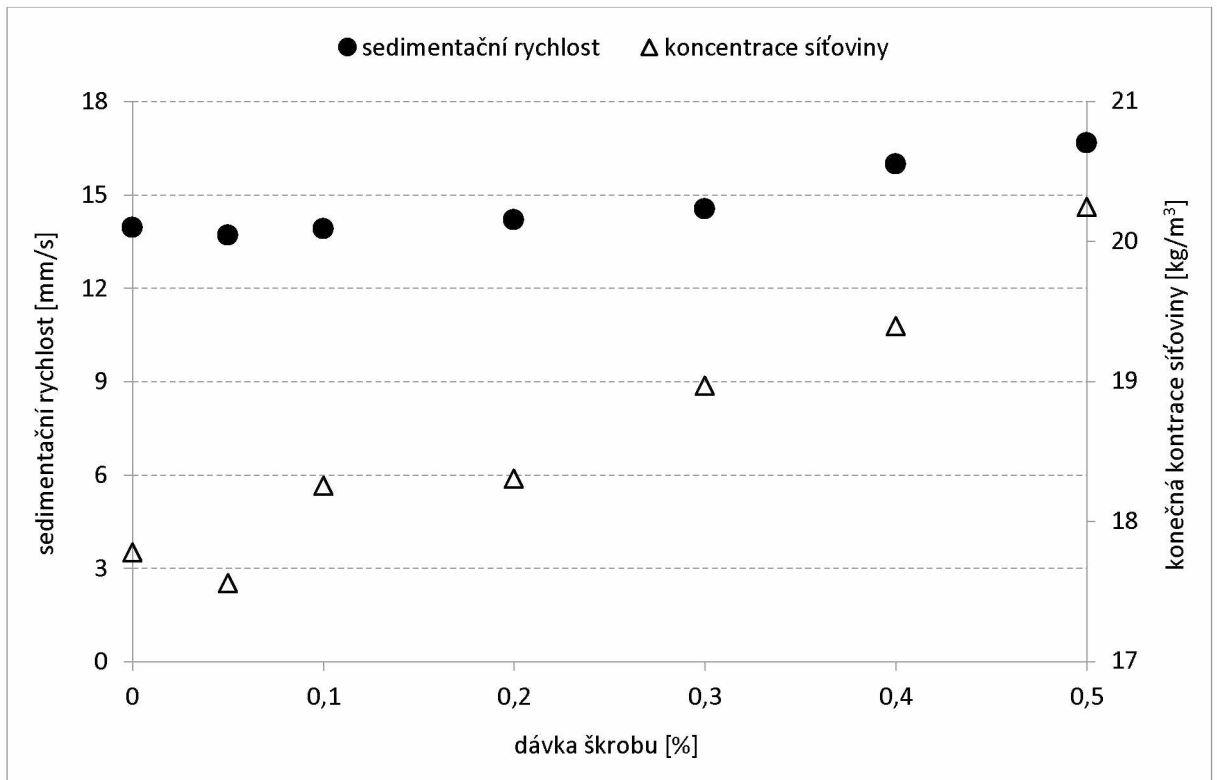
<i>dávka</i> <i>škrobu typu B [g]</i>	<i>koncentrace</i> <i>škrobu typu B [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sířoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[μeq/l]</i>
0	0	13,96	17,78	5,30	-48
0,0125	0,05	13,71	17,56	4,81	-39
0,025	0,1	13,93	18,26	3,76	-35
0,05	0,2	14,22	18,31	3,10	-25
0,075	0,3	14,56	18,97	2,22	-20
0,1	0,4	16,00	19,40	1,80	-19
0,125	0,5	16,69	20,25	0,99	-15



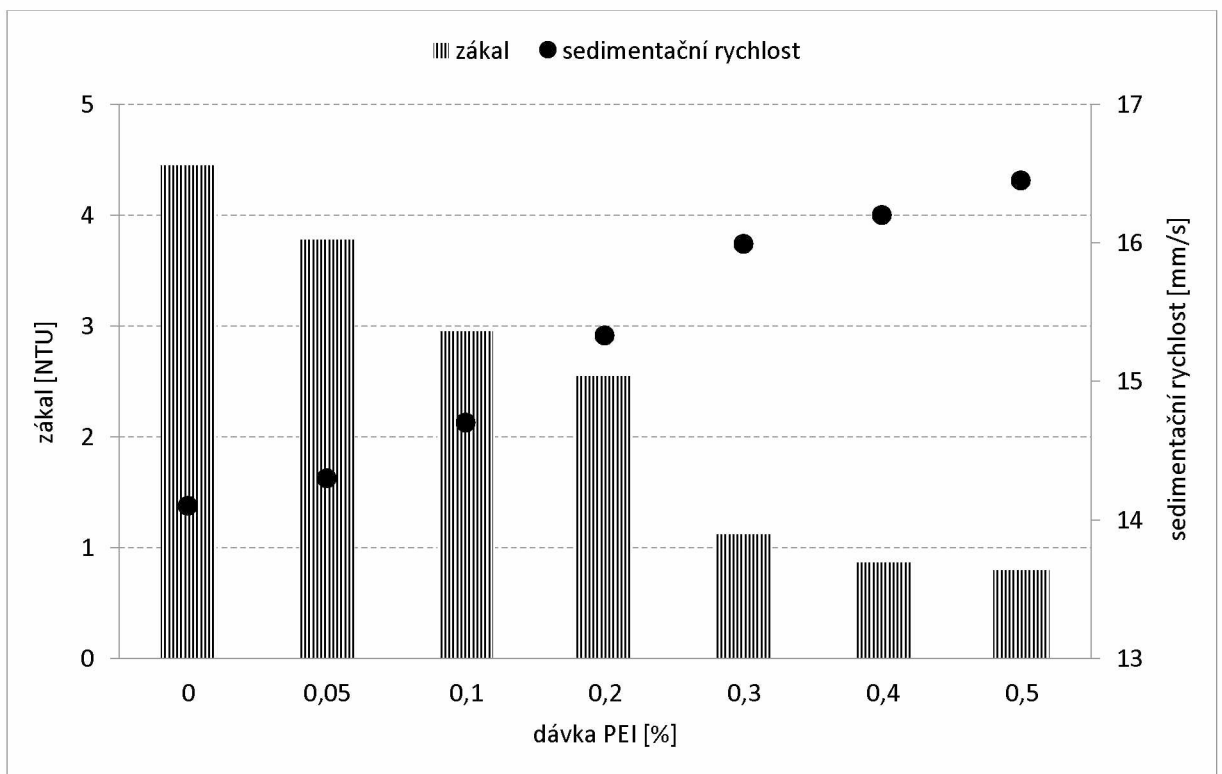
Obrázek 23: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



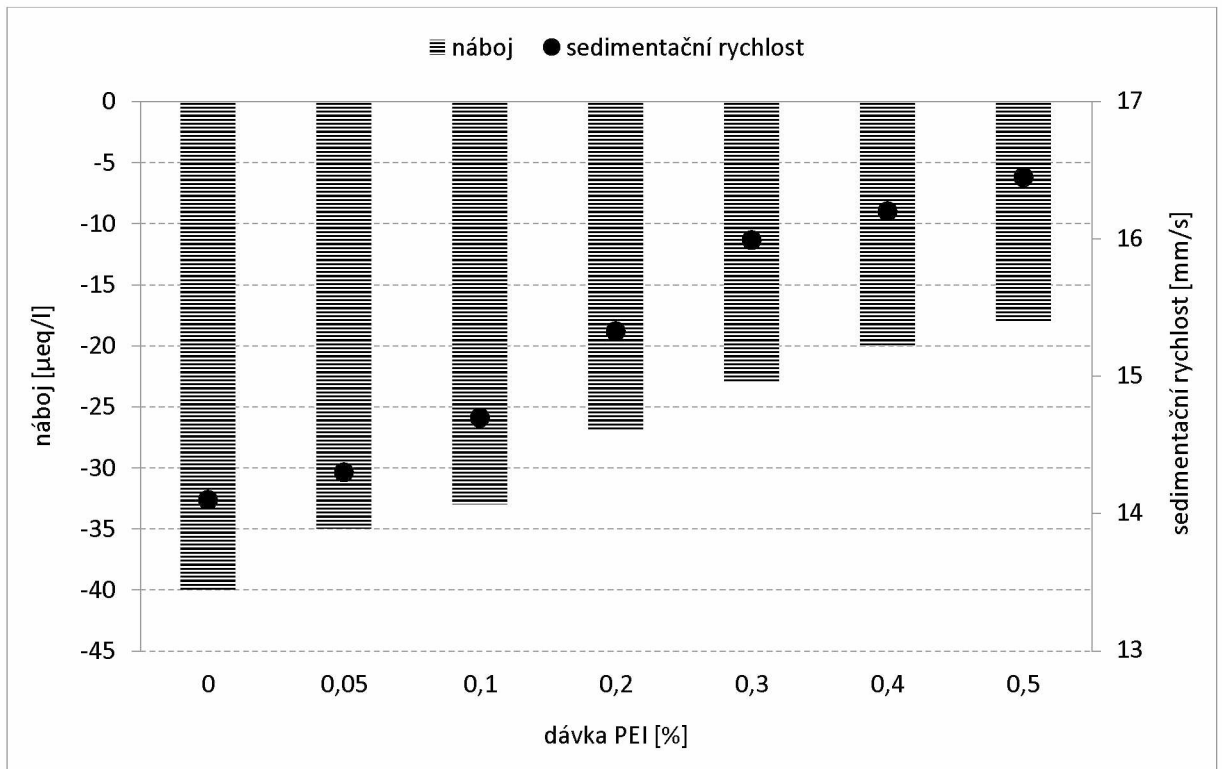
Obrázek 24: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



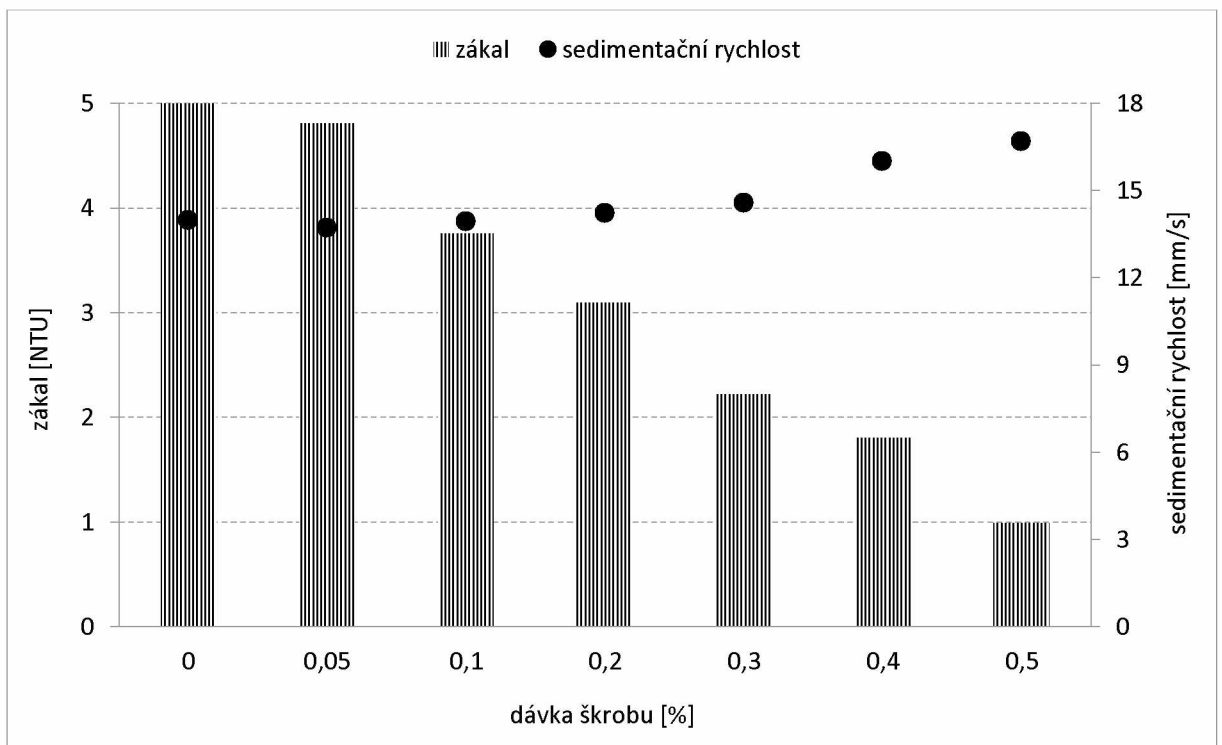
Obrázek 25: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



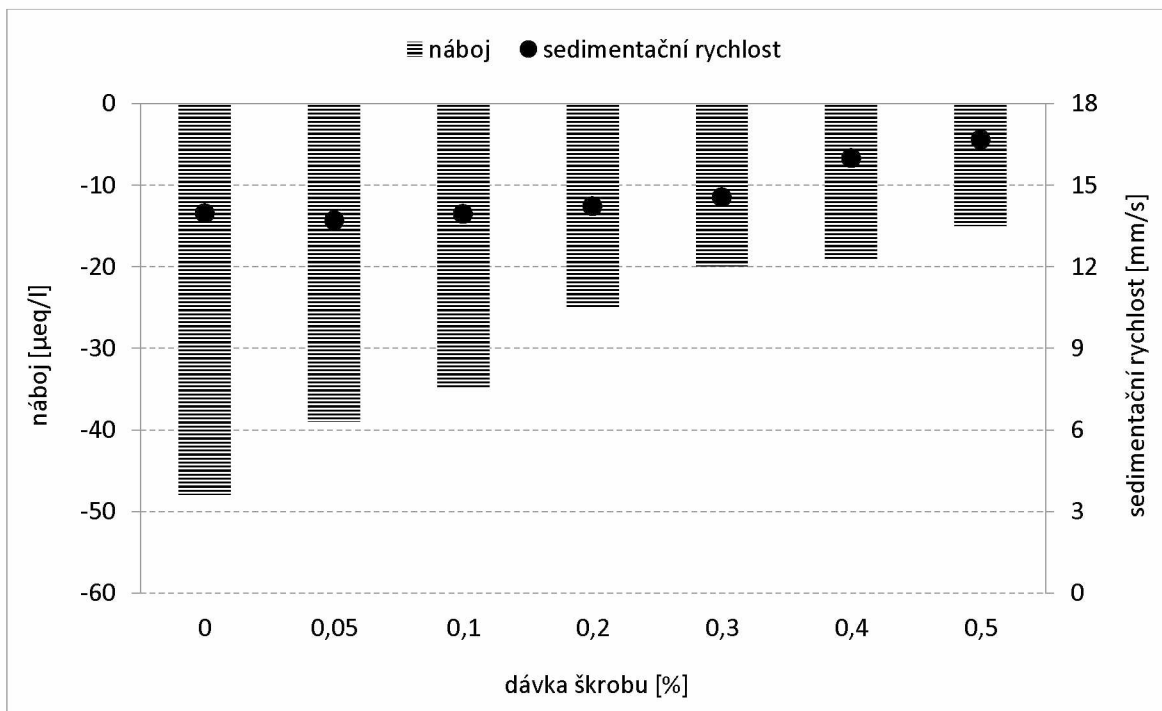
Obrázek 26: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



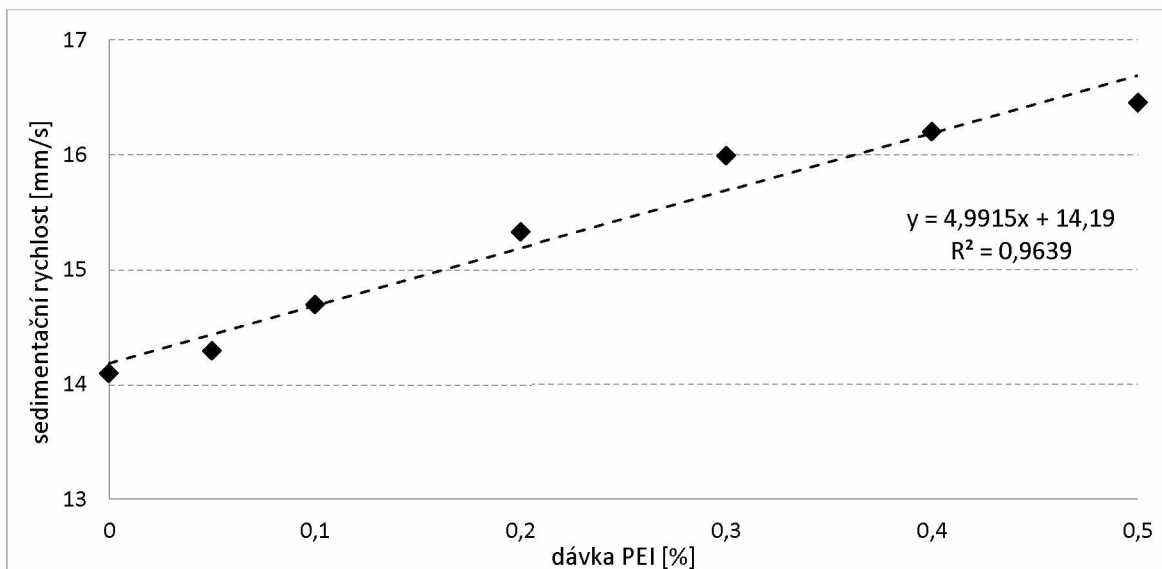
Obrázek 27: Vliv dávkování PEI na náboj u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



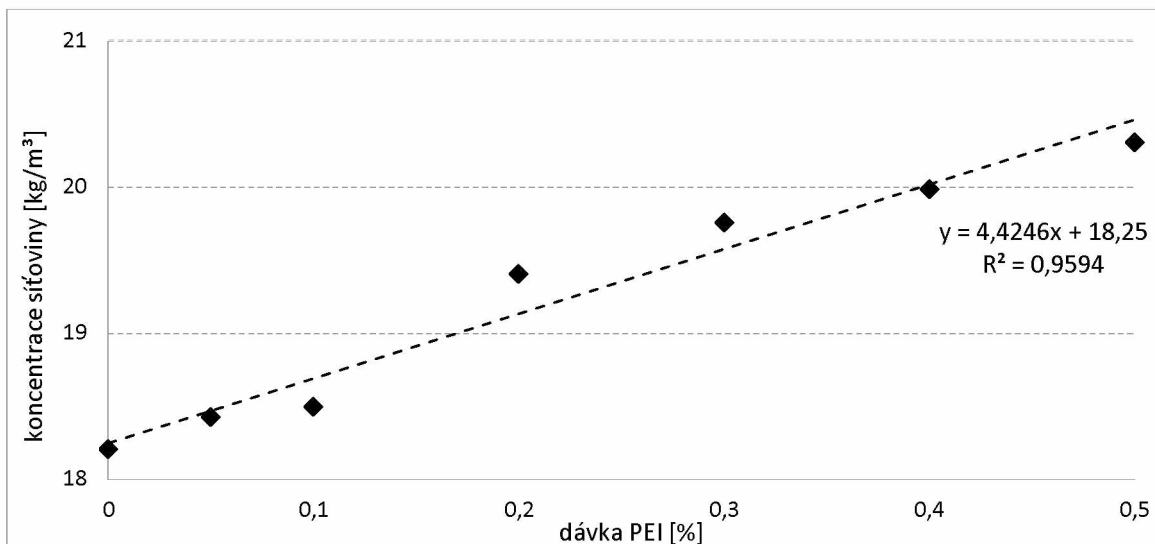
Obrázek 28: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



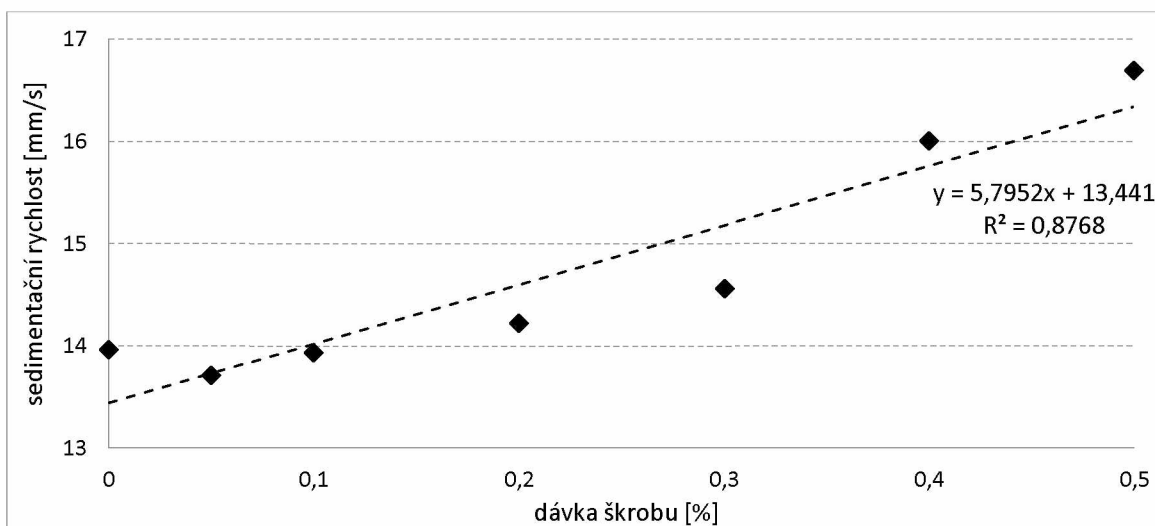
Obrázek 29: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



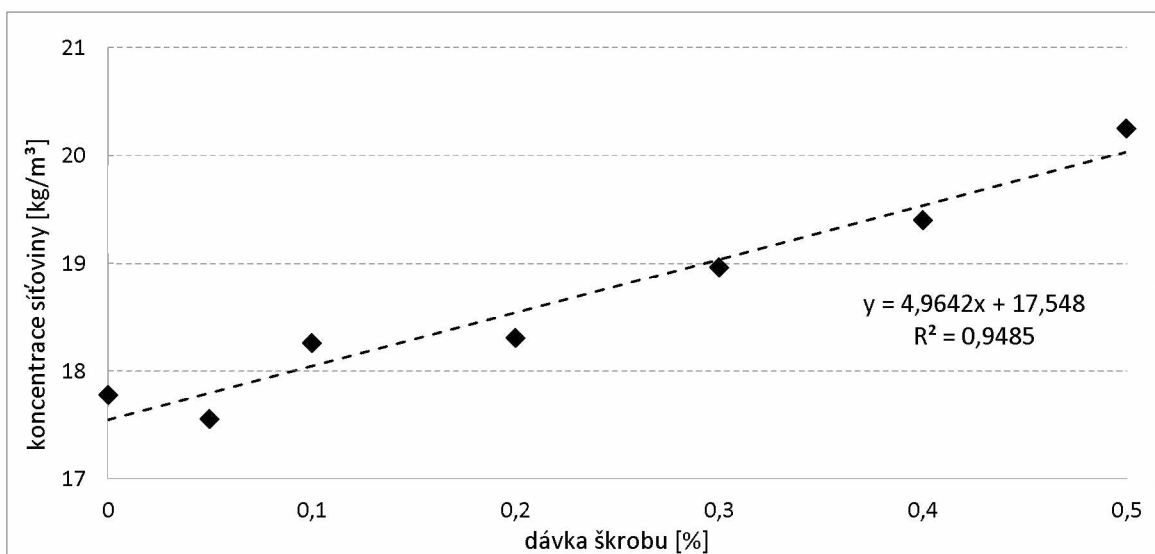
Obrázek 30: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI



Obrázek 31: Závislost koncentrace sířoviny na dávce PEI



Obrázek 32: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu



Obrázek 33: Závislost koncentrace sířoviny na dávce škrobu

Tabulka 23: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI

<i>koncentrace PEI</i> [%]	<i>plošná hmotnost aršíku</i> [g/m ²]	<i>pevnost</i> [N/15 mm]	<i>bělost</i> [%]	<i>opacita</i> [%]
0	25,9	18,99	92,1	74,11
0,05	26,2	19,10	92,1	74,10
0,1	26,4	19,23	92,2	74,21
0,2	25,9	19,37	92,3	74,36
0,3	24,8	19,44	92,5	74,50
0,4	26,1	19,49	92,6	74,63
0,5	26,0	19,51	92,7	74,70

Tabulka 24: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu

<i>koncentrace škrobu</i> [%]	<i>plošná hmotnost aršíku</i> [g/m ²]	<i>pevnost</i> [N/15 mm]	<i>bělost</i> [%]	<i>opacita</i> [%]
0	26,0	19,60	92,0	73,02
0,05	26,0	19,65	92,0	73,10
0,1	26,2	19,73	92,1	73,12
0,2	26,1	19,74	92,1	73,13
0,3	26,1	19,85	92,3	73,40
0,4	26,0	19,90	92,1	73,21
0,5	26,1	19,90	92,2	73,33

3.2.2 Průběh výroby v laboratorních podmínkách

Odebraná buničina obsahovala 27 % dlouhvláknité buničiny mleté na 90 SR, 57 % nemleté krátkovláknité buničiny a 16 % výmětu. U daného druhu cigaretového papíru byla sedimentační rychlost v_s a konečná koncentrace c_k opět poměrně vysoká (viz tabulky 21 a 22). To bylo způsobeno větším podílem krátkých vláken, která sedimentují mnohem rychleji než dlouhá vlákna. Z naměřených hodnot je patrné, že se zvyšující se dávkou retenčního prostředku se sedimentační rychlost zvyšovala.

