

**VYSOKÁ ŠKOLA EVROPSKÝCH A REGIONÁLNÍCH
STUDIÍ, Z. Ú., ČESKÉ BUDĚJOVICE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**GENETIKA JAKO NÁSTROJ IDENTIFIKACE
PACHATELE**

Autor práce: Lenka Třísková

Studijní obor: Bezpečnostně právní činnost ve veřejné správě

Forma studia: kombinovaná

Vedoucí práce: Mgr. Jaroslav Hovorka

Katedra: Katedra právních oborů a bezpečnostních studií

2019

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně, na základě vlastních zjištění a s použitím odborné literatury a materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce – v elektronické podobě ve veřejně přístupné části infodisku VŠERS a v tištěné podobě knihovnou VŠERS, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky vedoucího a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce systémem na odhalování plagiátů.

.....

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Jaroslavu Hovorkovi za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce a kpt. RNDr. Patriku Kilianovi, za poskytnuté informace k přípravě vzorků stop a samotné praktické analýze DNA.

ABSTRAKT

TŘÍSKOVÁ, L. *Genetika jako nástroj identifikace pachatele: bakalářská práce*. České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií, 2019. 46 s. Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jaroslav Hovorka

Klíčová slova: kriminalistická genetická expertiza, identifikace člověka, DNA, DNA analýza, forenzní genetika

Cílem bakalářské práce bude provést analýzu historického vývoje kriminalistické genetiky, zmapovat její rozvoj z lékařských a molekulárně biologických oborů až po vznik kriminalistické genetiky jako samostatného vědního oboru. Dalším cílem je rozebrat obsah důležitých metod, představit podstatu genetické informace a získat představu o možnostech kriminalistického komparačního zkoumání lidského biologického materiálu. K tomu budou využity metody sběru, analýzy a syntézy dat, studia odborné literatury a logického myšlení.

ABSTRACT

TŘÍSKOVÁ, L. *Genetics as a Tool for Offender Identification : Bachelor Thesis*. České Budějovice: The College of European and Regional Studies, 2019. 46 p.
Supervisor: Mgr. Jaroslav Hovorka

Key words: Criminalistic Genetical Expertise, Human Identification, DNA, DNA Analysis, Forensic Genetics

The main goal of bachelor thesis is to analyze the historical development of criminalistic genetics, to map its progression from medical and molecular biological disciplines, to creation of forensic genetics as an independent scientific discipline. Content analysis of the important methods, introduction of the genetic information essence and getting an idea of the possibilities of forensic comparative research of human biological material . To do this, data collection methods, analysis and synthesis, the study of literature and logical thinking will be used.

Obsah

Úvod.....	8
1 Cíl a metodika bakalářské práce	9
2 Historický vývoj genetiky	11
<i>Genetika 19. století.....</i>	<i>11</i>
<i>Genetika 20. století po současnost</i>	<i>13</i>
<i>Historie aplikace genetiky v kriminalistice</i>	<i>14</i>
3 Rozbor základních pojmů	16
<i>Genetika</i>	<i>16</i>
<i>Genetická informace</i>	<i>17</i>
<i>DNA</i>	<i>17</i>
<i>Struktura DNA.....</i>	<i>17</i>
<i>NUKLEOTID</i>	<i>18</i>
<i>Lidský genom.....</i>	<i>18</i>
<i>Geny</i>	<i>21</i>
<i>Lokusy</i>	<i>21</i>
<i>Genetický profil.....</i>	<i>22</i>
4 Vyhledávání a zajišťování lidského genetického materiálu.....	23
<i>Vyhledávání kriminalistických biologických stop</i>	<i>24</i>
<i>Zajišťování stop.....</i>	<i>26</i>
5 Metody možného zkoumání genetického materiálu	29
<i>Typy vzorků genetického materiálu.....</i>	<i>29</i>
<i>Izolace DNA</i>	<i>30</i>
<i>Kvantifikace DNA.....</i>	<i>31</i>
<i>Amplifikace DNA.....</i>	<i>31</i>
<i>Sekvenace vzorku DNA</i>	<i>33</i>
<i>Vyhodnocování výsledků – porovnávání profilů</i>	<i>33</i>

