

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH,
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA**



**OPTIMALIZACE VYVOLÁVACÍHO PROCESU V SOUVISLOSTI
SE ZMĚNOU DODAVATELE MATERIÁLU**

Bakalářská práce

vedoucí práce ing. Jan Šprta, CSc



autor práce Michal Voráč

České Budějovice 2008

Prohlášení:

Prohlašuji, že tuto práci jsem sepsal sám a s použitím jen těch pramenů, které jsou uvedeny v seznamu literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Poděkování:

Rád bych zde vyjádřil poděkování těm, kteří věnovali svůj čas přípravě této práce, zejména panu inženýru Janu Šprtovi za cenné diskuse nad problematikou a kolegovi Petru Codlovi za asistenci při měření a zpracování hodnot.

Oběma jsem velmi zavázán, a jsem vděčný za jejich odbornou erudici i nadšení pro věc.

Abstract:

The development process, and in fact the entire question of processing X-ray images is still, despite all of the simplifications and standardizations, a relatively complex series of interesting processes. Even though it no longer enjoys the attention it once did, its position within the diagnostic algorithm is nonetheless permanent, and until digitalization becomes practical, irreplaceable. It will continue to fall within the competence of the radiological assistant, and hence the radiological assistant will continue to hold responsibility for its optimal course. Today, of course, it is no longer to have specific chemical training, but on the other hand it is more necessary than before to ensure a responsible approach, careful work, and to a great extent a degree of enthusiasm for the entire procedure.

The present work is not intended in any way to influence the choice of a new subcontract for our section, but merely to draw attention to the positive and negative aspects of this change.

A series of densitometric measurements were performed under various conditions of the development process, for the purpose of investigating the advantages and disadvantages of the new film material and its results were then compared with the similarly processed values acquired under the present state of the processing procedure.

The development process may be influenced by many factors; hence the complex reaction must be carefully followed and maintained within precisely delineated standards. Only as such it is possible to achieve a quality image. Even the very best photographic operation can come to naught if the final processing of the image is not correct. In this instance, the patient is quite unnecessarily subjected to a higher dose of radiation than should be, and the image does not contain all of the possible details and the diagnostic potential is lowered. Only a correctly performed development process can make the maximum use of the X-ray image and thus provide the doctor with better conditions for his or her responsible work.

OBSAH:

1	Úvod.....	7
2	Cíle a hypotézy.....	8
3	Zpracování filmového materiálu na klinikách zobrazovacích metod.....	9
3.1	Vznik černobílého obrazu.....	10
3.2	Zpracování rentgenových filmů ve vyvolávacích automatech.....	11
4	Latentní obraz a jeho vyvolávání.....	14
4.1	Krystalová mřížka halogenidu stříbrného.....	14
4.2	Vznik latentního obrazu.....	15
4.3	Solarizace.....	15
4.4	Hypersenzibilace a latenifikace.....	15
4.5	Retrogrese latentního obrazu.....	16
4.6	Herschelův efekt.....	16
4.7	Grothussův-Draperův fotochemický zákon.....	16
4.8	Zákon Bunsenův-Roscoelův.....	17
4.9	Podstata vyvolávání.....	17
4.10	Kinetika vyvolávání	18
4.11	Vyvolávání závoje	19
4.12	Teplotní závislost vyvolávání	20
5	Vývojky pro černobílý proces	21
5.1	Chemické reakce při vyvolávání fotocitlivého materiálu	21
5.2	Vyvolávací látky	22
5.3	Struktura vyvolávacích látek	23
5.4	Hlavní vyvolávací látky	23
5.5	Ochranná látka	25
5.6	Alkalické látky ve vývojkách	26
5.7	Ústojná kapacita	28
5.8	Protizávojevé látky	30

5.9	Pomocné látky ve vývojkách	31
6	Ostatní operace při zpracování fotocitlivého materiálu	32
6.1	Ustalování	32
6.2	Chemické reakce při ustalování	32
6.3	Rychlost ustalování	33
6.4	Druhy ustalovačů	34
6.5	Praní	36
6.6	Kinetika praní	37
6.7	Praní filmů po vyvolávání	38
6.8	Konečné praní rentgenových filmů	38
6.9	Voda pro technologický proces zpracování rtg filmů	39
7	Současný stav používaného vybavení a materiálů na našem pracovišti	40
7.1	Vyvolávací automat	40
7.2	Filmy	41
7.3	Vyvolávací chemie	42
8	Metodika	43
8.1	Charakteristická křivka	44
8.2	Měření stálosti vyvolávacího procesu	46
8.3	Optimalizace vyvolávacího procesu	47
9	Výsledky	50
10	Diskuse	58
11	Závěr	59
	Literatura	60
	Klíčová slova	61

1 Úvod

Proces, při kterém vzniká klasický rentgenový snímek, je poměrně složitý a plně spadá do zodpovědnosti radiologického asistenta. Zatímco jeho první část, tedy expozice, se těší značnému zájmu, procesy „ukryté“ v temných i světlých komorách jsou často stranou pozornosti, do značné míry již automatizovány a v poslední době čím dál více nahrazovány digitálním zpracováním dat pomocí výpočetní techniky. Nicméně na mnoha pracovištích, zejména menších, se stále používá klasické „filmové“ technologie. Zpracování filmového materiálu stálo u zrodu profese rentgenového laboranta. Příprava chemikálií, jejich správné skladování a používání stálo za vznikem naší profese. Až když se jednotlivé vyšetřovací techniky do jisté míry standardizovaly, přešly i ony pod pravomoce laborantů a ihned se staly činností „výkladní“. A tak zatímco o vyšetřovacích metodách bylo mnoho napsáno, fyzika a chemie, v současnosti již dožívající v temných komorách, se zdaleka takové pozornosti netěší. Je to škoda, protože zde dochází k mimořádně zajímavým chemickým pochodům, jejichž vývoj trval vlastně po celou dobu jejich masivního používání. Je trochu škoda, že dnes již málokdo zná význam jednotlivých sloučenin v roztocích, vždyť dnes se dozví nějaké informace pouze o základních složkách. Pravdou je, že jednotlivé ingredience si výrobci tají, takže dopátrat se konkrétního složení roztoku je dnes mimořádně obtížné. Vědomosti o průběhu vyvolávacích a ustalovacích procesů tak zůstávají v úzkém kruhu chemiků a případně úzkou komunitou fotografů – fajnšmekrů, kteří si svou tvorbu zpracovávají sami. Nám, běžným uživatelům těchto procesů pak nezbývá, než se přesně řídit doporučením výrobců, dbát na specifika jednotlivých materiálů a využívat jejich možností. Přestože si tedy nemusíme, nebo nemůžeme připravovat roztoky sami, a přiznejme si, v dnešním náročném provozu by to bylo jen obtížně proveditelné, není od věci připomenout si, jaké procesy vlastně v temné komoře probíhají a jak je můžeme nejlépe využít.

2 Cíle a hypotézy

Cílem této práce bylo prokázat hypotézu, že vhodnou úpravou vyvolávacího procesu lze se stávajícím materiálem dosáhnout lepších výsledků, než s materiálem nového dodavatele. Se stávajícím materiálem dosahujeme poměrně uspokojivých výsledků, ohlášená změna dodavatele, nás proto poněkud překvapila. Byla tedy provedena série denzitometrických měření za různých podmínek nastavení vyvolávacího procesu za účelem zjistit přednosti a nedostatky nového filmového materiálu a tyto výsledky pak porovnány s podobně zpracovanými hodnotami získanými za stávajícího stavu zpracovatelského procesu. V práci provedené měření a výpočty by měly být jedním z podkladů pro rozhodování zodpovědných pracovníků o skutečné potřebě změny dodavatele materiálu pro naše oddělení.

3 Zpracování filmového materiálu na klinikách zobrazovacích metod

Lékař se setkává až s konečným produktem – kvalitním rentgenovým snímkem na negatoskopu. Cesta jeho vzniku je poměrně složitým a mimořádně zajímavým procesem. Při vzniku obrazu na rentgenovém snímku se uplatňují principy fotografického záznamu snímaného předmětu, v našem případě části pacientova těla. Jeho vznik můžeme rozdělit do dvou pochodů.

V první fázi je nutno vytvořit optický stín vyšetřované části těla. Na rozdíl od optické fotografie, kde se pomocí spojné čočky vytváří skutečný, zmenšený a převrácený obraz předmětu a tento je ve větší vzdálenosti, než je její ohnisková délka, v radiodiagnostice se vytváří skutečný nepřevrácený stín, mírně zvětšený oproti skutečnosti. Podrobnostmi jeho vzniku se zabývá metodika provedení jednotlivých vyšetření.

Druhým pochodem při vzniku rentgenového obrazu je zachycení tohoto stínu na fotocitlivý materiál. Jelikož jsou tyto poměrně málo citlivé na rtg záření, je nutno ho převést na záření o delší vlnové délce, na které jsou konkrétní filmy nejcitlivější. Pro tento účel se film vkládá mezi tzv. zesilovací fólie.

Vlastní filmová surovina je vlastně vrstva citlivá na světlo (modré, zelené, UV), která je nanesena na vhodnou podložku a překryta ochrannou vrstvou. Pro některé druhy vyšetření se používají jednostranně polévané filmy, naprostou většinu však tvoří filmy polévané z obou stran.

Nositeli citlivosti materiálu na světlo jsou krystaly halogenidu stříbrného – chloridu, bromidu nebo jodidu – rozptýlené v ochranném koloidním prostředí, v současnosti nejčastěji tvořeném želatinou. Účinkem dopadajícího světla – takzvanou expozicí – se změní struktura některých krystalů. Této změně říkáme latentní obraz, protože na normálně exponovaném snímku není vidět žádná změna.

Viditelný a tedy i použitelný obraz se získá až další operací – vyvoláváním. Její podstatou je redukce halogenidu stříbrného na tmavé kovové stříbro. Toto se děje pomocí roztoku, kterému říkáme vývojka. Vyvolávací látky ve vývojce redukují pouze krystaly halogenidu stříbrného s latentním obrazem. Na ostatní krystaly vývojka nepůsobí.

Množství vyredukovaného stříbra tedy závisí při stejných vyvolávacích podmínkách na expozici filmového materiálu. V těch místech citlivé vrstvy, kam

dopadlo více světla, vzniká větší množství tmavého kovového stříbra. Tam, kam dopadlo méně světla se objeví i méně stříbra. To znamená, že stíny se projevují jako světlé a projasnění jako tmavé. Takovému obrazu říkáme negativ.

Po vyvolání obsahuje citlivá vrstva filmu vyredukované stříbro i zbytky halogenidu stříbrného. Ten je třeba odstranit další operací, které říkáme ustalování. Ve vodě nerozpustný halogenid stříbrný se během ustálení převede na rozpustné sloučeniny a tím se odstraňuje z citlivé vrstvy.

Nakonec je nutno filmový materiál ještě zbavit zbytků ustalovače, které by po čase obraz zničily. Jsou rozpustné ve vodě a proto se odstraňují praním. Důkladně vypraný materiál se nakonec usuší buď proudem vzduchu, nebo IR zářením.

Termín „vyvolávání“ není úplně jednoznačný. Správně se jím označuje pouze zviditelnění latentního obrazu ve vývojce. Méně přesně se však často používá tohoto termínu pro celý sled operací vedoucích od neexponovaného materiálu k hotovému snímku. Zde je však vhodnější hovořit o zpracování filmového materiálu.

3.1 *Vznik černobílého obrazu*

Exponovaný filmový materiál se podrobí zpracování ve fotografických roztocích, čímž se získá viditelný, trvalý obraz. Zpracování materiálu se skládá z následujících operací:

Expozice:

V krystalech halogenidu stříbrného se účinkem dopadajícího světla vytváří latentní obraz.

Vyvolávání:

V krystalech s latentním obrazem se halogenid stříbrný redukuje na kovové stříbro. Funkci redukčního činidla ve vývojce má jedna z jejích složek, tzv. vyvolávací látka. Halogenid stříbrný, který nebyl exponován, se ve vývojce nemění. Film s sebou dále odnáší vyredukované kovové stříbro, nezreagovaný halogenid stříbrný i rozpustné složky vývojky.

Praní:

Složky vývojky, které film přenáší do dalších operací obsahují řadu látek, z nichž některé působí na průběh ustalování. Proto se někdy zařazuje po vývojce krátké praní nebo alespoň opláchnutí filmu vodou. Ještě lepší je krátké ponoření do slabě

kyselé lázně, např. roztok kyseliny octové. Při praní se nemění nerozpustné složky vrstvy, pouze klesá množství rozpustných složek vývojky ve vrstvě. V automatizovaném provozu bývá toto praní zpravidla nahrazeno ždímacími válečky, které prokážou podobnou službu.

Ustalování:

Nevyvolaný halogenid stříbrný reaguje při této operaci s účinnou složkou ustalovače – s thiosíranem sodným – a mění se v komplexní rozpustnou sůl. Ponecháme-li film v ustalovači, vzniklá komplexní sůl se v něm z největší části rozpustí. Film s sebou dále odnáší kovové stříbro i rozpustné složky ustalovače, včetně zbytků komplexních solí stříbra.

Konečné praní:

Účelem tohoto praní je odstranit z vrstvy co nejdokonaleji složky ustalovače, což je nutné s ohledem na trvanlivost vyvolávaného snímku. Pokud by se film dobře nevypral, byl by zanedlouho znehodnocen tmavě hnědými neodstranitelnými skvrnami, které by vznikly reakcí kovového stříbra s produkty rozkladu složek ustalovače. Při praní se voda vyměňuje za čistou buď po dávkách, nebo dnes zpravidla průběžně.

Sušení:

Poslední operací při zpracování filmů je sušení, při kterém se ze zpracovávaného materiálu odstraňuje voda.

Vyvolané kovové stříbro je vyznačeno nepravidelnou černou skvrnou, čímž je vyjádřena skutečnost, že vzniklé stříbro v naprosté většině vývojek tvoří chomáče, které svým tvarem nepřipomínají tvar původních krystalů. Obraz je tedy tvořen shluky stříbra nepravidelně rozptýlenými v co nejprůhlednějším prostředí. Zrnitá struktura nepříznivě ovlivňuje kvalitu výsledného obrazu. Cílem je, aby se shluky kovového stříbra rozdělily na větší počet menších částic, oddělených od sebe mezerami.

3.2 Zpracování rentgenových filmů ve vyvolávacích automatech

Dnes již prakticky každém provozu probíhá zpracování filmového materiálu strojně, tedy za použití vyvolávacího automatu. Zpracovávaný film prochází soustavou válečků přes vyvolávací tanky, kde na něj působí příslušné chemikálie (vývojka, ustalovač), nebo se zde dostává do styku s vodou při praní. Nakonec přechází do sušící skříně, kde se zbavuje vody. Doba, po kterou chemikálie působí na film závisí na

rychlosti, kterou se film pohybuje vyvolávacím strojem a na délce návleku filmu v tancích s jednotlivými lázněmi.