V případě dávkování polyethyleniminu a škrobu docházelo s růstem sedimentační rychlosti resp. s dávkou retenčního prostředku stejně jako u papíru CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ k poklesu zákalu vyčeřených vod, což je spojeno s lepší tvorbou flokulí, které pak lépe sedimentují. Závislost sedimentační rychlosti na dávce polyethyleniminu vykazovala lineární závislost s pozitivní korelací ($R^2 = 0,9639$) a stejné chování vykazovala i závislost koncentrace

síťoviny se slušnou korelací ($R^2 = 0,9594$). Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu vykazovala lineární závislost s trochu horší korelací ($R^2 = 0,8768$) a závislost koncentrace síťoviny s dobrou korelací ($R^2 = 0,9485$).

Z buničiny byly opět jako v předchozím případě vytvořeny aršíky s plošnou hmotností $\pm 26 \text{ g/m}^2$ pro určení mechanických a optických vlastností. V obou případech retenčních prostředků bylo vidět, že se zvyšující dávkou se mechanické a optické vlastnosti nepatrně zvyšovaly (viz tabulky 23 a 24).

3.2.3 Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru

Tabulka 25: Parametry nastavení papírenského stroje

<i>nastavení PS</i>	<i>výroba bez guarů</i>	<i>výroba s guarý</i>
<i>Výroba</i>	1 912 kg/h	1 820 kg/h
<i>Dávka škrobu typu A + B</i>	67,99 kg/t	-
<i>Dávka guaru M1</i>	-	6,59 kg/t
<i>Dávka guaru M2</i>	-	0,99 kg/t
<i>Rychlost PS</i>	484 m/min	486 m/min

Tabulka 26: Naměřené hodnoty u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃ na PS

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guarý</i>
<i>gramáž</i>	26,2 g/m ²	26,1 g/m ²
<i>pevnost</i>	19,8 N/15 mm	19 N/15 mm
<i>protážení</i>	1,44 %	1,42 %
<i>bělost</i>	92,5 %	92,1 %
<i>opacita</i>	73 %	72,9 %
<i>intenzita molety</i>	9,2	9,8
<i>obsah CaCO₃</i>	30,4 %	29,5 %
<i>celková retence</i>	35,44 %	38,81 %
<i>retence plnidel</i>	44,91 %	43,27 %
<i>retence vláken</i>	49,34 %	51,73%
<i>propustnost pro vzduch</i>	69 CU	70 CU

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guarý</i>
<i>variační koeficient</i>	12,88 %	7,66 %
<i>zápach</i>	0	0
<i>popel při 525°C (nátok na PS)</i>	64 %	64,1 %
<i>SR (nátok na PS)</i>	69	62
<i>náboj (nátok na PS)</i>	- 6 $\mu\text{eq/l}$	- 17 $\mu\text{eq/l}$
<i>pH (nátok na PS)</i>	8,10	8,88

Tabulka 27: Naměřené hodnoty náboje u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃ s guarý

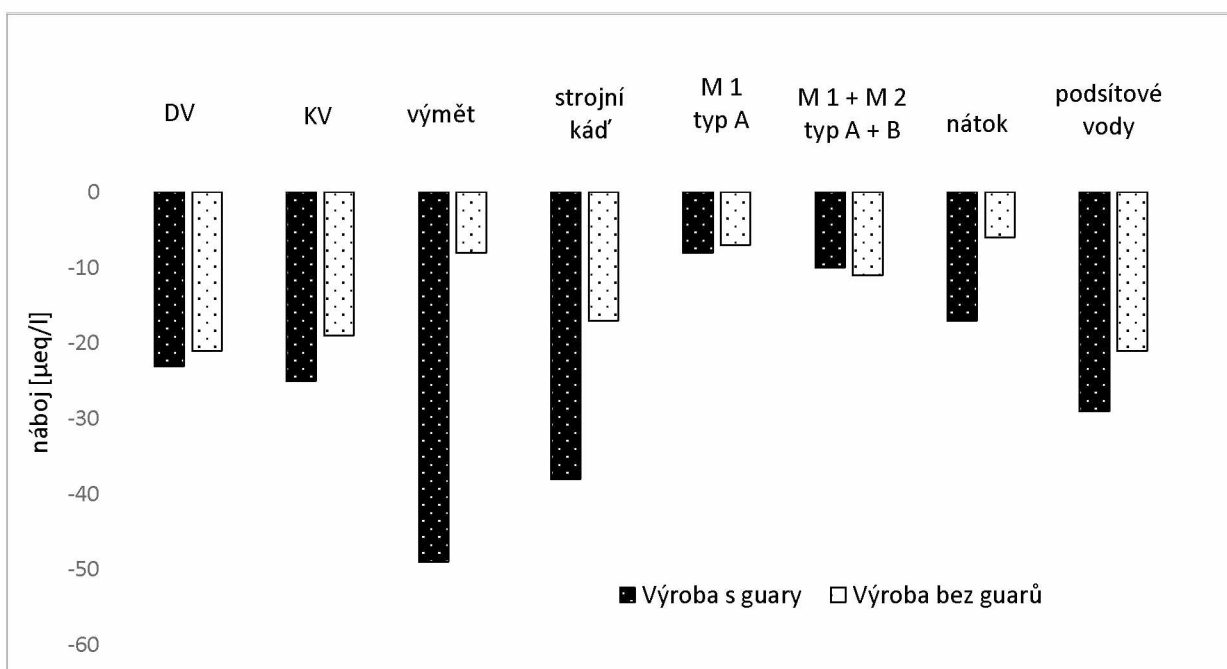
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [$\mu\text{eq/l}$]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-23,1	21,9
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-25	25
<i>výmět</i>	-49	32,2
<i>strojní kád'</i>	-38	26,3
<i>M1</i>	-8	13,3
<i>M1 + M2</i>	-10	11,5
<i>nátok (M1 + M2)</i>	-17	11,92
<i>podšítové vody</i>	-29	4,4

Tabulka 28: Naměřené hodnoty náboje u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃ se škroby

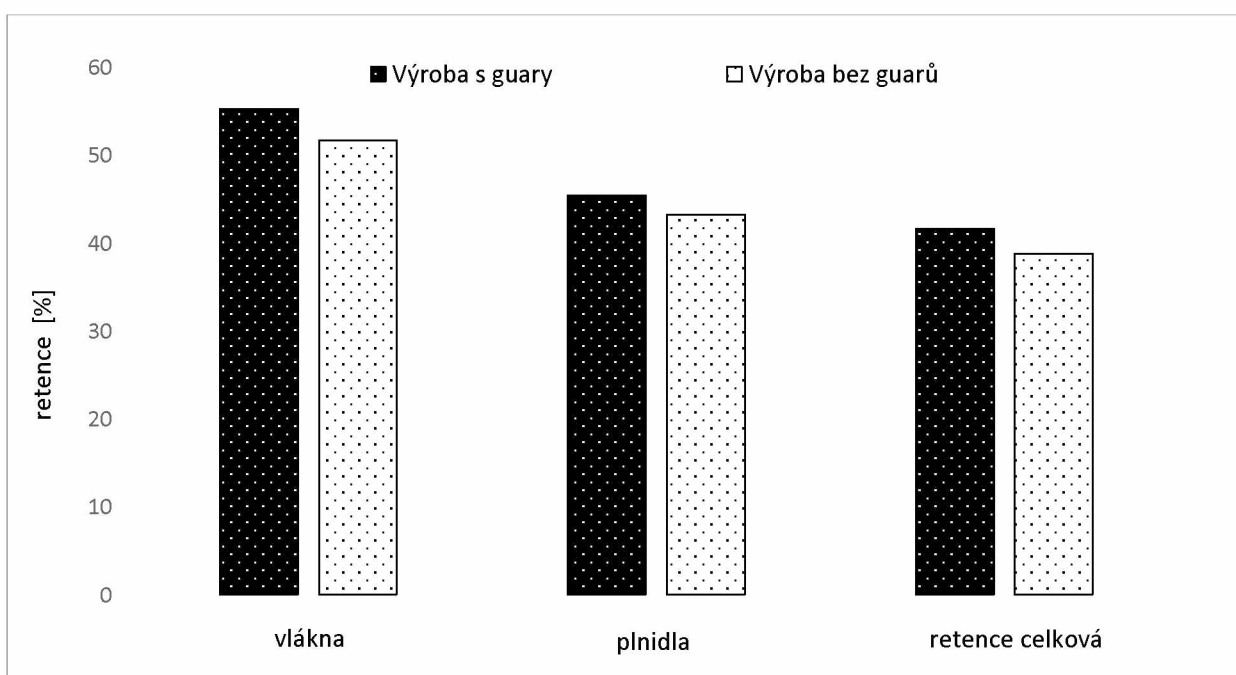
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [$\mu\text{eq/l}$]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-21	22
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-19	24,4
<i>výmět</i>	-8	30,6
<i>strojní kád'</i>	-17	26,7
<i>škrob typ A</i>	-7	14,1
<i>škrob typu A + B</i>	-11	11,69
<i>nátok (škrob typu A + typ B)</i>	-6	11,6
<i>podšítové vody</i>	-21	4,1

Tabulka 29: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

škrob	konzistence [g/l]	viskozita [mPa·s]	pH
typ A	0,872	11,6	4,9
typ B	1,685	44,3	5,1



Obrázek 34: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guarý a bez



Obrázek 35: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guarý a bez

3.2.4 Průběh výroby na papírenském stroji

Výroba s guarou na papírenském stroji probíhala stejně jako v předchozím případě u papíru CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃ v dobré kvalitě. Při výrobě s guarou, docházelo k větší retenci než při výrobě se škrobem.

Při výrobě se škrobem došlo opět ke změně mechanických vlastností, pevnost vzrostla z hodnoty 19 N/15 mm na 19,8 N/15 mm a současně došlo ke zvýšení optických vlastností, bělost vzrostla z hodnoty 92,1 % na 92,5 %. Došlo k poklesu molety z hodnoty 9,8 na 9,2 a ke zhoršení rozkolísanosti propustnosti pro vzduch dle variačního koeficientu z hodnoty 7,66 % na 12,88 %. Stejně jako u předchozího typu cigaretového papíru, lze tento druh papíru vyrábět v akceptovatelné kvalitě i bez guarů. Hodnota variačního koeficientu se blížila horní hranici akceptovatelnosti zákazníkem, ale jeho snížení by se dalo dosáhnout změnou odvodňovacích prvků v sítové části papírenského stroje.

3.3 Druh papíru: CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

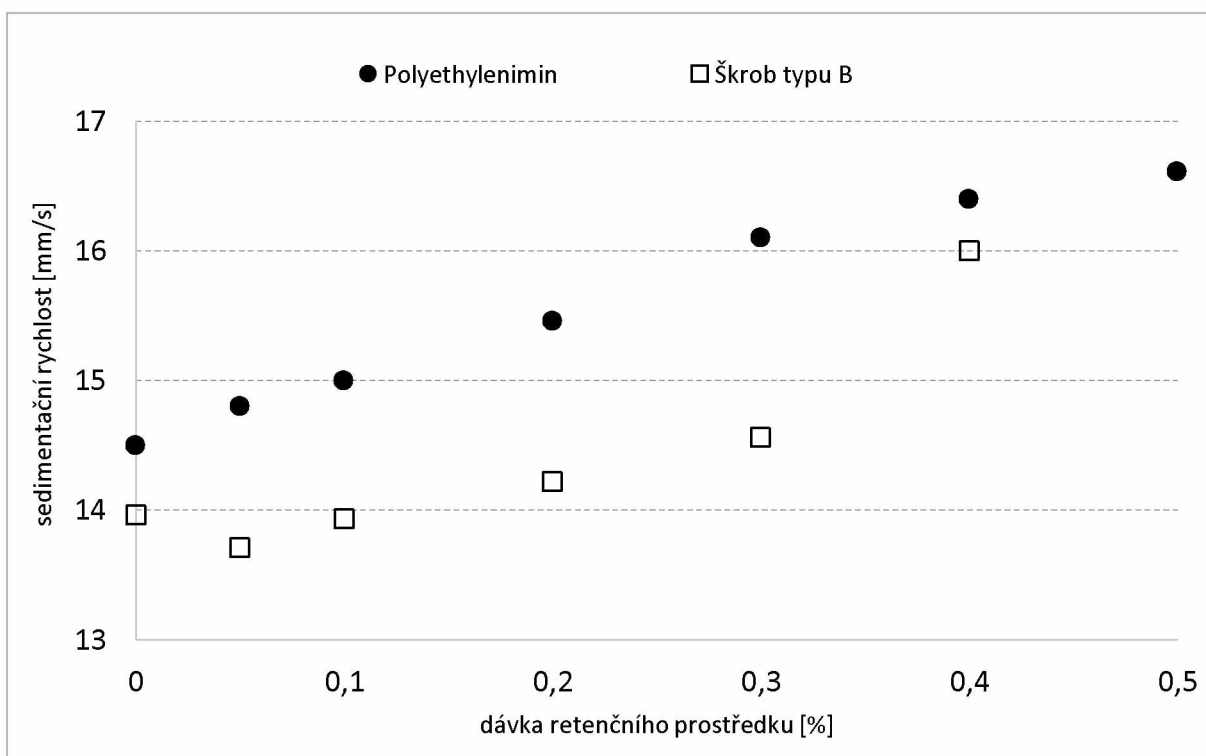
V laboratorních podmínkách byl sledován vliv retenčních prostředků na chování papíroviny při tzv. rheosedimentaci. Standardně používané guaru byly nahrazeny polyethyleniminem a kationickým škrobem. Pro měření byla odebrána namletá buničina ze zásobní nádrže.

Tabulka 30: Naměřené hodnoty u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃ s PEI

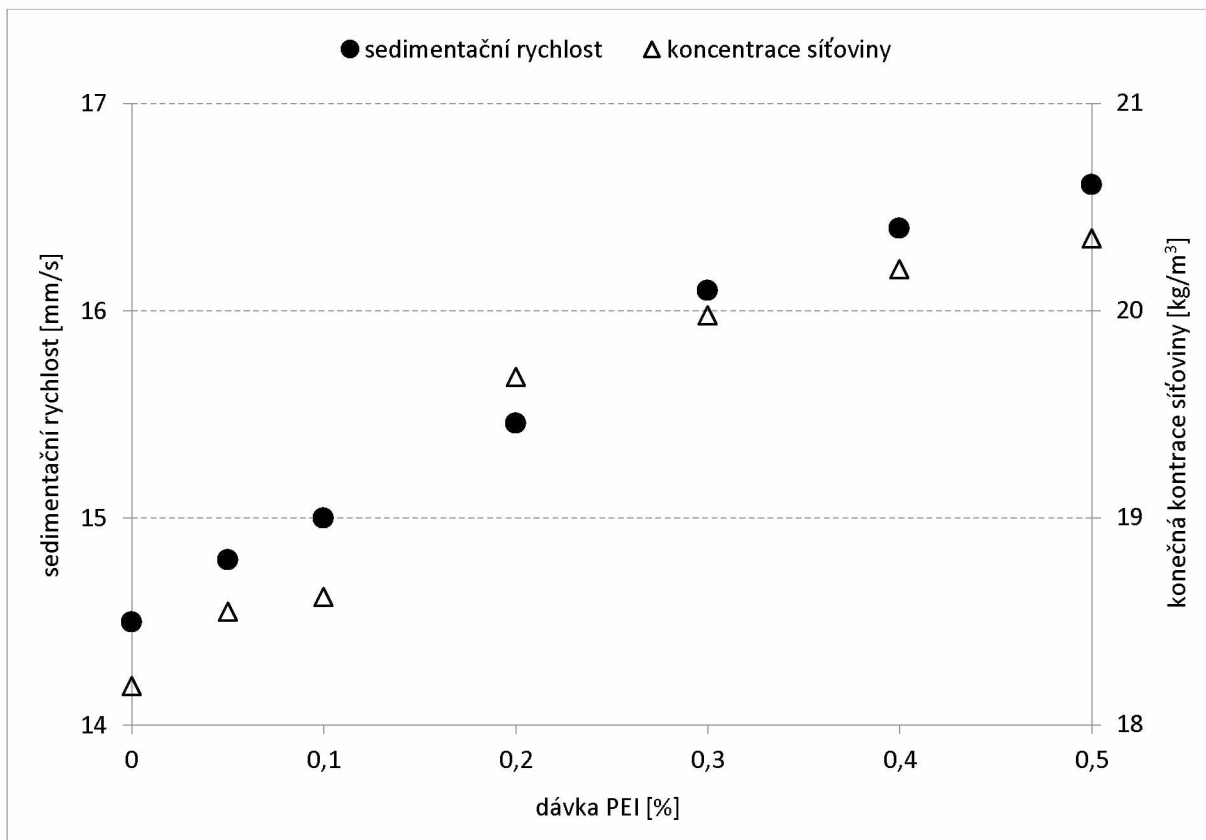
<i>dávka</i> <i>PEI [g]</i>	<i>koncentrace</i> <i>PEI [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>síťoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[µeq/l]</i>
0	0	14,51	18,19	4,47	-20
0,0125	0,05	14,82	18,55	3,87	-18
0,025	0,1	15,01	18,62	3,12	-16
0,05	0,2	15,46	19,68	2,63	-19
0,075	0,3	16,10	19,98	1,24	-21
0,1	0,4	16,40	20,20	0,69	-20
0,125	0,5	16,61	20,35	0,56	-19

Tabulka 31: Naměřené hodnoty u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃ se škrobem

