

**Příjemci podpory:**

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

MV - Policie ČR Kriminalistický ústav Praha

Poskytovatel:

Ministerstvo vnitra České republiky

Odbor bezpeč. výzkumu a polic. vzděl.

Pokročilé metody vizualizace daktyloskopických stop**VK01010022****Elektrochemická vizualizace otisku prstu nanesením polymerního filmu –
CM VaVal č.159**

Typ výsledku dle Definice druhů výsledků	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
Metodiky certifikované oprávněným orgánem N_{metC}	VK01010022-V2	2025
ISBN/ISSN (pokud je k dispozici)	Webový odkaz na výsledek (pokud je k dispozici)	Kde a kdy publikováno (v případě publikačních výsledků)
	https://publikace.fzu.cz/func/view/pdf.php?reg=27169	

Stručná anotace k výsledku v českém jazyce:

Vytvořená certifikovaná metodika zviditelnění daktyloskopických otisků je založena na depozici polymerního filmu poly(neutrální červení) (PNR) na mosazné substráty – nábojnice/mince s naneseným daktyloskopickým otiskem za specifických podmínek daných optimalizací metody cyklické voltametrie v elektrochemické cele.

Řešitelský tým:

Festová S., Broncová G., Hlavín P., Novotný M.



Pomáhat a chránit

POLICEJNÍ PREZIDIUM ČESKÉ REPUBLIKY

Osvědčení

o uznání certifikované metodiky

vydané v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací
a hodnocení programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací

Název metodiky: **Elektrochemická vizualizace otisku prstu
nanesením polymerního filmu – CM VaVal č.
159**

Autor/autorský kolektiv: **Ing. Sára Festová
Ing. Gabriela Broncová, Ph.D
pplk. Mgr. Petr Hlavín
Ing. Michal Novotný, Ph.D.**

Žadatel (příjemce podpory): **Kriminalistický ústav Policie ČR**

Projekt/program: **Pokročilé metody vizualizace
daktyloskopických stop, identifikační kód
VK01010022. Program Otevřené výzvy v
bezpečnostním výzkumu 2023-2029 (OPSEC)**

Schváleno pod č. j.:
PPR-53426-4/ČJ-2025-990540

Evidenční číslo osvědčení: **15/2025**

V Praze

genpor. Mgr. Martin VONDRÁŠEK
policejní prezident





Pomáhat a chránit

POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY
KRIMINALISTICKÝ ÚSTAV



Č. j. KU-3415-8/ČJ-2025-230502

Praha 16. října 2025

Počet stran: 25

Elektrochemická vizualizace otisku prstu nanesením polymerního filmu

- CM VaVal č. 159

(Zpráva o zpracování certifikované metodiky)

Účel: Vytvořená certifikovaná metodika zviditelnění daktyloskopických otisků je založena na depozici polymerního filmu poly(neutrální červení) (PNR) na mosazné substráty – nábojnice/mince s naneseným daktyloskopickým otiskem za specifických podmínek daných optimalizací metody cyklické voltametrie v elektrochemické cele.

Číslo verze: 2-2025

Pracoviště: ¹Ústav analytické chemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika
²Odbor daktyloskopie a dokumentace, oddělení daktyloskopické identifikace stop, Kriminalistický ústav Policie ČR, Bartolomějská 310/12, 110 00 Praha 1, Česká republika
³Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 1999/2, 182 00 Praha 8, Česká republika
⁴Kriminalistický ústav Policie ČR, Bartolomějská 310/12, 110 00 Praha 1, Česká republika

Klíčová slova: daktyloskopie, daktyloskopický otisk, elektrochemická vizualizace, nábojnice, mince

	titul, jméno, příjmení (funkce):	Datum:	Podpis:
Vypracoval:	Ing. Sára Festová (Hermochová) ¹ Ing. Gabriela Broncová, Ph.D. ¹ pplk. Mgr. Petr Hlavín ² Ing. Michal Novotný, Ph.D. ³		
Zkontroloval:	pplk. Mgr. Petr Vrablic ²		
Posoudil:	pplk. Ing. Petr Čejka ⁴ – metrolog		
Doporučil:	plk. Mgr. Ondřej Mandík ⁴ – náměstek ředitele pro podporu výkonu		
Schválil:	plk. Mgr. Ľuboš Kothaj ⁴ – ředitel KÚ		
Uvolnil:	pplk. Mgr. Alena Přenosilová ⁴ – manažer kvality		

1. Cíl metodiky

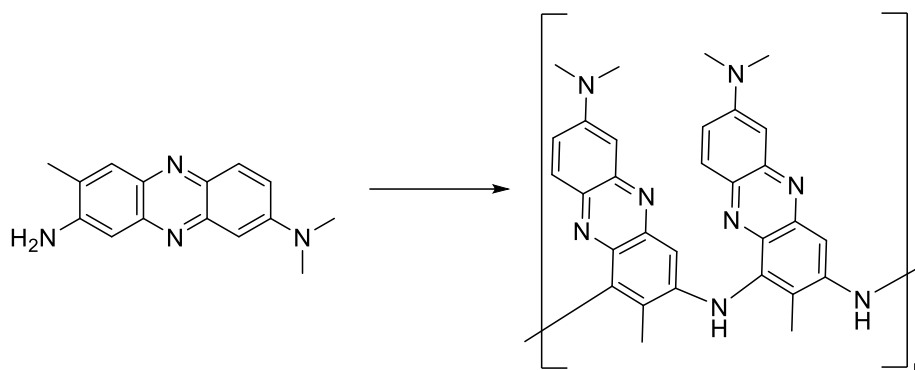
1.1 Elektrochemická vizualizace

Ke zviditelnění daktyloskopických otisků je nutno použít vhodnou metodu vizualizace, která závisí na povaze substrátu a charakteru daktyloskopického otisku [1]. Velmi složité je však kvalitně vizualizovat daktyloskopické otisky především ze střeliva, které se často nachází na místě trestného činu [2,3]. Během výstřelu dochází k uvolnění tepla a proudu ústových plynů se zbytky střelného prachu a tím může být stopa znehodnocena. Negativně na daktyloskopický otisk působí i manipulace s náboji a další nečistoty, jako je mastnota (nábojnic či zbraně) a usazeniny uvnitř hlavně zbraně [4,5].

Elektrochemická metoda vizualizace daktyloskopických otisků spočívá v depozici polymerního filmu na kovový (elektricky vodivý) substrát [6]. Celý proces je dán řízenou polymerizací monomeru na vodivém povrchu. Díky izolačním vlastnostem lipidických a dalších mastných komponent daktyloskopických otisků dochází k tvorbě polymerní vrstvy pouze v oblasti mimo papilárních linie, čímž vzniká negativní obraz otisku – ve srovnání s běžnými metodami, které poskytují pozitivní zobrazení reliéfu [1,7].

Nejčastěji využívanými materiály pro elektrochemickou depozici jsou vodivé polymery, poly(3,4-ethylenedioxythiofen) [7-9], polyanilin [6], polypyrrol [8], které jsou nanášeny pomocí cyklické voltametrie (CV) či chronoamperometrie [10].

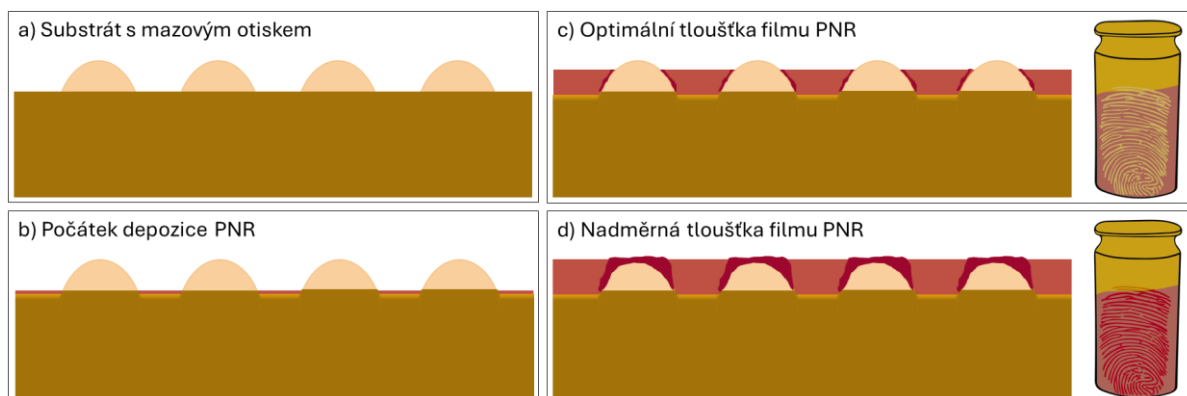
V posledních letech jsou využívána fenazinová barviva jako neutrální červeň (NR), kterou lze snadno elektrochemicky polymerizovat a získat polymerní film poly(neutrální červeň) (PNR) [11-16], viz **Obr. 1**. Tento polymerní film také vykazuje vhodné vlastnosti pro kontrastní a rychlou vizualizaci stop. Velkou výhodou PNR je její depozice na kovové substráty i z neutrálního prostředí, což minimalizuje poškození genetické informace [12].



Obr. 1: Struktura NR a její možné polymerní formy PNR [17].

Celý mechanismus je založen na elektrochemicky iniciované redoxní polymerizaci NR, kdy prvně dochází k tvorbě reaktivních radikálů, následuje jejich dimerizace a pak dochází k postupné polymerizaci za tvorby PNR na elektrodovém povrchu [13]. Pomocí CV je možno snadno kontrolovat tvorbu, tloušťku, vlastnosti a kvalitu vzniklého polymeru. Tato metoda tak představuje rychlou, efektivní a ekologicky šetrnou alternativu k tradičním vizualizačním technikám, zejména při aplikaci na kovové povrchy. Vlastnosti vzniklého polymeru a kvalita vizualizace závisí na výběru rozpouštědla (základního elektrolytu) a jeho pH, monomeru, jejich koncentraci, podkladovém substrátu, aplikovaném potenciálu, rychlosti a době ukládání polymeru na povrch substrátu [10].