Během zpracování filmového materiálu rozhoduje o kvalitě obrazu především operace vyvolávání. Ostatní kroky v podstatě jen zajišťují praktickou použitelnost materiálu a jeho stálost. Zejména se sledují tyto faktory operace vyvolávání:

Složení vývojky:

Složení vývojky vychází z receptury, kterou výrobce doporučuje pro zpracování své filmové suroviny. Doporučené receptury se zpravidla respektují, i když v některých případech se používají i jiné, než doporučené, pokud je to z nějakého důvodu výhodnější. V průběhu vyvolávání se složení vývojky poněkud mění. Má-li se zaručit její stálé složení, a to je podmínkou neměnné vyvolávací schopnosti, musíme doplňovat ty látky, které se při probíhajících chemických reakcích spotřebovaly a odstraňovat látky při reakci vzniklé. Tuto úlohu plní tzv. regenerační systém.

Vyvolávací doba:

Vyvolávací doba je činitel, pomocí něhož získáváme požadovaný účinek vyvolávání, tedy dosahujeme požadované strmosti, vyvolané citlivosti a optické hustoty.

- Při prodloužení vyvolávací doby se zvyšuje strmost a citlivost až do určité meze, kdy se jejich další nárůst zastaví
- Optická hustota závoje vzrůstá v závislosti na době vyvolávání nejdříve pomalu, později se přírůstek zvětšuje.

Teplota vývojky:

Teplota vývojky ovlivňuje vyvolávání podobně jako vyvolávací doba. Při zvyšování teploty vývojky vzrůstá strmost a citlivost do určité meze, kdy se další přírůstek zastavuje. V některých případech se hodnoty těchto veličin při dalším růstu teploty dokonce zmenšují. Podobně jako změny vyvolávací doby působí i změny vyvolávací teploty na optickou hustotu závoje. Ve vyvolávacích automatech se teplota vývojky udržuje v úzkém rozmezí automatickým temperačním systémem.

Pohyb vývojky:

Na kvalitu vyvolávání má vliv i pohyb vývojky vůči zpracovávanému materiálu. Všechny reakce probíhají uvnitř citlivé vrstvy na povrchu krystalů halogenidu stříbrného. Jednotlivé složky vývojky se do této vrstvy k povrchu krystalů dostávají difúzí. Aby difúze mohla dobře probíhat, je třeba zajistit co nejlepší kontakt vývojky s povrchem vrstvy. Za takových podmínek se též z vrstvy nejlépe odstraňují rozpustné produkty vyvolávacích reakcí. Nejvýhodnější podmínky pro vyvolávání i pro ostatní operace jsou tehdy, je-li zajištěno turbulentní proudění kapaliny u povrchu emulzní vrstvy.

Abychom při vyvolávání dosáhli kvalitních výsledků, musíme přesně dodržovat stanovené podmínky této operace, které jsou určeny spodní i horní hranicí např. strmosti. Nedosažení spodní hranice vede ke snížení kvality zrovna tak jako překročení hranice horní.

Naproti tomu požadavky na ustalování jsou omezeny pouze dolní hranicí. Ustalování musí být nastaveno tak, aby se z filmu odstranil veškerý nevyvolaný halogenid stříbrný. Delší působení ustalovače se v dosti širokých mezích neprojevuje na zpracovávaném materiálu škodlivě.

Také od konečného praní požadujeme aby se koncentrace rozpustných složek ustalovače snížila na minimum. Intenzivnější a delší praní není pro film škodlivé, je pouze nevýhodné z ekonomického hlediska.

Oboustranně jsou ale omezeny požadavky na sušení. Spodní mez je jasná – film nesmí zůstat mokrá. Na druhé straně nesmí být film přesušen.

4 Latentní obraz a jeho vyvolávání

Filmový materiál se zjednodušeně řečeno skládá z vhodné podložky, na které je z jedné, nebo obou stran nanесena světlocitlivá emulze. Základní funkční složkou této emulze jsou krystaly halogenidu stříbrného, rozptýlené v želatině jako pojídle. Velikost a tvar těchto krystalů určuje citlivost filmu.

4.1 Krystalová mřížka halogenidu stříbrného

Halogenidy stříbrné tvoří pravidelnou krystalovou mřížku iontového typu v níž se pravidelně střídají stříbrné kationy a halogenovými anionty, které jsou vázány elektrostatickými přitažlivými silami. Jejich vzdálenost je přibližně 0,6 nm. Jelikož záporné i kladné náboje obou iontů v krystalech jsou stejné a i jejich velikosti se významně neliší, krystalizují halogenidy stříbrné v krychlové soustavě.

Čistý krystal halogenidu stříbrného s takovouto mřížkou je jen velmi málo citlivý na světlo. V praxi je však krystalická struktura narušena řadou poruch vznikajících při výrobě fotocitlivé emulze. Tyto poruchy jsou příčinou citlivosti celého krystalu na světlo a nazývají se tedy centra citlivosti. Jejich podstata a příčiny vzniku jsou různé:

- Defekty krystalové mřížky. Tepelným pohybem se některé ionty vychýlí ze svého stanoviště v krystalické mřížce a zůstanou v tzv. mezimřížkové poloze. Zanechávají na svém původním místě potenciálové jámy. Pokud se takto chová kationt Ag^+ , hovoříme o tzv. Frenkelově poruše.

- Přítomnost cizích látek uvnitř krystalové mřížky. Nejrozšířenější příměsí jsou molekuly sulfidu stříbrného nebo atomy kovového stříbra.

- Krystalizační poruchy. Takto nazýváme jev, kdy jednotlivé části krystalické mřížky jsou vůči sobě posunuty, nebo pootočeny.

4.2 *Vznik latentního obrazu*

Předpokládejme krystalickou mřížku s několika poruchami. Potenciálovou jámu nám bude tvořit atom kovového stříbra Ag, dále zde budou nějaké ionty Ag^+ v mezimřížkové poloze a také prázdná místa v mřížce, původní stanoviště stříbrných iontů.

Latentní obraz vzniká v citlivé vrstvě účinkem absorbovaných světelných kvant, kdy toto kvantum vyráží valenční elektron z iontu Br^- . Tento uvolněný elektron získává vyšší energii a vzdaluje se. Pokud se dostane do blízkosti centra citlivosti, uvízne v něm a nabíjí jej záporně. K tomuto centru se pak přibližují kladně nabitě mezimřížkové ionty Ag^+ a naopak teď již neutrální atomy halogenu se uvolňují z krystalických vazeb a difundují. Tím se uvolňují další stříbrné ionty, které nejsou vázány v krystalické mřížce. Ty jsou přitahovány k záporně nabitému centru citlivosti, přijímají elektron a mění se v atomy kovového stříbra. Celý děj se neustále opakuje, čímž se zde hromadí atomy kovového stříbra a centrum se zvětšuje. Když dosáhne potřebné velikosti, stává se centrem vyvolávání, umožňujícím redukci halogenidu stříbrného na kovové stříbro.

4.3 *Solarizace*

Solarizace je jev, který nastává v situaci, kdy se expozice zvýší natolik, že latentní obraz začne být viditelný. Takový obraz má po vyvolání nižší optickou hustotu na více exponovaných místech. Je to způsobeno reakcí bromu se stříbrem centra. Na nich se pak vytváří vrstvička halogenidu stříbrného a není ji možné vyvolat během normální vyvolávací doby.

4.4 *Hypersenzibilizace a latenizifikace*

Některými operacemi před vyvoláním je možné latentní obraz zesílit a zvýšit tak citlivost fotografického materiálu. Jestliže toto provádíme před expozicí, hovoříme o hypersenzibilizaci, jestliže po expozici, hovoříme o latenizifikaci. Takového efektu lze docílit prostředky chemickými – máčením materiálu v některých solích těžkých kovů nebo jejich vystavováním rtuťovým parám, nebo fyzikálními – slabým rovnoměrným osvětlením materiálu.

4.5 *Retrogrese latentního obrazu*

Retrogrese je postupné zeslabování latentního obrazu v čase mezi expozicí a vyvoláním materiálu. V této době se narušují částice latentního obrazu. U běžně používaných rtg filmů je rychlost retrogrese nepatrná a je tedy možno je zpracovat i po delší době. Retrogresi podporují zvýšená vlhkost, teplota, snížení pH a přítomnost oxidačních činidel.

4.6 *Herschelův efekt*

Objevuje se při silném ozáření exponovaného materiálu červeným světlem nebo infračerveným zářením. Toto záření je absorbováno kovovým stříbrem za vzniku stříbrného kationtu a volného elektronu. Ten reaguje s neutrálním halogenem a tím se částečně obnovuje původní stav před expozicí a latentní obraz se zeslabuje.

4.7 *Grotthusův-Draperův fotochemický zákon*

„Chemickou změnu vyvolá jen ten foton, který je systémem absorbován“ (4)

Zákon hovoří o systému, nikoli o citlivé látce. Záření tedy nemusí být absorbováno přímo látkou, ve které má proběhnout fotochemická reakce. Někdy postačuje, je-li záření absorbováno jinou, pomocnou látkou, tzv. senzibilátorem.

Tento poznatek je v radiodiagnostice využíván zejména při využití tzv. zeleného programu. Bromid stříbrný absorbuje pouze modré světlo a UV záření. Toho využívá tzv. modrý systém, tedy systém založený na zesilovacích fóliích, které převádějí rtg záření na modré světlo. Jedná se o nejstarší a asi nejrozšířenější systém založený na fóliích. Další, zelený systém používal fólie se zelenou fluorescencí a pro senzibilizace halogenidu na zelené světlo používal právě senzibilátory přidávané do citlivé vrstvy. Tato molekula pohltí kvantum zeleného světla, excituje se a tuto energii předá iontu Br⁻. Další děje jsou pak stejné, jako v modrém programu. Přestože tento systém poskytoval určitá pozitiva, nedošlo jeho masivnějšímu rozšíření, zejména kvůli vyšší ceně. Třetí systém je založen na fóliích produkujících UV záření. Přestože jsme ho na našem

pracovišti zkušebně používali, je přijímán poněkud rozpačitě, zvláště s výhledem na masovou digitalizaci radiodiagnostických pracovišť.

4.8 Zákon Bunsenův-Roscoelův

„Hmotnost látky, vzniklé při fotochemické reakci, je přímo úměrná součinu ozáření látky a doby, po kterou toto ozáření působilo. Tento součin se nazývá expozice.“ (4)

Tento zákon vyjadřuje, že výsledek účinku záření, tedy optická hustota stříbra, vyloučeného při vyvolávání, zůstává konstantní, pokud součin ozáření a doby je konstantní. Tento vztah ovšem platí pouze v lineární části expoziční křivky.

4. Podstata vyvolávání

Při expozici fotografického materiálu vzniká v krystalech halogenidu stříbrného latentní, neviditelný obraz. Aby bylo možno tento obraz prakticky využít, je nutno jej značně zesílit. Tento proces zesílení latentního obrazu se jmenuje vyvolávání a probíhá v roztocích, zvaných vývojky. Zesilování latentního obrazu probíhá tak, že k již vysráženým atomům kovového stříbra se přidávají další, čímž se zvyšuje jeho optická hustota. Toto „nové“ stříbro může pocházet buď z vlastního krystalu, nebo z vývojky, podle toho, kde je snáze dostupné. Je-li ve vývojce dostatek stříbrných iontů, vzniká viditelný obraz převážně z nich. Stříbro se pak rovnoměrně usazuje na povrchu center vyvolávání a tvoří kompaktní krystaly. Takovému postupu říkáme fyzikální vyvolávání. Takto lze vyvolat i ty materiály, ze kterých byl zbývající halogenid již odstraněn ustálením. Fyzikálním vyvoláním získáme velmi jemné zrno. Optická hustota obrazu je však velmi malá.

Jestliže vývojka neobsahuje potřebné stříbrné ionty, je tvorba viditelného obrazu odkázána na stříbrné ionty z krystalů halogenidu. Tento druh vyvolávání se označuje jako chemické vyvolávání. Tato redukce stříbra neprobíhá na povrchu již vysráženého kovového stříbra, nýbrž na jeho styčné ploše se zbytkem krystalu. Stříbro roste převážně v jednom směru a tak vznikají stříbrná vlákna, která se mohou vzájemně proplétat. Po vyvolání se vzniklá částice vůbec nepodobá původnímu krystalu, často se spojuje s jinými a vznikají shluky.

Mechanismus vyvolávání je velmi podobný vzniku latentního obrazu. Zdrojem elektronů jsou však molekuly, nebo ionty vyvolávací látky, obsažené ve vývojce. Molekuly nebo ionty vyvolávací látky, které se přiblíží k centru vyvolávání, mu předají elektrony. Tato centra se chovají jako elektrody a nabíjejí se záporně. Oxidační zplodiny vyvolávací látky se poté vzdalují z místa svého vzniku. Záporně nabitá centra vyvolávání přitahují kladně nabité stříbrné ionty z okolí a předávají jim elektrony. Při této reakci vzniká v okolí center vyvolávání kovové stříbro vytvářející postupně viditelný obraz. Při reakci se současně uvolňují halogenidové ionty z blízkosti redukováných stříbrných iontů a přecházejí do okolí, tj. do vývojky.

4.10 Kinetika vyvolávání

Vyvolávání je heterogenní reakce, tedy jednotlivé reaktanty jsou různého skupenství. Halogenid stříbrný je pevného skupenství, je rozptýlen v koloidním prostředí – želatině. Další reagující látky jsou kapalné – vývojka. Aby mohlo dojít k reakci, musí se reaktanty setkat. Tedy účinné složky vývojky pronikají želatinovou vrstvou, na povrchu vlastních krystalů halogenidu stříbrného probíhá samotná reakce a rozpustné produkty této reakce se opět vracejí do vývojky. Toto pronikání látek koloidním prostředím se nazývá difúze.

Při studiu kinetiky vyvolávání se zajímáme o to, jakou rychlostí vyvolávání probíhá. Lze ji vyjádřit jako poměr hmotností vyloučeného stříbra k době vyvolávání, nebo jako změnu optické hustoty za určitou dobu. Obvykle se v praxi vyjadřuje jako hodnota času potřebná k dosažení smluvené hustoty nebo strmosti.

Závislost hustoty nebo strmosti na vyvolávací době se nazývá vyvolávací charakteristika. Z průběhu vyvolávání optické hustoty nebo strmosti je možno odvodit, že rychlost vyvolávání v průběhu času klesá. Rychlost vyvolávání odpovídá rychlosti difúze jednotlivých reaktantů mezi vývojkou a krystaly halogenidu stříbrného a na rychlosti vlastní reakce vyvolávání. Je-li rychlost vlastní reakce tak malá, že difúze stačí nepřetržitě doplňovat i odstraňovat všechny reaktanty, mluvíme o chemické kinetice vyvolávacího procesu. Jestliže vlastní chemická reakce probíhá velmi rychle, je výsledná rychlost vyvolávání určována především rychlostí „logistické podpory“, tedy rychlostí difúze. Tehdy hovoříme o kinetice difúzní.

Rychlost difúze je ovlivňována následujícími faktory:

- Teplota – se vzrůstající teplotou se rychlost difúze zvyšuje.
- Povaha složek vývojky – závisí na velikosti a tvaru molekul nebo iontů složek vývojky a reakčních zplodin vyvolávání. Roli hraje i náboj difundujících iontů.
- Povaha želatiny a stupeň jejího utvrzení.
- Složení vývojky.
- Tloušťka hraniční vrstvy vývojky na rozhraní mezi vývojkou a citlivou vrstvou. Tato hraniční vrstva lpí pevně na povrchu filmu a musí jí projít všechny difundující látky. Její tloušťku lze ovlivnit mícháním vývojky.