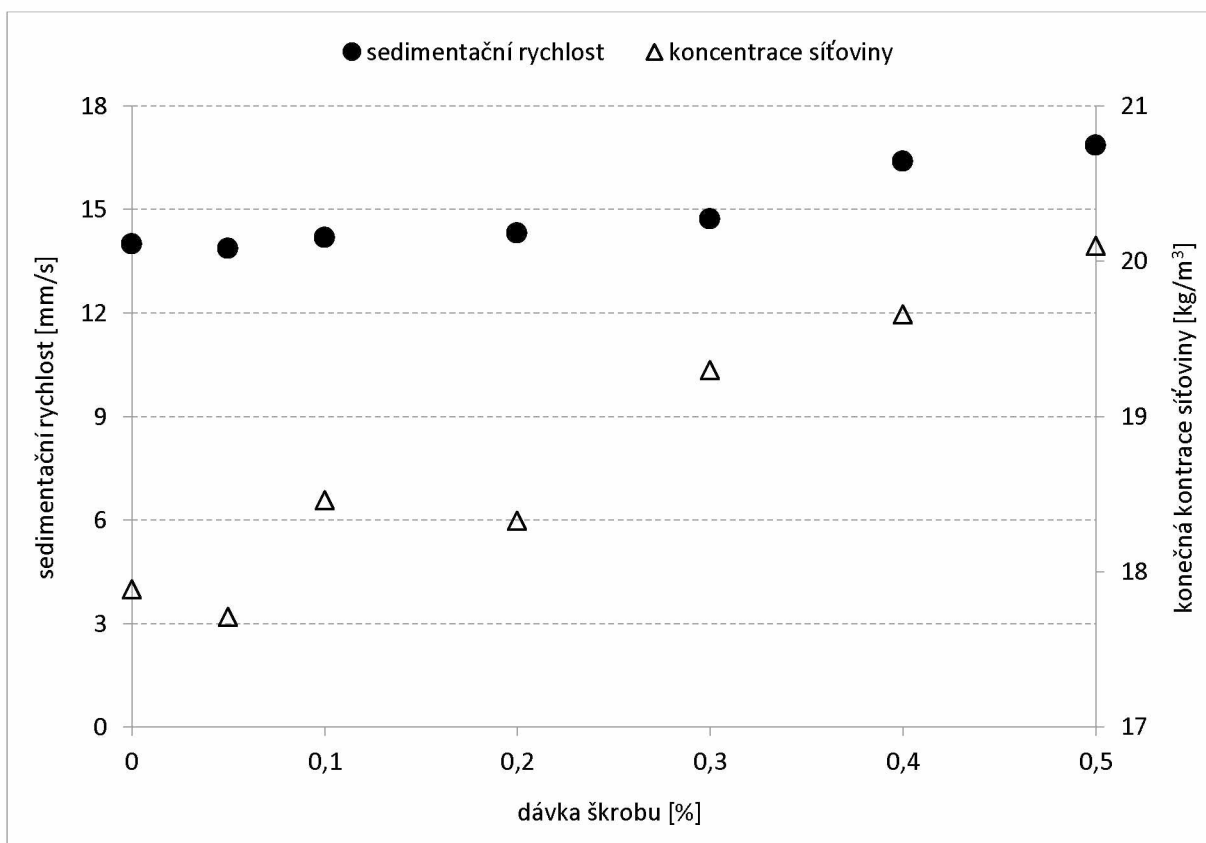
dávka škrobu typu B [g]	koncentrace škrobu typu B [%]	sedimentační rychlost [mm/s]	koncentrace síťoviny [kg/m ³]	zákal [NTU]	náboj [μeq/l]
0	0	14,01	17,89	5,70	-22
0,0125	0,05	13,87	17,71	4,76	-21
0,025	0,1	14,20	18,46	3,60	-55
0,05	0,2	14,33	18,33	2,88	-25
0,075	0,3	14,73	19,30	2,20	-22
0,1	0,4	16,40	19,66	1,50	-19
0,125	0,5	16,87	20,10	0,96	-17



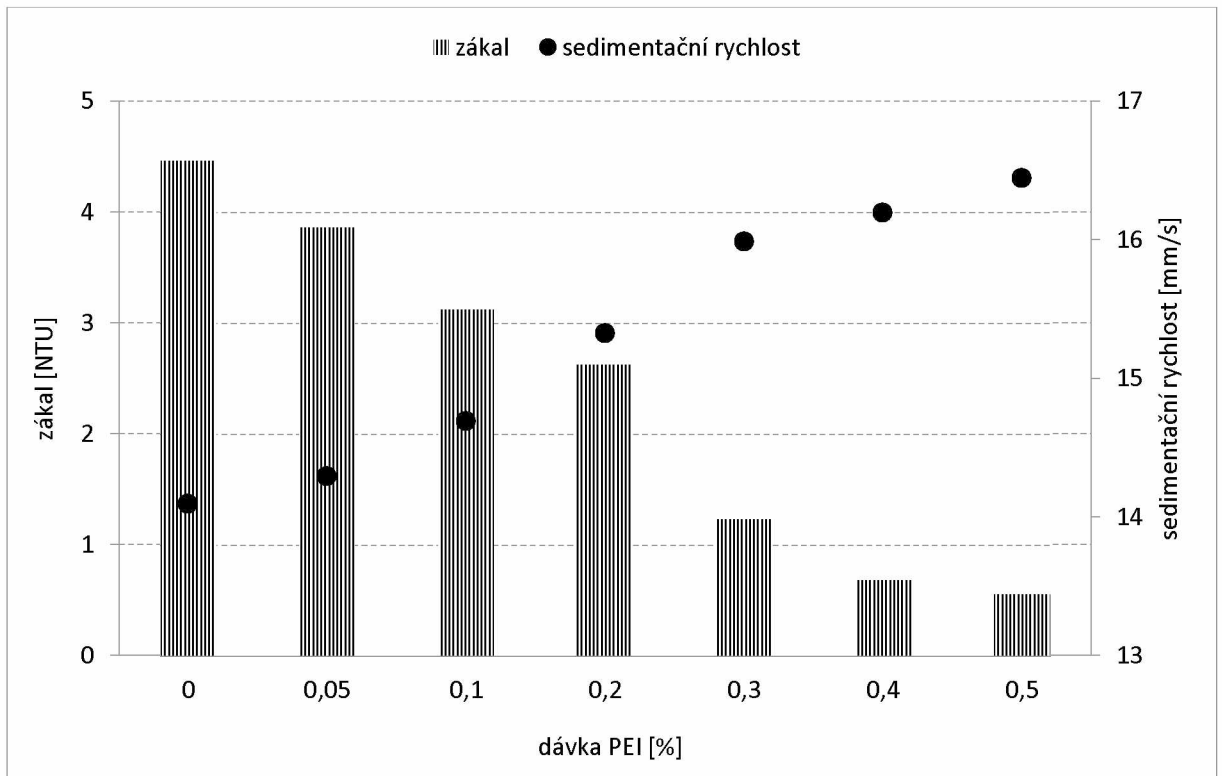
Obrázek 36: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



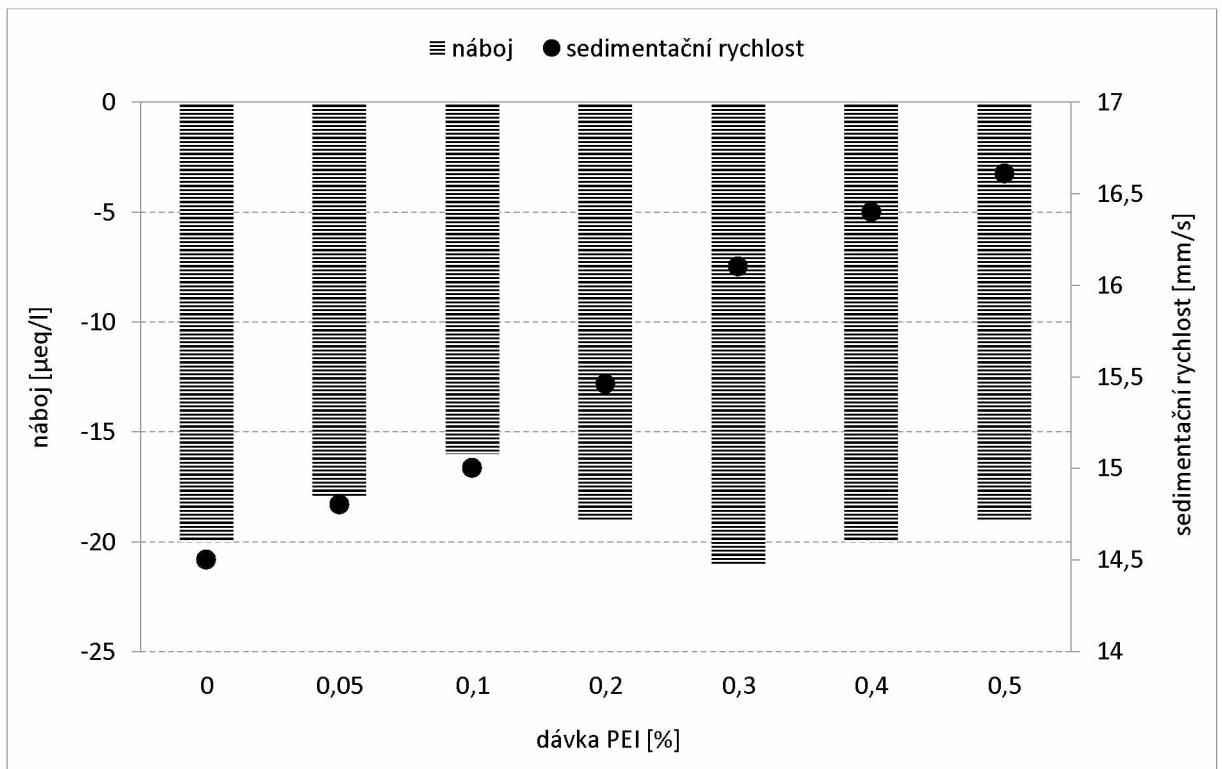
Obrázek 37: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



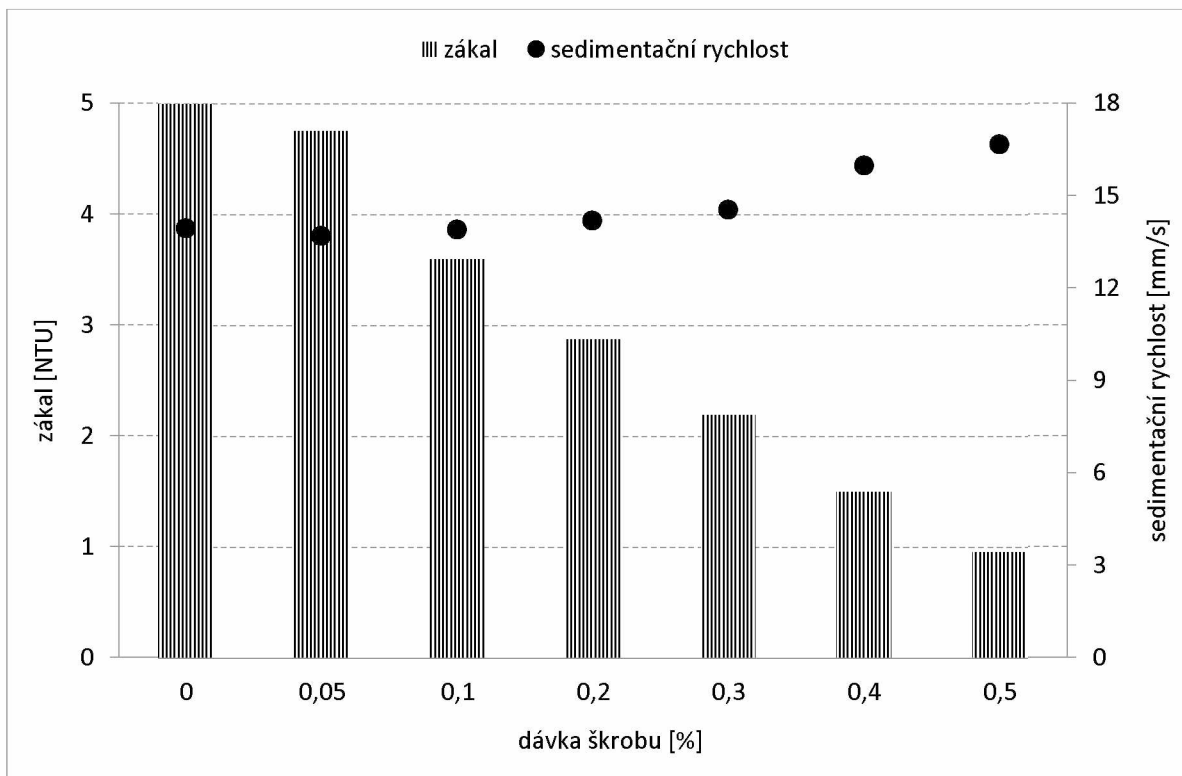
Obrázek 38: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



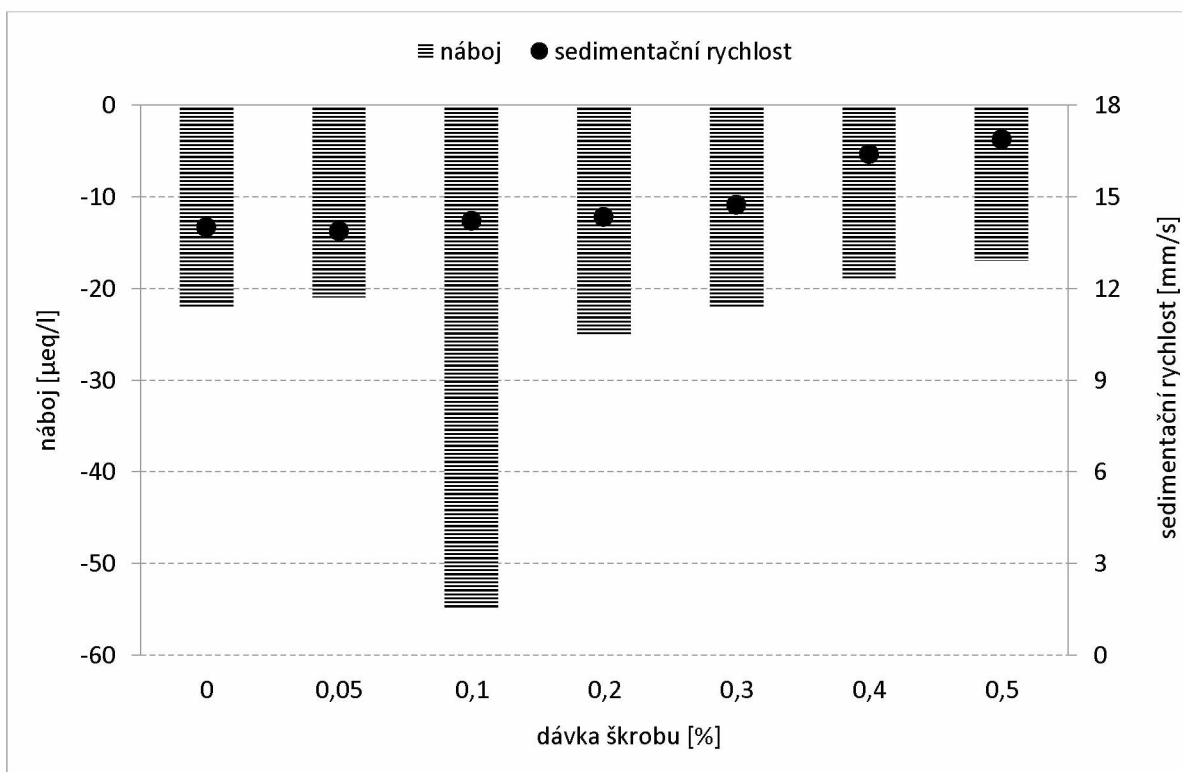
Obrázek 39: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



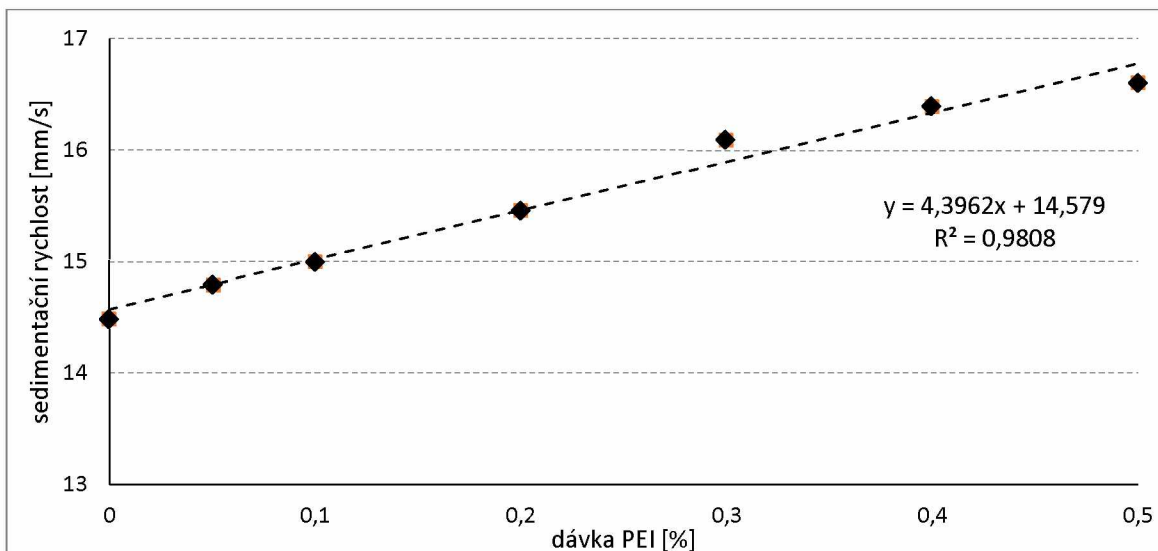
Obrázek 40: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



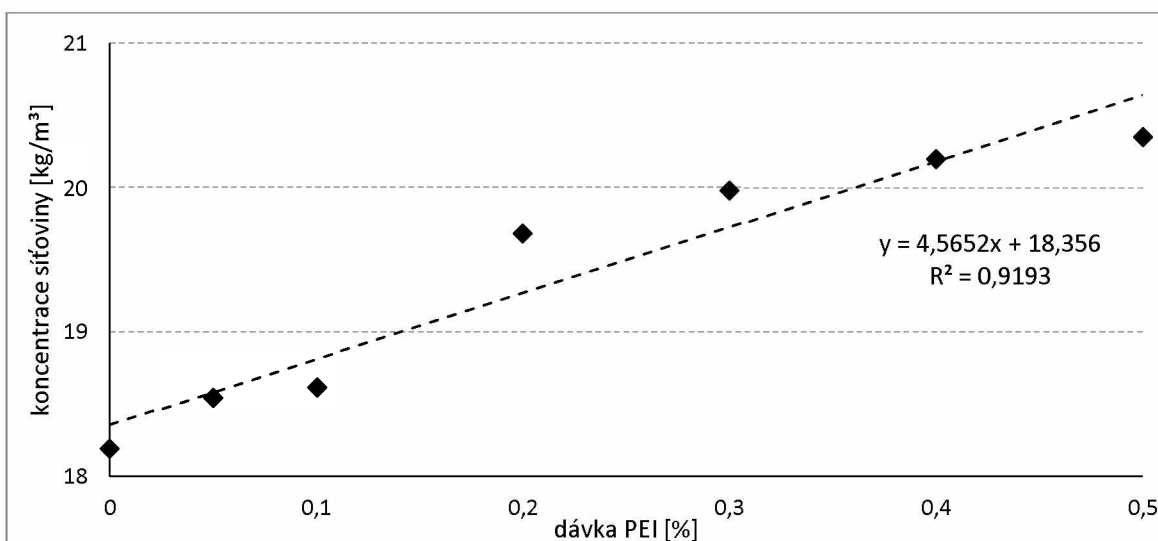
Obrázek 41: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



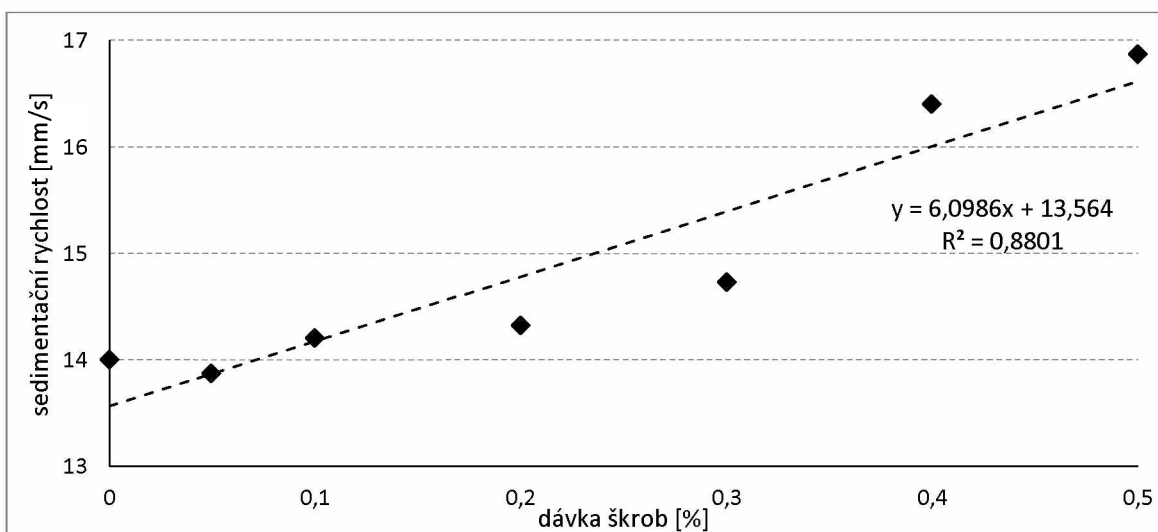
Obrázek 42: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃



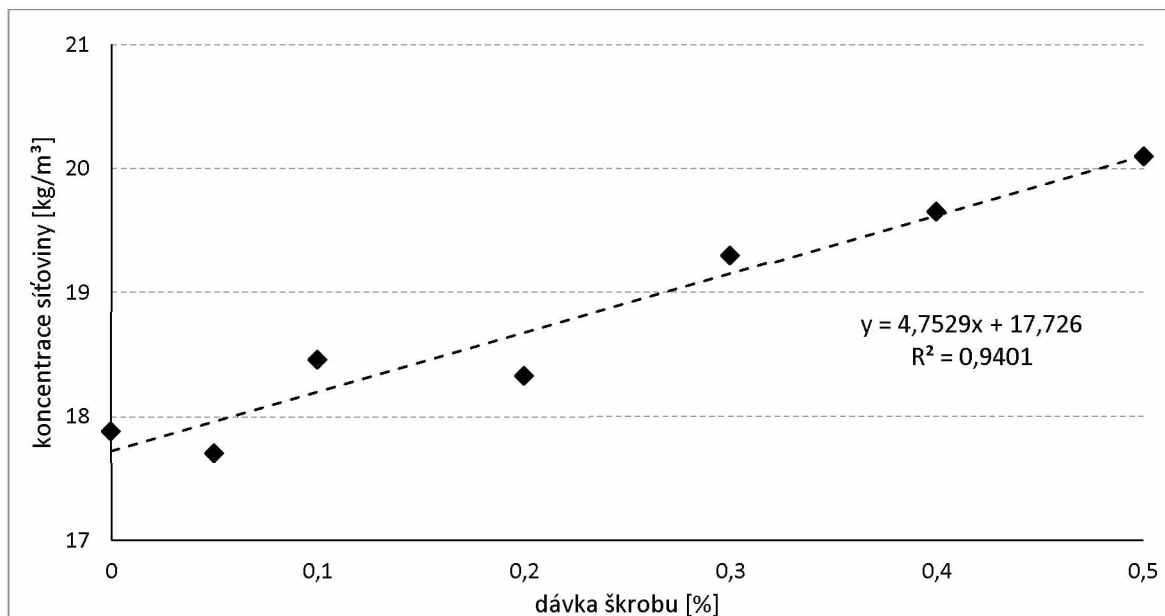
Obrázek 43: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI



Obrázek 44: Závislost koncentrace síťoviny na dávce PEI



Obrázek 45: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu



Obrázek 46: Závislost koncentrace síťoviny na dávce škrobu

Tabulka 32: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI

koncentrace PEI [%]	plošná hmotnost aršíku [g/m²]	pevnost [N/15 mm]	bělost [%]	opacita [%]
0	26,1	17,24	92,0	73,40
0,05	26,1	17,32	92,0	73,40
0,1	26,1	17,26	92,1	73,31
0,2	26,2	17,51	92,3	73,10
0,3	26,0	17,43	92,4	72,90
0,4	26,1	17,49	92,2	73,11
0,5	26,0	17,53	92,6	72,70

Tabulka 33: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu

koncentrace škrobu [%]	plošná hmotnost aršíku [g/m²]	pevnost [N/15 mm]	bělost [%]	opacita [%]
0	25,9	17,31	92,0	73,10
0,05	25,9	17,30	92,0	73,10
0,1	26,0	17,29	92,1	73,22
0,2	26,1	17,55	92,2	73,23
0,3	26,1	17,40	92,3	73,40
0,4	25,9	17,49	92,3	73,21
0,5	26,1	17,51	92,5	72,90

3.3.1 Průběh výroby v laboratorních podmínkách

Odebrána buničina obsahovala 27 % dlouhovláknité buničiny mleté na 90 SR, 58 % nemleté krátkovláknité buničiny a 15 % výmětu. Stejně jako v předchozích případech byla sedimentační rychlost v_s a konečná koncentrace c_k poměrně vysoká a bylo vidět, že se zvyšující se dávkou retenčního prostředku se sedimentační rychlost zvyšovala (viz tabulky 30 a 31).