Schéma znázorněné na **Obr. 2** ilustruje princip elektrochemické vizualizace latentního daktyloskopického otisku pomocí polymeru PNR [7,13]. Mastné složky potu v otisku (**a**) fungují jako izolační vrstva, která brání polymerizaci v místech papilárních linií. Polymerní film se tak ukládá pouze na vodivém podkladu mimo otisk (**b–c**), čímž vzniká jeho negativní obraz. Pokud je vrstva polymeru PNR příliš silná (**d**), může překrýt otisk, nicméně nedojde ke značnému zhoršení čitelnosti samotného otisku, neboť PNR zároveň mění svoji barvu v oblasti daktyloskopického otisku. Pro srovnání je vpravo na **Obr. 2** uveden náhled na negativní i pozitivní otisk vytvořený elektrochemickou polymerizací NR.

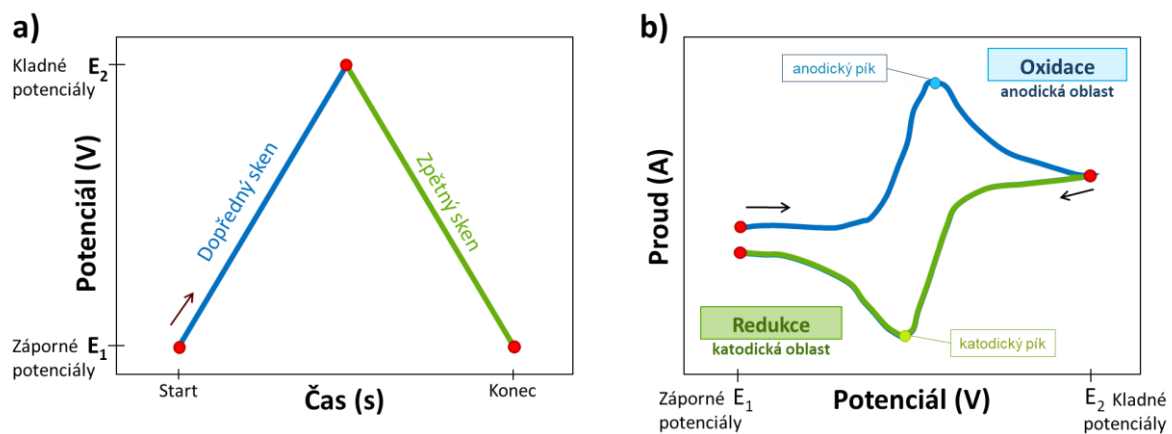


Obr. 2: Mechanismus vizualizace mazového daktyloskopického otisku pomocí elektrochemické depozice poly(neutrální červeně) – PNR.

1. 2 Cyklická voltametrie – teorie

Cyklická voltametrie (CV) je potenciodynamickou elektrochemickou technikou, při které je potenciál pracovní elektrody (WE) závislý na čase. Při CV dochází k lineární změně potenciálu WE v základním elektrolytu (**Obr. 3a**) pomocí trojúhelníkového potenciálu od dolní meze (vertex 1) po horní mez potenciálu (vertex 2) a zpět [18]. Rychlost změny napětí v čase je známa jako rychlost skenování potenciálu (V/s). Potenciál je měřen mezi WE a referentní elektrodou (RE), zatímco proud teče mezi WE a pomocnou elektrodou (CE). Cyklus je rozdělen na dvě části: dopředný sken a zpětný sken. Při dopředném skenu je potenciál lineárně zvyšován od dolní meze (vertex 1) k horní mezi (vertex 2), naopak při zpětném skenu je potenciál snižován od horního potenciálu k dolnímu. V závislosti na požadavcích lze použít jeden nebo více cyklů.

Výsledný záznam (**Obr. 3b**) znázorňující závislost proudu na vkládaném potenciálu je nazýván cyklický voltamogram. Cyklický voltamogram je časově závislá funkce velkého počtu fyzikálních a chemických parametrů [18]. Při CV je možno sledovat oba redoxní děje najednou, jak oxidační (anodický pík), tak redukční (katodický pík). Cyklický voltamogram je vyznačen několika důležitými parametry, a to především anodickým, respektive katodickým potenciálem a proudem píků, pokud jsou v záznamu pozorovány.



Obr. 3: Princip cyklické voltametrie: a) potenciálový program jednoho cyklu, b) cyklický voltamogram, (upraveno dle citace [19]).

2. Vlastní popis metodiky

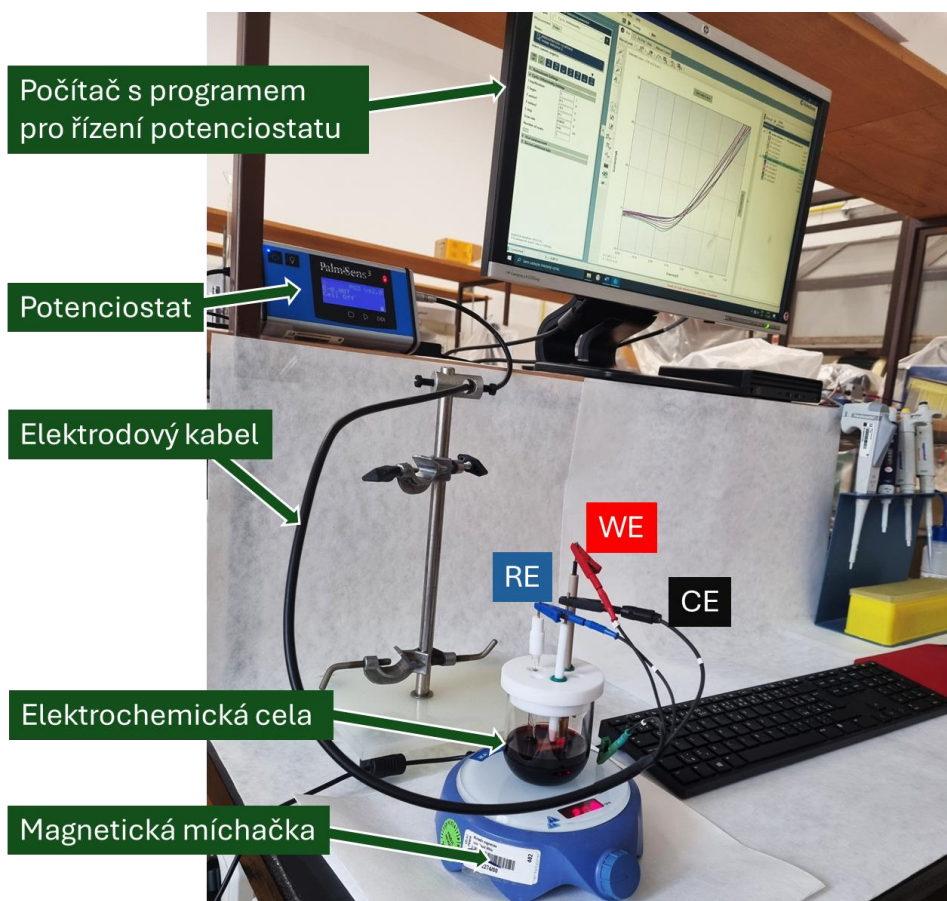
Elektrochemická cela neboli nádobka, ve které probíhá vizualizace, obsahuje tříelektroodový systém a elektrolyt. Zapojení je složeno z potenciostatu, pomocí kterého je na WE vkládán potenciál oproti RE a mezi pracovní a CE teče proud [10,19]. V elektrolytickém článku probíhá požadovaný elektrochemický proces na WE. Pracovní elektrodou je kovový substrát s daktyloskopickým otiskem (nábojnice nebo mince) uchycený do krokosvorky nebo speciálního držáku. Na WE se vkládá kladný potenciál oproti referenční elektrodě, což způsobí tok elektrického proudu a oxidaci monomeru. RE definuje stabilní rovnovážný potenciál, který lze použít k měření potenciálu WE v článku. Obvykle se používá argentchloridová elektroda, která je od elektrolytického roztoku oddělena porézní fritou. CE je určena k uzavření elektrického obvodu. Proud elektronů teče mezi WE a CE a je měřen jako celkový elektrický proud. Povrch CE musí být větší než povrch WE, aby nebyla ovlivněna kinetika reakce na WE. Jako CE se obvykle využívá inertní materiál jako platina – velkoplochá platinová elektroda.

Pro provedení elektrochemické vizualizace daktyloskopických otisků metodou depozice PNR je nutné vybavit pracovní stanoviště o minimální ploše 1 × 1 metr. Metodika musí být doplněna podrobným návodem pro práci s vybraným potenciostatem („*User manual/Operator's manual*“). Na stanovišti se musí nacházet základní sestava zařízení pro elektrochemickou depozici, jak je znázorněno na **Obr. 4**.

Sestava zahrnuje:

- **počítač nebo notebook** s nainstalovaným softwarem pro řízení měření na potenciostatu,
- **potenciostat**, který zajišťuje vkládání potenciálu na elektroodový systém a zároveň měření proudu,
- **elektroodový kabel** spojující potenciostat s elektrodami v měřící cele,
- **elektrochemická cela** s tříelektroodovým uspořádáním, tj. WE, RE a CE,
- **magnetická míchačka** pro zajištění rovnoměrného míchání roztoku během vizualizace stop,
- **laboratorní stojan** s držáky pro bezpečné uchycení elektrochemické cely a elektrod.

Na monitoru počítače je viditelný typický průběh cyklické voltametrie zaznamenaný při vizualizaci daktyloskopického otisku. Barevné označení jednotlivých elektrod odpovídá standardnímu zapojení (**Obr. 4**).



Obr. 4: Pracovní prostor metody elektrochemické vizualizace daktyloskopických otisků – červená pro pracovní elektrodu (WE), modrá pro referentní elektrodu (RE) a černá pro pomocnou elektrodu (CE).