6 Případové studie	36
Závěr.....	38
Seznam použitých zdrojů	41
Seznam zkratk	45
Seznam tabulek a grafů	46

Úvod

Genetika jako samostatný vědní obor umožnil poznání vnitřní stavby každého živého organismu až na molekulární úrovni. V každé buňce organismu se totiž nachází jedinečná genetická informace, která je specifická pro daného jedince. Nelze ji tedy zaměnit s informací jiného jedince. Je také přítomna v materiálu z něj odloučeného. V momentě, kdy se podařilo prokázat, že i z odděleného biologického materiálu živého organismu lze informaci zpětně získat, zanalyzovat ji a ztotožnit tak konkrétní osobu, dostala kriminalistická věda k dispozici další nástroj, kterým je dnes kriminalistická genetika. Metody, postupy a prostředky genetické expertizy umožňují nejen biologický materiál zkoumat, ale především vedou k identifikaci člověka, ze kterého materiál pochází. Slouží tak společně s dalšími kriminalistickými technikami vyšetřování stop, jako nástroj vedoucí k identifikaci pachatele při objasňování různorodé trestné činnosti. V současné době patří k nejvíce vyžadovaným expertizám na Kriminalistických ústavech po celém území ČR.

1 Cíl a metodika bakalářské práce

Kriminalistická genetická expertiza pomáhá k jednoznačné identifikaci pachatele při objasňování násilných a jiných, zejména závažných trestných činů a je v současné době jednou z nejvyužívanějších kriminalistických identifikačních metod po celém světě. Povědomí o principu této analýzy má v současné době pouze pár expertů, i když výsledky této znalecké činnosti jsou známé odborné veřejnosti. Proto je důležité zaměřit se podstatu genetické analýzy a získat tak představu o možnostech kriminalistického komparačního zkoumání lidského biologického materiálu.

První část práce mapuje historický vývoj genetiky již od počátku starověku, kdy se lidé poprvé setkali s principy dědičnosti, až do současnosti, kdy ji lze označit za vědu multidisciplinární. Genetika našla své uplatnění v lékařských, vědeckých a zemědělských oborech. Tento zajímavá věda se neustále rozvíjí.

V další části je podrobně rozebrána základní genetická terminologie, jako genetická informace, DNA, lidský genom a jeho prvky a genetický profil.

Třetí část objasňuje, kde a v jaké formě se genetický materiál vyskytuje. Obsahuje také klasifikaci biologických stop podle náročnosti jejich vyhledávání. Dále poukazuje na důležité zásady práce při zajišťování stopy, které eliminují znehodnocení stopy jako takové. Účelem je odebrat vzorek DNA ze stopy o určité kvalitě a také v dostatečné kvantitě.

Následuje objasnění samotné metody genetické expertizy využívané při identifikaci pachatele trestné činnosti. Expertiza se skládá z několika molekulárně genetických metod, které na sebe navazují. Jednotlivými kroky (metodami) jsou: extrakce DNA, její kvantifikace (namnožení), amplifikace, analýza fragmentů DNA pomocí Sangerova sekvenování v kapilárním provedení a následné DNA profilování neboli porovnávání genetických profilů.

Poslední část tvoří dvě případové studie. V prvním případě genetická analýza nedávno odhalila pachatele trestných činů spáchaných před 40 lety. Druhý případ poukazuje na váhu genetické expertizy jako důkazu při soudních procesech a na riziko chyby lidského faktoru.

K tomu budou využity metody sběru, analýzy a syntézy dat z odborné literatury zabývající se kriminalistickou genetikou, interview s odborníky na danou problematiku a případové studie trestného činu objasněného danou metodou.

2 Historický vývoj genetiky

„Genetika je věda o dědičnosti a proměnlivosti živých organismů.“ Samotné slovo genetika je odvozeno z latinského *genus* (rod). Poprvé jej použil britský vědec Wiliam Bateson roku 1906.