V obou případech dávkování polyethyleniminu a škrobu, docházelo opět s růstem sedimentační rychlosti resp. s dávkou retenčního prostředku k poklesu zákalu vyčerených vod. Závislost sedimentační rychlosti na dávce polyethyleniminu vykazovala lineární závislost s pozitivní korelací ($R^2 = 0,9808$) a stejné chování vykazovala i závislost koncentrace síťoviny se slušnou korelací ($R^2 = 0,9193$). Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu vykazovala lineární závislost s trochu horší korelací ($R^2 = 0,8801$) a závislost koncentrace síťoviny s dobrou korelací ($R^2 = 0,9401$).

Z buničiny byly opět vytvořeny aršíky s plošnou hmotností $\pm 26 \text{ g/m}^2$ pro určení mechanických a optických vlastností. Stejně jako u předchozích cigaretových papírů bylo vidět, že se zvyšující dávkou se mechanické a optické vlastnosti mírně zvyšovaly (viz tabulky 32 a 33).

3.3.2 Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru

Tabulka 34: Parametry nastavení papírenského stroje

<i>nastavení PS</i>	<i>výroba bez guarů</i>	<i>výroba s guaru</i>
<i>výroba</i>	1 623 kg/h	1 623 kg/h
<i>dávka škrobu typu A + B</i>	55,45 kg/t	-
<i>dávka guaru M1</i>	-	4,44 kg/t
<i>dávka guaru M2</i>	-	1,11 kg/t
<i>rychlost PS</i>	464 m/min	467 m/min

Tabulka 35: Naměřené hodnoty u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guarý</i>
<i>gramáž</i>	26 g/m ²	26 g/m ²
<i>pevnost</i>	18,7 N/15 mm	18,7 N/15 mm
<i>protážení</i>	1,48 %	1,35 %
<i>bělost</i>	92,4 %	92 %
<i>opacita</i>	72,9 %	73,4 %
<i>intenzita molety</i>	9,3	10,3
<i>obsah CaCO₃</i>	28,8 %	29,2 %
<i>celková retence</i>	67,95 %	71,99 %
<i>retence plnidel</i>	62,12 %	65,10 %
<i>retence vláken</i>	65,7 %	79,71 %
<i>propustnost pro vzduch</i>	29 CU	28 CU
<i>variační koeficient</i>	12,51 %	8,51 %
<i>zápach</i>	0	0
<i>popel při 525°C (nátok na PS)</i>	59,9 %	60 %
<i>SR (nátok na PS)</i>	27,1	25,2
<i>náboj (nátok na PS)</i>	-6 µeq/l	-12 µeq/l
<i>pH (nátok na PS)</i>	8,11	8,18

Tabulka 36: Naměřené hodnoty náboje u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

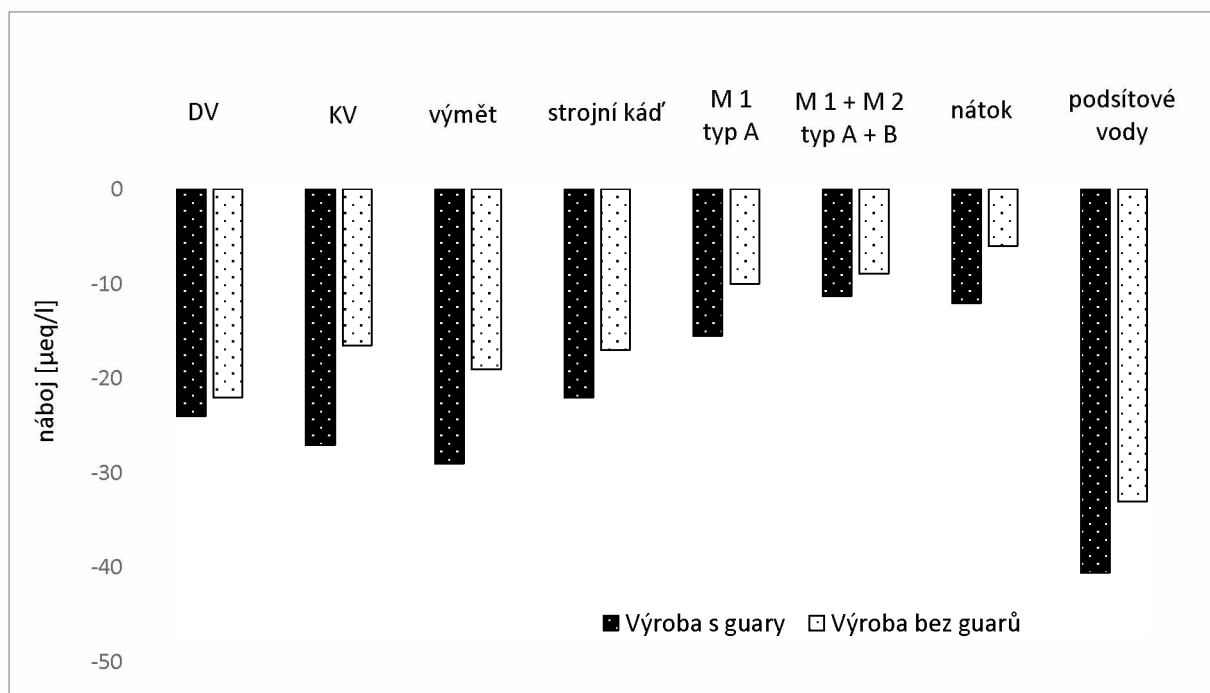
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [µeq/l]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-24	21,43
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-27	23,42
<i>výmět</i>	-29	36,78
<i>strojni kád'</i>	-22	25,78
<i>M1</i>	-15,5	14,23
<i>M1 + M2</i>	-11,3	12,95
<i>nátok (M1 + M2)</i>	-12	8,39
<i>podšitové vody</i>	-40,5	3,96

Tabulka 37: Naměřené hodnoty náboje u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃ se škrobem

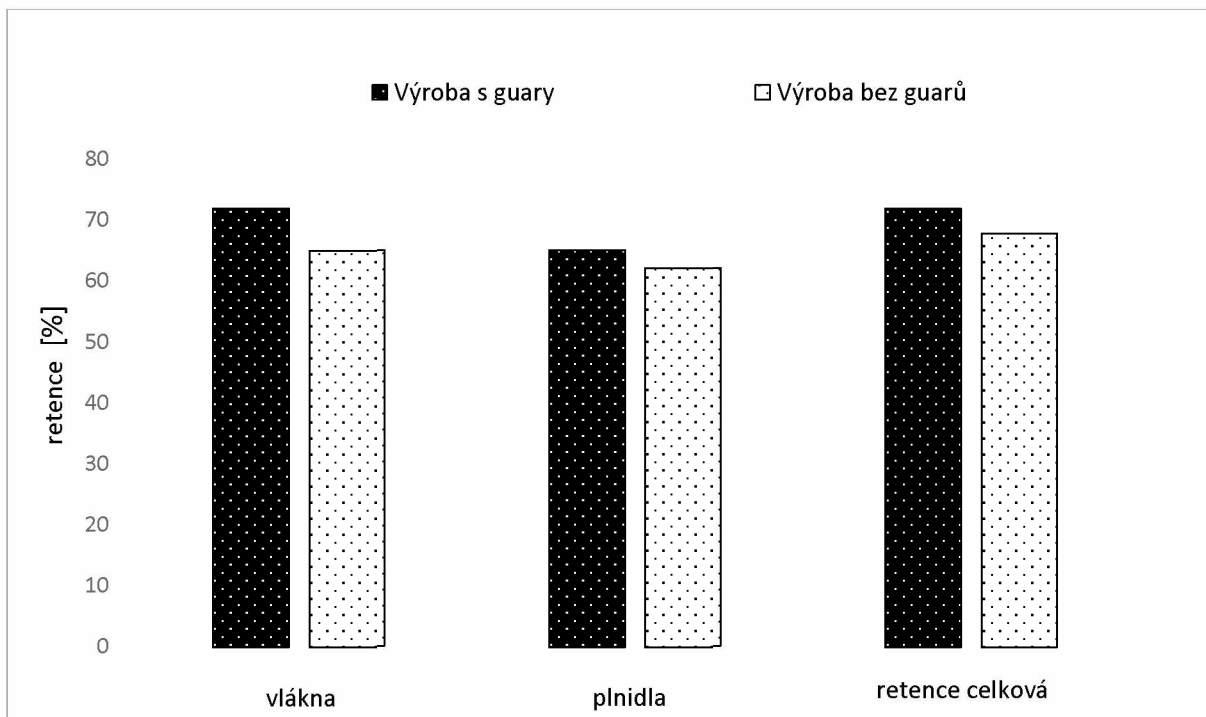
odběrové místo	náboj [$\mu\text{eq/l}$]	konzistence [g/l]
dlouhovláknitá buničina	-22	22,8
krátkovláknitá buničina	-16,5	24,4
výmět	-19	32,6
strojní kád'	-17	24,4
škrob typ A	-10	15,78
škrob typu A + B	-8,9	11,76
nátok (škrob typu A + typ B)	-6	7,98
podšitové vody	-33	4,56

Tabulka 38: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 30 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃

škrob	konzistence [g/l]	viskozita [mPa·s]	pH
typ A	1,34	26,1	5
typ B	2,01	64	5,6



Obrázek 47: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guarů a bez



Obrázek 48: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guarý a bez

3.3.3 Průběh výroby na papírenském stroji

Opět jako u předchozích cigaretových papírů výroba s guarý odpovídala kvalitativní specifikaci. Při výrobě s guarý u daného cigaretového papíru, docházelo k větší retenci než při výrobě se škrobem. Při výrobě se škrobem došlo k poklesu molety z hodnoty 10,3 na 9,3. Nedošlo ke změně pevnosti, při výrobě s guarý i škrobem odpovídala hodnotě 18,7 N/15 mm. Došlo ke zvýšení optických vlastností, bělost mírně vzrostla z 92 % na 92,4 %. Dále došlo opět jako u předchozích případů vyráběných papírů, ke zhoršení rozkolísanosti propustnosti pro vzduch, posuzováno podle variačního koeficientu z hodnoty 8,51 % na 12,51 %. I přes změny některých sledovaných parametrů, kvalita vyráběného papíru se škrobem odpovídala specifikaci, proto lze tento druh papíru vyrábět v akceptovatelné kvalitě i bez guarů. I zde by bylo možné optimalizovat rozptyl propustnosti pro vzduch, změnou nastavení odvodňovacích prvků v síťové části papírenského stroje.

3.4 Druh papíru: CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃

3.4.1 Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách

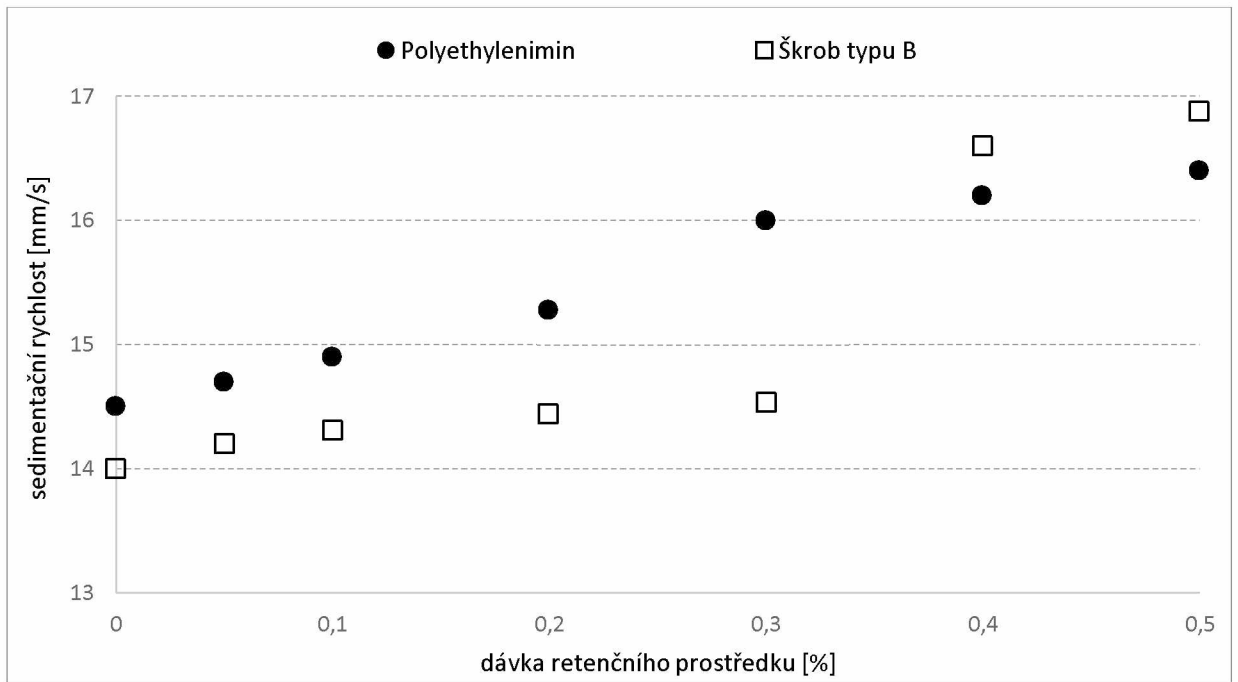
V laboratorních podmínkách byl sledován vliv retenčních prostředků na chování papíroviny při tzv. rheosedimentaci. Standardně používané guaru byly nahrazeny polyethyleniminem a kationickým škrobem. Pro měření byla odebrána namletá buničina ze zásobní nádrže.

Tabulka 39: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃ s PEI

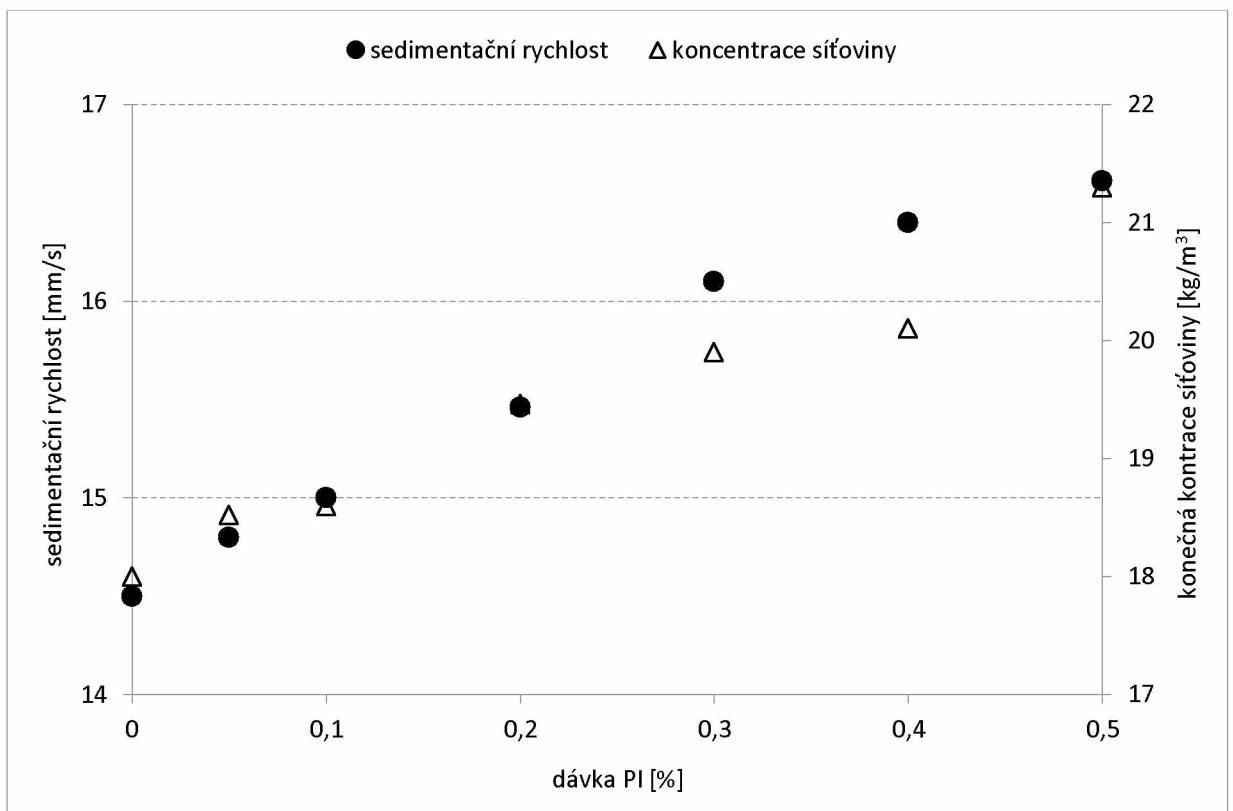
<i>dávka</i> <i>PEI [g]</i>	<i>koncentrace</i> <i>PEI [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sítoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[μeq/l]</i>
0	0	14,50	18,03	4,49	-33
0,0125	0,05	14,71	18,52	3,80	-30
0,025	0,1	14,93	18,60	2,61	-27
0,05	0,2	15,28	19,46	2,22	-21
0,075	0,3	16,02	19,90	1,10	-20
0,1	0,4	16,20	20,11	0,70	-19
0,125	0,5	16,40	21,34	0,62	-17

Tabulka 40: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃ se škrobem

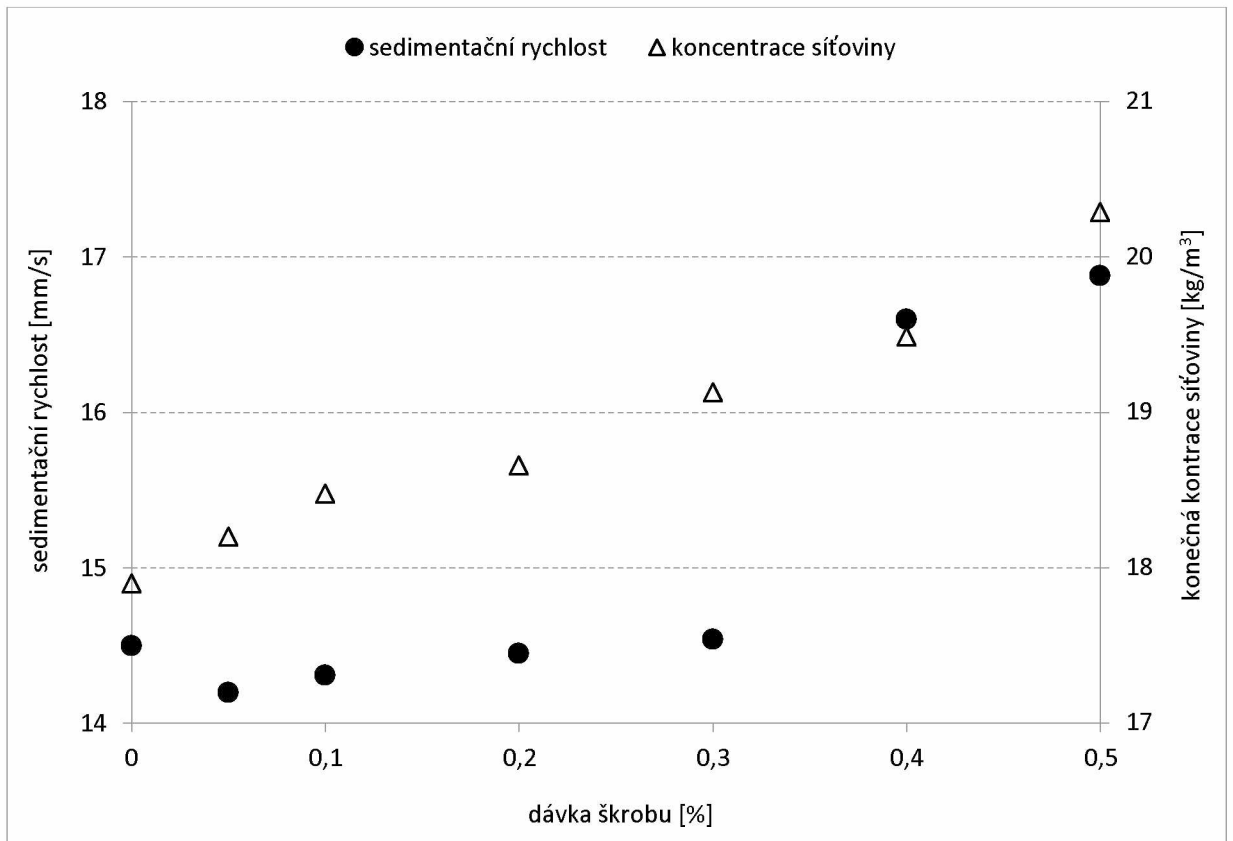
<i>dávka</i> <i>škrobu typu B [g/l]</i>	<i>koncentrace</i> <i>škrobu typu B [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sítoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[μeq/l]</i>
0	0	14,01	17,90	5,41	-38
0,0125	0,05	14,24	18,21	4,83	-30
0,025	0,1	14,31	18,48	3,33	-26
0,05	0,2	14,45	18,66	3,01	-25
0,075	0,3	14,54	19,13	2,10	-20
0,1	0,4	16,61	19,49	1,50	-19
0,125	0,5	16,88	20,29	0,97	-13