2.1 Použité chemikálie

Dusičnan draselný (KNO_3 , CAS: 7757-79-1, $M=101,10$ g/mol)

Etanol 96% p.a. (CAS: 64-17-5)

Dihydrogenfosforečnan sodný dihydrát ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CAS: 13472-35-0, $M=156,01$ g/mol)

Hydrogenfosforečnan disodný dodekahydrát ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, CAS: 10039-32-4, $M=358,14$ g/mol)

Fosfátový pufr (pH=7), např. ROTI®Star – Buffer solution pH 7.00 \pm 0.01 (20 °C), <https://www.p-lab.cz/ph-pufry?from=pufry-rotisupstar&search=9977.1>, (katalogové číslo: R.9977.1)

Plnicí roztok o koncentraci 3 mol/l KCl pro referentní elektrodu

Kyselina sírová 96% p.a. (H_2SO_4 , CAS: 7664-93-9, $M=98,08$ g/mol, $\rho=1830$ g/l)

Neutrální červeň, prášek (NR, CAS: 553-24-2, $M=288,78$ g/mol)

Destilovaná voda

2.2 Bezpečná manipulace s chemikáliemi

Při práci s chemikáliemi a jejich likvidaci je nutné důsledně dodržovat zásady bezpečnosti práce v chemické laboratoři a řídit se platnou legislativou. Každý uživatel by měl být seznámen s riziky práce s použitými látkami, způsobem jejich skladování a doporučenými ochrannými pomůckami.

Bezpečnostní listy

- Aktuální verzi bezpečnostního listu lze ověřit na: <https://sdsmanager.com> – pomocí zadání identifikačního čísla CAS.

Obecné zásady bezpečnosti

Při práci s chemickými látkami vždy:

- používejte vhodné ochranné prostředky – zejména rukavice, plášť, ochranné brýle,
- manipulujte s těkavými a žíravými látkami (např. H_2SO_4) v digestoři,
- chemikálie nepřelévejte zpět do originální nádoby, pokud byly odlity mimo ni,
- při likvidaci odpadů se řiďte pravidly pro třídění chemických odpadů.

Zákonné a normativní požadavky

Bezpečnost práce v chemických laboratořích a nakládání s chemickými látkami upravují následující předpisy:

- ČSN 01 8003 – Zásady pro bezpečnou práci v chemických laboratořích
- Zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích (chemický zákon)
- Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- Zákon č. 133/1985 Sb. České národní rady o požární ochraně
- Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- Nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (nařízení CLP)
- Nařízení (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH)

2.3 Použité pomůcky a přístroje

Analytické váhy

Univerzální pH papírky pro orientační stanovení pH

Potenciostat/galvanostat (doporučení: PalmSens3 a výše, Metrohm DropSens μ Stat 400)

- Tříelektrodová cela (skleněná nebo plastová nádoba odolná kyselinám)
 - RE: argentchloridová elektroda (Ag/AgCl/plněná 3 mol/l KCl)
 - CE: velkoplochá Pt elektroda (4 cm² nebo 9 cm²)
 - WE: držák smosazným předmětem s předpokládaným daktyloskopickým otiskem (např. nábojnice nebo mince)
 - a) Krokosvorka pro připojení vzorku
 - b) Držák s kontaktem na nábojnice

Míchačka s magnetickým míchadlem

Kádinky, pipety a odměrné baňky (100–1000 ml)

Ultrazvuková lázeň

Stereomikroskop nebo digitální fotoaparát

2.4 Příprava roztoků

- A. Roztok k elektrochemickému čištění systému
- B. Fosfátový pufr o pH 7
- C. Základní elektrolyt
- D. Roztok monomeru

Všechny roztoky se připravují do odměrných baněk a je nutno kvantitativně převést navážku do odměrné baňky a doplnit ji po rysku vhodným rozpouštědlem.

Kvantitativní převedení navážky do odměrné baňky:

1. Látku nejprve navažte a rozpustte v menším objemu vhodného rozpouštědla v kádince a roztok převedte do odměrné baňky. Při převodu se snažte vyhnout rozstříku kapaliny a ulpívání kapek na stěnách baňky nad ryskou.

2. Když je všechna navážka rozpuštěna vhodným rozpouštědlem, minimálně 2x opláchněte kádinku a roztok převedte do odměrné baňky. Tím zajistíte, že se látka zcela rozpustí a nedojde ke snížení výsledné koncentrace.
3. Pomalu doplňte baňku vhodným rozpouštědlem po rysku.

A. Roztok k elektrochemickému čištění systému

Na čištění elektrochemické cely je třeba připravit 0,5 mol/l roztok H_2SO_4 . Do odměrné baňky o vhodném objemu připravte destilovanou vodu o třičtvrtěčným objemu jejího obsahu a přilijte 96% H_2SO_4 o objemu, dle **Tab. 1** a doplňte baňku po rysku destilovanou vodou.

POZOR: Kyselinu lijeme vždy do vody!!! Během směšování kyseliny s vodou se uvolňuje teplo!
Doporučení: Je dobré baňku s destilovanou vodou během přidávání kyseliny chladit pod studenou tekoucí vodou!

Tab. 1: Objemy pro přípravu 0,5 mol/l H_2SO_4 k elektrochemickému čištění systému

Objem odměrné baňky (ml)	Objem 96% H_2SO_4 (ml)
100	2,8
200	5,5
250	6,9
500	13,8
1000	27,7
2000	55,3

B. Fosfátový pufr (pH 7)

Fosfátový pufr (PB) o celkové koncentraci 0,1 mol/l připravíte rozpuštěním $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ v destilované vodě v poměru dle **Tab. 2**. Zkontrolujte výsledné pH, aby bylo ideálně 7 (popřípadě: v rozmezí 6,5–7,5). Doporučuje se použít pH metr se skleněnou pH elektrodou.

Pro přípravu 1 000 ml fosfátového pufru využijte následující postup:

1. Převedte obě navážené látky do kádinky o objemu cca 600–800 ml a rozpusťte je v celkovém objemu ~800 ml destilované vody pro snazší rozpuštění roztok míchejte.
2. Hodnota pH by měla být okolo 7. Hodnotu pH můžete ověřit pomocí univerzálního pH papírku.
3. Roztok kvantitativně převedte do odměrné baňky o objemu 1 000 ml, několikrát vypláchněte kádinku malým množstvím destilované vody a výplachy převedte do baňky.
4. Doplňte destilovanou vodou na rysku 1 000 ml.
5. Baňku uzavřete a důkladně promíchejte.

Nebo je možné využít komerční fosfátový pufr bez aditiva (barviva atd.), viz kapitola: **Použité chemikálie**.

Tab. 2: Navážky $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ pro přípravu fosfátového pufru (pH 6,5–7,5).

Objem odměrné baňky (ml)	Navážka $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (g)	Navážka $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (g)
500	3,0422	10,9233
1000	6,0844	21,8465

C. Základní elektrolyt

Základní elektrolyt připravíte rozpuštěním vhodné navážky KNO_3 ve fosfátovém pufru, dle **Tab. 3**, aby byl připraven roztok o koncentraci 0,1 mol/l KNO_3 ve fosfátovém pufru z bodu B.

Tab. 3: Navážky KNO_3 pro přípravu základního elektrolytu

Objem odměrné baňky (ml)	Navážka KNO_3 (g)
100	1,0111
200	2,0222
250	2,5278
500	5,0555
1000	10,1110

D. Monomerní roztok neutrální červeně

K přípravě monomerního roztoku 2 mmol/l NR je třeba NR rozpustit v roztoku základního elektrolytu z předchozího kroku **C.**, dle **Tab. 4**. Pro snazší rozpuštění NR použijte ultrazvukovou lázeň. Kádinku s navážkou zalitou základním elektrolytem umístěte na 5 minut do ultrazvukové lázně, následně postupujte v kvantitativním převedení roztoku NR do odměrné baňky. Postup s rozpouštěním monomeru v ultrazvukové lázni lze provádět opakovaně, dokud nedojde k úplnému rozpuštění NR a převedení do baňky.

Tab. 4: Navážky NR pro přípravu roztoku monomeru

Objem odměrné baňky (ml)	Navážka NR (g)
100	0,0578
200	0,1155
250	0,1444
500	0,2888
1000	0,5776

2.5 Uchování roztoků po přípravě

Roztoky skladujte v lednici ideálně při 4 °C, ve tmě. Roztoky je doporučeno před použitím homogenizovat v ultrazvukové lázni (5–10 min). Jeden den odstátý roztok může zlepšit homogenitu výsledné vrstvy. Nepoužívejte monomerní roztok starší déle než 3 měsíce. Starší monomerní roztok může vést k degradaci monomeru a ke snížení kontrastu nebo přilnavosti výsledné vrstvy. Fosfátový pufr je třeba skladovat v lednici, a protože je poměrně stabilní, je možné ho použít i 1 rok po přípravě, případně do konce data uvedeného na obalu.

2.6 Příprava elektrochemické cely a elektrodového systému

Před každou vizualizací daktyloskopických stop je nutné provést důkladné vyčištění elektrochemické cely a elektrod. Čistota systému zásadně ovlivňuje kvalitu výsledné polymerní vrstvy.

Bodový postup pro čištění:

- Zkontrolujte elektrody** vč. kontaktů, zda nejsou poškozené.
 - WE: drátková platinová elektroda;
 - CE: velkoplochá platinová elektroda (doporučeno použít 4 cm² nebo 9 cm²);
 - RE: argentchloridová elektroda plněná 3 mol/l KCl (Ag/AgCl/KCl);
 - RE musí být pravidelně kontrolována – v případě úbytku elektrolytu je nutné doplnit 3 mol/l KCl tak, aby byl stříbrný drátek potažený nerozpustným AgCl vždy ponořen. Pokud je roztok zbarven, vyměňte plnicí roztok 3 mol/l KCl v argentchloridové elektrodě.
- Naplňte celu** 0,5 mol/l H_2SO_4 , aby byly všechny elektrody kompletně ponořené v roztoku (typicky 50 ml pro 100 ml nádobu/celu).