Počátky genetiky můžeme hledat mnohem dříve. Již ve starověku a středověku si lidé všimli, že některé znaky živých organismů se přenášejí z jedné generace na generaci další.¹ Tohoto objevu využili pěstitelé rostlin, kteří křížili (hybridizovali) jedince s požadovanými vlastnostmi, aby docílili vysokého výnosu z úrody. Chovatelé dobytka se snažili o jeho vyšlechtění s podobným záměrem. Jejich cílem bylo dosáhnout vhodných charakterových vlastností zvířat. Hlavním záměrem byl chov nejodolnějších jedinců schopných vysoké produkce mléka a masa. Tito starověcí zemědělci využívali nevědomky principů genetiky.

Genetika 19. století

Během těchto let došlo k řadě objevů, které přispěly k posunu rozvoje genetiky. Patří mezi ně převážně mikroskopické objevy. Vynález mikroskopu v 17. století umožnil nahlížet do tkání organismů, pozorovat buňky a jejich části tzv. organely. Byla zformulována Buněčná teorie, která říká, že všechny živé organismy jsou tvořeny jednou či více buňkami. Každá buňka může vzniknout pouze z buňky. V roce 1831 se podařilo britskému botanikovi R. Brownovi objevit buněčné jádro rostlinné buňky. Roku 1842 došlo k dalšímu neméně významnému objevu chromozomů, které obsahují a přenášejí genetickou informaci. Chromozomy objevil C. von Nageli. O jejich funkci a významu se bohužel dlouho nevědělo. V roce 1866 německý biolog E. Haeckel provedl zjištění o umístění genetické informace v buněčném jádře. O pár let později vyizoloval molekulu deoxyribonukleové kyseliny (DNA) z buněčného jádra F. Miescher, který ji nazval „*nukleinem – molekulárním substrátem genetické kódu*“.² a³ Nelze opomenout podíl J.G.Mendela na rozšíření poznatků z genetiky rostlin. J.G.Mendel navázal na práci M. Sagereta, který si již na počátku 19. století začal pohrávat s křížením rostlin za vzniku hybridů.⁴ Účelem jeho práce bylo pozorování přenosu

¹ KOČÁREK, E., *Genetika: obecná genetika a cytogenetika, molekulární biologie, biotechnologie, genomika*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2008. s. 10-11.

² MÖLLEROVÁ, Jana. Brown, Robert. Botany.cz [online].

³ BÁRTOVÁ, Eva. *Molekulární fyziologie genomu*. In: Studijní materiály předmětu PřF:Bi8141: 0-history [online]. 2. doplněné vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2012.

⁴ BERÁNEK, M., *Molekulární genetika pro bioanalytiku*. Praha: Karolinum, 2016. s. 10-12.

některých konkrétních znaků rostlin z čeledi tykvovitých z generace na generaci. Domníval se, že určité znaky v dalších generacích se smísí. Avšak zjistil, že znaky se v další generaci objevují náhodně podle dominance a recesivity.⁵

Johan Gregor Mendel je považován za „otce genetiky“. Prováděl výzkum a křížení některých druhů hrachu, na základě kterých popsal a vysvětlil zákony přenosu dědičných znaků z rodičů na potomky tzv. „Mendelovy zákony“. Tvrdil, že se nedědí přímo znaky, ale vlohy (v dnešní terminologii geny) pro ně. Propojil znalosti z botaniky a matematiky. Způsob, jakým se geny dědí, je dán určitými matematickými zákonitostmi. Zákonitosti platí nejen pro rostliny ale také pro živočichy včetně člověka. Uvažoval o faktorech neboli elementech dědičnosti (v dnešní terminologii DNA), aniž by znal její chemickou podstatu. Křížil jednotlivé odlišné typy hrachu. Pozoroval charakteristiky, které byly zděděny v první a druhé generaci. Počítáním různých typů vyprodukovaných rostlin, došel k představě genu jakožto jednotce dědičnosti. Dědí se systémem všechno nebo nic. Všechny své poznatky shrnul ve své práci *Pokusy s hybridy rostlin, ze které vychází genetika 20. století*.⁶

Mezi lety 1876 a 1878 došlo k objasnění procesu buněčného dělení somatických a pohlavních buněk neboli principů mitózy a meiózy. Při mitóze dochází ke zkopírování kompletní genetické informace DNA obsažené v buňce a její přesné rozdělení do dvou nově vznikajících buněk. V případě meiózy je genetická informace redukována na polovinu za vzniku čtyř nových buněk.⁷ a ⁸ Byla potvrzena přítomnost nukleinu v chromozomech a objasněna jeho úloha v rámci dědičnosti. A. Flemming roku 1882 poprvé pozoroval buněčné dělení a přispěl tak k termínům jako jsou mitóza a chromatin. Dalším významným posunem v genetice bylo vysvětlení procesu oplodnění člověka neboli splynutí samčí a samičí gamety. Dochází k předání jedné poloviny genetického materiálu od matky a jedné poloviny od otce. Roku 1889 byl poprvé použit pojem nukleová kyselina.