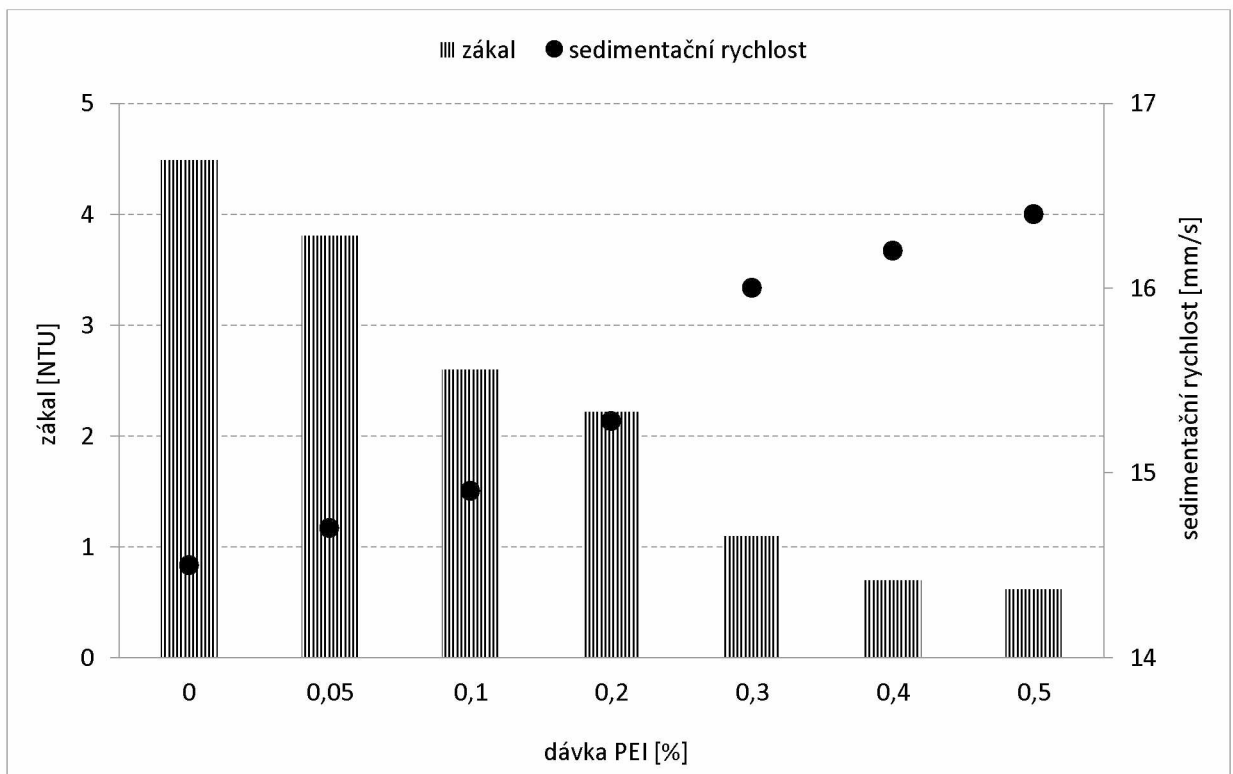
Obrázek 49: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



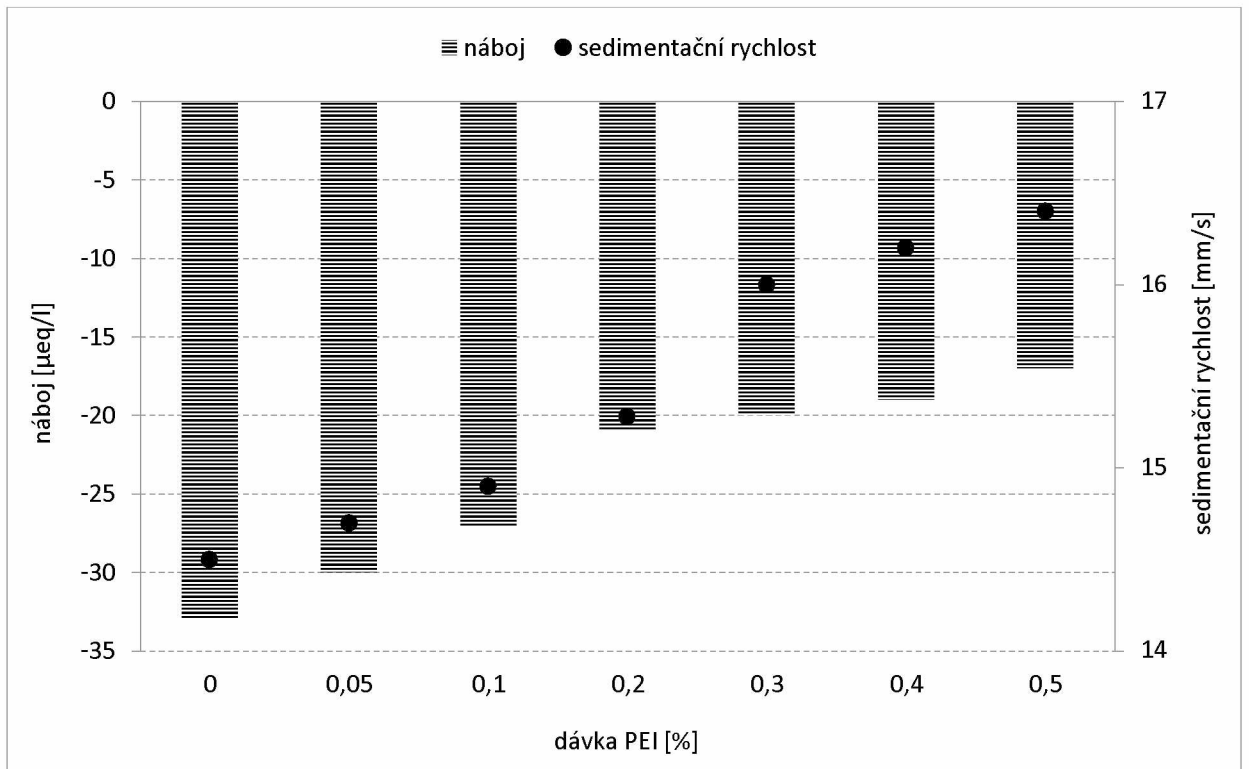
Obrázek 50: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



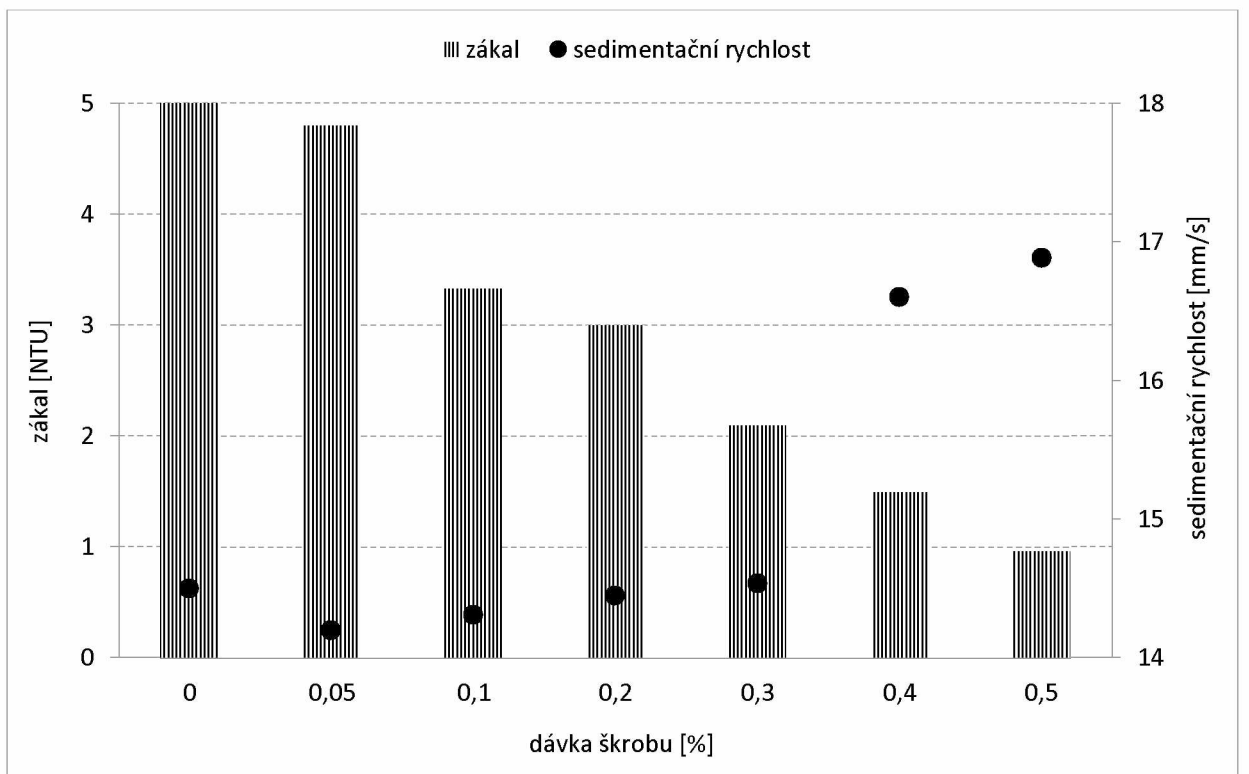
Obrázek 51: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



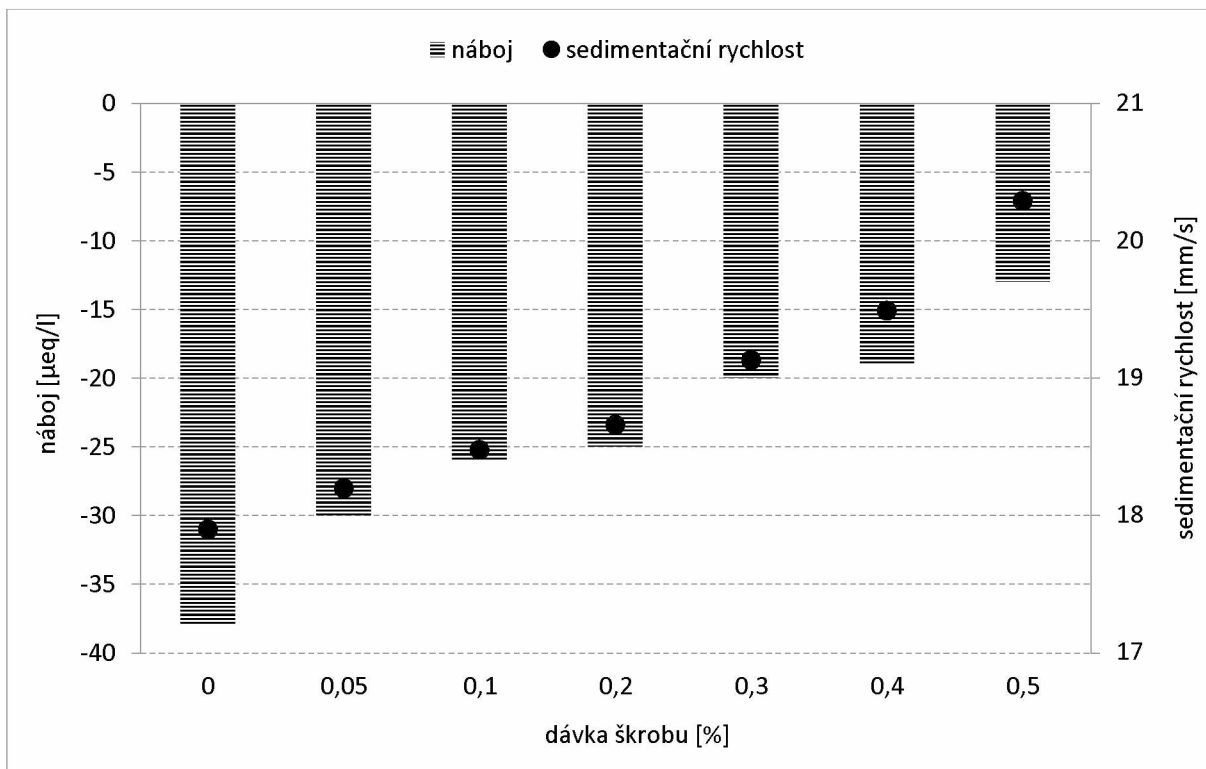
Obrázek 52: Vliv dávkování PEI na zákal u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



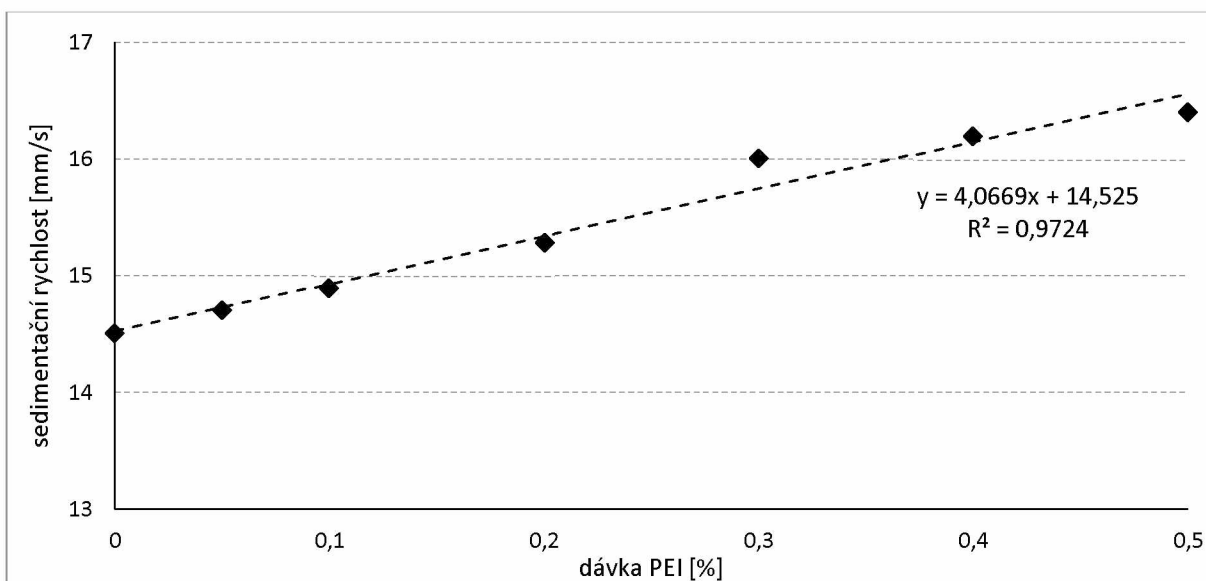
Obrázek 53: Vliv dávkování PEI na náboj u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



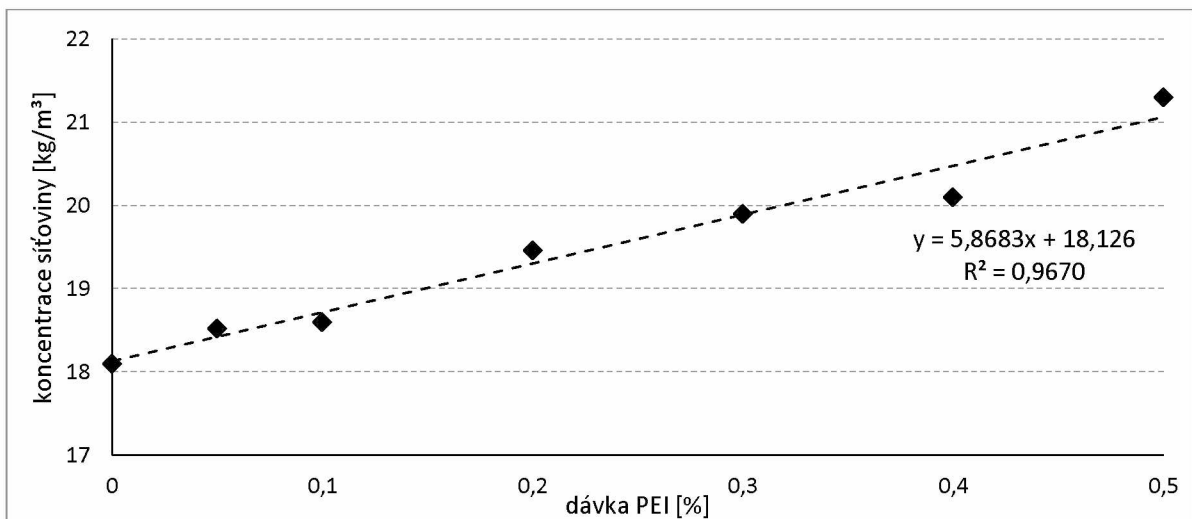
Obrázek 54: Vliv dávkování škrobu na zákal u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



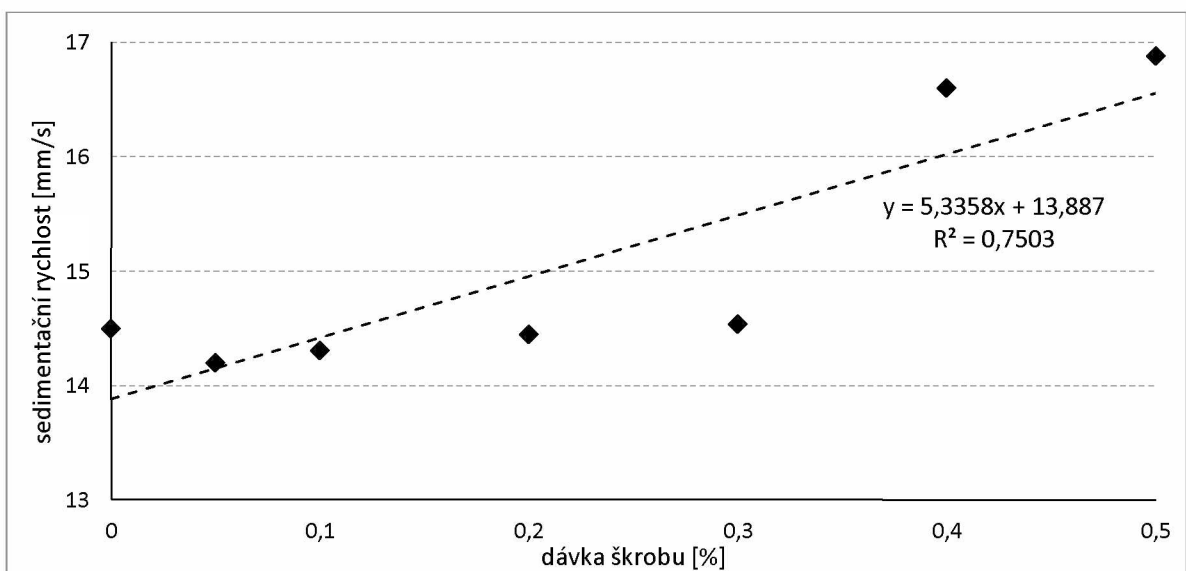
Obrázek 55: Vliv dávkování škrobu na náboj u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃



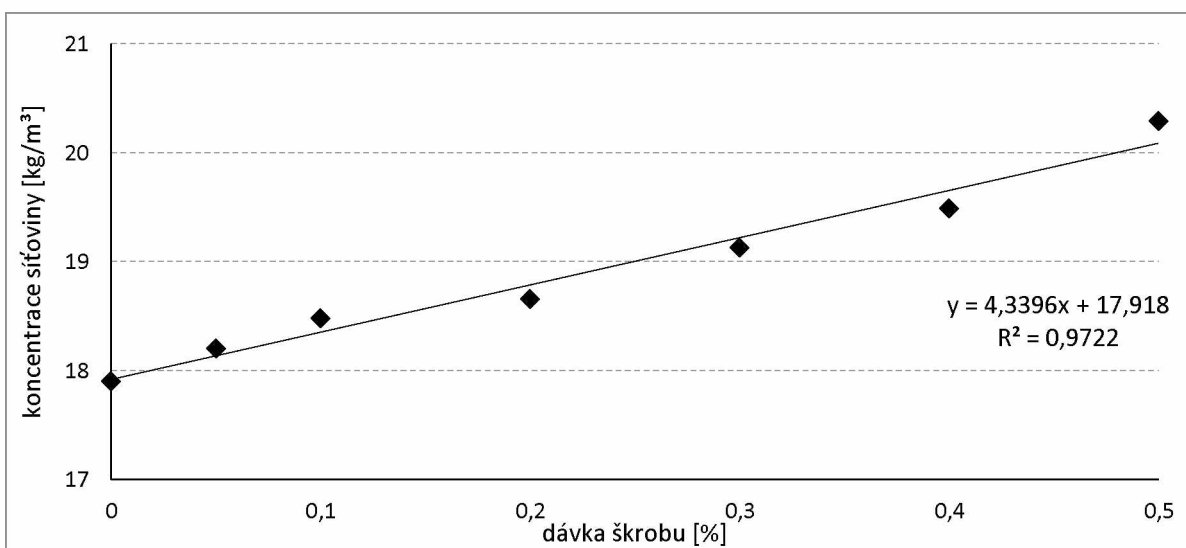
Obrázek 56: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI



Obrázek 57: Závislost koncentrace sířoviny na dávce PEI



Obrázek 58: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu



Obrázek 59: Závislost koncentrace sířoviny na dávce škrobu

Tabulka 41: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI

<i>koncentrace PEI</i> [%]	<i>plošná hmotnost aršíku</i> [g/m ²]	<i>pevnost</i> [N/15 mm]	<i>bělost</i> [%]	<i>opacita</i> [%]
0	26,0	17,20	92,0	72,20
0,05	26,1	17,20	92,0	72,20
0,1	26,1	17,30	92,2	71,91
0,2	26,1	17,31	92,0	72,23
0,3	26,1	17,42	92,0	72,24
0,4	26,1	17,50	92,2	71,90
0,5	26,7	17,50	92,2	71,90

Tabulka 42: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu

<i>koncentrace škrobu</i> [%]	<i>plošná hmotnost aršíku</i> [g/m ²]	<i>pevnost</i> [N/15 mm]	<i>bělost</i> [%]	<i>opacita</i> [%]
0	26,0	16,12	92,0	73,02
0,05	26,0	16,12	92,0	73,02
0,1	26,1	16,20	92,0	73,02
0,2	26,2	16,31	92,0	73,02
0,3	26,2	16,50	92,2	72,90
0,4	25,2	16,50	92,2	72,91
0,5	26,1	16,62	92,3	72,83

3.4.2 Průběh výroby v laboratorních podmínkách

Odebraná buničina obsahovala 18 % dlouhovláknité buničiny mleté na 90 SR, 72 % nemleté krátkovláknité buničiny a 10 % výmětu určeného k recyklaci. Stejně jako u všech zkoumaných cigaretových papírů, byla sedimentační rychlost v_s a konečná koncentrace c_k poměrně vysoká a ze zvyšující se dávkou retenčního prostředku se sedimentační rychlost zvyšovala (viz tabulky 39 a 40).