3. **Zasuňte elektrody do víka cely a upevněte je** silikonovými těsněními tak, aby se elektrody nedotýkaly navzájem ani stěn nádoby.
4. **Vložte elektrody do cely** – umístěte víko s elektrodami na celu, viz **Obr. 5**.
5. **Zapněte počítač, potenciostat a software.**
6. **Nastavte parametry pro** čištění pomocí cyklické voltametrie:
 - rovnovážný čas (t equilibration): 5 s;
 - startovací potenciál (E begin/start): 0,0 V;
 - potenciálový rozsah:
 - dolní mez (E vertex 1): -0,3 V;
 - horní mez (E vertex 2): +1,8 V;
 - skenovací rychlost (Scan rate): 0,1 V/s;
 - potenciálový krok (E step): 0,00244 V;
 - počet cyklů (Number of scan): 10 (v případě silnějšího znečištění 20).
7. **Spusťte cyklickou voltametrii.**



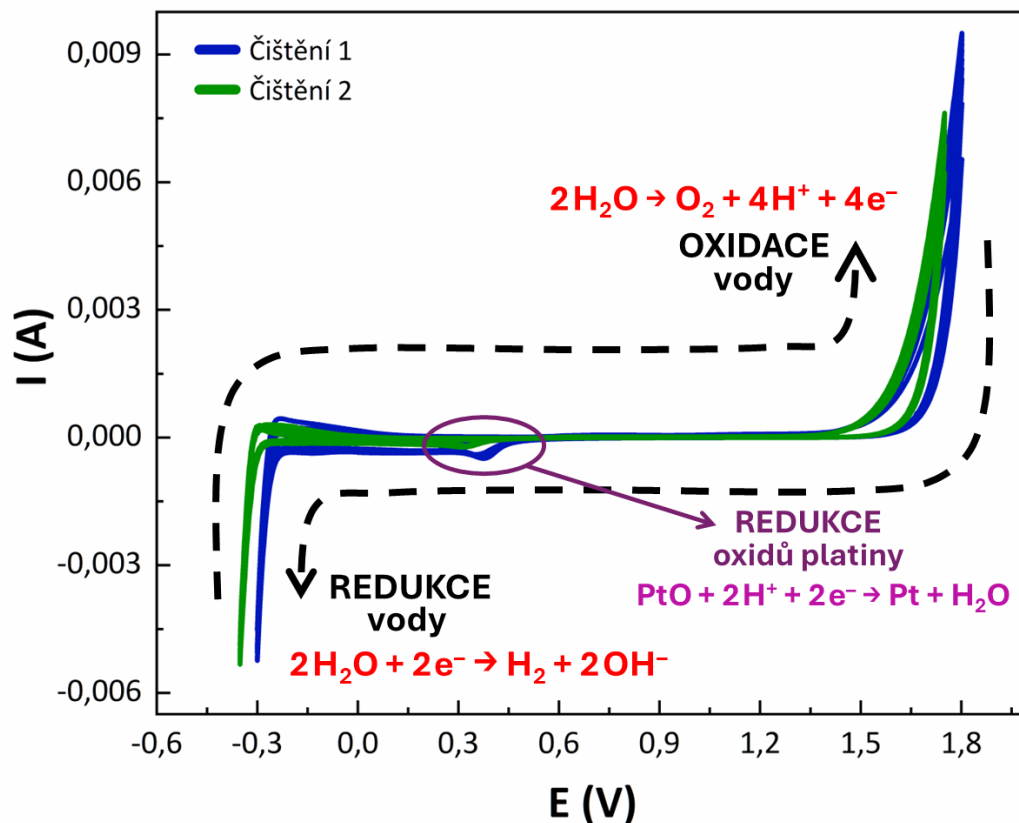
Obr. 5: Elektrodové uspořádání v průběhu čištění cely a elektrod v 0,5 mol/l H_2SO_4 .

V průběhu čištění cely a elektrod dochází k uvolňování barviva z povrchu elektrod – PNR/NR do roztoku, jelikož je PNR i NR zároveň pH indikátor dochází k zfialovění uvolněného barviva. Jedná se o běžný jev. Pokud je kyselina značně zbarvena, je doporučeno provést ještě další čištění v novém roztoku kyseliny.

8. **Po skončení čištění** (cyklování) vylijte kyselinu do odpadu a několikrát řádně opláchněte elektrodový systém i celu destilovanou vodou, aby došlo k oplachu zbytku kyseliny. *Nedůkladný oplach elektrod a cely může zhoršit kvalitu následné vizualizace!*
9. **Elektrody i celu usušte** opatrně buničitou vatou. *Pokud není elektrodový systém řádně vysušen, může dojít k naředění monomerního roztoku a tím ke zhoršení kvality vizualizace!*

Obr. 6 (cyklický voltamogram) znázorňuje typický průběh elektrochemického čištění platinové elektrody v kyselém prostředí. Opakované cykly přispívají k odstranění nečistot z povrchu elektrod a obnově aktivního platinového povrchu.

Po dosažení vyšších anodických potenciálů (nad +0,8 až +1,0 V) dochází k tvorbě oxidových forem na povrchu platinové elektrody. Při zpětném (katodickém) skenu jsou tyto oxidy redukovány zpět na kovovou platinu.



Obr. 6: Cyklický voltamogram čištění elektrochemického systému v 0,5 mol/l H_2SO_4 včetně vysvětlivek.

2.7 Manipulace se vzorky

Při manipulaci se vzorky, které obsahují potenciální daktyloskopické otisky, genetické nebo balistické stopy (např. nábojnice, mince či jiný mosazný materiál), je nutné dodržovat maximální opatrnost, aby nedošlo ke kontaminaci nebo mechanickému poškození.

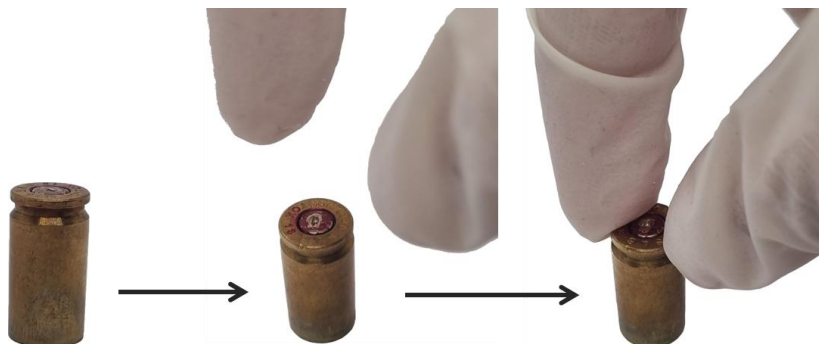
Zásady bezpečné manipulace:

1. **Vzorky uchopte výhradně v rukavicích**, a to ideálně za spodní část nábojnice (dno nábojnice se stopou zápalníku, např. na zápalce nebo na hraně se nepředpokládá výskyt daktyloskopických otisků) nebo za vnitřní stranu nábojnice pomocí pinzety, viz **Obr. 7–9**.
2. **Používejte plastové nebo teflonové pinzety**, abyste minimalizovali riziko zanechání mechanoskopických stop na povrchu.
3. **Při manipulaci krokosvorkou (držákem pracovní elektrody)** přichyťte nábojnici pouze za horní část (za okraj nábojnice od střely) tak, aby samotný daktyloskopický otisk zůstal nedotčen v místě kontaktu **Obr. 10**.
4. **S každým vzorkem manipulujte individuálně**. Zabraňte kontaktu mezi vzorky, aby nedošlo ke kontaminaci genetickým materiálem.

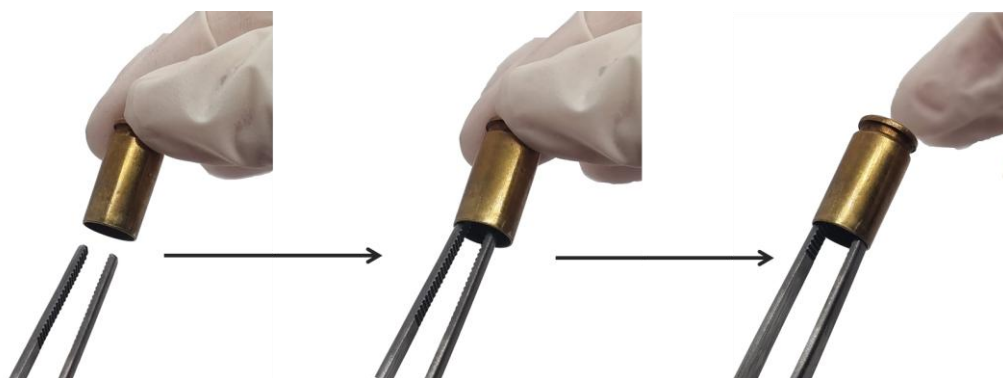
Doporučený postup dle následné fotodokumentace:

- **Obr. 7:** Ukazuje správný způsob uchopení vzorku v rukavicích.
- **Obr. 8 a Obr. 9:** Ilustrují manipulaci pomocí pinzety – uchopení, otočení a uvolnění vzorku.
- **Obr. 10:** Znázorňuje uchycení mosazného předmětu krokosvorkou před vizualizací.