Rychlost vlastní chemické reakce je ovlivňována těmito faktory:

- Teplota – s rostoucí teplotou vzrůstá i rychlost reakce.
- Velikost rozhraní, na kterém probíhá heterogenní chemická reakce. Jemnozrnné vrstvy s větším povrchem krystalů halogenidu stříbrného se vyvolávají rychleji než hrubozrnné emulze.
- Povaha a mechanismus reakce. Jsou závislé na druhu a složení vývojky.
- Koncentrace složek vývojky.

4.11 Vyvolávání závoje

Při vyvolávání se určité malé zčernání objeví i na těch místech filmu, která nebyla vůbec exponována. Toto nežádoucí zčernání se nazývá závoj a snahou všech výrobců materiálů je snížit jej na minimum. Vzniká z těchto příčin:

- Při výrobě emulze se některá centra zvětší natolik, že působí jako centra vyvolávání.
- Závoj může vzniknout i při vyvolávání, jestliže vývojka má schopnost redukovat i neexponovaný halogenid stříbrný. Tuto schopnost mají v různé míře všechny vyvolávací látky. K vyvolání závoje může přispět i nevhodný technologický postup (složení vývojky, vyvolávací doba, teplota...)
- Příčinou vzniku závoje může být i nežádoucí osvětlení filmu, ať již při výrobě, nebo při dalším zpracování.

Vývojka má vyvolávat obraz značně rychleji, než závoj. Této vlastnosti říkáme selektivita vývojky. Matematicky se obvykle značí jako podíl času potřebného k dosažení určené hustoty závoje ku času potřebného k dosažení smluvené strmosti.

4.12 Teplotní závislost vyvolávání

Teplota vývojky je jeden z nejdůležitějších faktorů vyvolávání. Proto se v provozu klade značný důraz na udržování její hodnoty v úzce vymezených limitech.

Závislost rychlosti vyvolávání na teplotě lze charakterizovat takzvaným teplotním koeficientem jako podíl doby potřebné k dosažení určeného fotografického efektu při teplotě $T^{\circ}\text{C}$ a doby potřebné k dosažení stejného efektu při teplotě $T+10^{\circ}\text{C}$.

5 Vývojky pro černobílý proces

Vývojkou nazýváme vodný roztok několika látek, ve kterém se redukuje exponovaný halogenid stříbrný na kovové stříbro. Tento roztok ovlivňuje většinu kvalitativních parametrů zpracování fotografických materiálů, proto je nutné jí věnovat velkou pozornost. Za konstantních podmínek má její složení vliv na následující parametry:

1. Základní – strmost, citlivost, optickou hustotu závoje, tvar senzitometrické charakteristiky, zrnitost, hranovou ostrost, stupeň utvrzení vrstvy, apod.
2. Odvozené – rychlost vyvolávání, selektivitu.
3. Další - odolnost proti oxidaci vzdušným kyslíkem, vydatnost, cenu apod.

Je známo nepřehledné množství receptur na přípravu vývojek. Ve všech lze ovšem nalézt skupinu základních látek. V určitých případech obsahuje vývojka i některé látky pomocné.

Základní látky – vyvolávací látka

- ochranná látka
- alkálie
- protizávojevé látky

Pomocné látky – komplexotvorné přísady

- látky rozpouštějící halogenid stříbrný
- látky s jinými funkcemi

5.1 Chemické reakce při vyvolávání fotocitlivého materiálu

Chemické reakce si ozřejmíme na příkladu vyvolávání bromidu stříbrného jednou z nejznámějších a nejužívanějších vyvolávacích látek – hydrochinonem, který se současně oxiduje na 1,4-benzochinon:

Při vyvolávání probíhají následující reakce:

1. Redukce bromidu stříbrného vyvolávací látkou při současném vzniku oxidační zplodiny vyvolávací látky a bromovodíkové kyseliny.
2. Ve vývojkách s dostatečnou koncentrací siřičitanu sodného reaguje oxidační zplodina vyvolávací látky (zde 1,4-benzochinon) se siřičitanem sodným za vzniku sodné soli sulfonové kyseliny vyvolávací látky. Dále vzniká hydroxid sodný.
3. Hydroxid sodný vznikající při reakci 2 částečně neutralizuje kyselinu bromovodíkovou, která se tvoří při reakci 1.
4. Přebytečná bromovodíková kyselina, vzniklá při reakci 1, se neutralizuje alkálií z vývojky (např. uhličitan sodný)

Ve vývojkách bez siřičitanu sodného, nebo při jeho nízké koncentraci, nemohu probíhat reakce 2 a 3. Benzochinon vznikající při reakci 1 reaguje s vodou za tvorby oxychinonu. Tento reaguje rovněž s vodou za vzniku dioxychinonu. Oxychinon a dioxychinon jsou výchozí reaktanty pro tvorbu tzv. humnových kyselin. Se vzrůstající koncentrací oxychinonu a humnových kyselin vývojka postupně ztrácí vyvolávací schopnost, tmavne a začíná zapáchat.

5.2 *Vyvolávací látky*

Jako vyvolávací látky se používají sloučeniny schopné selektivně redukovat exponovaný halogenid stříbrný na kovové stříbro. Jejich redukční schopnost musí být tak velká, aby redukce exponovaného halogenidu stříbrného probíhala dostatečně rychle, nesmí však být zase tak velká, aby se redukoval i neexponovaný halogenid stříbrný.

Kromě této základní podmínky musí vyvolávací látka splňovat ještě další požadavky:

- při vyvolávání se musí získat vhodná strmost, citlivost a maximální hustota
- musí být dostatečně rozpustná ve vodě
- její cena má být co nejnižší
- nemá být příliš zdraví škodlivá

Uvedené požadavky splňuje mnoho anorganických, a zejména organických sloučenin. Anorganické látky (hydrazin, oxalát draselno-železnatý) se většinou nepoužívají. Naprostá většina organických vyvolávacích látek jsou deriváty benzenu. Jsou známy i vyvolávací látky odvozené od naftalenu nebo bifenyly, v praxi se však nepoužívají.

5.3 *Struktura vyvolávacích látek*

Molekula vyvolávací látky musí obsahovat alespoň dvě aktivní skupiny (-OH, -NH₂) v poloze 1,2 (orto), nebo 1,4 (para). Deriváty 1,3 (meta) buď nevyvolávají vůbec, nebo jen velmi málo. Deriváty 1,4 vyvolávají energičtěji, než 1,2 deriváty. Nejvíce vyvolávají aminofenoly, méně dihydroxybenzeny a nejméně diaminobenzeny. Další substitucí vodíků v těchto jednoduchých látkách lze ovlivnit jejich vyvolávací schopnost oběma směry.

5.4 *Hlavní vyvolávací látky*

Z celé řady známých vyvolávacích látek se dnes v praxi používají pouze tři sloučeniny.

Hydrochinon (1,4-enzendiol)

Po chemické stránce se chová jako slabá dvojsytná kyselina, která disociuje ve dvou stupních.

Z těchto tří disociačních forem, které jsou současně v roztoku, je pouze poslední schopna zahájit vyvolávání. Jejich poměr je závislý na pH roztoku. Vývojky obsahující hydrochinon jako jedinou vyvolávací látku musí mít pH nejméně 9,5. Při této zásaditosti se v roztoku vytvoří dostatečná koncentrace posledního disociačního stupně hydrochinonu. Vývojky, ve kterých je kromě hydrochinonu ještě jiná vyvolávací látka, mohou pracovat i při nižším pH. Rychlost vyvolávání hydrochinonových vývojek značně závisí na pH vývojky a na koncentraci bromidových iontů.

Na zpracovaném materiálu vyvolává hydrochinon energicky a na vysokou hustotu pouze značně exponovaná místa. Místa s nižší expozicí začíná vyvolávat se

zpožděním – prodlužuje se tzv. indukční perioda. Tato místa mají po vyvolání nízkou optickou hustotu. Místa s nepatrnou expozicí nebo místa bez expozice hydrochinon téměř nevyvolává.

Obraz vyvolaný hydrochinonovou vývojkou je velmi kontrastní, má velké optické hustoty a nepatrný závoj.

Metol (4-hydroxy-N-metylaniliniumsulfat)

Účinnou látkou ve vývojce je N-metyl-p-aminofenol vzniklý disociací metolu ve vodě, který podle pH vývojky může dále disociovat buď jako kyselina, nebo jako zásada.

Neaktivnější je forma vzniklá v dostatečné koncentraci disociací N-metyl-p-aminofenolu jako kyseliny při pH větších než 6,0. Metolové vývojky proto začínají vyvolávat už při tomto pH. Závislost vyvolávací schopnosti metolových vývojek na pH a na koncentraci bromidových iontů je značně menší, než u vývojek hydrochinonových.

Vývojky s metolem vyvolávají dobře místa s nízkou expozicí, místa značně exponovaná vyvolávají na relativně nízkou optickou hustotu.

Výsledný obraz je méně kontrastní ve srovnání s obrazem vyvolaným v hydrochinonové vývojce.

Fenidon (1-fenyl-3-pyrazolidon)

Fenidon je sám o sobě velmi slabá vyvolávací látka. Jeho vyvolávací schopnost se však mimořádně zvětšuje přidáním další vyvolávací látky, nejčastěji hydrochinonu. Tento jev se nazývá superaditivita. Vysvětluje se tím, že se fenidon absorbuje na centrech vyvolávání a odevzdá zde elektron. Přitom se změní na radikál, který se hydrochinonem regeneruje. Při vyvolávání se tedy fenidon nespotřebovává a jeho koncentrace může být proto velmi nízká. Redukce fenidonového radikálu probíhá velmi rychle, protože záporně nabitý iont hydrochinonu nemusí pronikat až do bezprostřední blízkosti krystalu halogenidu stříbrného.

Koncentrace bromidových iontů se má udržovat na vyšší hodnotě, jinak mají fenidonové vývojky sklon k tvorbě závoje. Jsou však velmi odolné proti změně koncentrace bromidových iontů při vyvolávání.

5.5 Ochranná látka

Při skladování i při vlastním vyvolávání se volná hladina vývojky dostává do kontaktu se vzduchem, a vzdušný kyslík rozpuštěný ve vývojce reaguje s některými jejími složkami. Jeho množství je závislé na několika fyzikálních veličinách. Teplotě, tlaku a nejvíce na velikosti volné hladiny vývojky. Úkolem ochranné látky je snížení technologicky i ekonomicky nejzávažnější oxidace vyvolávacích látek. Jako ochranná látka se používá siřičitan sodný, který se dodává buď jako bezvodý Na_2SO_3 , nebo jako heptahydrát $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Bezvodý siřičitan sodný lze ve vývojkách nahradit dvojnásobným množstvím jeho heptahydrátu.

Působením vzdušného kyslíku na vyvolávací látky ve vývojce vzniká nestálá sloučenina – peroxid vyvolávací látky – která reaguje s další molekulou vyvolávací látky za vzniku 1,4-benzochinonu.

Ve vývojkách bez siřičitanu sodného reaguje vznikající 1,4-benzochinon s vodou a vznikají postupně oxychinon a dioxychinon, ty dále polymerují na huminové kyseliny. Molární poměr kyslíku a zoxidované vyvolávací látky je 1:2.

Ve vývojkách se siřičitanem sodným začne reagovat hydroxid vyvolávací látky nikoli s další molekulou vyvolávací látky, ale spíše se siřičitanem sodným. Vznikající 1,4-benzochinon opět reaguje se siřičitanem sodným stejně jako při vyvolávacích reakcích. Molární poměr kyslíku a zoxidované vyvolávací látky je zde 1:1. Z hlediska ztrát vyvolávací látky je toto znatelně výhodnější, i když úspora vyvolávací látky je dosažena na úkor siřičitanu sodného. Molární poměr zoxidované vyvolávací látky a siřičitanu sodného je 1:2. Ze srovnání molárních poměrů kyslíku zoxidované vyvolávací látky vyplývá, že ve vývojkách bez siřičitanu sodného zoxiduje stejné množství rozpuštěného kyslíku čtyřnásobné množství vyvolávací látky ve srovnání s vývojkami se siřičitanem sodným.

Sodná sůl sulfonové kyseliny vyvolávací látky vznikající jako konečný produkt výše zmíněných reakcí je stejně jako původní vyvolávací látka redukční činidlo, může se oxidovat vzdušným kyslíkem a tedy se účastnit řady dalších podobných reakcí.

Oxidace vývojky se siřičitanem sodným vzdušným kyslíkem má své charakteristické projevy:

- Na rozdíl od oxidace vyvolávacích látek halogenidem stříbrným, kdy se pH vývojky snižuje (vzniká kyselina halogenvodíková), při oxidaci vyvolávací látky vzdušným kyslíkem se pH vývojky zvyšuje tvorbou alkalických hydroxidů.

- Dalším charakteristickým znakem oxidace vyvolávací látky ve vývojce se siřičitanem sodným vzdušným kyslíkem je vznik síranu sodného.

I když základní úlohou siřičitanu sodného je ochrana vyvolávacích látek před oxidací vzdušným kyslíkem, má tato chemikálie ještě další funkce:

- Účastní se vyvolávání:

V prvním stádiu vyvolávání vzniká oxidační zplodina vyvolávací látky (chinon, diimin, chinonimin), jejíž nahromadění by ukončilo vyvolávání. Siřičitan sodný reaguje s těmito zplodinami za současného vzniku sulfonanů vyvolávací látky. Koncentrace oxidačních produktů ve vývojce se proto nemůže zvýšit nad kritickou mez. Vznikající sulfonany mají kromě toho i určitou vyvolávací schopnost.

Při reakci siřičitanu sodného s oxidačními zplodinami vzniká též alkalický hydroxid, který neutralizuje polovinu halogenvodíkové kyseliny a snižuje tak spotřebu alkálií.

Reakce siřičitanu sodného s oxidačními zplodinami vyvolávacích látek znemožňuje tvorbu většího množství oxychinonu a produktů jeho další hydrolýzy polymerace.

-Částečně rozpouští halogenid stříbrný:

Ve vývojkách s vysokou koncentrací siřičitanu sodného se část halogenidu stříbrného rozpouští. Do vývojky se tak dostávají stříbrné ionty, takže může probíhat částečně fyzikální vyvolávání, při kterém vzniká jemnější zrna. Určitý podíl stříbrných iontů se redukuje přímo ve vývojce na kovové stříbro. Vývojka se zakaluje a vyloučené stříbro se postupně usazuje na stěnách zařízení.

5.6 Alkalické látky ve vývojkách

Otázka, proč některé roztoky reagují neutrálně, jiné kysele nebo zásaditě je sice mimořádně zajímavá, ale zcela mimo rámec této práce. Zjednodušeně lze říci, že jako alkálie označujeme ty látky, jejichž vodné roztoky mají zásaditou reakci, tedy jejich pH je větší, než 7. Potřebný přebytek iontů OH^- může vzniknout buď disociací rozpuštěné

látky, nebo hydrolýzou. V různých typech vývojek jsou potřebné rozdílné hodnoty pH, které lze získat použitím vhodně vybraných alkálií.