V případě dávkování polyethyleniminu a škrobu srovnatelně s ostatními druhy papíru docházelo s růstem sedimentační rychlosti resp. s dávkou retenčního prostředku k poklesu zákalu vyčeřených vod. Závislost sedimentační rychlosti na dávkce polyethyleniminu vykazovala lineární závislost s pozitivní korelací ($R^2 = 0,9724$) a stejné chování vykazovala i závislost koncentrace síťoviny s dobrou korelací ($R^2 = 0,9670$). Závislost sedimentační rychlosti na dávkce škrobu vykazovala lineární závislost s horší korelací ($R^2 = 0,7503$), ale závislost koncentrace síťoviny byla už se slušnou korelací ($R^2 = 0,9722$).

Z vytvořených aršíků s plošnou hmotností $\pm 26 \text{ g/m}^2$ byly určeny mechanických a optické vlastnosti. V obou případech retenčních prostředků bylo opět pozorováno, že se zvyšující se dávkou retenčního prostředku docházelo ke zvyšování mechanických a optických vlastností (viz tabulky 41 a 42).

3.4.3 Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a škrobů na stejném druhu papíru

Tabulka 43: Nastavení papírenského stroje

<i>nastavení PS</i>	<i>výroba bez guarů</i>	<i>výroba s guaru</i>
<i>výroba</i>	1 788 kg/h	1 826 kg/h
<i>dávka škrobu typu A + B</i>	72,7 kg/t	-
<i>dávka guaru M1</i>	-	6,57 kg/t
<i>dávka guaru M2</i>	-	0,99 kg/t
<i>rychlost PS</i>	482 m/min	488 m/min

Tabulka 44: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃ na PS

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guaru</i>
<i>gramáž</i>	26 g/m ²	25,9 g/m ²
<i>pevnost</i>	16,2 N/15 mm	17,5 N/15 mm
<i>protážení</i>	1,21 %	1,17 %
<i>bělost</i>	92,2 %	92 %
<i>opacita</i>	73 %	71,8 %
<i>intenzita molety</i>	9,8	9,9
<i>obsah CaCO₃</i>	28,4 %	28,9 %
<i>celková retence</i>	27,71 %	28,46 %
<i>retence plnidel</i>	37,20 %	38,48 %
<i>retence vláken</i>	40,56 %	43,68 %
<i>propustnost pro vzduch</i>	132 CU	130 CU
<i>variační koeficient</i>	21,62 %	10,70 %
<i>zápach</i>	0	0
<i>popel při 525°C (nátok na PS)</i>	67,6 %	70 %

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guarý</i>
<i>SR (nátok na PS)</i>	65	52
<i>náboj (nátok na PS)</i>	- 5 $\mu\text{eq/l}$	- 22 $\mu\text{eq/l}$
<i>pH (nátok na PS)</i>	8,12	8,14

Tabulka 45: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃ s guarý

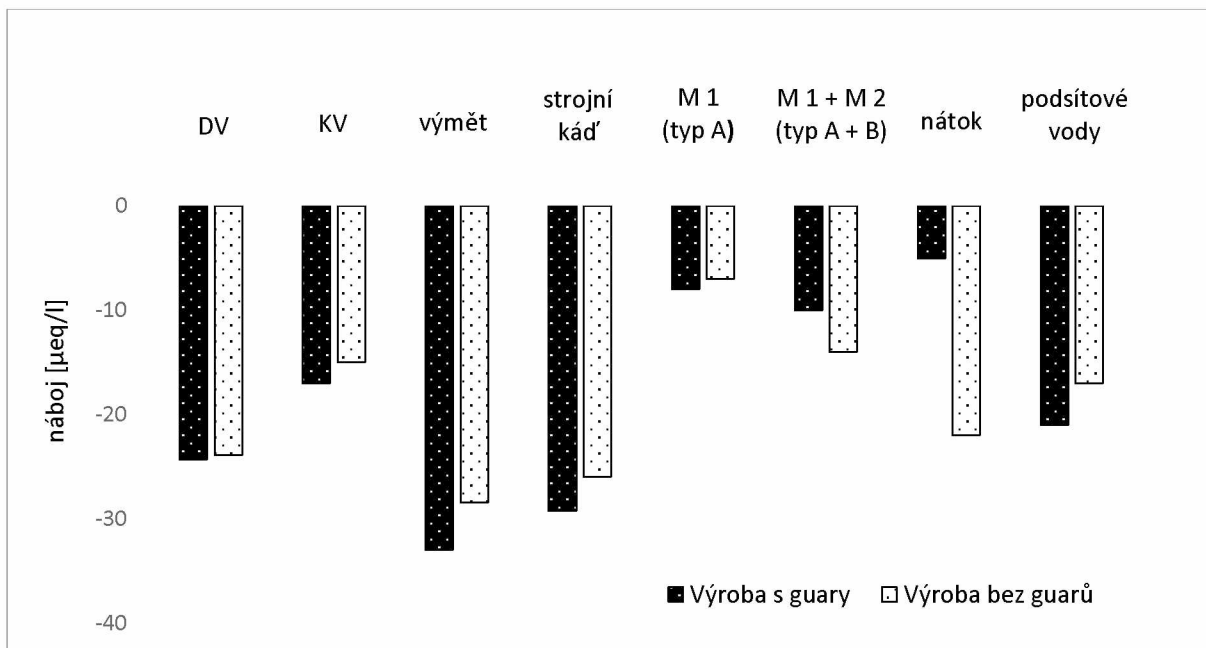
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [$\mu\text{eq/l}$]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-24,3	23
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-17	22,3
<i>výmět</i>	-33	36,5
<i>strojní kád'</i>	-29,2	12,2
<i>M1</i>	-8	11,5
<i>M1 + M2</i>	-10	14
<i>nátok (M1 + M2)</i>	-5	17
<i>podšitové vody</i>	-21	4

Tabulka 46: Naměřené hodnoty u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃ se škroby

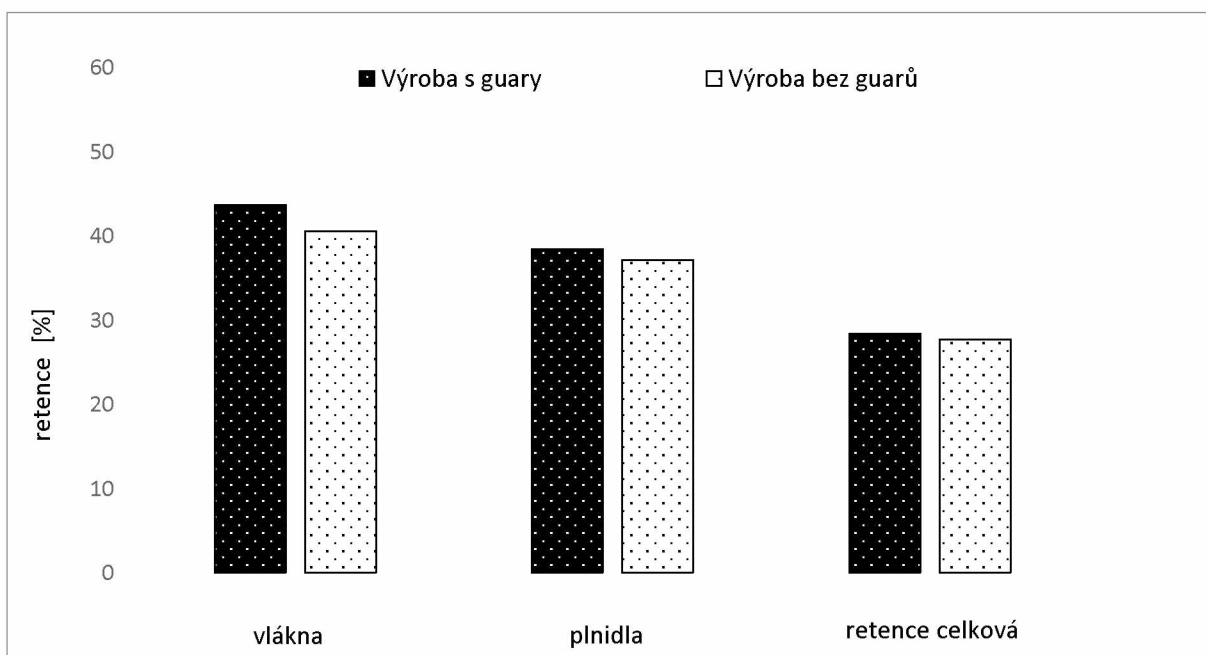
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [$\mu\text{eq/l}$]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-23,9	23,1
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-15	21,9
<i>výmět</i>	-28,4	33
<i>strojní kád'</i>	-26	11,1
<i>škrob typ A</i>	-7	12
<i>škrob typu A + B</i>	-14	13
<i>nátok (škrob typu A + typ B)</i>	-22	14,1
<i>podšitové vody</i>	-17	3,7

Tabulka 47: Vlastnosti používaného škrobu u CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃

<i>škrob</i>	<i>konzistence [g/l]</i>	<i>viskozita [mPa·s]</i>	<i>pH</i>
<i>typ A</i>	1,22	24,3	5
<i>typ B</i>	2,14	68	5



Obrázek 60: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guarý a bez



Obrázek 61: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guarý a bez

3.4.4 Průběh výroby na papírenském stroji

I tento druh cigaretového papíru při výrobě na papírenském stroji probíhal u většiny sledovaných parametrů v kvalitě odpovídající specifikaci. Při výrobě s guarý stejně jako u předchozích cigaretových papírů, docházelo k větší retenci než při výrobě se škrobem.

Při výrobě se škrobem i guaru byla hodnota molety přibližně stejná. Došlo ke změně mechanických vlastností, při výrobě se škrobem klesla pevnost z hodnoty 17,5 N/ 15 mm na 16,2 N/15 mm a došlo ke zvýšení optických vlastností, bělost mírně vzrostla z 92 % na 92,2 %. U tohoto papíru došlo k velkému zhoršení rozkolísanosti propustnosti pro vzduch, hodnocené podle variačního koeficientu z hodnoty 10,70 % na 21,62 %, což je nad hranicí akceptovatelnosti (přijatelná hodnota je max. 15 %). Z naměřených hodnot vyplývá, že lze u toho druhu papíru opět nahradit guaru škrobem, ale je potřeba optimalizovat hodnotu propustnosti pro vzduch v celé šíři vyráběného papíru.

3.5 Druh papíru: NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃

3.5.1 Porovnání retenčních prostředků v laboratorních podmínkách

V laboratorních podmínkách byl sledován vliv retenčních prostředků na chování papíroviny při tzv. rheosedimentaci. Standardně používané guaru byly nahrazeny polyethyleniminem a kationickým škrobem. Pro měření byla odebrána namletá buničina ze zásobní nádrže.

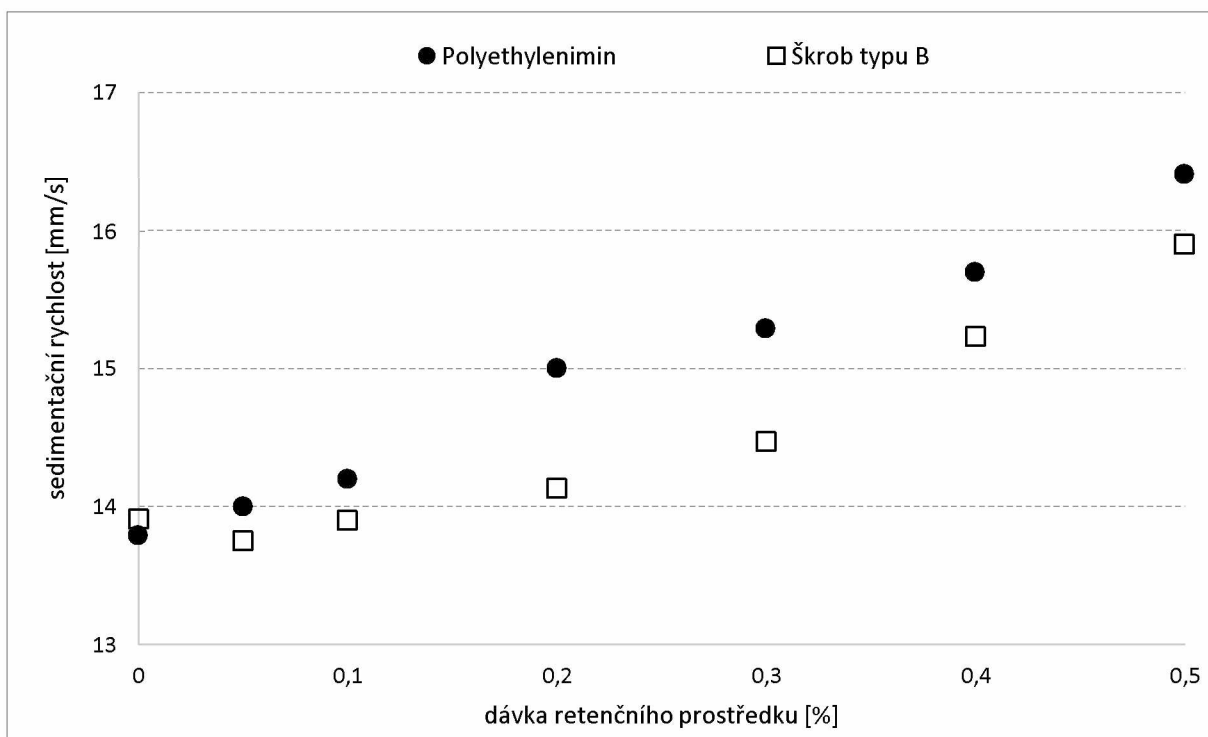
Tabulka 48: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃ s PEI

<i>dávka</i> <i>PEI [g/l]</i>	<i>koncentrace</i> <i>PEI [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sítoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[µeq/l]</i>
0	0	13,79	17,19	4,92	-20
0,0125	0,05	14,01	17,31	4,10	-22
0,025	0,1	14,20	17,89	3,52	-20
0,05	0,2	15,04	18,78	2,80	-19
0,075	0,3	15,29	19,21	1,34	-18
0,1	0,4	15,70	19,30	0,99	-18
0,125	0,5	16,41	20,48	0,97	-17

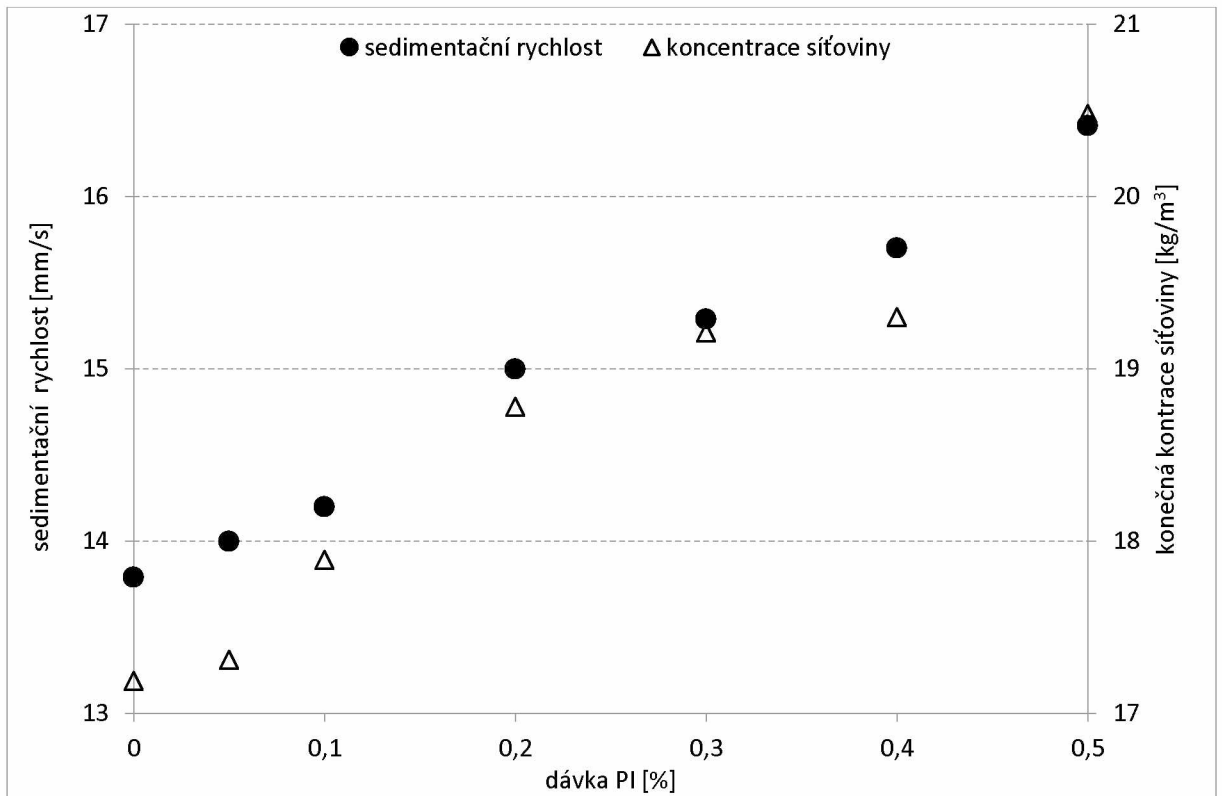
Tabulka 49: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃ se škrobem

<i>dávka</i> <i>škrobu typu B [g/l]</i>	<i>koncentrace</i> <i>škrobu typu B [%]</i>	<i>sedimentační</i> <i>rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace</i> <i>sítoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal</i> <i>[NTU]</i>	<i>náboj</i> <i>[µeq/l]</i>
0	0	13,91	17,78	5,10	-19
0,0125	0,05	13,75	17,56	3,93	-13

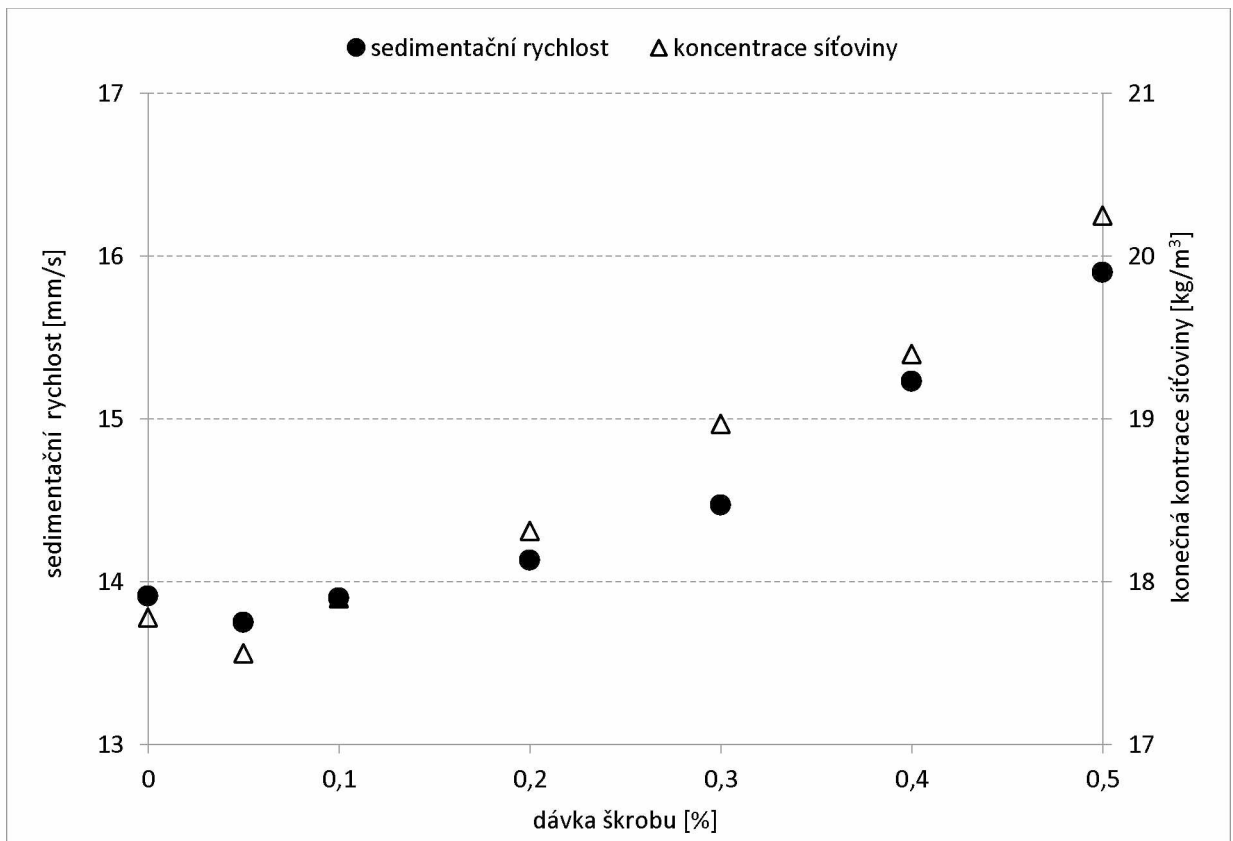
<i>dávka škrobu typu B [g/l]</i>	<i>koncentrace škrobu typu B [%]</i>	<i>sedimentační rychlost [mm/s]</i>	<i>koncentrace síťoviny [kg/m³]</i>	<i>zákal [NTU]</i>	<i>náboj [μeq/l]</i>
0,025	0,1	13,9	17,90	3,65	-12
0,05	0,2	14,13	18,31	3,10	-20
0,075	0,3	14,47	18,97	2,92	-8
0,1	0,4	15,23	19,41	1,01	-7
0,125	0,5	15,90	20,25	0,96	-6,7