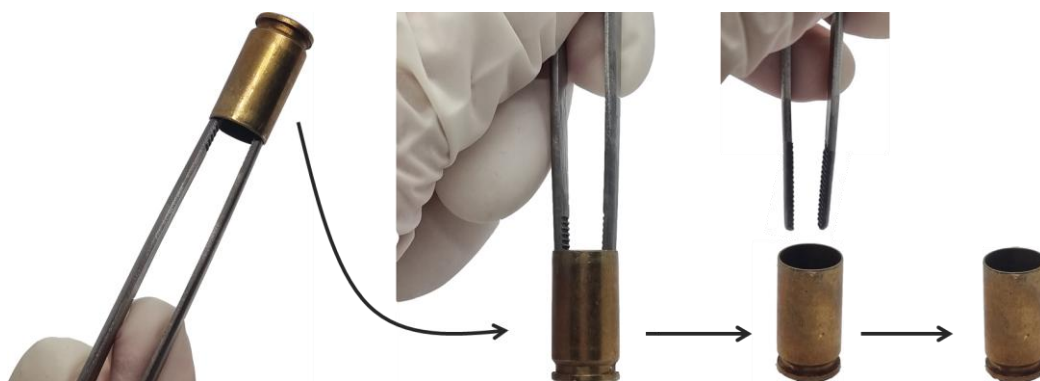
Při dodržení výše uvedených zásad je minimalizováno riziko znehodnocení důkazního materiálu a maximalizována kvalita vizualizace daktyloskopického otisku.



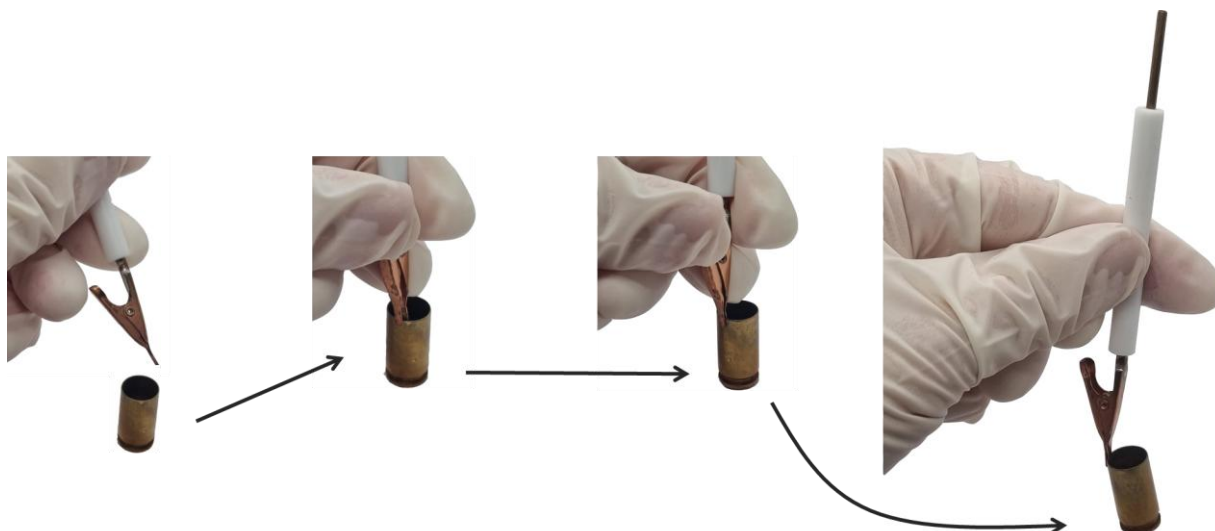
Obr. 7: Fotopostup manipulace v rukavicích.



Obr. 8: Fotopostup manipulace pomocí pinzety z vnitřní strany nábojnice – uchycení.



Obr. 9: Fotopostup manipulace pomocí pinzety z vnitřní strany nábojnice – otočení a uvolnění.



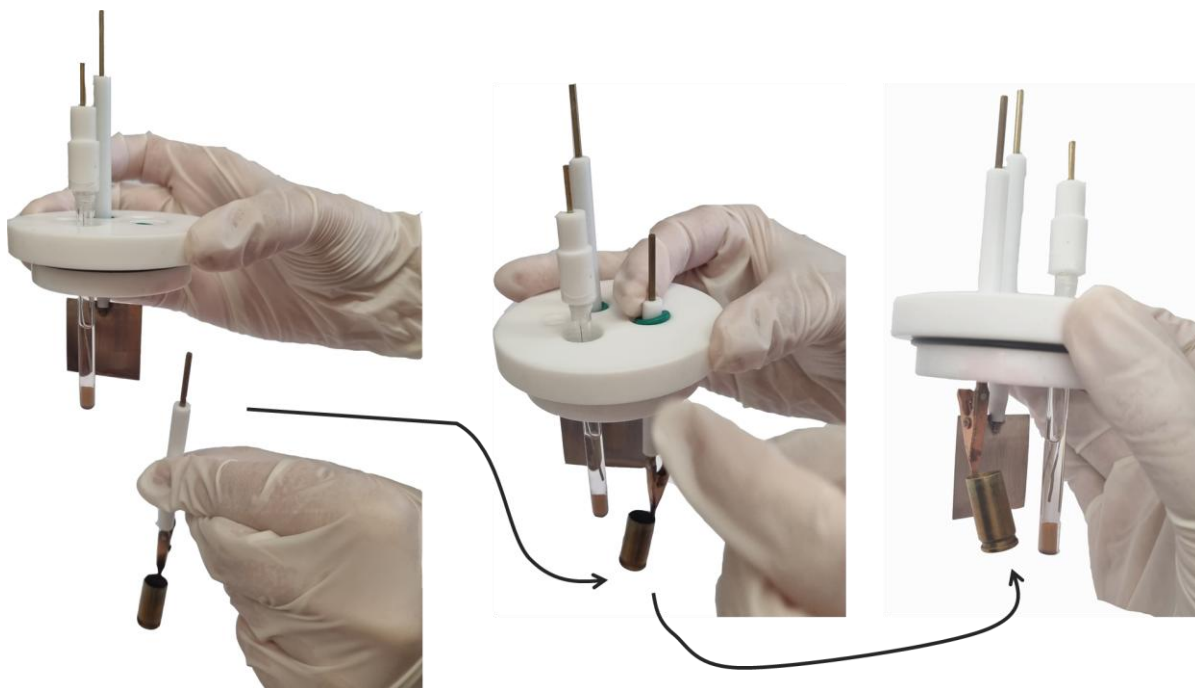
Obr. 10: Fotopostup uchycení nábojnice krokosvorkou.

2.8 Vizualizace daktyloskopických otisků na mosazi

Metoda vizualizace daktyloskopických otisků je založena na elektrochemické polymerizaci NR, která na povrchu kovového předmětu vytváří tenkou, červenou polymerní vrstvu PNR. Tato vrstva se nevytváří v místech, kde se nachází mastná složka daktyloskopického otisku, která kontrastně zviditelní otisk obvykle jako negativní obraz, závisí však na tloušťce polymerního filmu, kterou lze snadno regulovat.

Bodový postup pro vizualizaci:

1. Připravte elektrochemickou celi o objemu 100 ml a naplňte ji 50 ml monomerního roztoku NR.
2. Vložte magnetické míchadlo do cely.
3. **Zasuňte elektrody do víka cely a upevněte je** silikonovými těsníci kroužky tak, aby se elektrody nedotýkaly navzájem ani stěn nádoby:
 - WE: držák/krokosvorka mosazný předmět s předpokládaným daktyloskopickým otiskem;
 - CE: velkoplochá platina (4 cm² či 9 cm²) – stejná jako pro čištění;
 - RE: Ag/AgCl/KCl – stejná jako pro čištění.
4. **Vložte elektrody do cely** – umístěte víko s elektrodami na celi, viz **Obr. 11**.



Obr. 11: Fotopostup upevnění krokosvorky s nábojnicí do víka cely.

5. **Nastavte parametry** pro vizualizaci pomocí cyklické voltametrie:

- rovnovážný čas (t equilibration): 5 s;
- startovací potenciál (E begin/start): 0,497 V;
- potenciálový rozsah:
 - dolní mez (E vertex 1): -0,2 V;
 - horní mez (E vertex 2): +0,5 V;
- skenovací rychlost (Scan rate): 0,05 V/s;
- potenciálový krok (E step): 0,00244 V;
- počet cyklů (Number of scan): 5–10 (regulace tloušťky vrstvy PNR):
 - pro mosazné nábojnice je doporučeno nejprve použít 5 cyklů a po vizualizaci a zhodnocení kvality případně přidat další cykly (čas vizualizace pro 5 cyklů je 140 s);
 - pro další předměty (např. mosazné mince) je vhodné použít 8 cyklů a opět po vizualizaci a zhodnocení její kvality případně přidat další cykly (čas vizualizace pro 8 cyklů je 224 s).

6. **Připojte elektrody svorkami** k potenciostatu podle označení, viz **Obr. 12**.



Obr. 12: Elektrochemická cela po ponoření elektrod v připraveném roztoku monomeru NR (v PB s KNO_3) a označení jednotlivých elektrod pro připojení k potenciostatu.

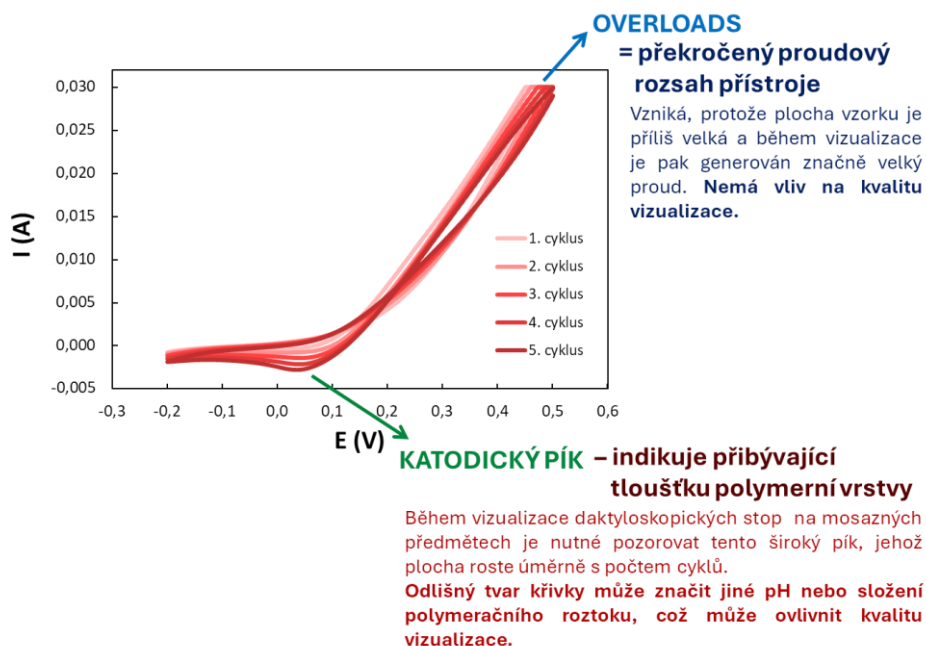
7. **Magnetickou míchačku nastavte** na nízký stupeň otáčení.
8. Když jsou parametry nastavené, elektrody ponořené v roztoku a zároveň se nedotýkají, **spusťte cyklickou voltametrii.**

Obr. 13 – cyklický voltamogram znázorňuje typický průběh elektrochemické vizualizace daktyloskopického otisku na mosazném substrátu (nábojnici). Vizualizace otisku probíhá v monomerním roztoku obsahujícím 2 mmol/l NR a 0,1 mol/l KNO_3 ve fosfátovém pufru o pH 7.