Ve vývojkách vysoce alkalických (pH asi 12) se jako alkálie používají hydroxidy sodný a draselný.

Ve vývojkách středně alkalických (pH 10-11) se nejčastěji používají uhličitan sodný nebo draselný. V některých vývojkách se používá fosforečnan a hydrogenfosforečnan sodný nebo draselný.

V nízkoalkalických vývojkách s pH asi 8 slouží jako alkálie tetraboritan disodný, případně ve směsi s kyselinou trihydrogenboritou.

Funkce alkálií ve vývojkách

1. Alkálie neutralizuje halogenvodíkovou kyselinu, která vzniká při redukci halogenidu stříbrného na kovové stříbro.

2. Neutralizuje kyselinu uvolňující se při rozpouštění některých vyvolávacích látek. Vyvolávací látky typu aminofenolů a fenylendiaminů se dodávají jako soli silných kyselin (sírové, chlorovodíkové). Při rozpouštění ve vodě disociují a vyvolávací látka se uvolňuje ve formě volné báze. Kyselinu je třeba neutralizovat přítomnou alkálií.

3. Alkálie ve vývojce zajišťují podmínky, při kterých se vytváří a obnovuje dostatečná koncentrace aktivní formy vyvolávací látky. Tato funkce alkálií je závažnější, neboť spolu s dalšími složkami vývojky určuje její charakter. Svolávací látky reagují buď jako slabé kyseliny (dihydroxybenzeny), nebo jako slabé zásady (fenylendiaminy), anebo jako amfoterní elektrolyty (aminofenoly). Ve vodných roztocích disociují a odštěpují H^+ , OH^- , případně obojí. Vyvolávací aktivita těchto disociačních forem vyvolávací látky je různá.

Jako aktivní formu vyvolávací látky označujeme tu formu (iont, nebo molekulu), která má ve srovnání s druhými větší záporný náboj, nebo menší kladný náboj. U vyvolávacích látek s charakterem kyseliny je to aniont, u vyvolávacích látek se zásaditým charakterem je to nedisociovaná molekula.

Například hydrochinon disociuje odštěpením H^+ ve dvou krocích. Vznikající ionty H^+ jsou neutralizovány přítomnými alkáliemi, reakční rovnováha se posunuje ve prospěch disociovaných iontů, které jsou v tomto případě aktivní formou vyvolávací látky v hydrochinonových vývojkách.

Vyvolávací látky zásaditého charakteru, jako například fenylendiaminy disociují ve vodě tak, že odštěpují OH⁻ skupiny. Ty pak v alkalickém roztoku vývojky posunují rovnováhu směrem k nedisociovaným molekulám vyvolávací látky, které jsou podle výše uvedeného pravidla aktivními částice ve vývojce.

U vyvolávacích látek s amfoterním charakterem (třeba aminofenoly), podporuje přítomnost alkálií disociaci kyselé skupiny (-OH) a potlačuje disociaci zásadité skupiny (-NH₂). Např 1,4-aminofenol může disociovat buď jako slabá kyselina odštěpením H⁺, nebo jako slabá zásada odštěpením OH⁻. Rozdíl aktivity disociačních forem jednotlivých vyvolávacích látek souvisí s jejich schopností předávat elektron redukovaným iontům Ag⁺. Tato schopnost se zvětšuje se vzrůstajícím záporným nábojem částice. Je možno ji charakterizovat takzvaným redox potenciálem redukčního činidla, který je úměrný logaritmu poměru molárních koncentrací oxidované a redukované formy vyvolávací látky [ox]:[red]. Například u hydrochinonu znamená [ox] molární koncentraci 1,4-benzochinonu a [red] je molární koncentrace dvojmocného iontu hydrochinonu. Zalkalizováním vývojky se zvýší koncentrace hydrochinonového iontu, čímž se zmenší hodnota onoho podílu, a tedy i redukčně-oxidační potenciál vývojky. Při zachování potenciálu stříbra se zvýší rozdíl obou potenciálů a aktivita vyvolávání se zvýší.

5.7 Ústojná kapacita

Vyvolávací schopnost vývojky závisí v podstatné míře na pH jejího roztoku. Jelikož se alkálie během procesu spotřebovává, dochází ke změnám pH. O stálosti vyvolávací schopnosti vývojky pak rozhoduje její ústojná kapacita, definovaná podílem látkového množství silné kyseliny přidané do 1 litru vývojky a změny pH vývojky tímto přídatkem způsobenou.

Alkalické hydroxidy disponují nepatrnou ústojnou kapacitou a používají se jako jediné alkálie pouze tehdy, nevyžaduje-li se velká stálost vlastností vývojky. Nejčastěji se používají alkalické uhličitany, pomocí nichž lze získat dost vysokou hodnotu pH. Ústojná kapacita vývojek s alkalickými uhličitany je velká, což je jeden ze základních předpokladů pro udržování neměnných vlastností vývojky po dlouhou dobu. Vysokou ústojnou kapacitu mají vývojky s tetraboritanem disodným, případně ve směsi s kyselinou boritou. V tomto případě, ale nelze získat vývojku s vyšší hodnotou pH.

Zvětší-li se koncentrace alkálie ve vývojce, zvětší se její ústojná kapacita. Ústojnou kapacitu ale nevytváří pouze soustava alkálie – její sůl, která vzniká při neutralizaci alkálie kyselinou, ale také celá řada jiných soustav, například:

siřičitan sodný - hydrogensiřičitan sodný

hydrochinon - iont hydrochinonu

želatina sůl - želatina kyselina

Velkou ústojnou kapacitu má zejména první soustava.

Výsledná ústojná kapacita vývojky je potom součtem ústojných kapacit jednotlivých soustav při daném pH.

Na vlastnosti vývojky má vliv nejen její ústojná kapacita, ale i velikost poměru změny hustoty ku změně pH. Tento poměr charakterizuje vliv změn pH na aktivitu vývojky. Závisí v prvé řadě na vyvolávací látce. Např. u hydrochinonu je asi 3,5x větší, než u metolu. Hodnota pH není závislá výhradně na koncentraci alkálie, takže změny pH vývojky a změny koncentrace alkálie mají různý vliv na výsledný obraz.

Například jedna firemní literatura uvádí, že změna pH v rozmezí 0,15 od předepsané se projeví velmi podstatnou změnou vyvolaných hustot a strmosti. Naproti tomu změny koncentrace uhličitanu sodného v rozmezí cca 13 až 50 g/l jsou provázeny podstatně menší změnou senzitometrických parametrů.

Vliv ústojné kapacity na vlastnosti vývojky

Vlastní reakce vyvolávání probíhá v okolí krystalů halogenidu stříbrného uvnitř citlivé vrstvy. Pro její průběh v jednotlivých místech vyvolávaného obrazu je určující složení vývojky uvnitř této vrstvy. Při vyvolávání vzniká kromě ostatních zplodin též halogenvodíková kyselina v množství ekvivalentním vyredukovanému stříbru. V místech více exponovaných se vyvolá více kovového stříbra, a vzniká tedy více kyseliny, v místech méně exponovaných vzniká kyseliny méně. S množstvím kyseliny bezprostředně souvisí i množství alkálií, které se spotřebuje na její neutralizaci.

Podle velikosti ústojné kapacity vývojky mohou nastat následující dva případy:

1. Ve vývojkách s nízkou ústojnou kapacitou se v okolí silně exponovaných míst značně snižuje pH vývojky, a tím i rychlost vyvolávání. Různě exponované části obrazu

se ve skutečnosti vyvolávají ve vývojkách s různým pH, tedy rozdílnou rychlostí. Vývojky s nízkou ústojnou kapacitou vyvolávají obrazy s nízkou maximální hustotou a s malou strmostí, čímž automaticky vyrovnávají velké kontrasty. Říkáme jim proto vyrovnávací vývojky.

2. Ve vývojkách s vysokou ústojnou kapacitou se pH vývojky příliš nemění v silně ani slabě exponovaných místech. Celý obraz se tedy vyvolává přibližně stejně rychle a neobjevuje se zde výraznější vyvolávací efekt. Výsledkem je obraz s vysokou maximální hustotou a strmostí.

5.8 Protizávojové látky

Při vyvolávání se redukuje i malá část krystalů halogenidu stříbrného bez latentního obrazu, čímž vzniká na zpracovaném materiálu závoj. Jelikož je tento v naprosté většině případů nežádoucí, potlačuje se zvýšením selektivity vývojky. Tuto úlohu zastávají protizávojové látky.

Nejznámějšími jsou bromid draselný a bromid sodný. Protizávojový účinek závisí na koncentraci bromidových iontů ve vývojce. Oba bromidy lze zaměňovat v poměru 1:1,16. Ve výjimečných případech se protizávojový účinek alkalických bromidů ještě zesiluje jodidem draselným, ovšem v nepatrných koncentracích.

Je-li třeba potlačit závoj mimořádně silně, je třeba použít některou organickou protizávojovou látku, např. kyselinu 3,5-dinitrobenzoovou, popř. 5-nitrobenzimidazol, také v nepatrných koncentracích.

Působení bromidu draselného ve vývojkách:

- Bromidové ionty ve vývojce prodlužují indukční periodu, tedy dobu od ponoření materiálu do vývojky k objevení prvních stop viditelného obrazu, pro neexponovaná a málo exponovaná místa vyvolávané vrstvy. Tato místa se pak proti silně exponovaným místům začínají vyvolávat opožděně a vyvolávají se pomaleji.

- Celkově brzdí vyvolávání, protože posunují rovnováhu redukce stříbra doleva přímo úměrně s koncentrací.

- Při vyšší koncentraci bromidu draselného ve vývojce částečně rozpouští halogenid stříbrný. Tak velké koncentrace bromidu draselného se však ve vývojkách nepoužívají.

Vliv bromidu draselného na rychlost vyvolávání se projevuje různě v závislosti na počáteční koncentraci KBr ve vývojce. Rozdíl je způsoben tím, že se při vyvolávání uvolňují bromidové ionty v množství, úměrném množství vyvolaného stříbra a zvyšují počáteční koncentraci bromidových iontů ve vývojce. Ve vývojkách s nízkou koncentrací bromidu je tento vzrůst relativně větší, než ve vývojkách s vyšší koncentrací KBr.

Ve vývojkách s vysokou koncentrací KBr se tato změna relativně málo. Méně se též uplatňují místní změny koncentrace KBr v okolí různě exponovaných krystalů AgBr.

U vývojek s nízkou koncentrací KBr snižuje vzrůst koncentrace KBr vyvolanou citlivost a zvyšuje strmost. Je to způsobeno tím, že se rychlost vyvolávání snižuje hlavně na málo exponovaných místech.

Vliv KBr na rychlost vyvolávání závisí na druhu vyvolávací látky. Rozhodující je velikost negativního náboje aktivní částice vyvolávací látky. Brzdící účinek KBr se zvyšuje se zvětšováním jejího záporného náboje. Např. hydrochinonové vývojky (aktivní částice se dvěma zápornými náboji) jsou daleko citlivější na změnu koncentrace bromidových iontů než vývojky s metolem (jeden záporný náboj) nebo s fenylendiaminy (aktivní částice bez záporného náboje).

Udržování požadované koncentrace bromidových iontů na stávající úrovni je bezpodmínečně nutné k zajištění neměnných fotografických vlastností vývojky.

5.9 Pomocné látky ve vývojkách

Pomocnými látkami nazýváme souhrnně látky, které se do vývojek přidávají jen někdy. Téměř vždy jsou součástí vývojek komplexotvorné látky, umožňující přípravu vývojek z běžné pitné vody obsahující vápenaté soli. U nás jde nejčastěji o látky na bázi fosforečnanů. Někdy se používají soli kyseliny etylendiamintetraoctové. Kyselina citrazinová brzdí vyvolávání halogenidu stříbrného a používá se jako inhibitor vyvolávání. Ke snížení bobtnání vrstvy, zejména při zpracování při vyšší teplotě je možno do vývojky přidávat síran sodný.

6 Ostatní operace při zpracování fotografického materiálu

Po vyvolání musí fotocitlivý materiál projít ještě řadou dalších operací, než je jeho zpracování ukončeno.

6.1 Ustalování

Ustalování je součástí vyvolávacího procesu a jeho smyslem je odstranění zbylého halogenidu stříbrného z filmového materiálu. Halogenidy stříbrné jsou ve vodě prakticky nerozpustné a není možné je tedy z filmu odstranit praním. Není ani možné převést na jiné jednoduché soli, neboť ty jsou až na několik výjimek ještě méně rozpustné, než původní halogenid stříbrný. Jedinou schůdnou cestou, jak ho tedy z filmu odstranit, je jeho přeměna na vhodné komplexní rozpustné soli.

Principiálně by bylo možné ustalovat v roztocích celé řady látek. Velmi účinný je například roztok kyanidu draselného, ve kterém se tvoří komplexní dikyanostříbrnan draselný, dobře rozpustný v roztoku KCN. Kyanid draselný je však velmi jedovatý a k obecnému použití je tedy naprosto nevhodný.

Nejrozšířenější a nejdůležitější látky tvořící rozpustné komplexní soli s halogenidy stříbrnými jsou thiosíran sodný nebo amonný.

6.2 Chemické reakce při ustalování

Thiosírany reagují s halogenidy stříbrnými za vzniku thiosulfátostříbrnanových iontů. Při nedostatku thiosíranu sodného se ve vrstvě tvoří nerozpustný thiosíran stříbrný, který je nestálý a snadno se rozkládá na kyselinu sírovou a sulfid stříbrný. Za normálních okolností se ionty thiosíranu adsorbují na povrchu halogenidu stříbrného a při reakci s ním vzniká těžko rozpustná komplexní sůl thiosulfátostříbrnan sodný. Jestliže vznikne tato komplexní sůl, vrstva zprůzrační. Ustalování však ještě nelze ukončit, neboť těžce rozpustnou sůl nelze z filmu vyprat. Po určité době by se rozložila na sulfid stříbrný, který na filmu tvoří žluté až hnědé skvrny. V přebytku thiosíranu sodného probíhají další reakce, při kterých se už tvoří lehce rozpustné komplexní soli.

Podmínky vzniku těchto solí nejsou podrobně prostudovány, ale patrně mohou vzájemně přecházet, změní-li se v roztoku jejich koncentrace nebo koncentrace

thiosíranu sodného. Čím větší je koncentrace thiosíranu sodného v ustalovači, tím menší je pravděpodobnost vzniku málo rozpustných komplexních thiosulfátostříbrnanů.

Pokud se ustalovač dlouho nepoužívá, vzrůstá v něm koncentrace komplexních solí a tím i anionu thiosulfátostříbrnanu a stříbrného kationu. Pokud se koncentrace Ag^+ zvýší natolik, že se dosáhne součinu rozpustnosti bromidu stříbrného, bude jím roztok nasycen a začne se vylučovat jako sraženina. Takové podmínky jsou ve značně vyčerpaném ustalovači. Aby bylo možno zajistit dobré podmínky pro vznik lehce rozpustných komplexních solí, které se dobře vyperou z filmu, je třeba ustalovat v málo vyčerpaném ustalovači, v němž je nutno ponechat film dostatečně dlouho.