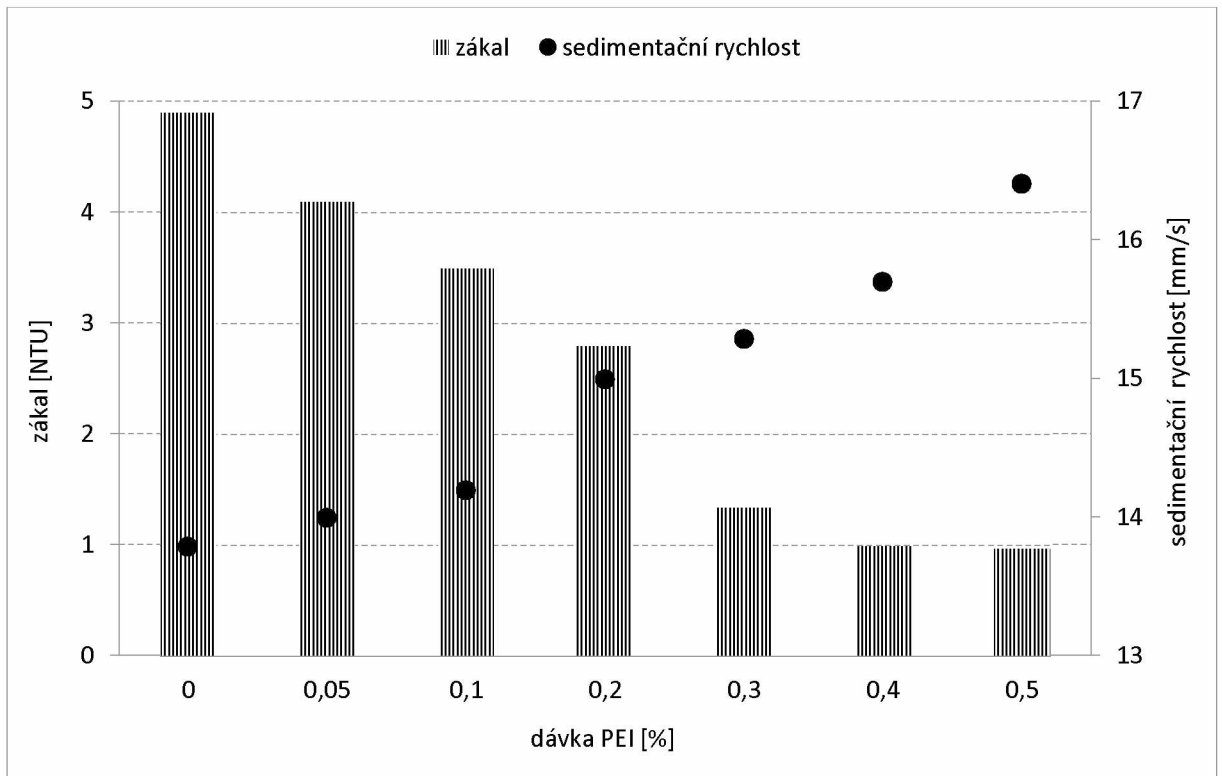
Obrázek 62: Vliv retenčního prostředku na sedimentační rychlost u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



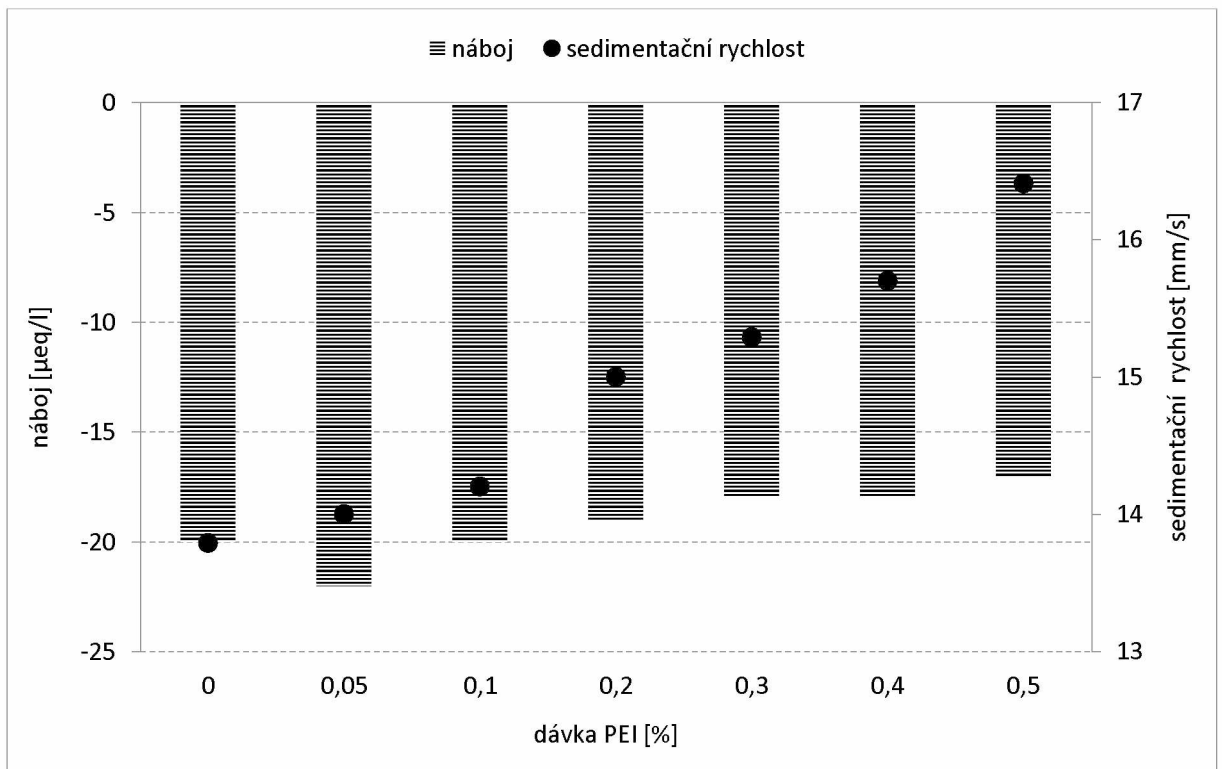
Obrázek 63: Vliv dávkování PEI na parametry rheosedimentace u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



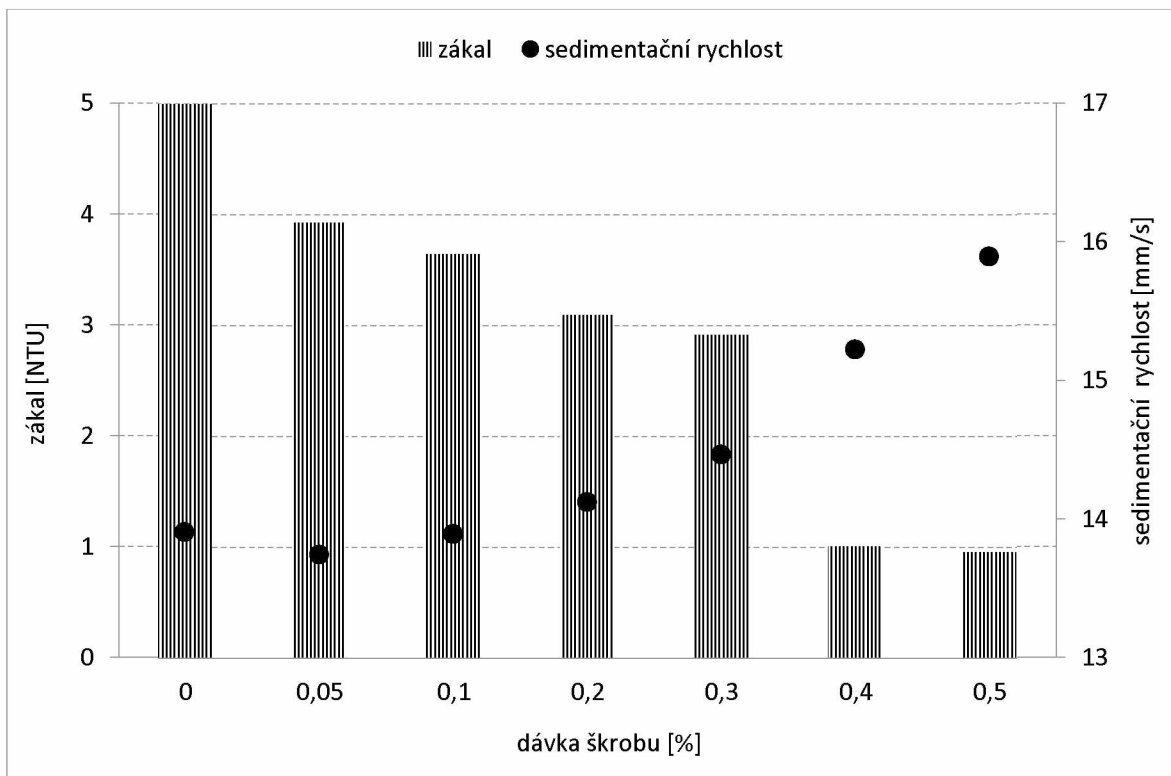
Obrázek 64: Vliv dávkování škrobu na parametry rheosedimentace u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



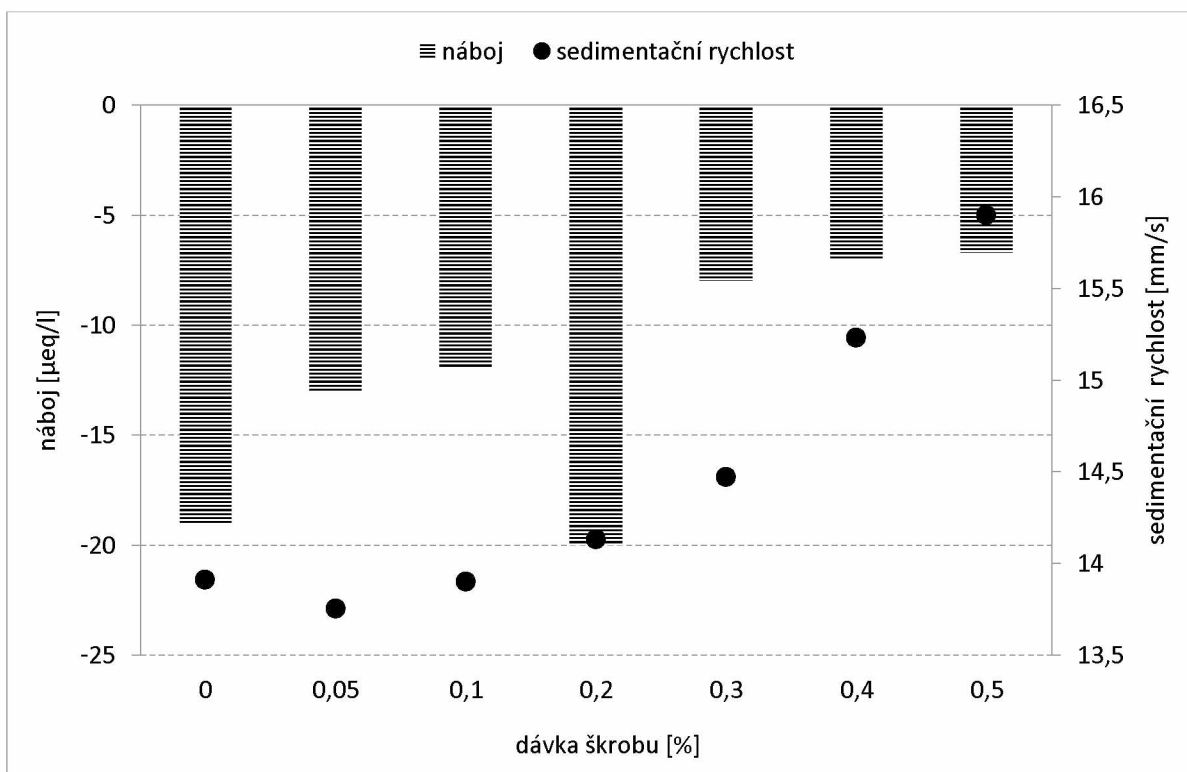
Obrázek 65: Vliv dávkování PEI na zákal u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



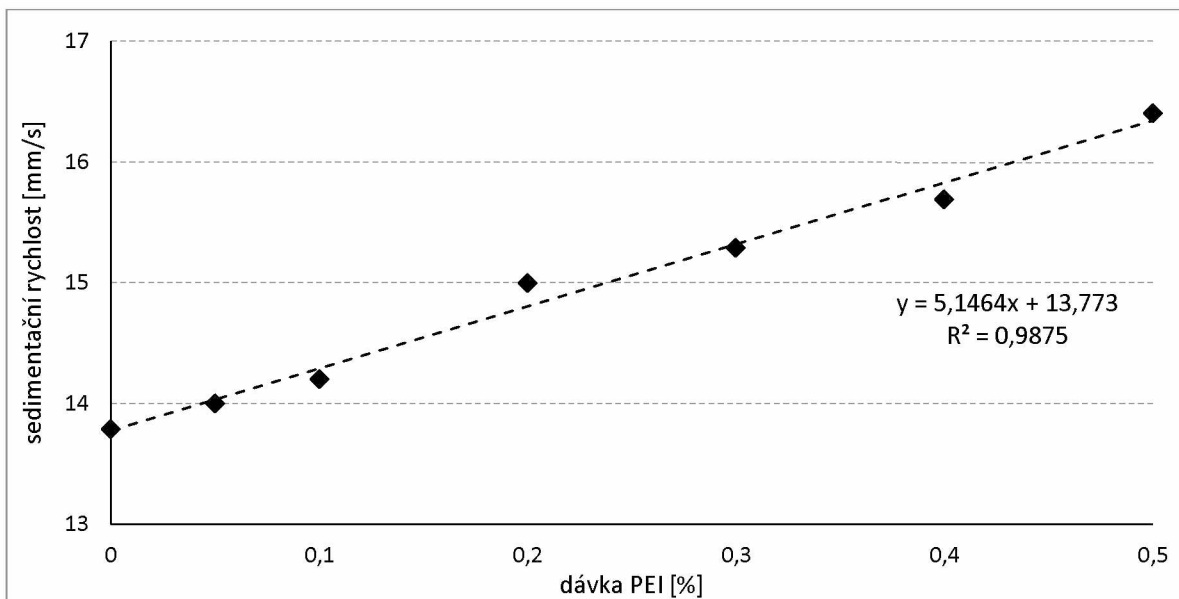
Obrázek 66: Vliv dávkování PEI na náboj u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



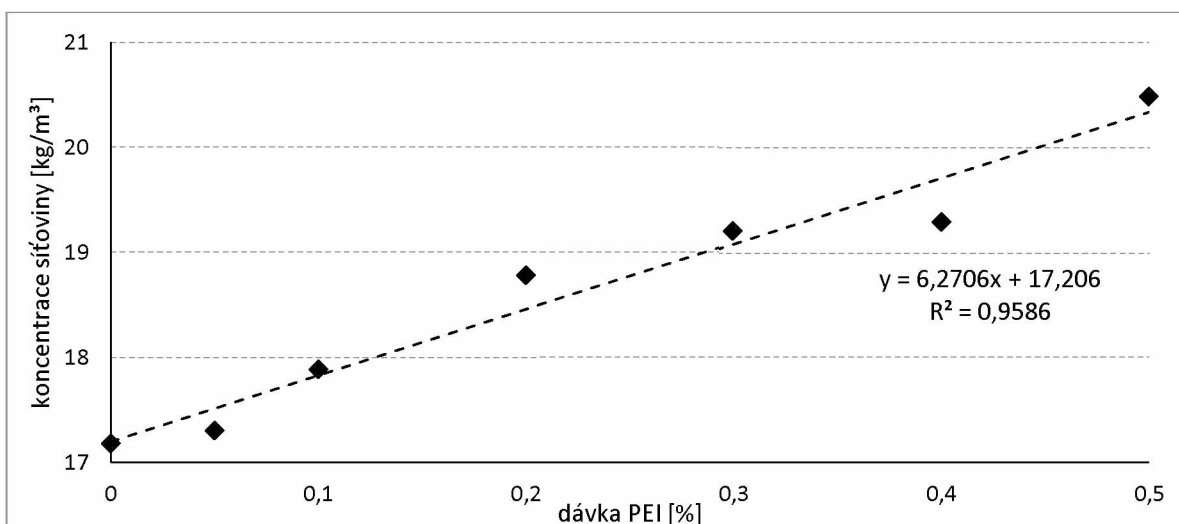
Obrázek 67: Vliv dávkování škrobu na zákal u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



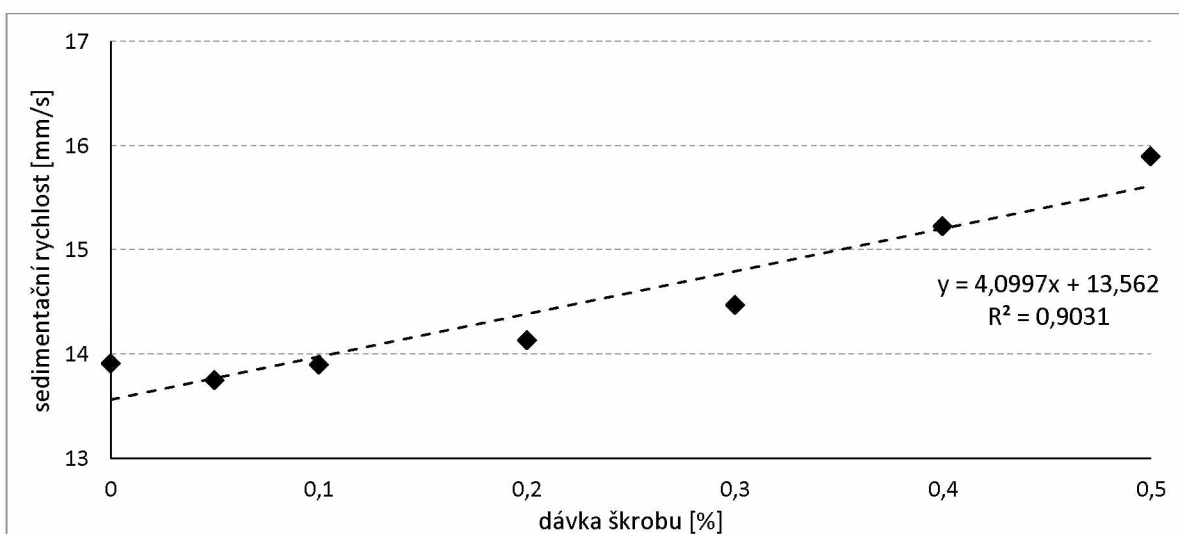
Obrázek 68: Vliv dávkování škrobu na náboj u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃



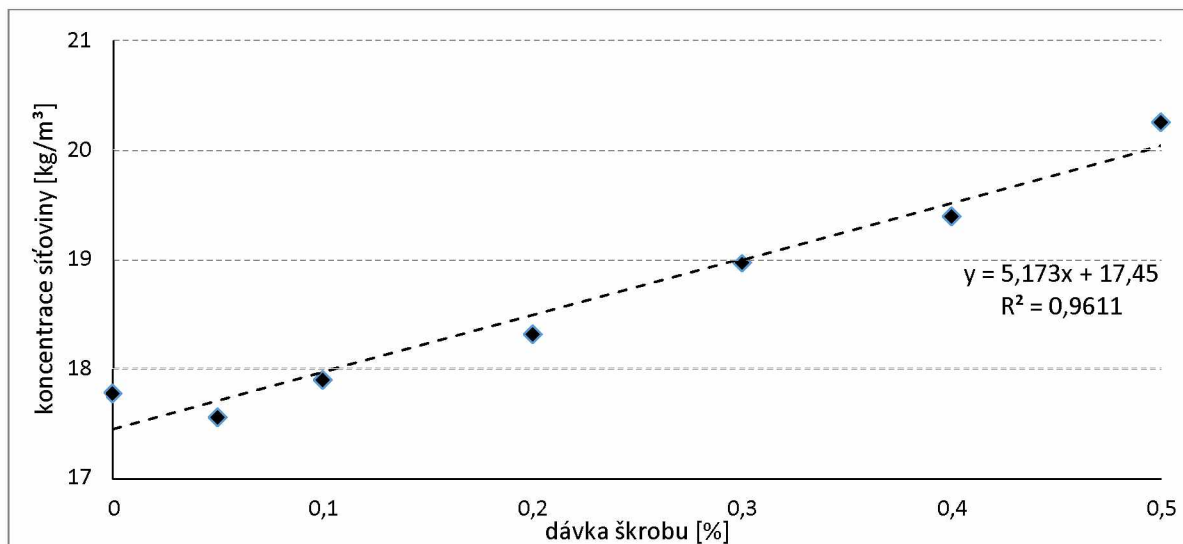
Obrázek 69: Závislost sedimentační rychlosti na dávce PEI



Obrázek 70: Závislost koncentrace sířoviny na dávce PEI



Obrázek 71: Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu



Obrázek 72: Závislost koncentrace sířoviny na dávce škrobu

Tabulka 50: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím PEI

koncentrace škrobu [%]	plošná hmotnost aršíku [g/m²]	pevnost [N/15 mm]	bělost [%]	opacita [%]
0	27,0	27,20	62,0	70,20
0,0125	27,1	27,20	62,0	70,20
0,025	27,0	27,31	62,2	70,10
0,05	27,0	27,40	62,0	70,20
0,075	27,1	27,40	62,0	70,30
0,1	27,3	27,53	62,2	70,21
0,125	27,0	27,70	62,2	70,21

Tabulka 51: Optické a mechanické vlastnosti aršíků s použitím škrobu

koncentrace škrobu [%]	plošná hmotnost aršíku [g/m²]	pevnost [N/15 mm]	bělost [%]	opacita [%]
0	27,0	26,11	62,0	70,05
0,0125	27,0	26,11	62,0	70,05
0,025	27,0	26,23	62,0	70,05
0,05	27,3	26,31	62,0	70,05
0,075	27,1	26,50	62,0	70,05
0,1	27,3	26,40	62,2	70,10
0,125	27,2	26,33	62,2	70,10

3.5.2 Průběh výroby v laboratorních podmínkách

Ze strojní nádrže byla odebrána buničina, která obsahovala 45 % dlouhvláknité buničiny mleté na 90 SR, 35 % nemleté krátkovláknité buničiny a 20 % výmětu určeného k recyklaci. U daného druhu roubového papíru byla sedimentační rychlost v_s a konečná koncentrace c_k poměrně vysoká (viz tabulky 48 a 49). To bylo způsobeno větším podílem krátkých vláken obsažených i ve výmětu, která sedimentují mnohem rychleji než dlouhá vlákna. Z naměřených hodnot je patrné, že se zvyšující se dávkou retenčního prostředku se sedimentační rychlost zvyšovala.