Vyskytne-li se překročený proudový rozsah přístroje – potenciostatu („OVERLOADS“) je možné ho v cyklickém voltamogramu pozorovat jako rovnoběžnou čáru s osou x „E (V)“. Překročení rozsahu je způsobeno nejčastěji velkou plochou vzorku. **Tento jev nemá vliv na kvalitu výsledné vizualizace.**

Opakované cykly vedou k postupnému nárůstu tloušťky polymerní vrstvy PNR na WE. Tento nárůst lze pozorovat ve voltamogramu jako rostoucí plochu širokého katodického píku při potenciálu přibližně 0,03 V (vs. Ag/AgCl/KCl), což indikuje tvorbu a nárůst tloušťky polymerní vrstvy. Potenciál katodického píku může být mírně posunut v závislosti na přesném prvkovém složení jednotlivých mosazných předmětů.

Katodický pík je klíčovým indikátorem vizualizace otisku – jeho růst signalizuje úspěšnou tvorbu vrstvy PNR. **Odlišný tvar křivky, výrazný posun či nepravidelný vývoj píku může indikovat odchylky v pH nebo složení polymeračního roztoku, což může negativně ovlivnit kvalitu vizualizace.**



Obr. 13: Cyklický voltamogram vizualizace daktyloskopického otisk na mosazné nábojnici v 2 mmol/l NR ve fosfátovém pufru s 0,1 mol/l KNO_3 (pH=7), včetně vysvětlivek.

9. **Po ukončení vizualizace** vyjměte vzorek (WE) z polymeračního roztoku.
10. Proveďte **oplach vzorku v základním elektrolytu** (bez monomeru NR). Roztok se může mírně zabarvit v důsledku zbytků PNR/NR, viz **Obr. 14**.
11. Následně jej opláchněte **v destilované vodě**. Roztok se může mírně zabarvit v důsledku zbytků PNR/NR, viz **Obr. 14**.
12. Vzorek nechte **volně oschnout** při laboratorní teplotě na filtračním papíru, viz **Obr. 15**.



Zabarvení roztoků po oplachu

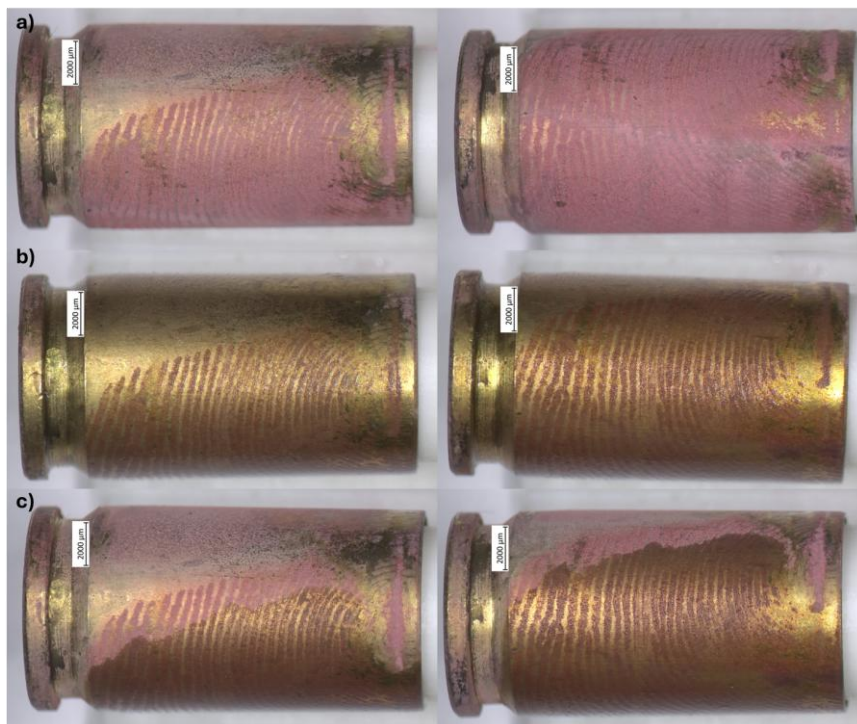
Obr. 14: Fotopostup oplachu nábojnice v základním elektrolytu a destilované vodě po vizualizaci a následné zabarvení roztoků.



Obr. 15: Fotopostup osušení přebytečné vody a ponechání nábojnice s vizualizovaným otiskem k doschnutí na filtračním papíře.

13. Nyní je možno vizualizovaný daktyloskopický otisk **fotograficky zadokumentovat (Obr. 16)** a to:

- a) po vyschnutí polymerního filmu;
- b) když je polymerní film nasáklý vodou;
- c) v kombinaci suchý/mokrý polymerní film.



Obr. 16: Mikroskopicky nasnímané nábojnice s otiskem po vizualizaci PNR: a) suchý polymerní film; b) mokrý polymerní film; c) kombinace suchý/mokrý polymerní film.

14. Po vyschnutí můžete vzorek **označit** lihovým fixem nebo štítkem na spodní straně (např. na zápalce nábojnice), **POZOR**, aby nedošlo ke zničení/kontaminaci daktyloskopických, balistických nebo genetických stop.
15. Po každé vizualizaci otisku se doporučuje opatrně **otřít** CE a RE buničitou vatou. Pokud jsou elektrody velmi **znečištěny**, je doporučeno je **opláchnout** etanolem – **utřít** buničitou vatou – **opláchnout** destilovanou vodou a otřít buničitou vatou, aby nedošlo ke změně pH, dalším nežádoucím reakcím či k naředění monomerního roztoku.
16. **Následně je možné zahájit vizualizaci dalšího vzorku**, avšak roztok s NR použijte maximálně 3×. Při vícenásobném použití může docházet k hromadění mědi v roztoku a tím ke zhoršení kvality vizualizace.
17. Pokud bude **následně prováděna analýza DNA**, je nutné použít nový roztok NR pro každý jednotlivý vzorek, aby se zabránilo křížové kontaminaci.

Poznámky k průběhu vizualizace:

- Doporučuje se provádět polymerizaci při pokojové (laboratorní) teplotě (20–25 °C).
- Během elektrochemické polymerizace není nezbytně nutné míchat roztok.
- Je důležité zajistit stabilní elektrodový kontakt s mosazným předmětem – kontakt nesmí být ponořen do roztoku, aby nedošlo k nežádoucí polymerizaci a rozpouštění v místě uchycení.
- Po vizualizaci někdy může být pozorován i pozitivní obraz daktyloskopického otisku, který vzniká v důsledku vzniku silné polymerní vrstvy. Vznik pozitivního obrazu, závisí na tloušťce polymerního filmu, kterou lze snadno regulovat.
- Maximálně po 3 použitích roztoku k vizualizaci se doporučuje výměna monomerního roztoku, v závislosti na velikosti vzorku (WE), tzn. čím větší vzorek je, tím je možné následné použití roztoku nižší.
 - Během polymerizace NR na mosazném povrchu dochází k vylučování mědi do roztoku,

což způsobuje při násobném použití roztoku zhoršení kvality vizualizace otisku.

- Pokud je vizualizace otisku neúspěšná, zkontrolujte čerstvost a kvalitu roztoku s NR. Starší (1–2 dny) roztok může někdy zlepšit homogenitu vrstvy, zatímco příliš starý (více než 3 měsíce) je již nevhodný k použití.

2.9 Uchovávání referentní elektrody

Referentní elektroda typu Ag/AgCl/KCl vyžaduje pravidelnou údržbu a správné uchovávání, aby si zachovala stabilní potenciál a dlouhou životnost.

Krátkodobé uchovávání (běžný provoz)

- Mezi měřeními uchovávejte elektrodu ponořenou ve stejné náplňové kapalině, tedy v 3 mol/l roztoku KCl nebo alespoň v destilované vodě.
- Uchovávejte ji ve svislé poloze, ideálně ve stojánku s uzavřenou ochrannou nádobkou.
- Hladina KCl musí být vždy vyšší než fritu, přičemž stříbrný drátek potažený nerozpustným AgCl musí být zcela ponořen v roztoku KCl.

Dlouhodobé skladování (více než několik měsíců)

- Pokud elektrodu delší dobu nepoužíváte, doporučuje se:
 - vypustit vnitřní roztok (KCl);
 - opláchnout elektrodu destilovanou vodou;
 - uchovávat ji nasucho v uzavřené nádobce s vlhkým prostředím (např. s vlhkým papírem), aby nedošlo k úplnému vyschnutí frity.