Potřebná doba ustalování je určena požadavky na praní, které následuje po ustálení. Krátce ustálené materiály nelze dost dobře vyprat, i když v nich byl halogenid stříbrný převeden na dobře rozpustnou sůl. Vysvětluje se to tím, že po přenesení filmu do vody začne difúze thiosíranových a komplexních iontů do vody. Lehčí thiosíranové ionty difundují rychleji a jejich koncentrace ve vypíraném filmu klesá rychleji než koncentrace komplexních iontů. Jestliže koncentrace komplexních iontů klesne pod určitou hodnotu, spustí se významná disociace komplexních iontů. Tak může na filmu vzniknout velmi málo rozpustný thiosulfátostříbrnan sodný, který už nelze vyprat. Je tedy nutno ponechat film v čerstvém, nebo jen málo vyčerpaném ustalovači tak dlouho, aby největší část komplexních iontů měla čas difundovat do ustalovače při nezměněné koncentraci thiosíranových iontů ve vrstvě.

V praxi postačuje při zpracování filmového materiálu zvolit ustalovací dobu přibližně trojnásobnou, než je doba vyjasnění filmu, tedy doba, za kterou na filmu vznikne thiosulfátostříbrnan sodný.

6.3 Rychlost ustalování

Ve vyvolávacích automatech je pevně dán počet lázní a celé posuvné zařízení je spřaženo, není tedy možné nastavení doby ustalování nezávisle na době působení ostatních lázní. Rychlost ustalování musí být taková, aby zajistila dokonalé odstranění halogenidů stříbrných a komplexních solí během doby, po kterou je zpracováván materiál v ustalovači při uvažovaném nejrychlejším pohybu filmu vyvolávacím strojem. Rychlost ustalování závisí na celé řadě fyzikálních a chemických činitelů:

- Chemické reakce ustalování probíhají uvnitř želatinové vrstvy na povrchu krystalů halogenidu stříbrného. Na průběh této reakce má tedy vliv difúze, která přivádí ke krystalům účinné složky ustalovače (thiosíran sodný) a odvádí komplexní soli z místa jejich vzniku do okolního roztoku. Na rychlost difúze, a tedy i ustalování má zásadní vliv tloušťka unášení laminární vrstvičky ustalovače u povrchu emulzní vrstvy. Ustalovací rychlost lze tedy několikanásobně zvýšit mícháním roztoku, kterým se laminární vrstvička rozrušuje.

- Rychlost ustalování závisí na ztuhnutí želatinové vrstvy, které je ovlivněno teplotou roztoku, koncentrací thiosíranu sodného a hodnotou pH ustalovače. Při zvyšování teploty až do určité hranice se usnadňuje a urychluje průchod difundujících částic, a tím i rychlost ustalování.

- Rychlost ustalování závisí značně na tloušťce emulzní vrstvy. Dráha, kterou musí urazit difundující částice uvnitř vrstvy je delší u materiálů se silnější vrstvou, ty se tedy budou ustalovat pomaleji, než tenkovrstevné materiály.

- Rychlost ustalování ovlivňují i vlastnosti emulze. Ustalování je heterogenní reakce (probíhá v různých fázích) a probíhá na povrchu krystalů halogenidu stříbrného. Proto se rychleji ustalují jemnozrnné emulze, u kterých je povrch krystalů AgBr podstatně větší, než u hrubozrnných emulzí.

- Vliv na rychlost ustalování má i druh halogenidu stříbrného. Nejrychleji se ustalují vrstvy chlorostříbrné, nejpomaleji vrstvy obsahující větší množství jodidu stříbrného.

- největší rychlosti ustalování dosáhneme při 35-40% koncentraci thiosíranu sodného. Při této koncentraci je též rychlost ustalování nejméně ovlivněna změnou teploty. Při snížení i zvýšení koncentrace thiosíranu se rychlost ustalování zmenšuje.

- Rychlost ustalování se snižuje při zvyšování koncentrace produktů ustalování – komplexních solí a alkalických halogenidů. Proto je ustalování ve vyčerpaném ustalovači pomalejší, než v novém roztoku.

- Zrychlující účinek má přítomnost solí, které disociují za současného uvolnění amonných iontů. Největší urychlení nastane tehdy, dosáhne-li koncentrace těchto solí přibližně 1/5 koncentrace thiosíranu sodného. Zrychlení ustalování v přítomnosti amonných iontů se vysvětluje jednak rychlejší difúzí thiosíranu amonného do emulze a jednak tvorbou dobře rozpustných amoniakálních komplexů.

6.4 Druhy ustalovačů

Alkalický ustalovač

Nejjednodušším ustalovačem je alkalický ustalovač, tedy prostý roztok thiosíranu sodného v koncentracích 30-35%. Tento typ ustalovače se v rentgenové praxi nepoužívá, protože má řadu nedostatků:

- hodnota pH takového ustalovače je asi 8,0. Přenese-li se do ustalovače film z vývojky, mohou se stříbrné ionty ze vznikajících komplexních solí redukovat na kovové stříbro, které ve vrstvě vytvoří tzv. dichroický závoj. Oxidační zplodiny vyvolávací látky mohou navíc zbarvovat želatinu.

- Roztoky thiosíranu sodného se oxidují vzdušným kyslíkem za vzniku síranu sodného. Reakce je nevratná a rovnováha reakce rozkladu se stále posunuje směrem k produktu. Jsou-li v roztoku stopy iontů mědi, probíhá oxidace thiosíranu sodného kyslíkem za vzniku tetrathionanů a kyseliny sírové.

- Roztoky thiosíranu sodného jsou živnou půdou pro některé druhy bakterií, které thiosíran rozkládají. Nebezpečné jsou ty druhy, které ho redukují na sírník. Na zpracovávaném filmu potom vznikají neodstranitelné skvrny sulfidu stříbrného

Kyselý ustalovač

Řadu nedostatků alkalického ustalovače odstraňuje kyselý ustalovač, což je roztok thiosíranu sodného, jehož pH je uměle sníženo. V kyselém ustalovači se okamžitě zastavuje vyvolávání a odpadá tím nebezpečí vzniku dichroického závoje a zabarvování želatiny. Při okyselování roztoku thiosíranu je třeba mít na paměti tyto zásady:

- Ustalovač musí být dostatečně kyselý, aby se v něm zastavovalo vyvolávání. Protože všechny používané vyvolávací látky pracují až při $\text{pH} > 6,0$, musí být pH kyselého ustalovače menší, než tato hodnota.

- Spodní mez kyselosti ustalovače je určena hodnotou $\text{pH} = 3,5$, při které se thiosíran sodný rozkládá na siřičitan a síru. Tato reakce se nazývá sulfurizace ustalovače a probíhá i při vyšších pH. Tehdy je však možno přidavkem siřičitanu sodného posunout rovnovážný stav doleva, takže se thiosíran sodný prakticky nerozkládá.

- Ústojná kapacita ustalovače musí být dostatečně veliká, aby se ustalovač nemohl rychle zalkalizovat. Nesmí však být abnormálně velká, protože by pak neutralizace alkalických uhličitánů z vývojky probíhala velmi rychle a za vzniku bublinek oxidu uhličitého. Ústojná soustava ustalovače musí působit v rozmezí pH 4,0 až 6,0. K okyselení ustalovače se v praxi používá kyselina octová. Lze též použít disiřičitan sodný nebo hydrogensiřičitan sodný nebo draselný.

Kyselé utvrzující ustalovač

Při zpracování rentgenových filmů se klade důraz na dobrý mechanický stav vrstvy. Proto se k ustalování, zejména při vyšší teplotě používá kyselé utvrzující ustalovač, který zvyšuje odolnost vrstvy proti mechanickému poškození, snižuje bobtnání vrstvy při praní a tím usnadňuje i sušení.

Jako utvrzující činidlo se v tomto ustalovači používá síran draselný hlinitý v koncentraci asi 15 g/l. Utvrzující schopnost ustalovačů se síranem draselným hlinitým velmi závisí na pH roztoku. Nejvyšší možná hodnota pH utvrzujícího ustalovače je 5,0. V alkaličtějším roztoku vzniká hydroxid hlinitý, který se sráží ve formě amorfních klků. Velmi výrazné maximum utvrzující schopnosti je mezi pH 3,6 až 4,0. Jeho rozšíření směrem k vyšším hodnotám pH je možné přidáním kyseliny borité.

6.5 Praní

Při zpracování filmového materiálu ve vývojce nebo v ustalovači difundují do emulzní vrstvy molekuly vody spolu s molekulami nebo ionty složek těchto lázní. Vyjme-li se zpracovávaný film z lázně, vynáší se spolu s ním i určité množství roztoku. Část je ho uvnitř vrstvy a část lpí na jejím povrchu. Před vstupem filmu do další fáze zpracování je třeba tyto zbytky roztoku ze zpracovávaného filmu odstranit. Chrání se tím následující lázně před nadměrným znehodnocením, nebo se zajišťuje dobrá trvanlivost snímku.

Ponoříme-li film do vody, snaží se složky na něm ulpělého roztoku rovnoměrně rozptýlit do celého objemu prací vody. Difundují zevnitř vrstvy tím rychleji, čím větší je rozdíl jejich koncentrací uvnitř vrstvy a ve vnějším roztoku. Rychlost difúze je tedy

největší na počátku praní postupně klesá až k nule, kdy se obě koncentrace vypíraných látek vyrovnají. Z toho vyplývá, že film nelze nikdy dokonale zbavit složek vypírané lázně. Po vyrovnání koncentrací vždy ve vrstvě zůstává větší, či menší množství vypírané látky.

6.6 Kinetika praní

Rychlost praní se obvykle charakterizuje dobou potřebnou k odstranění většiny vypírané látky z vrstvy, ve které má zůstat co nejmenší reziduum. Kromě koncentračního spádu ovlivňuje rychlost praní ještě řada dalších faktorů:

1. Dráha, kterou musí urazit vypírané ionty nebo molekuly, než se dostanou do pracího roztoku. Tato dráha je dána tloušťkou emulzní vrstvy a silou hraniční vrstvičky, která lpí na povrchu vypírané vrstvy. Čas potřebný k vyprání vrstvy je přímo úměrný čtverci její tloušťky. Ta však nezávisí pouze na množství emulze nalité na podložku, ale i na jejím nabobtnání. Zde hraje velkou roli pH prací vody. Jedna ze základních složek emulze je želatina, tedy látka bílkovinného charakteru. V alkalickém prostředí želatina disociuje jako kyselina a v kyselém prostředí reaguje alkalicky. Při pH v rozmezí 4,7 až 5,3 je kyselá i zásaditá disociace přibližně stejná. V tomto bodě mají minimální hodnoty různé fyzikální vlastnosti želatiny, mezi nimi i stupeň jejího bobtnání. Na bobtnání želatinové emulze má dále vliv i teplota prací vody. Při teplotě do 15°C je bobtnání emulze velmi malé. Tím se zmenšují vzdálenosti mezi molekulami želatiny a je ztížen pohyb difundujících iontů. S rostoucí teplotou se zvětšují i vzdálenosti, ovšem zároveň se zvětšuje tloušťka vrstvy. U málo utvrzených emulzí se rychlost praní zvyšuje až do 22°C. Při dalším zvyšování teploty rychlost praní klesá, neboť zvětšení vzdáleností molekul již nemá vliv, a zvětšuje se jen dráha, kterou musí difundující částice urazit. Moderní, dobře utvrzené materiály nadměrně nebobtnají a rychlost jejich praní roste i při vyšších teplotách. Urychlující vliv na praní má i rozrušování hraniční vrstvy kapaliny vhodným mechanickým prostředkem, například protiproudem nebo turbulencí.

2. Vzájemné působení mezi částicemi vypírané látky a želatinou. Většina vypíraných látek je ve vodných roztocích disociována, vypírají se tedy jejich ionty. Jelikož má želatina amfoterní charakter, tak náboj jejích částic závisí na pH roztoku, ve

kterém se nachází. Má-li tedy vypíraná částice a želatina stejný náboj, urychluje se vypírání vlivem elektrostatického odpuzování. Vypírají-li se tedy aniony, má být pH prací vody větší, než je izoelektrický bod želatiny, tedy více, než 5,3. Těmto podmínkám alkalického praní vyhovuje pitná voda, jejíž pH se většinou pohybuje mezi 6,0 až 8,0. Pro vypírání kationů je výhodné pH prací vody nižší, než 4,5. V obou případech však není vhodné se příliš vzdalovat od izoelektrického bodu želatiny, neboť pak příliš narůstá její bobtnání.

3. Na rychlost praní má vliv i přítomnost elektrolytů v prací vodě. Zjistilo se například, že konečné praní v mořské vodě, obsahující značné množství chloridu sodného, probíhá rychleji, než v říční nebo vodovodní vodě. Zrychlení nastane tehdy, jestliže vypírací roztok obsahuje opačný iont méně pohyblivý, než vypíraný.

6.7 *Praní filmů po vyvolávání*

Účelem tohoto praní je snížit koncentraci vyvolávacích látek a alkálií natolik, aby se zpomalilo nebo přerušilo vyvolávání a aby vyvolávací látka po oxidaci vzdušným kyslíkem neznečišťovala vrstvu. Chrání také ustalovač, který by se vnášenými složkami vývojky postupně ničil. Nároky na toto praní nejsou velké. Používá se běžná vodovodní voda o teplotě 10 až 15°C. Většina vyvolávacích automatů toto praní úplně vypouští a nahrazuje ho mechanickým odstranění zbytků chemikálií. Film procházející soustavou transportních válečků je dostatečně zbaven zbytků vývojky.

6.8 *Konečné praní rentgenových filmů*

Nároky na toto praní jsou nepoměrně větší. Na jeho kvalitě závisí trvanlivost vyvolaných snímků. Thiosíran a ostatní síru obsahující složky ustalovače se po čase redukují na sulfidy, a ty reagují se stříbrem za vzniku sulfidu stříbrného. Ten pak tvoří na snímku neodstranitelné žlutohnědé skvrny. Vznikají tím rychleji, čím více thiosíranu ponecháme ve vrstvě a čím je vrstva jemnozrnější. Vzhledem k charakteru vypírané látky je vhodné praní v alkalickém prostředí. Spolu s rozrušováním hraniční vrstvičky kapaliny.

Pro zdárný průběh praní je velmi důležité důkladné ustálení. Komplexní thiosulfátostříbrnanové soli se musí z vrstvy vyprat už v ustalovači. Pokud se tuto podmínku nepodaří splnit, vzniknou z rozpuštěných iontů po zředění těžko rozpustné soli, které nelze odstranit praním ve vodě.

6.9 *Voda pro technologický proces zpracování rtg filmů*

Voda je jednou z nejdůležitějších surovin pro zpracování rtg filmů a významně ovlivňuje jeho kvalitu. Oblasti jejího využití jsou zejména příprava vyvolávacích lázní a následné praní. V obou případech je zde požadavek na její určitou čistotu. Nejlepší by samozřejmě bylo připravovat roztoky z destilované vody, která neobsahuje žádné rozpuštěné látky, ale pro běžný provoz by to znamenalo naprostou ekonomickou neúnosnost.

Pro zpracovatelský proces se tedy běžně používá pitná voda z vodovodní sítě, která podle hygienických norem nesmí obsahovat ionty těžkých kovů, amoniak, dusičnany dusitany a organické nečistoty. Pitná voda však obsahuje řadu rozpuštěných látek v různých koncentracích. Z plynů jsou to zejména oxid uhličitý a kyslík, z pevných látek zejména hydrogenuhličitany a sírany a další vápenaté a hořečnaté sloučeniny. Některé z těchto látek mohou reagovat se složkami používaného roztoku.