⁵ SENGBUSCH, Peter. *Klassische Genetik. Frühe Erfahrungen und Überblick über Arbeiten bis zur Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln*. Botanik online [online].

⁶ KUCIEL, Jiří a Tomáš URBAN. *J.G. Mendel, his hybridization discoveries and theirs significance: monograph*. Brno: Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, 2009. s.64-72.

⁷ MÖLLEROVÁ, Jana. Brown, Robert. Botany.cz [online].

⁸ BÁRTOVÁ, Eva. *Molekulární fyziologie genomu*. In: Studijní materiály předmětu PřF:Bi8141: 0-history [online].

Genetika 20. století po současnost

V roce 1909 pro vlohy vymyslel dánský biolog Willhelm Johansen název geny.⁹ Experimenty potvrdily, že nukleové kyseliny jsou v chromozomech. Následně byla chemicky identifikována základní stavební jednotka NK nukleotid. Až do roku 1952 nebylo známo, co přesně jsou Mendelovy znaky a jaká chemická látka je odpovědná za dědičnost. Myslelo se, že dědičnou látkou jsou proteiny. V roce 1952 bylo prokázáno, že nositelkou dědičnosti je DNA. Chemickými pokusy se podařilo objasnit molekulové složení nukleotidu jako základní jednotky řetězce DNA, a také že nukleotidy jsou spojeny fosfodiesterovou vazbou. Watson a Creek roku 1953 objevili a popsali strukturu DNA. Jedná se o makromolekulární látku dvoušroubovicovitého charakteru se speciálními vlastnostmi. Později za tento objev získali Nobelovu cenu. Experimenty s octomilkou se přišlo na to, že geny jsou na chromozomech uspořádány lineárně za sebou. Povedlo se vytvořit první genetickou mapu chromozomů octomilky. Následně byl objasněn princip replikace (zdvojení) a přenosu DNA do dceřiných buněk během dělení. Vznikl obor molekulární biologie, jež si kladl za cíl pochopení struktury genu. V 70. letech byl rozklíčován genetický kód. Genetický kód je předpis pořadí nukleotidů v řetězci DNA, který určuje pořadí AMK v syntetizovaném vlákně proteinu. Byl objasněn proces proteosyntézy neboli syntézy proteinů. V 80. a 90. letech došlo k rozvoji molekulárně genetických metod, jejichž principy se používají dodnes. Vznikly první sekvenční metody, kterými lze určit druh báze a tím i pořadí nukleotidů v určitém úseku DNA řetězce. Byla zavedena metoda Polymerázové řetězcové reakce, dále jen PCR, jež umožňuje namnožení zvolených DNA úseků v případě nedostatečného množství DNA ve vzorku. Otevřela se také první databáze nukleotidových sekvencí GenBank, kde je možné nové sekvence ukládat a také v ní vyhledávat. Rychlý vývoj a automatizace metod dopomohli k přečtení genomů mnoha druhů organismů. V roce 2003 bylo objasněno složení neboli sekvence bází v DNA genomu člověka. Díky technologickým pokrokům je možné rychlé a efektivní sekvenování.¹⁰

V současné době je genetika plnohodnotným vědním oborem. Již není pouze popisnou a explanační vědou. Zkoumá, jak lze do genetické výbavy aktivně a cíleně zasahovat. Byly položeny základy tzv. „genového inženýrství“, které se uplatňuje zejména na poli biotechnologií. Zjistilo se také, že cílený zásah do genetické výbavy

⁹ MARENČÍK, Michal. Genetické umění. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Doc. Mgr. Jana Horáková, Ph.D. s. 16.