V případě dávkování polyethyleniminu a škrobu docházelo s růstem sedimentační rychlosti resp. s dávkou retenčního prostředku k poklesu zákalu vyčeřených vod. To je spojeno s lepší tvorbou flokulí, které následně lépe sedimentují. Závislost sedimentační rychlosti na dávce polyethyleniminu vykazovala lineární závislost s pozitivní korelací ($R^2 = 0,9875$) a stejné chování vykazovala i závislost koncentrace síťoviny s dobrou korelací ($R^2 = 0,9586$). Závislost sedimentační rychlosti na dávce škrobu vykazovala lineární závislost s horší korelací ($R^2 = 0,9031$) a závislost koncentrace síťoviny s dobrou korelací ($R^2 = 0,9611$).

Z buničiny byly vytvořeny aršíky s plošnou hmotností $\pm 27 \text{ g/m}^2$ pro určení mechanických a optických vlastností. V obou případech retenčních prostředků bylo vidět, že se zvyšující dávkou se mechanické a optické vlastnosti nepatrně zvyšovaly (viz tabulky 50 a 51).

3.5.3 Porovnání výroby na papírenském stroji za použití guarů a různých dávek polyethyleniminu na stejném druhu papíru

U roubového papíru byly při výrobě na papírenském stroji použity různé dávky PEI.

Tabulka 52: Parametry nastavení papírenského stroje

<i>nastavení PS</i>	<i>výroba bez guarů</i>	<i>výroba s guaru</i>
<i>výroba</i>	1 423 kg/h	1 423 kg/h
<i>dávka polyethyleniminu</i>	2 kg/t	-
<i>dávka guaru M2</i>	-	0,8 kg/t
<i>rychlost PS</i>	392 m/min	392 m/min

Tabulka 53: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃ na PS

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guaru</i>
<i>gramáž</i>	27 g/m ²	26,7 g/m ²
<i>pevnost</i>	26,3 N/15 mm	26,4 N/15 mm
<i>protažení</i>	1,66 %	1,71 %
<i>bělost</i>	89,3 %	90,2 %
<i>opacita</i>	61,5 %	61,5 %
<i>obsah CaCO₃</i>	15,5 %	16,2 %
<i>celková retence</i>	82,75 %	68,98 %
<i>retence plnidel</i>	58,38 %	38,91 %
<i>retence vláken</i>	86,88 %	79,18 %
<i>propustnost pro vzduch</i>	10 CU	10 CU
<i>variační koeficient</i>	6,33 %	6,33 %
<i>zápach</i>	0	0
<i>popel při 525°C (nátok na PS)</i>	34,9 %	48,6 %
<i>SR (nátok na PS)</i>	82	81
<i>náboj (nátok na PS)</i>	- 20 µeq/l	- 26 µeq/l
<i>pH (nátok na PS)</i>	8,38	8,38

Tabulka 54: Parametry nastavení papírenského stroje

<i>nastavení PS</i>	<i>výroba bez guarů</i>	<i>výroba s guaru</i>
<i>výroba</i>	1 423 kg/h	1 423 kg/h
<i>dávka polyethyleniminu</i>	3 kg/t	-
<i>dávka guaru M2</i>	-	0,8 kg/t
<i>rychlost PS</i>	392 m/min	392 m/min

Tabulka 55: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃ na PS

<i>naměřené hodnoty</i>	<i>papír bez guarů</i>	<i>papír s guarý</i>
<i>gramáž</i>	27,1 g/m ²	26,7 g/m ²
<i>pevnost</i>	26,4 N/15 mm	27 N/15 mm
<i>protažení</i>	1,71 %	1,66 %
<i>bělost</i>	88,8 %	90,2 %
<i>opacita</i>	61,5 %	61,5 %
<i>obsah CaCO₃</i>	16,3 %	16,2 %
<i>celková retence</i>	82,98 %	68,98 %
<i>retence plnidel</i>	60,89 %	38,91 %
<i>retence vláken</i>	84,66 %	79,18 %
<i>propustnost pro vzduch</i>	9 CU	10 CU
<i>variační koeficient</i>	5,94 %	6,33 %
<i>zápach</i>	83	83
<i>popel při 525°C (nátok na PS)</i>	37 %	48,6 %
<i>SR (nátok na PS)</i>	83	81
<i>náboj (nátok na PS)</i>	- 23 µeq/l	- 26 µeq/l
<i>pH (nátok na PS)</i>	8,33	8,38

Tabulka 56: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃ s guarý

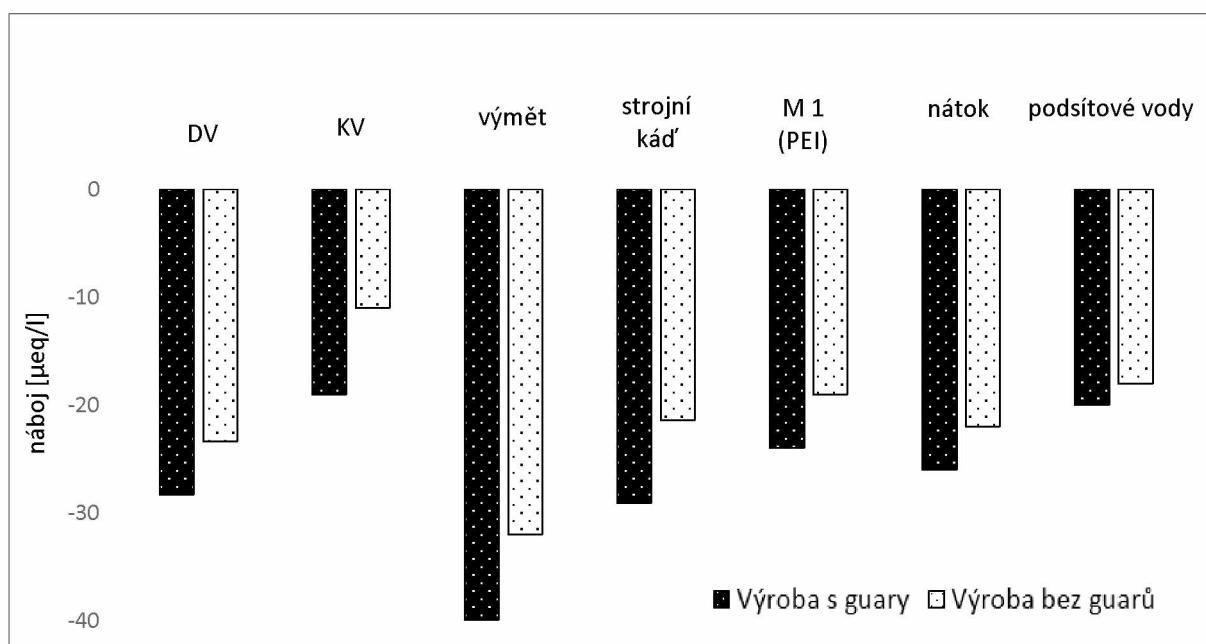
<i>odběrové místo</i>	<i>náboj [µeq/l]</i>	<i>konzistence [g/l]</i>
<i>dlouhovláknitá buničina</i>	-28,3	35,2
<i>krátkovláknitá buničina</i>	-19	24,8
<i>výmět</i>	-40	40,5
<i>strojni kád'</i>	-29,1	15,63
<i>MI</i>	-24	6,98
<i>nátok (MI)</i>	-26	6,39
<i>podšítové vody</i>	-20	3,98

Tabulka 57: Naměřené hodnoty u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃ s PEI

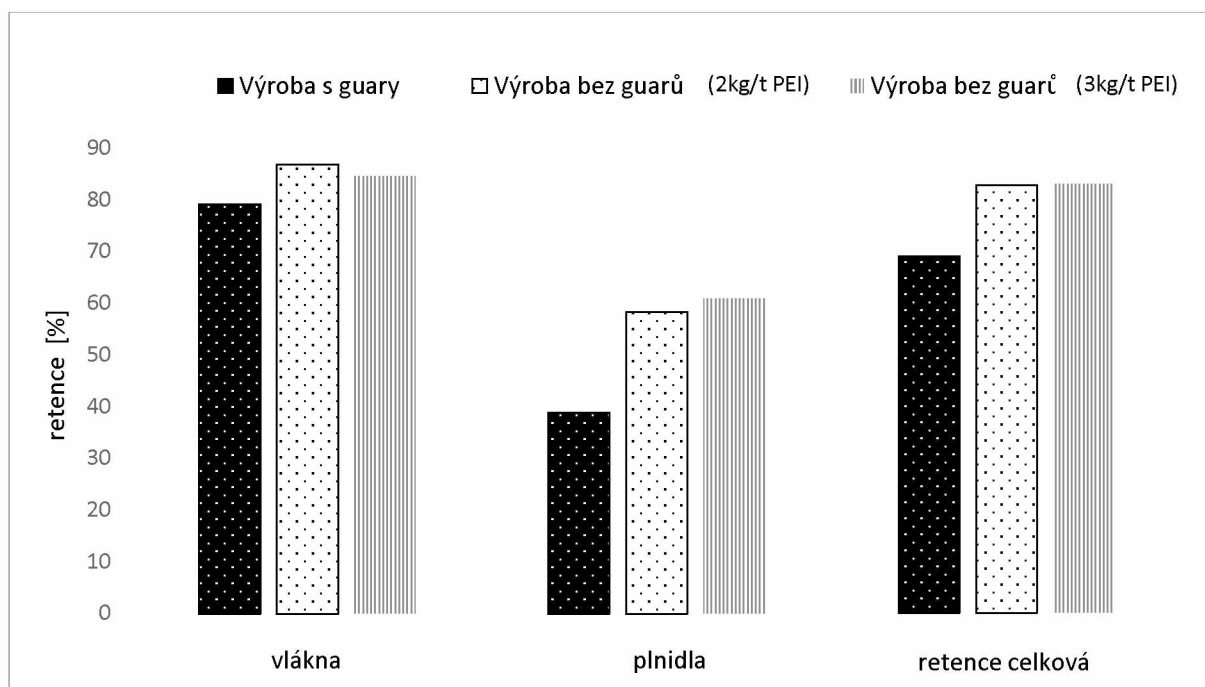
odběrové místo	náboj [$\mu\text{eq/l}$]	konzistence [g/l]
dlouhovláknitá buničina	-23,4	28,76
krátkovláknitá buničina	-11	14,18
výmět	-32	33,67
strojní kád'	-21,4	13,95
polyethylenimin	-19	5,19
nátok (polyethylenimin)	-22	5,20
podšítové vody	-18	4,24

Tabulka 58: Vlastnosti používaného PEI u NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO₃

polyethylenimin	konzistence [g/l]	viskozita [mPa·s]	pH
polyethylenimin	9,33	56	5,98



Obrázek 73: Porovnání vlivu retenčního prostředku na náboj při výrobě s guarý a bez



Obrázek 74: Porovnání vlivu retenčního prostředku na retenci při výrobě s guarý a bez

3.5.4 Průběh výroby na papírenském stroji

Výroba s guarý na papírenském stroji probíhala klasickým způsobem a kvalita roubíkového papíru odpovídala specifikaci. Při dávce polyethyleniminu 2 kg/t vyráběného papíru a výrobě s guarý byly hodnoty pevnosti srovnatelné $\pm 26,4$ N. Došlo ke snížení optických vlastností, bělost klesla z hodnoty 90,2 % na 89,3 %. Při výrobě s polyethylenimínem i guarý byla hodnota rozkolísanosti propustnosti pro vzduch neměnná. Při výrobě s polyethylenimínem, došlo k výraznému zvýšení retence, než při výrobě s guarý,

Při dávce polyethyleniminu 3 kg/t vyráběného papíru došlo k mírné změně mechanických vlastností, při výrobě papíru klesla pevnost z hodnoty 27 N/15 mm na 26,4 N/15 mm. Došlo ke snížení optických vlastností, bělost klesla z hodnoty 90,2 % na 88,8 %. Při výrobě s polyethylenimínem došlo ke změně rozkolísanosti propustnosti pro vzduch podle variačního koeficientu. Hodnota tohoto parametru se snížila z hodnoty 6,33 % na 5,94 %. Z naměřených hodnot vyplývá, že dávka polyethyleniminu 3 kg/t je pro dosažení specifikovaných vlastností výhodnější.

I přes změny některých sledovaných parametrů, kvalita vyráběného papíru se škrobem odpovídala specifikaci, proto lze tento druh papíru vyrábět v dobré kvalitě i bez guarů.

3.6 Cena retenčních prostředků

Tabulka 59: Ceny retenčních prostředků v době měření

<i>retenční prostředek</i>	<i>cena</i>
nativní guar (M1)	4 110 EUR/t
kationický guar (M2)	4 770 EUR/t
škrob typu A	744 EUR/t
škrob typu B	744 EUR/t
Polyethylenimin (PEI)	2 000 EUR/t

Tabulka 60: Cena retenčního prostředku při použití guarů

<i>druh papíru</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>
CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	25,3 EUR/t	5,3 EUR/t
CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	27,0 EUR/t	4,7 EUR/t
CP / 30 CU / 26 gsm / 32 % CaCO ₃	18,3 EUR/t	5,3 EUR/t
CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	27,0 EUR/t	4,7 EUR/t
NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ (2 kg/t)	-	3,8 EUR/t
NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ (3 kg/t)	-	3,8 EUR/t

Tabulka 61: Cena retenčního prostředku bez použití guarů

<i>druh papíru</i>	<i>škrob typu A+B</i>	<i>PEI</i>
CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO ₃	41,3 EUR/t	-
CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO ₃	58,6 EUR/t	-
CP / 30 CU / 26 gsm / 32 % CaCO ₃	41,3 EUR/t	-
CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO ₃	54,0 EUR/t	-
NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ (2 kg/t)	-	4,0 EUR/t
NPW / 10 CU / 27 gsm / 16 % CaCO ₃ (3 kg/t)	-	6,0 EUR/t

Pro výrobu cigaretových papírů byly jako vhodný retenční prostředek vybrány dva typy škrobu (A + B), které měly nižší pořizovací náklady 744 EUR/t. Pro výrobu roubového papíru byl vybrán polyethylenimin s pořizovacími náklady 2 000 EUR/t. Při výrobě na papírenském stroji, muselo být pro dosažení potřebných parametrů dávkováno větší množství škrobu, než při

výrobě s guarou. Tato skutečnost způsobila, zvýšení výrobních nákladů z hodnoty 30,6 EUR/t na 41,3 EUR/t vyráběného papíru CP / 60 CU / 25 gsm / 32 % CaCO₃. Stejným způsobem probíhala výroba i ostatních cigaretových papírů na papírenském stroji. Došlo ke zvýšení výrobních nákladů z hodnoty 31,7 EUR/t na 58,6 EUR/t u vyráběného papíru CP / 70 CU / 26 gsm / 30 % CaCO₃. Výrobní náklady vzrostly z hodnoty 23,6 EUR/t na 41,3 EUR/t u vyráběného papíru CP / 30 CU / 26 gsm / 32 % CaCO₃ a z hodnoty 31,7 EUR/t na 54 EUR/t u vyráběného papíru CP / 130 CU / 26 gsm / 28 % CaCO₃. Pro roubíkové papíry byl vybrán jako vhodný retenční prostředek polyethylenimin. V případě dávkování polyethyleniminu v množství 2 kg/t, došlo k nepatrnému zvýšení výrobních nákladů z hodnoty 3,8 EUR/t na 4,0 EUR/t. Po následném zvýšení dávky polyethyleniminu v množství 3 kg/t, došlo k výraznějšímu zvýšení provozních nákladů na částku 6,0 EUR/t.

4 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo nalézt alternativní náhradu používaných guarů jiným retenčním prostředkem s ohledem na jeho účinnost a cenu. Z důvodu změny legislativy v některých zemích, bylo potřeba se co nejvíce přiblížit ke specifikovaným parametrům vyráběných tabákových papírů. Pro náhradu guarů byl vybrán polyethylenimin a dva druhy kationických škrobů.

Pro diplomovou práci byly vybrány čtyři druhy cigaretových papírů a jeden druh roubíkového papíru. V laboratorních podmínkách bylo chování papíroviny hodnoceno pomocí tzv. rheosedimentace. Byly vypočítány rychlosti sedimentace a konečné koncentrace síťoviny jednotlivých druhů cigaretových papírů, které vykazovaly poměrně vysoké hodnoty. To bylo způsobeno různým poměrem dávek dlouhovláknité a zejména krátkovláknité buničiny. Dále mohly být parametry rheosedimentace ovlivněny dávkou tzv. výmětu z papírenského stroje či úpraven papíru. Byl sledován i vliv na náboj a zákal vyčeřených vod. Při porovnání PEI a škrobu v laboratorních podmínkách bylo pozorováno, že mají na vlastnosti jednotlivých druhů zkoušených papírů podobný vliv.

Pro výrobu cigaretových papírů byly jako retenční prostředek vybrány dva typy škrobu (A + B), které měly nižší pořizovací náklady. V případě roubíkového papíru byl jako vhodný retenční prostředek bez ohledu na cenu vybrán polyethylenimin. Důvodem využití polyethyleniminu je následné zpracování u zákazníka, který provádí tzv. jodový test pro zkoumání kvality lepení roubíkového papíru a škrob by tuto zkoušku negativně ovlivnil.

U všech čtyř druhů vyráběných cigaretových papírů kvalita odpovídala požadované specifikaci, i když se v některých případech prokázalo zhoršení sledovaných parametrů papíru oproti použití guarů. Z ekonomického hlediska však škrob nebyl, tak výhodný, jak se zdálo z jeho pořizovací ceny. Pro dosažení požadovaných parametrů, musela být dávka škrobu větší než dávka guarů, tím došlo ke zvýšení výrobních nákladů. Pro výrobu roubíkového papíru na papírenském stroji, byl jako retenční prostředek využit polyethylenimin ve dvou různých dávkách 2 kg/t a 3 kg/t. U obou dávek kvalita vyráběného papíru odpovídala specifikaci a v některých parametrech se rovnala kvalitě vyráběného papíru s použitím guarů. Stejně jako u cigaretových papírů došlo ke zvýšení výrobních nákladů. Z toho plyne, že snížením nákladů vstupních surovin, nemusí dojít ke snížení výrobních nákladů.

Tato diplomová práce potvrdila možnost alternativního nahrazení stávajících retenčních prostředků škroby (u cigaretových papírů) a polyethyleniminem (u roubkových papírů) pro případ, kdyby bylo použití guarů legislativou zakázáno.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MILICHOVSKÝ, M., *Mechanismus retence plnidel a dalších složek v papírovině*, Papír a celulóza. 1988, **43** (57), s. 3-7.
- [2] Lamberti. *Guar Gum Lamberti presentation*, 2010 Wattens, [cit. 2020-2-5].
- [3] MILICHOVSKÝ, M., *Způsob hodnocení dějů probíhajících v papírenských suspenzích*. Papír a celulóza. 1978, **33**, 7-8, s. V61-V64.
- [4] MILICHOVSKÝ, M., ČEŠEK, B., *Papírová hmota a papír. XIII, Mezinárodní konference*, Papír a Celulóza, Brno, 30. - 31. 5. 2002.
- [5] SOUČEK, M., *Zkoušení papíru*. Vydání 1. Praha: *Nakladatelství technické literatury*, 1977, 338 stran. ISBN 04 – 620 – 77.
- [6] MILICHOVSKÝ, M., ŠESTAUBER, K., *Hodnocení mechanického opracování buničiny sedimentační metodou*. Papír a celulóza, 1987, **42**, 9, s. V54- V58.
- [7] JANČA, Š., *Zákal vody ve vodních sítích* [online]. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce Jan Ručka.
- [8] MILICHOVSKÝ, M., ČEŠEK, B., *Rheosedimentation – A typical and characteristic phenomenon of paper matter*, Cellulose Chem. Technol., 2005, **38**, 5-6, 385-397.
- [9] *Je měření náboje při výrobě papíru stále magií a záhadou, Wolfgang Falkenberg, Výrobní ředitel v BTG v Mütek, Retence a odvodňování* [online]. ©2001 [cit. 2020-4-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/40216418-Je-mereni-naboje-pri-vyrobe-papiru-stale-magii-a-zahadou.html>.
- [10] KRKOŠKA, P., *Technológia výroby papiera*, Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Bratislava 2014. ISBN 978-80-227-4127.
- [11] Technická dokumentace OP papírna, s.r.o. Olšany.

- [12] Tobacco Ordinance of December 20, 1977 (Bundesgesetzblatt, BGBl. [Federal Law Gazette] I p. 2831), which was last amended by Article 1 of the Ordinance of December 22, 2014 (BGBl. I p. 2398).
- [13] The Food and Drug Administration, *Tobacco products* [online]. United states, ©2020 [cit. 2020-4-23]. Dostupné z: <https://www.fda.gov/tobacco-products>.