Vápenaté ionty reagují v alkalickém prostředí s uhličitany ionty nebo s oxidem uhličitým ze vzduchu za vzniku těžko rozpustného uhličitanu vápenatého. Hořečnaté ionty zase tvoří hydroxid hořečnatý. Vápenaté ionty reagují také se siřičitanovými ionty za vzniku těžko rozpustného siřičitanu vápenatého. Tyto vznikající těžko rozpustné sloučeniny zakalují roztok a během zpracovatelského procesu se usazují na filmu jako špatně odstranitelný nános. Tomuto nežádoucímu jevu se nejčastěji předchází přidáním komplexotvorných látek do připravovaných roztoků. Tyto látky tvoří s vápenatými ionty nepatrně disociované komplexní anionty a koncentrace volných vápenatých iontů ve vodě klesne natolik, že se nerozpustné siřičitany a uhličitany nemohou tvořit.

7 Současný stav používaného vybavení a materiálu na našem pracovišti

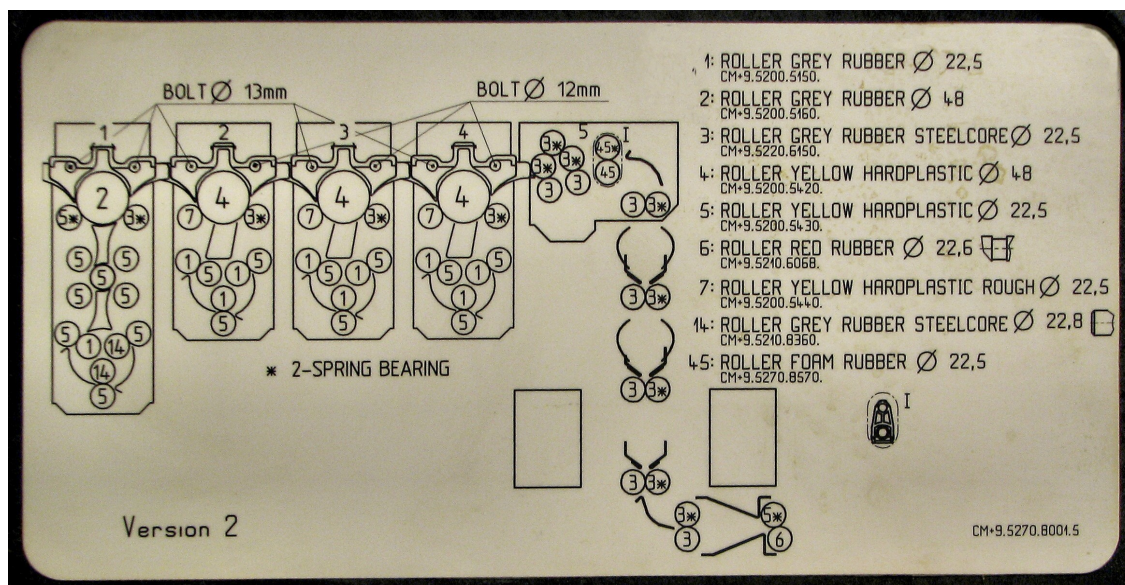
7.1 *Vyvolávací automat*

Na našem pracovišti radiodiagnostiky se ke zpracování rentgenových filmů používá vyvolávací automat AGFA Classic E.O.S. Tento vyvolávací stroj je pro naše pracoviště plně vyhovující, umožňuje vyvolávat filmy do šíře 45 cm. Přístroj zpracovává film ve čtyřech tancích. Po přijmutí filmu a změření jeho plochy pro zajištění správného množství regenerace se film přesune do vyvolávacího tanku. Poté projde ždímacími válečky a je odtransportován do první ustalovací lázně, kde je odstraněna většina nevyvolaného halogenidu stříbrného. Poté je film dopraven do druhé ustalovací lázně, kde je znovu ošetřen čerstvým ustalovačem. Tento způsob ustalování ve dvou tancích značně redukuje množství nevyvolaného halogenidu stříbrného, který se na filmu přenáší do prací vody. Po vyprání a vysušení je film vysunut do výstupního koše. Automat nabízí uživatelům individuální nastavení podle potřeb oddělení a to v následujících oblastech:

- Volba typu vyvolávacího cyklu
- Vyvolávací teplota
- Stupeň sušení
- Množství regenerace vývojky
- Množství regenerace ustalovače

—

Funkční schéma vyvolávacího automatu AGFA Classic E.O.S:



- 1 – Tank vývojky se sadou příslušných válců
- 2 – Tank prvního ustalovače se sadou příslušných válců
- 3 – Tank druhého ustalovače se sadou příslušných válců
- 4 – Tank prací vody s příslušnými válci
- 5 – Stírací válcová sada
- Dále pokračuje sada transportních válců sušení

7.2 *Filmy*

Až dosud se na našem pracovišti používaly filmy značky AGFA CP-BU. Jedná se o univerzální vysoce citlivý, středně až vysoce kontrastní modrocitlivý RTG film, který je určen pro použití ve všeobecné radiologii v kombinaci s modře emitujícími zesilujícími fóliemi ze vzácných zemin. Vzhledem k průběhu své charakteristické křivky je filmem univerzálním. Na jedné straně kontrast ve střední části a v rameni křivky postačuje pro zobrazení všech relevantních detailů při snímkování kostí, popřípadě angiografií, též plicní struktury prezentuje poměrně čistě a jasně. Na druhé straně i informace z oblastí jako srdce, bránice i páteř jsou zobrazeny poměrně slušně ke všeobecné spokojenosti. Výrobce používá technologii *okrouhlých zrn* (7), která má zaručit kvalitu snímku i při zpracování v méně kvalitních chemikáliích. Tyto filmy označuje jako *málo náchylné ke znečitlivujícím vlivům* (7). Polyesterová podložka

modré barvy má působit neutrálně. Celkově lze říci, že s těmito filmy panovala na našem oddělení celková spokojenost.

Nyní tedy bylo rozhodnuto o používání značky FOMA. Jedná se o dva druhy filmů, a sice XBU a XBU-plicní. Jedná se o modrocitlivé, oboustranně polévané vysoce citlivé RTG filmy, které mají vykazovat rovnoměrný a dostatečný kontrast v celé šíři expozic. Kontrast ve střední části a v rameni křivky mají zaručit kvalitní prokreslení jak kostí, tak kontrastní náplně cév a pata křivky zase má umožnit zobrazení málo denzních oblastí, jako bránice, srdce a páteř. Plicní varianta tohoto filmu se vyznačuje o něco vyššími optickými hustotami a příznivějším průběhem křivky v horní části. I tento výrobce udává *vysokou odolnost vůči desenzibilizačním jevům (8)*, zdůrazňuje antistatickou vrstvu, která má zabránit vzniku elektrostatických výbojů. I tento film používá modrou polyesterovou podložku, výsledné snímky by tedy měly být podobně subjektivně vnímány. Co se zpracování týče, výrobce doporučuje používat roztoky značky FOMA, které však již standardně používáme.

7.3 *Vývolávací chemie*

Ke zpracování filmového materiálu se u nás používají koncentráty roztoků od firmy FOMA. Tyto roztoky budeme odebírat i nadále. Jedná se o vývojku FOMA LP-D a ustalovač FOMAFIX. Pracovní roztoky se připravují ředěním koncentrátů vodou, vývojka ze tří kanystrů regenerátoru A, B a C dle návodu a ustalovač smísením ustalovače s utvrzovačem a následným ředěním podle návodu. Výrobce doporučuje regenerovat 400 až 550 ml vývoky a 450 až 600ml ustalovače na jeden metr čtvereční filmu. V našich podmínkách se ukázalo jako zcela dostatečné množství regenerace 400 ml vývojky a 300 ml ustalovače. Standardní vyvolávací cyklus by měl probíhat v teplotním rozmezí 30 až 36 stupňů Celsia, na našem oddělení se dosud používá teplota 32 stupňů.

8 Metodika

Z výsledků denzitometrických měření dlouhodobé stálosti vyvolávacího procesu lze sestavit charakteristickou křivku platnou pro stávající materiál. Charakteristická křivka je základní prvek, kterým lze vyjádřit vlastnosti filmového materiálu. Vhodnou úpravou vyvolávacího procesu ji lze poněkud přizpůsobit místním podmínkám, a tak vytěžit více z potenciálu toho kterého materiálu. Tuto křivku jsme použili jako výchozí stav, se kterým jsme následně porovnávali denzitometrické křivky nového materiálu.

Po obdržení nového typu filmu jsme provedli sérii denzitometrických měření s cílem zjistit optimální průběh jeho charakteristické křivky v našich podmínkách. Veškerá měření jsme prováděli pro oba druhy nového filmu a to v rozsahu teplot od 28 do 36 stupňů Celsia, a to po krocích 1 stupně. Ostatní parametry vyvolávacího procesu byly ponechány ve stávajícím nastavení. Výsledkem byla série charakteristických křivek, které byly podrobeny vzájemnému porovnání jak mezi sebou navzájem, tak s křivkou odpovídající stávajícímu stavu. Porovnávali jsme tedy v podstatě charakteristické křivky třech filmů.

Za tímto účelem jsme se rozhodli sestavit charakteristické křivky všech tří typů filmů, v případě nových filmů pak za různých teplot, tak abychom zjistili rozdílné vlastnosti materiálu v případě rozdílného průběhu vyvolávacího procesu. Za tímto účelem jsme v případě stávajícího materiálu AGFA použili již získané výstupy z denního měření stálosti vyvolávacího procesu. Tyto výstupy tvoří denzitometrické klíny, vyvolané za běžných pracovních podmínek za posledních deset dní. Z nich jsme odečetli hodnoty jednotlivých denzit, tyto pak statisticky zpracovali pro minimalizaci odchylek a vypočtené hodnoty zanesli do tabulky a grafu.

V případě nových filmů jsme vlastně provedli optimalizaci vyvolávacího procesu, kdy jsme exponovali senzitometrem oba druhy nového filmu a následně vyvolávali za různých podmínek, čímž jsme získali soustavu tabulek, potažmo grafů, které byly posléze porovnány se stávajícím stavem.

8.1 Charakteristická křivka

Každý film má trochu jiné vlastnosti. Aby bylo možné filmy po této stránce objektivně porovnat, výrobci u každého filmu poskytují v dokumentaci kromě dalších údajů také grafy zachycující charakteristické křivky filmu.

Charakteristická křivka udává, jaké zčernání v daném místě po vyvolání bude, když na něj v tomto místě dopadne jisté množství záření. Je to graf, který má na vodorovné ose expozici a na svislé ose optickou hustotu vyvolaného filmu. Expozice závisí na tom, jak silným zářením a jak dlouho je film v daném bodě ozářen. Aby bylo možno jedním grafem dobře popsat chování pro různé hodnoty, používá se na vodorovné ose logaritmus (dekadický) hodnoty expozice. Optická hustota na svislé ose je definovaná jako logaritmus (rovněž dekadický) poměru intenzity světla, které na film dopadne a které film propustí.

Typická charakteristická křivka má tvar plochého nahnutého S. Vlevo dole začíná křivka kousek nad nulou, protože i film který vůbec nebyl exponován, má po vyvolání nenulovou denzitu. Báze filmu spolu se stopovým množstvím zrn, u kterých dojde k vyvolání i přes to, že nebyla exponována, zabrání průchodu části světla. Křivka je zpočátku plochá. Množství světla, které se na film dostane, je zde příliš malé na to aby ho film zaznamenal. Po té, co expozice dosáhne jisté míry, film na ni začne reagovat a hustota začne růst. Následuje střední část, kde hustota je zhruba přímo úměrná logaritmu expozice a křivka stoupá víceméně rovně. Na závěr pak přijde oblast, kde již film danou expozici přestane zvládat, až nakonec výsledný obraz bude mít konstantní, maximální možnou hustotu, protože všechna zrna na filmu budou exponována a vyvolána. Tato část křivky je tudíž opět plochá, případně vlivem solarizace klesá.

Z charakteristických křivek lze vyčíst několik důležitých údajů o filmu. Tyto údaje souhrnně nazýváme charakteristické hodnoty.

- Minimální denzita, závoj a základ: Jedná se o denzitu v místě, které nebylo vůbec exponováno, měří se několikrát v místech vzdálených od míst exponovaných. Určuje ji denzita samotného filmu plus závoj vzniklý při vyvolání.

- Maximální optická hustota: Nejvyšší optická hustota, jaké lze za daných vyvolávacích podmínek dosáhnout
- Index citlivosti: Jedná se o bod, kterému přísluší hustota nejbližší vyšší 1,00 nad minimální hustotou. Informuje nás o množství expozice, které je třeba pro zvýšení denzity filmu o 1,00.
- Index kontrastu: Je dán rozdílem optických hustot dvou bodů denzitometrické křivky, a to denzity stupně s nejbližší vyšší hustotou, než 2,00 nad základ a 0,25 nad základ.
- Průměrný gradient: Průměrná hodnota gradientu je průměrná hodnota gradace, neboli kontrastu v oblasti denzitometrické křivky od nízké hustoty po vysokou, kterou získáme jako výsledek poměru rozdílu mezi logaritmy osvitů, nutných pro získání optických hustot nejbližší vyšších o 2,00 a 0,25 nad minimální denzitu.
- Gama: Úhel, který svírá přímá část denzitometrické křivky s osou expozice. Je dán poměrem rozdílů optických hustot a jim příslušných expozic. Z tvaru křivky si můžeme udělat představu o tom, jak dobře bude film zobrazovat různě denzní předměty. Čím větší je v dané oblasti sklon křivky, tím lepší je separace odpovídajících tónů šedi a naopak. Například, pokud má film dlouhou oblast paty, t.j. křivka dlouho stoupá jen zvolna, načež se strmě stočí nahoru, jde o film, který bude dobře separovat přibližně stejnou expozici, to znamená, že bude vhodný pro zobrazení nekонтрастных objektů, jako jsou například kosti a mediastinum, kterým dodá potřebný kontrast. U kontrastnějších objektů, u kterých stíny padnou do oblasti paty, kde je sklon malý, budou ale detaily ve stínech potlačené. Je tudíž vhodné používat takové filmy například na traumatologii.
- Expoziční šíře: Tento pojem je vyjádřen jako nutný rozsah expozice k získání specifického pásma hustoty. Znalost expoziční šíře filmu nám umožňuje odhadnout expoziční pružnost filmu. Čím větší je užitečný rozsah, tím větší je pružnost. To znamená, o kolik se při stanovování expozice můžeme průměrně splést směrem dolů, respektive nahoru, aniž bychom za to zaplatili ztrátou detailů. Vzhledem k tomu, že standardně je žádoucí maximálně využít citlivost filmu a dovolit použití co nejkratších časů, citlivost filmu je stanovena tak, aby stín zobrazeného objektu na film padl v rámci užitečného rozsahu (s jistou rezervou) spíše do levé části. Proto je

pružnost vůči podexpozici obvykle mnohem menší, než vůči přeexpozici. Poslední dvě veličiny jsou vůči sobě v nepřímo úměrném vztahu. Tedy čím větší je úhel gama, tím vyšší kontrast a tím menší expoziční šíře a naopak.