Kontrola a údržba

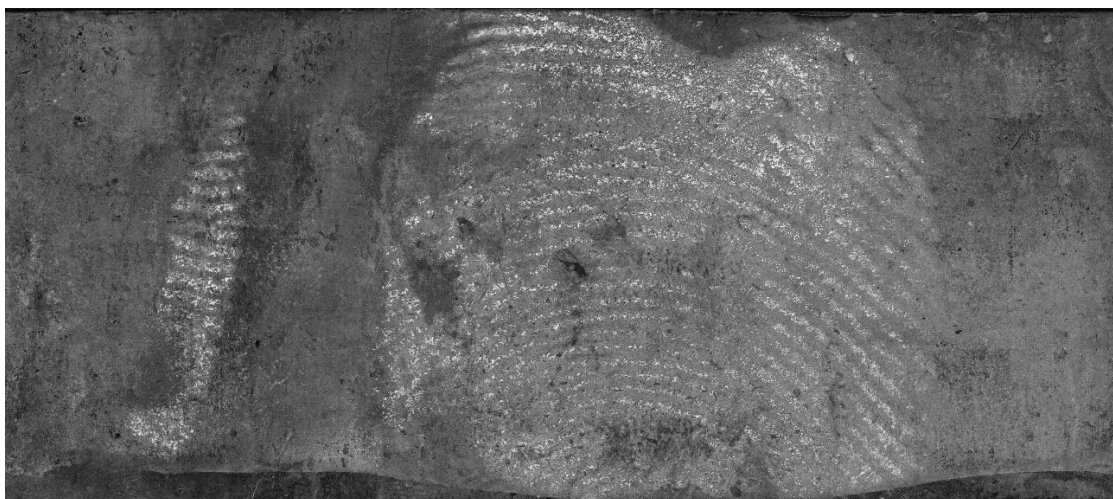
- Při každém použití zkontrolujte, zda:
 - nedochází k výraznému úniku elektrolytu skrz fritu (viditelné prosakování);
 - není roztok v kapiláře zakalený;
 - není elektroda mechanicky poškozená.
- V případě:
 - ztráty roztoku uvnitř elektrody → doplnit 3 mol/l KCl;
 - výskytu usazenin nebo nestabilního potenciálu → doporučuje se regenerace nebo výměna elektrody.

2.10 Následná charakterizace povrchů

Po vizualizaci je možno vzorky podrobit dalšímu zkoumání na přítomnost kriminalistických stop (balistických, genetických stop aj.) či je možné dále charakterizovat, jak polymerní filmy i modifikované daktyloskopické otisky (mikroskopicky, spektroskopicky, profilometricky atd.).

Balistika

V případě, že je požadováno balistické zkoumání nábojnic, je nutné po aplikaci fenazinových barviv provést jejich omytí etanolem, ultrazvukem, popřípadě jiným vhodným způsobem. Tím dojde k odstranění naneseného barviva a je možné provést zkoumání v odvětví balistika (*Obr. 17*).



Obr. 17: Snímek pláště nábojnice po vizualizaci PNR z Balscanu III.

Genetika

V případě požadavku na následné zkoumání vizualizovaných daktyloskopických otisků v oblasti genetiky lze vizualizaci pomocí depozice polymerních filmů na bázi fenazinových barviv považovat za jednu z možných alternativ k dnes běžně využívaným způsobům vizualizace. V případě, že je v daktyloskopickém otisku zachován dostatek biologického materiálu vhodného pro genetické zkoumání, je možné z takto vizualizovaného otisku následně stanovit relevantní profil DNA. Pro izolaci DNA se jako nejvhodnější jeví použití komerčního izolačního kitu QIAamp® DNA Mini Kit (QIAGEN) – inkubace zviditelněné daktyloskopické stopy v ATL pufru po dobu 30 minut s následným přidáním Proteinázy K a izolace standardním protokolem daného kitu.

3. Doložení novosti postupů

Metoda elektrochemické vizualizace pomocí depozice polymerních filmů na bázi fenazinových barviv nebo podobný princip vizualizace latentních daktyloskopických otisků není v současné době žádným útvarem Policie ČR využíván.

Tato metoda vizualizace je relativně rychlou, jednoduchou a účinnou technikou při zviditelnění latentních daktyloskopických otisků i na vystřelených nábojnících, kde doposud neexistuje vhodná účinná technika zviditelnění. Další výhodou metodiky je vizualizace daktyloskopického otisku během několika minut (2–5 min) ve srovnání s klasickou metodou kyanoakrylátového dýmání, kde vizualizace trvá výrazně déle (30 min a více). Přínosem je rovněž skutečnost, že po elektrochemické depozici barviva je zachována DNA jedince.

Strategie nanášení filmů je použitelná nejen na mosazné povrchy, ale také pro další kovové substráty, jak bylo prokázáno například u filmu PEDOT [9,20]. Významnou výhodou námi navržené metody je možnost elektrochemické depozice PNR z neutrálního prostředí (fosfátový pufr o pH 7). Tato podmínka přispívá k zachování genetické informace obsažené ve stopě i po její vizualizaci. Neutrální prostředí není vhodné pro depozici PANI [6,20], který je nutno deponovat z kyselého prostředí.

Dalším důležitým přínosem navrhované metody je její zdravotní nezávadnost oproti kyanoakrylátovým parám. Po pořízení základní instrumentace – přenosného potenciostatu je

navržená metoda jen minimálně nákladná. Přestože jsou při postupu použity chemikálie, není znám žádný vliv na lidské zdraví a postup je zdravotně nezávadný při dodržování BZOP.

4. Popis uplatnění metodiky (pro koho je určena a jakým způsobem bude uplatněna)

Metodika je určena pro pracoviště daktyloskopie Policie České republiky – Kriminalistický ústav (KÚ) a Odbory kriminalistické techniky a expertiz (OKTE).

5. Seznam použité související literatury

- [1] G. Christofidis, J. Morrissey, J. W. Birkett: *J. Forensic Sci.* 63, (2018) 1616–1627.
- [2] J. De Alcaraz-Fossoul: *Technologies for Fingerprint Age Estimations: A Step Forward*. Springer International Publishing 2021, 2021.
- [3] J. W. Bond: *J. Forensic Sci.* 53, (2008) 812–822.
- [4] A. Girod, R. Ramotowski, C. Weyermann: *Forensic Sci. Int.* 223, (2012) 10–24.
- [5] C. M. A. Girelli, B. J. M. Lobo, A. G. Cunha, J. C. C. Freitas, F. G. Emmerich: *Forensic Sci. Int.* 250, (2015) 17–26.
- [6] A. L. Beresford, A. R. Hillman: *Anal. Chem.* 82, (2010) 483–486.
- [7] R. M. Brown, A. R. Hillman: *Phys. Chem. Chem. Phys.* 14, (2012) 8653–8661.
- [8] R. M. Sapstead, N. Corden, A. Robert Hillman: *Electrochim. Acta* 162, (2015) 119–128.
- [9] C. V. Costa, A. M. L. Assis, J. D. Freitas, J. Tonholo, A. S. Ribeiro: *Nano Sel.* 1, (2020) 405–412.
- [10] S. Hermochová, J. Straus, G. Broncová: *Kriminalistika* LVII, (2024) 101–112.
- [11] S. Hermochová, P. Hlavín, M. Novotný, M. Vršata, G. Broncová: *Monatsh. fur Chem.* 155, (2024) 851–858.
- [12] Hermochová S.; Havlová Š., Hlavín P., Vrablic P., Straus J., Novotný M., Broncová G: *Chem. Listy* 118, (2024) 23–27.
- [13] T. Slaninova, G. Broncova, J. Straus, T. V. Shishkanova: *Chem. Listy* 113, (2019) 530–539.
- [14] G. Broncova, T. V. Shishkanova, M. Krondak, R. Volf, V. Kral: *Chem. Listy* 103, (2009) 795–799.
- [15] G. Broncová, T. Slaninová, M. Dendisová: *Chem. Pap.* 75, (2021) 6673–6676.
- [16] G. Broncová, T. Slaninová, M. Trchová, V. Prokopec, P. Matějka, T. V. Shishkanova: *Polymers* 13, (2021).
- [17] G. Broncová, T. V. Shishkanova, P. Matějka: *Chemosensors* 11, (2023) 170.
- [18] J. Wang: *Analytical Electrochemistry*, 2nd Edition. vyd2000.
- [19] N. Elgrishi, K. J. Rountree, B. D. McCarthy, E. S. Rountree, T. T. Eisenhart, J. L. Dempsey: *J. Chem. duc.* 95, (2018) 197–206.
- [20] A. L. Beresford, R. M. Brown, A. R. Hillman, J. W. Bond: *J. Forensic Sci.* 57, (2012) 93–102.

6. Seznam publikací, které metodice předcházely, či výstupy z originální práce

V rámci přípravy metodiky během řešení projektu MV č. VK01010022 v letech 2023–2025 byly publikovány 4 články v recenzovaných i impaktovaných časopisech a také plněna celá řada studentských prací (bakalářské, diplomové a disertační práce).

Článek Jimp1

Hermochová S., Havlová Š, Hlavín P., Vrablic P., Straus J., Novotný M., Broncová G.: *Zviditelňování daktyloskopických stop na nábojnicích pomocí elektrochemicky připravených polymerních filmů*, *Chem. Listy* 118, 23–27 (2024). <https://doi.org/10.54779/chl20240023>

Článek Jimp2

Hermochová S., Hlavín P., Novotný M., Vršata M., Broncová G.: *Electrochemical visualization of latent fingerprints using polyphenazine dyes on brass cartridges*. *Monatsh. fur Chem.* (2024) 155:851–858 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00706-024-03222-3>

Článek Jost1

Hermochová S., Straus J., Hlavín P., Vrablic P., Novotný M., Broncová G.: *Optimalizace elektrochemické metody vizualizace daktyloskopických stop pomocí polymerních filmů*, Kriminálnístika 3 (2024), 171–181. Dostupné z: <https://mv.gov.cz/clanek/kriminalistika-3-2024.aspx>

Článek Jimp3

Hermochová S., Trchová M., Hlavín P., Otta J., Novotný M., Broncová G. *Characterization of electrochemically visualized latent fingerprints*, Monatsh. fur Chem. (2025), on-line dostupný <https://doi.org/10.1007/s00706-025-03355-z>

Bakalářské práce – obhájené

1. Alžběta Hronková: *Porovnání metod vizualizace otisků prstu*, VŠCHT, Praha 2023.
2. Jana Herinková: *Elektrochemické zviditelňování latentních otisků prstu pomocí polymerního filmu*, VŠCHT, Praha 2023.
3. Marek Neubauer: *Zviditelnění latentních otisků prstu pomocí toluidinové modři*, Praha 2024 (vedoucí Ing. Sára Hermochová).
4. Marek Vojta: *Elektroanalytické metody pro forenzní účely*, Praha, 2025.
5. Eliška Zikmundová: *Komparativní analýza efektivity vizualizace ekrinních a mazových otisků prstů s využitím vodivých polymerů*, VŠCHT, Praha 2025 (vedoucí Ing. Sára Hermochová).

Diplomové práce – obhájené

1. Bc. Sára Hermochová: *Optimalizace elektrochemické vizualizace otisku prstu na vystřelených nábojnicích*, VŠCHT, Praha, 2023.
2. Bc. Kristýna Havelková: *Vývoj metody vizualizace daktyloskopických stop*, VŠCHT, Praha 2024
3. Bc. Jana Herinková: *Inovativní přístup zkoumání daktyloskopických stop na nábojnicích*, VŠCHT, Praha 2025
4. Bc. Alžběta Hronková: *Charakterizace elektrochemicky vizualizovaných latentních otisků prstů*, VŠCHT, Praha 2025

Disertační práce – plněné

1. Ing. Sára Hermochová: *Metody vizualizace daktyloskopických stop*, VŠCHT, Praha, začátek září 2023.
2. Ing. Kristýna Havelková: *Využití polymerních filmů ve forenzní praxi*, VŠCHT, Praha, začátek září 2024.

7. Validace metody**Validace metody**

Proces vizualizace daktyloskopických otisků pomocí depozice PNR byl optimalizován na mosazných površích (plíšky a nábojnice). Byly získány opakovatelné a reprodukovatelné odezvy (cyklické voltamogramy) při depozici PNR, kdy redukční pík v katodické oblasti vykazuje opakovatelný potenciál i proud v úzkém rozmezí hodnot.

Proběhly optimalizace:

- postupu při zpracování vzorku před vizualizací;
- postupu čištění elektrochemické cely;

- podmínek pro depozici polymerních filmů (prostředí (koncentrace a pH) a parametry CV (skenovací rychlost, počet cyklů));
- typ nábojnice;
- stáří a poškození daktyloskopického otisku;
- postupu při manipulaci s reálnými vzorky před a po depozici.

Celkem bylo zpracováno přes 150 ks nábojnic. Každá nábojnice měla své specifické označení skládající se z písmen a číslic uvedené na štítku na zápale nábojnice. Při výstřelu či umístění do elektrochemické cely byl štítek sundán a poté opět umístěn na zápalku. Vzorky byly vizualizovány postupně.

Veškerá manipulace probíhala s využitím jednorázových rukavic a pinzet, kdy celá sada vzorků byla vždy vystřelena ze stejné zbraně po jednom náboji v zásobníku, aby se eliminovaly možné doteky nábojů. Vkládány do zásobníku byly náboje náhodně a nebylo určeno, kterým směrem bude OP v době výstřelu. Po dopadu nábojnice od zbraně na zem, či do zachytivé sítě bylo potřeba nábojnici sebrat nejlépe za zápalku, aby nedošlo k otření zbytků OP. Následně byla uschována bez přístupu světla v uzavíratelné plastové krabici pro následnou vizualizaci.

Daktyloskopické otisky přinášely lepší vizualizaci na nábojnicích typu .45 AUTO oproti nábojnicím 9 mm, což bylo dáno plochou a zakřivením těla nábojnice. Avšak mezi otřenou a neotřenou nábojnici nebyly pozorovány žádné výrazné změny, ani v drsnosti povrchu, a ani v kvalitě deponovaného polymerního filmu PNR. Dále byl sledován vliv stáří daktyloskopických otisků s následnou depozicí polymerního filmu PNR. U drsnosti povrchu bylo možné sledovat proměnlivou výšku polymerní vrstvy pro jednotlivé dárce, to může mít za následek nerovnoměrné nanášení polymerního filmu. Pro nábojnice .45 AUTO dochází k plynulému nárůstu proudové odezvy.

Nábojnice vlivem výstřelu podléhá vysokým teplotám a vysokým tlakům, to zapříčiňuje značné poškození nanesených daktyloskopických otisků na těle nábojnice. Bylo zjištěno, že v oblasti blízké zápalky nedochází k tak rozsáhlému poškození naneseného daktyloskopického otisku.

Optimální podmínky depozice PNR na mosazné nábojnice metodou CV byly potenciálový rozsah od -200 do 500 mV (vs. argentchloridová elektroda), skenovací rychlost 50 mV/s, kdy jeden cyklus trval 28 s. Nejvíce bylo využito 5 cyklů cyklů pro nábojnice (doba depozice 140 s). Za těchto podmínek docházelo k homogenní depozici polymerního filmu PNR a kvalitní vizualizaci jednotlivých daktyloskopických otisků nanesených na nábojnicích. Elektrochemický záznam vykazoval jasně viditelný katodický pík v oblasti okolo -30 mV, jehož proud výrazně narůstal do zápornějších hodnot.

Výsledky uložené na diskovém úložišti KÚ: Y:\Projekt VIVAK

DNA expertiza

Cílem bylo zviditelnit upotřebitelné daktyloskopické stopy na zkoumaných objektech takovým způsobem, aby nedošlo k degradaci biologického materiálu a bylo možné zajištění profilů lidské DNA vhodných ke stanovení individuální identifikace osoby. Do testování byly zahrnuty kovové i skleněné objekty, na kterých byly pomocí depozice polymerních filmů na bázi fenazinových barviv (TB a NR) zviditelněny daktyloskopické stopy. Analýzami DNA provedenými na vzorcích pocházejících od známých osob byly získány očekávané profily DNA těchto konkrétních osob, které svým charakterem umožňují jejich individuální identifikaci.

Výsledky provedených testování tak ukazují, že použití polymerních filmů na bázi fenazinových barviv nebrání následnému získání DNA v kvalitě potřebné pro individuální identifikaci původce biologického materiálu.

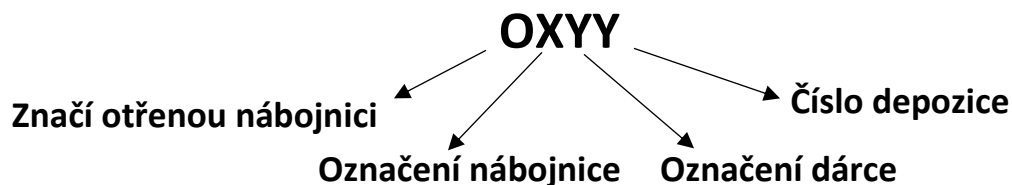
Výsledky uložené na diskovém úložišti KÚ: Y:\Projekt VIVAK

Optimalizovaný postup je detailně popsán v odborných publikacích a diplomových pracích:

- Hermochová S., Havlová Š, Hlavín P., Vrablic P., Straus J., Novotný M., Broncová G.: *Zviditelňování daktyloskopických stop na nábojnicích pomocí elektrochemicky připravených polymerních filmů*, Chem. Listy 118, 23–27 (2024). <https://doi.org/10.54779/chl20240023>
- Hermochová S., Hlavín P., Novotný M., Vršata M., Broncová G.: *Electrochemical visualization of latent fingerprints using polyphenazine dyes on brass cartridges*. Monatsh. fur Chem. (2024) 155:851–858 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00706-024-03222-3>
- Hermochová S., Trchová M., Hlavín P., Otta J., Novotný M., Broncová G. *Characterization of electrochemically visualized latent fingerprints*, Monatsh. fur Chem. (2025), on-line dostupný <https://doi.org/10.1007/s00706-025-03355-z>
- Bc. Sára Hermochová: *Optimalizace elektrochemické vizualizace otisku prstu na vystřelených nábojnicích*, VŠCHT, Praha, 2023.
- Bc. Jana Herinková: *Inovativní přístup zkoumání daktyloskopických stop na nábojnicích*, VŠCHT, Praha 2025.
- Bc. Alžběta Hronková: *Charakterizace elektrochemicky vizualizovaných latentních otisků prstů*, VŠCHT, Praha 2025.



Obr. 18: Část nábojnic a nábojů určených k vizualizaci.



Obr. 19: Označení nábojnic.

8. Odkaz na příslušný projekt výzkumu a vývoje, dotační program

Projekt: Pokročilé metody vizualizace daktyloskopických stop VK01010022.

9. Souhlas žadatele s bezplatným využitím metodiky v policii, který je udělen po předchozím projednání s autorem/autory metodiky (u projektů realizovaných v programu BV-veřejná soutěž)

Metodika byla vyvinuta a optimalizována na VŠCHT a společně s KÚ testována. Vlastníkem duševních práv bude z 85% VŠCHT a 15% KÚ.

Žadatel souhlasí s bezplatným využitím metodiky v rámci policie ČR.

Seznam zkratk

Zkratka	Český název	Anglický název
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci	Occupational Health and Safety (OHS)
CAS	jednoznačný číselný kód, používaný v chemii pro chemické látky, polymery, biologické sekvence, směsi a slitiny	Chemical Abstracts Service
CE	pomocná elektroda	Counter Electrode
CLP	klasifikace, označování a balení chemických látek a směsí	Classification, Labelling and Packaging
CV	cyklická voltametrie	Cyclic Voltammetry
NR	neutrální červeň	Neutral Red
PNR	poly(neutrální červeň)	Poly(Neutral Red)
RE	referentní elektroda	Reference Electrode
REACH	registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
WE	pracovní elektroda	Working Electrode