8.2 *Měření stálosti vyvolávacího procesu*

Test stability vyvolávacího procesu se provádí rutinně za účelem sledování změn ve vyvolávacím procesu a včasného odhalení změn v podmínkách zpracování filmového materiálu. Prakticky tedy sledujeme stálost optické hustoty při zpracování rtg filmů.

Film z vyčleněné krabice se senzimetricky ozáří. Je třeba dbát na to, aby byla expozice provedena v odpovídající spektrální oblasti a takto exponovaný film se každý den stejným způsobem vyvolá. Tedy exponovanou stranou nahoru, méně exponovaným koncem napřed a na opačné straně, než je přítok chemikálií. Pro účely testu sledujeme tři parametry, které se zaznamenávají do tabulky:

- Základní závoj: Též minimální hustota. Jedná se o optickou hustotu na neexponované části filmu.
- Index citlivosti: Stupeň, jemuž odpovídá optická hustota nejbližší vyšší 1,00 nad základní závoj. Tento stupeň se určí jako směrodatný a pro další měření se stanovuje optická hustota právě tohoto stupně po odečtení základního závoje.
- Index kontrastu: Stupeň, jehož expozice byla 4x větší (o čtyři stupně výš), než expozice stupně, jemuž odpovídá index citlivosti. Tento stupeň se pak bere v potaz při dalších měřeních.

Naměřené hodnoty jsou posléze statisticky zpracovány a v případě odchylky větší, než činí požadovaná tolerance, je nutno přistoupit k nápravným opatřením.

Požadované hodnoty a tolerance:

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| - Základní závoj: | Maximální optická hustota 0,25 |
| | stálost |
| | + -0,05 od referenční hodnoty |
| - Index citlivosti: | + -0,15 od referenční hodnoty |
| - Index kontrastu: | + -0,15 od referenční hodnoty |

8.3 *Optimalizace vyvolávacího procesu*

Optimalizace vyvolávacího procesu na radiodiagnostických pracovištích je akt nezbytný k zajištění standardně vysoké kvality zpracování filmového materiálu a současně je zárukou toho, že citlivost zpracování je pro danou kvalitu obrazu maximalizována a dávka záření pro pacienta minimalizována.

Není-li vyvolávací proces optimální, projevují se tendence „vylepšit“ výsledný obraz snížením napětí pro lepší kontrast a zvýšením proudu kvůli dostatečné optické hustotě snímku. Pacient tak obdrží větší dávku, než je nezbytně nutné. Po úpravě vyvolávacího procesu do optimalizovaného stavu lze tady očekávat jisté úpravy v expozičních tabulkách pro jednotlivá vyšetření.

Pokud je rentgenový film zpracováván podle pokynů výrobce stále za stejných podmínek, tedy se nemění použité chemické a fyzikální vlivy, není třeba optimalizaci provádět, neboť to již dříve učinil výrobce. Plně postačí test dlouhodobé stálosti, kterým se ujišťujeme o neměnné situaci. Pokud však dojde ke změně alespoň jednoho parametru vyvolávacího procesu, je optimalizace nutná.

Vyvolávací proces lze ovlivňovat jak chemickými vlivy, tak fyzikálními. Chemické zásahy do vyvolávacího procesu jsou dnes již poměrně redukovány a omezují se na volbu pracovních roztoků dle nabídky jednotlivých výrobců a množství regenerace. Jiné chemické vlivy se prakticky nevyskytují. Z fyzikálního pohledu lze ovšem vyvolávací proces ovlivňovat podstatě dvěma základními faktory, a to teplotou vývojků a dobou vyvolávání. Prodloužením této doby při konstantní teplotě zvýšíme v určitých mezích citlivost a kontrast rentgenového filmu. Obdobný efekt má zvyšování teploty při konstantní době vyvolávání.

I když lze u některých automatů měnit oba parametry, při optimalizaci je výhodné zvolit jeden parametr jako konstantní. Obvykle to bývá vyvolávací čas, který je u většiny automatů neměnný.

Při optimalizaci vyvolávacího procesu sledujeme v závislosti na proměnné teplotě chování třech parametrů:

- Minimální optické hustoty, což je hustota neexponované části rentgenového filmu po vyvolání.
- Střední optická hustota se odečítá pro všechny teploty na takovém stupni škály zčernání, kde je její hodnota nejbližší vyšší o 1,00 nad minimální hustotou.

- Rozdíl optických hustot se odečítá pro každou teplotu na takových stupních, kde jsou hustoty nejbližší vyšší o 2,00 resp. 0,25 nad minimální hustotou.

Interval teplot, kde provádíme optimalizaci, zvolíme takovým způsobem, že za jeho střed určíme teplotu doporučenou výrobcem a krajní meze pak o tři stupně výše a níže. Hodnoty jsme zjišťovali v devíti pracovních bodech a to vzestupně. I tak bylo časově náročné vyčkat důkladného promíchání a prohřátí roztoků. Pro minimalizaci statistické fluktuace jsme zpracovali v každém kroku tři filmy a dále pracovali s aritmetickým průměrem hodnot.

Cílem optimalizace je dosáhnout co nejvyšší střední hustoty a co největší rozdíl hustot, a současně dosáhnout nejnižší hodnoty minimální hustoty. Při vyšší střední hustotě lze snížit proudovou hodnotu, tedy snížit radiační zátěž pacienta a zkrácením expozice potlačit pohybovou neostrost. Vysoký rozdíl hustot zase umožňuje zvýšit napětí, čímž se opět sníží radiační zátěž. Není však možno současně zvyšovat citlivost a přitom snižovat minimální hustotu.

Optimální teploty tedy vychází z kompromisu mezi dostatečným kontrastem zobrazení a ještě přijatelnou minimální hustotou filmu. Je to taková teplota, při které se blíží rozdíl optických hustot maximální hodnotě, ale současně ještě nepřekračuje minimální hustota hodnotu 0,24. Ta bývá pokládána za ještě přijatelnou.

Použité pomůcky pro optimalizaci:

- Senzitometr
- Denzitometr
- Přesný teploměr
- Krabice dodaných filmů FOMA XBU a FOMA XBU plicní
- Čerstvé chemikálie FOMA

Postup měření:

Měření optimalizace bylo provozně navázáno na cyklickou servisní prohlídku vyvolávacího stroje, tedy jsme automat převzali bez chemikálií. Nejprve jsme tedy namíchali a doplnili roztoky vývojky a ustalovače a nastavili vyvolávací teplotu na 28 stupňů. Poté, co se roztoky zahřály na požadovanou teplotu byl stroj uzavřen, čímž se

automaticky doplnil tank pro praní čistou vodou. Pomocí senzitometru jsme naexponovali tři senzitometrické klíny pro filmy XBU a dva pro filmy XBU plicní. Takto exponované filmy jsme vyvolali standardním způsobem. Tedy méně exponovaným koncem napřed, na opačné straně, než je přítok roztoků do tanku a exponovanou stranou nahoru. Po zpracování filmů jsme nastavili teplotu lázni o jeden stupeň výše. Než se roztoky aklimatizovaly, změřili jsme denzitometrem optickou hustotu na všech stupních, z naměřených hodnot vypočítali aritmetický průměr a ten zanesli do tabulky a následně sestavili grafy průběhů charakteristických křivek.

Naměřené a vypočtené hodnoty nám posloužily jako vstupní data pro výpočet charakteristických hodnot a následném posouzení jednotlivých vlastností různých filmových materiálů.

Posuzováno bylo pět základních charakteristických hodnot u každého filmu:

- Základní závoj
- Index citlivosti
- Index kontrastu
- Průměrný gradient
- Expoziční šíře

V rámci optimalizace pak byly sledovány tyto tři atributy:

- Minimální optická hustota
- Střední optická hustota
- Rozdíl optických hustot

9 Výsledky

Pro stanovení charakteristické křivky stávajícího materiálu tedy posloužily hodnoty aritmetických průměrů hodnot za posledních 10 dnů.

Pro zjednodušení zde uvádím pouze statistické zpracování hodnot pro základní závoj:

Aritmetický průměr:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{0,23+0,22+0,22+0,22+0,23+0,22+0,22+0,21+0,22+0,23}{10} = 0,222$$

Zdánlivá chyba jednotlivých hodnot:

$$D_i = x_i - X$$

$$D_{i1} = 0,008$$

$$D_{i2} = 0,002$$

$$D_{i3} = 0,002$$

$$D_{i4} = 0,002$$

$$D_{i5} = 0,008$$

$$D_{i6} = 0,002$$

$$D_{i7} = 0,002$$

$$D_{i8} = 0,012$$

$$D_{i9} = 0,002$$

$$D_{i10} = 0,008$$

Střední kvadratická chyba:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta i^2}{n-1}} = \mathbf{0,0063}$$

Směrodatná odchylka aritmetického průměru:

$$s_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta i^2}{n(n-1)}} = \mathbf{0,002}$$

Výsledné hodnoty aritmetických průměrů jsme zanesli do tabulky:

	32		32
21	3,155	11	2,494
20	3,163	10	2,122
19	3,162	9	1,708
18	3,162	8	1,235
17	3,158	7	0,822
16	3,155	6	0,531
15	3,148	5	0,363
14	3,103	4	0,248
13	3,005	3	0,246
12	2,826	2	0,228
		1	0,222

Tabulka naměřených hodnot pro filmy FOMA XBU:

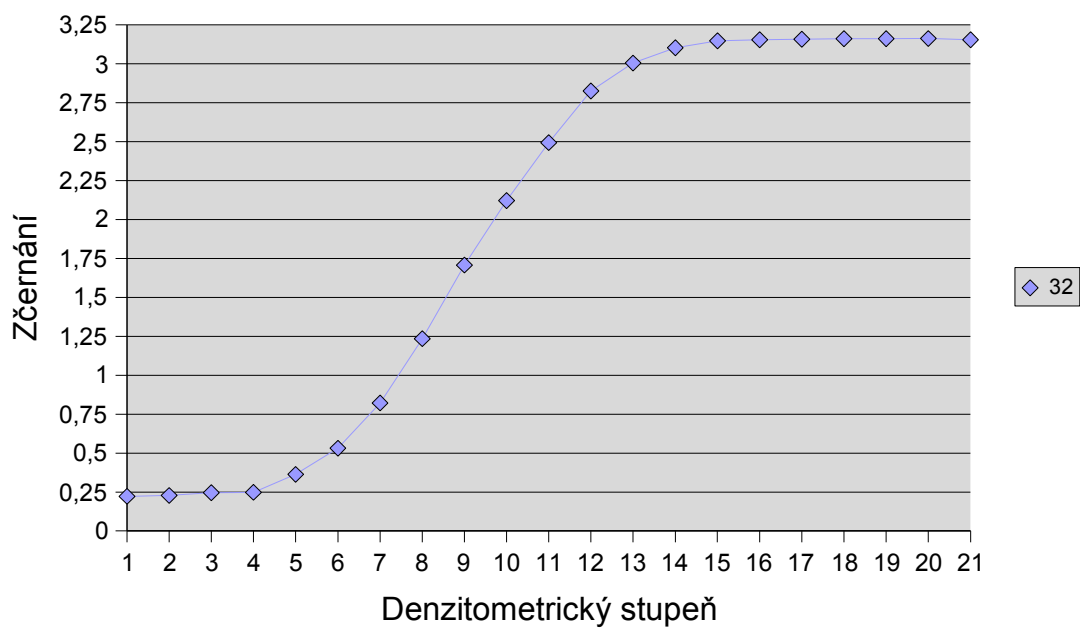
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
21	3,19	3,16	3,16	3,16	3,14	3,15	3,14	3,04	3,07
20	3,18	3,16	3,17	3,16	3,14	3,13	3,14	3,04	3,08
19	3,18	3,16	3,16	3,16	3,13	3,13	3,13	3,04	3,09
18	3,15	3,14	3,16	3,15	3,12	3,12	3,13	3,03	3,09
17	3,14	3,14	3,14	3,11	3,11	3,13	3,13	3,05	3,09
16	3,11	3,10	3,12	3,12	3,10	3,10	3,08	3,02	3,08
15	3,06	3,05	3,07	3,08	3,08	3,09	3,09	3,03	3,09
14	2,94	2,97	3,00	3,02	3,03	3,06	3,05	3,02	3,07
13	2,76	2,81	2,89	2,92	2,95	3,00	3,01	3,01	3,07
12	2,46	2,56	2,66	2,75	2,81	2,87	2,92	2,96	3,04
11	1,94	2,13	2,26	2,40	2,52	2,61	2,70	2,79	2,86
10	1,48	1,65	1,83	1,98	2,14	2,26	2,37	2,49	2,58
09	1,07	1,21	1,36	1,53	1,70	1,83	1,98	2,13	2,25
08	0,71	0,80	0,89	1,03	1,17	1,27	1,43	1,60	1,74
07	0,46	0,52	0,57	0,62	0,75	0,82	0,94	1,08	1,24
06	0,35	0,35	0,38	0,43	0,48	0,53	0,60	0,70	0,79
05	0,24	0,25	0,27	0,29	0,32	0,35	0,39	0,44	0,51
04	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,30	0,33	0,38
03	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,27	0,30
02	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27
01	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,22	0,24	0,25
	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Tabulka naměřených hodnot pro filmy FOMA XBU plicní:

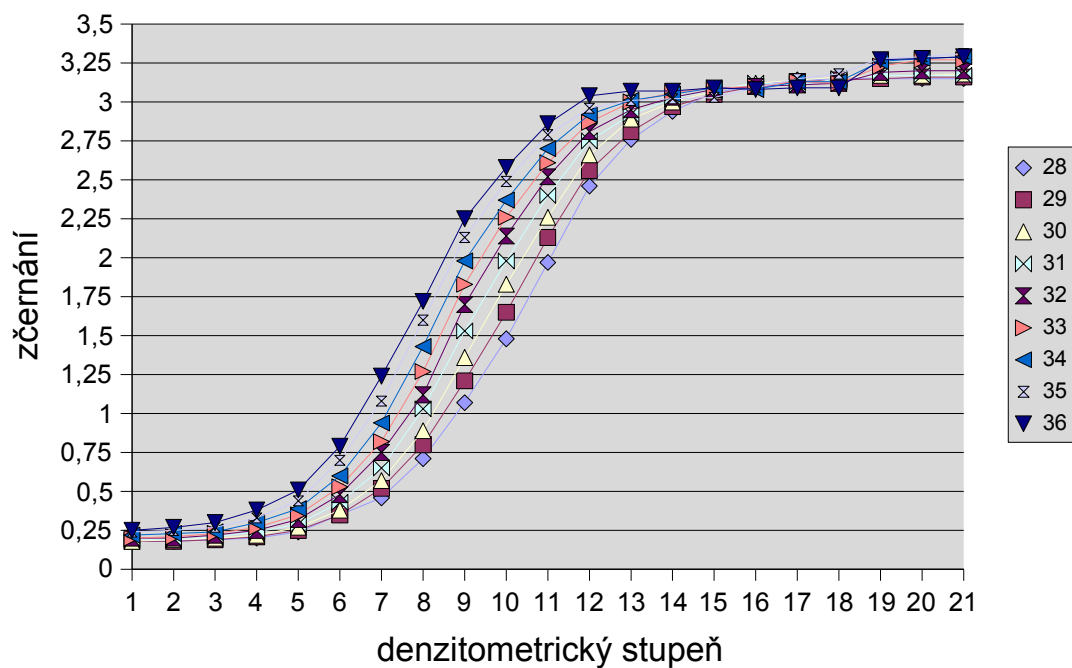
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
21	3,13	3,19	3,22	3,24	3,26	3,30	3,29	3,31	3,28
20	3,04	3,14	3,17	3,21	3,24	3,27	3,28	3,30	3,28
19	2,91	3,03	3,08	3,13	3,19	3,23	3,26	3,28	3,27
18	2,72	2,87	2,94	3,02	3,09	3,15	3,19	3,24	3,22
17	2,24	2,39	2,52	2,62	2,73	2,85	2,93	2,99	3,04
16	2,24	2,39	2,52	2,62	2,73	2,85	2,93	2,99	3,04
15	1,93	2,07	2,22	2,32	2,44	2,58	2,66	2,76	2,82
14	1,65	1,78	1,92	2,03	2,14	2,29	2,38	2,48	2,56
13	1,40	1,52	1,66	1,75	1,87	2,00	2,09	2,20	2,28
12	1,17	1,28	1,40	1,49	1,59	1,72	1,80	1,90	1,98
11	0,93	1,02	1,12	1,20	1,29	1,40	1,47	1,56	1,63
10	0,74	0,82	0,90	0,97	1,05	1,15	1,20	1,28	1,34
09	0,60	0,67	0,73	0,79	0,85	0,94	0,98	1,05	1,10
08	0,47	0,54	0,57	0,61	0,65	0,72	0,76	0,82	0,85
07	0,37	0,42	0,45	0,47	0,51	0,56	0,59	0,62	0,64
06	0,31	0,34	0,36	0,37	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48
05	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,35	0,35	0,37	0,37
04	0,23	0,25	0,27	0,27	0,28	0,30	0,30	0,31	0,31
03	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27
02	0,20	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,25
01	0,19	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,24	0,24
	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Hodnoty převedené do grafů denzitometrické křivky:

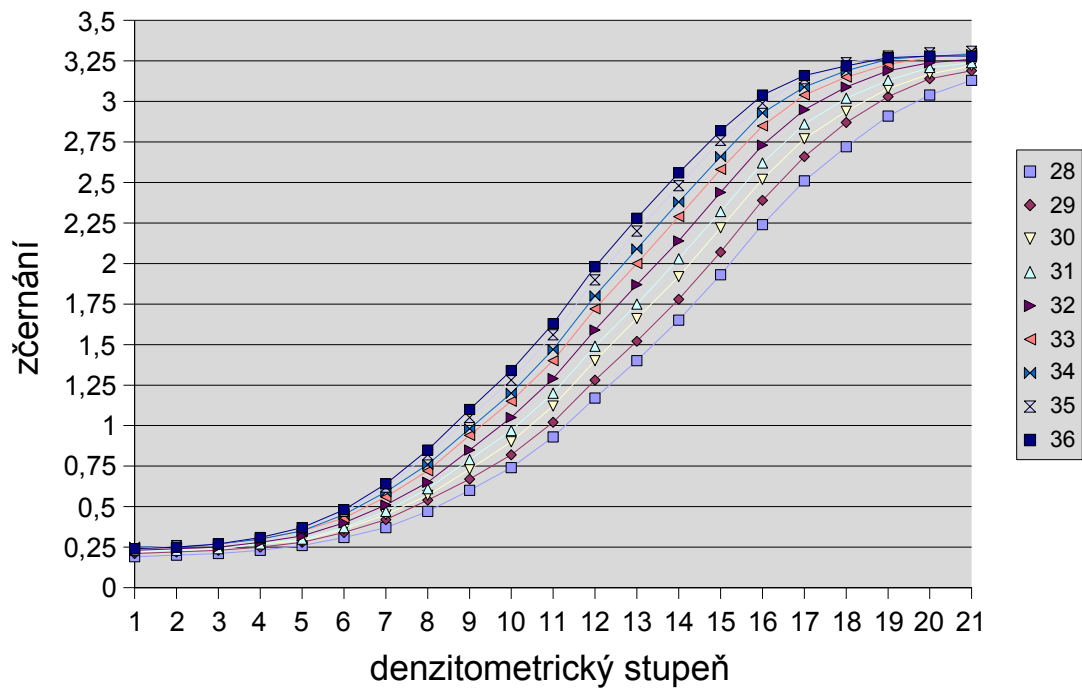
AGFA CP-BU



XBU



XBU - plicní

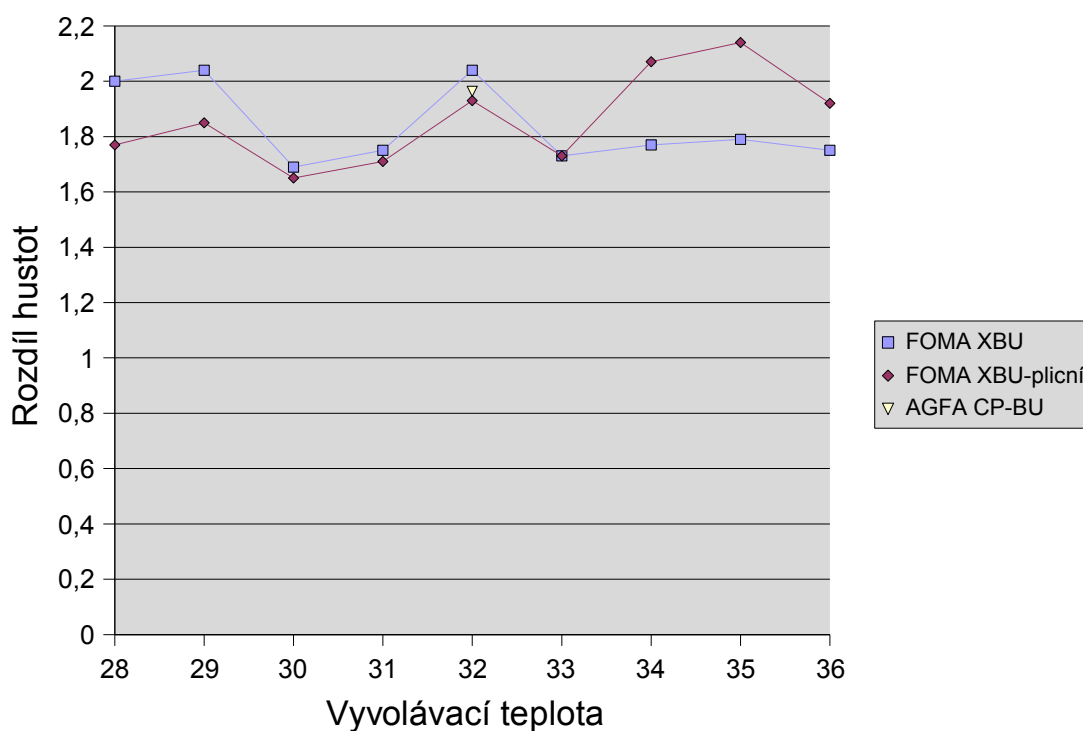


Tabulka rozdílu optických hustot:

Hodnoty odpovídající minimální a střední optické hustotě lze odečíst z výše uvedených tabulek. Omezím se tedy na tabulku odpovídající rozdílu optických hustot, která určí optimální vyvolávací teplotu:

	28	29	30	31	32	33	34	35	36
XBU	2,00	2,04	1,69	1,75	2,04	1,73	1,77	1,79	1,75
XBU- plicní	1,77	1,85	1,65	1,71	1,93	1,73	2,07	2,14	1,92
AGFA					1,96				

Tytéž hodnoty přenesené do grafu:



Zanedbáme-li anomálie v levé a střední části grafu, jednoznačně vyplývá jako optimální vyvolávací teplota 35 stupňů Celsia, a to pro oba druhy filmů. Je potěšitelné, že oba druhy filmů vyžadují stejnou teplotu, neb v tom případě není třeba vytvářet kompromisní řešení, které by neposkytovalo nejlepší výsledky ani v jednom případě.

Konrast filmu je určen strmostí přímkové části charakteristické křivky. Je dán vztahem

$$g=(D2-D1)/(lgI2-lgI1)$$

kde D2 je naměřená optická hustota v bodě indexu kontrastu a D1 totéž v bodě indexu citlivosti.

Vzhledem k již určené optimální vyvolávací teplotě se dále zabýváme pouze touto teplotou, a tedy byla určena gradace filmů FOMA pro teplotu 35 stupňů a následně porovnána s gradací stávajících filmů AGFA, zpracovávaným při teplotě 32 stupňů:

Film XBU:

$$D2 = 2,96 \quad D1 = 1,24 \quad I2 = 12 \quad I1 = 8$$

$$g = (2,96 - 1,24) / (\lg 12 - \lg 8) = 1,72 / 0,176 = \mathbf{9,772}$$

Film XBU plicní:

$$D2 = 2,48 \quad D1 = 1,28 \quad I2 = 14 \quad I1 = 10$$

$$g = (2,48 - 1,28) / (\lg 14 - \lg 10) = 1,2 / 0,146 = \mathbf{8,219}$$

Film AGFA:

$$D2 = 2,826 \quad D1 = 1,235 \quad I2 = 12 \quad I1 = 8$$

$$g = (2,826 - 1,235) / (\lg 12 - \lg 8) = 1,591 / 0,176 = \mathbf{9,039}$$

10 Diskuse

Jelikož o výběru nového dodavatele již bylo rozhodnuto, nemůže si tato práce klást za cíl nějakým způsobem tento výběr ovlivnit. Lze jen poukázat na rozdíly mezi dosavadním filmovým materiálem a novým, případně upravit vyvolávací proces tak, abychom dokázali maximalizovat přednosti nového materiálu a zároveň minimalizovat jeho případné nedostatky. Přestože se naměřené hodnoty blíží hodnotám deklarovaným, jisté odlišnosti se projevují. Tato skutečnost je dána především jedinečností daného prostředí, individuálním nastavením hodnot, a též technickými možnostmi daného pracoviště. V provozních podmínkách nikdy není možné dosáhnout absolutně stejné teploty roztoku v celém tanku, i v průběhu času tato teplota kolísá v rozsahu několika desetin stupně. Tato skutečnost je způsobena především odlišnou teplotou filmů i čerstvých roztoků. Veškeré chemické reakce probíhají díky difúzi, což je jev, který v praxi nelze nijak přesně ovládat, lze jen nastavit co nejvhodnější podmínky pro jeho optimální průběh.

Z našich výpočtů a měření vyplývá, že původní filmy značky AGFA jsou o něco méně kontrastní, než filmy FOMA XBU, naopak plicní varianta FOMA disponuje ještě plošší gradací, čehož lze při snímkování plic plně využít. Strmější varianta filmů zase umožní poněkud zvýšit diagnostickou výtěžnost u zobrazení skeletu a jiných kontrastních detailů.

Z tohoto úhlu pohledu by se mohlo zdát, že změna dodavatele přináší pouze pozitiva, je však třeba vzít v potaz, že zvýšení vyvolávací teploty s sebou přináší i zvýšení základního závoje, i když jeho hodnota je považována stále ještě za přijatelnou. Tento závoj je však vykoupen vyšším rozdílem optických hustot u plicní varianty filmu. Standardní varianta XBU pak nabízí o něco nižší rozdíl hustot i při vyšší vyvolávací teplotě. Též i hodnoty středních optických hustot vycházejí u nových filmů hůře. V tomto případě se nacházejí již těsně za doporučenými limity.

Rozsah středních optických hustot (D) běžného snímku by měl být mezi $D = 1,0$ a $D = 1,4$ (pro vyšetření plic je doporučeno $1,3 - 1,8$) a velikost minimální hustoty by neměla překročit $D = 0,25$. (12)

11 Závěr

Vyvolávací proces a vlastně celá problematika zpracování rentgenového obrazu je stále i přes veškerá zjednodušení a standardizace poměrně složitým sledem zajímavých procesů. Přestože se již dnes netěší takovému zájmu, její pozice v diagnostickém algoritmu je dosud stálá, a až do případné digitalizace zůstane neměnná. Stále bude spadat do kompetencí radiologického asistenta a radiologičtí asistenti tedy budou stále zodpovědní za její optimální průběh. Dnes již sice nemusí mít znalosti odborných chemiků, ale na druhou stranu více, než dříve je třeba zodpovědného přístupu, pečlivé práce a do značné míry i jistého nadšení pro věc.

Je zřejmé, že jakýkoliv zásah do vyvolávacího procesu musí být proveden pečlivě a s rozmyslem, neboť je to proces komplexní, kde probíhá několik dějů paralelně a ve vzájemných souvislostech. Žádná jeho součást není ideální a každý materiál vykazuje kromě nesporných předností i nějaké nedostatky. Dosáhnout ideálního průběhu charakteristické křivky není možné. V této souvislosti lze zmínit návrh na digitalizaci našeho pracoviště, kterážto by zajisté posunula řešení této otázky o notný kus kýženým směrem.

Vyvolávací proces může být ovlivněn mnoha faktory je třeba tento komplex reakcí pečlivě sledovat a udržovat v přesně vymezených standardech. Jen tak je totiž možné získat kvalitní snímek. I sebelépe provedené vyšetření může přijít vniveč, není-li následné zpracování snímku odpovídající. Pacient je pak zcela zbytečně ozařován vyšší dávkou, než je nezbytně nutné, snímek neobsahuje všechny dosažitelné detaily a diagnostická výtěžnost se snižuje. Jen správně nastavený vyvolávací proces dokáže maximalizovat výtěžnost snímku a poskytuje tak lékařům lepší podmínky pro jeho zodpovědnou práci.

Literatura:

1. Dr.A.von Arz, et al. *Kontrola kvality v radiodiagnostice*. Bern.1995
2. prof. Kozlov P.V. Technická chemie fotosenzitivní vrstvy.1951
3. doc. Ing. Dr. Lauschmann Jan, Rozbory ve fotografickém průmyslu, SNTL 1955
4. ing. Sklenář Zdeněk. Filmová chemie. SPN. 1985
5. ing. Pavel Šmoranc. Rentgenová technika v lékařství. Pardubice. 2004
6. AGFA. Classic E.O.S. referenční příručka
7. AGFA. technické listy a obchodní prospekty
8. FOMA. technické listy a obchodní prospekty
9. Konica. Základy fotosenzitivních materiálů pro použití v medicíně
10. Jan Bureš. Fyzikální jednotky a tabulky. <http://www.converter.cz/>
11. VMK. Radiační ochrana. http://www.vmk-rtg.cz/pdf/rp_91.pdf
12. VMK. Kritéria kvality pro radiodiagnostická zobrazení. http://www.vmk-rtg.cz/pdf/cec_kkz.pdf
13. VMK. Zkoušky provozní stálosti. http://www.vmk-rtg.cz/pdf/zps_pfv.pdf

Klíčová slova:

1. Vyvolávací proces
2. Optimalizace vyvolávacího procesu
3. Charakteristická křivka
4. Denzitometrie
5. Senzitometrie
6. Vyvolávací teplota