¹⁰ BERÁNEK, M., *Molekulární genetika pro bioanalytiku*. Praha: Karolinum, 2016. s. 10-12.

jedince má léčebný význam zejména u některých nevléčitelných dědičných onemocnění. Genetika má široký rozsah použití nejen v lékařství ale i dalších oborech. Kriminalistická genetická expertíza aplikuje získané znalosti a metody z molekulární genetiky.

Historie aplikace genetiky v kriminalistice

Genetická expertíza je součástí kriminalistické biologie. Do doby než byla genetika aplikována ve forenzních vědách, bylo možné z krevních stop rozlišit základní charakteristiky stopy. Mezi ně patří rozlišení typu krve lidské a zvířecí, identifikace krevní skupiny, určení pohlaví, množství vyteklé krve a lokace rány, z které krev vytekla. S rozvojem molekulární biologie a biochemie došlo k posunu v individuální identifikaci osob z velmi malého množství stopy. Poprvé tuto metodu využil ke kriminalistickým účelům britský vědec Alec Jeffreys. Metoda byla označena jako „Délkový polymorfismus opakujících se sekvencí“ (RFLP), hovorově také „DNA fingerprint“ neboli genetický otisk prstu. Množství DNA ve vzorcích muselo být vysoké, cca 1000x větší než v současnosti, aby vůbec bylo možné získat data pro genetický profil.¹¹ Oficiálně se metoda začala používat roku 1986 ve Velké Británii. FBI ji k odhalování pachatelů začala používat o rok později.¹² Soudy výsledky analýzy DNA použité jako důkazy označovaly jako nevěrohodné. Metoda prošla řadou validačních postupů a kontrol kvality, až se stala všeobecně uznávanou a nezpochybnitelnou.¹³ V České republice do roku 1989 probíhala identifikace osob pouze na základě výsledků rozboru krevních skupin. V Bratislavě byl osloven Doc. RNDr. Ferák, CSc., tehdejší vedoucí Katedry molekulární biologie, aby pomohl s objasněním případu brutální vraždy studentky. Poprvé v tehdejší Československu aplikoval DNA analýzu k objasnění identity člověka v souvislosti s páčáním trestné činnosti. Na základě výsledků analýzy DNA, genetického profilu, byl poprvé před soudem odsouzen pachatel vraždy.¹⁴ V Československu se otevřela v roce 1992 první DNA laboratoř pod policejní záštitou v Kriminalistickém ústavu v Praze. Po rozdělení Československa vznikla regionální síť DNA laboratoří pod správou Policie ČR v Odboru kriminalistické techniky a expertiz. V současné době má Policie ČR osm odborných pracovišť zabývajících se genetickou expertizou, a to v Praze, Hradci

¹¹ BERAN, Michal. *Soudnělékařská identifikace*. Praha: Karolinum, 2012. s.154.

¹² STRAUS, Jiří a František VAVERA. *Dějiny československé kriminalistiky slovem i obrazem II.: (od roku 1939 po současnost)*. Praha: Police history, 2005. s. 100-101.

¹³ ŠTEFAN, Jiří a Jiří HLADÍK. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Praha: Grada, 2012. s. 327.

¹⁴ ŠIMKOVÁ, Halina. Krev – Lze pachatele usvědčit pomocí krevní skupiny? Brutální vražda studentky byla klíčovým milníkem. In: Expertíza.

Králové, Plzni, Českých Budějovicích, Brně, Kladně, Ústí nad Labem a Ostravě. Roku 1995 je poprvé spuštěna Národní databáze DNA ve Velké Británii a o tři roky později ji následuje USA. V České republice dochází ke spuštění Národní databáze v roce 2001 v Kriminologickém ústavu Praha.¹⁵ Národní databáze umožňuje porovnání genetických profilů DNA lidského biologického materiálu při objasňování trestné činnosti. Policie tak získala významný nástroj k rozšíření možností a schopností vedoucí k identifikaci osob při páchání trestné činnosti.

¹⁵ ŠTEFAN, Jiří a Jiří HLADÍK. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Praha: Grada, 2012. s. 328.

3 Rozbor základních pojmů

K pochopení pojmu, principů a využití genetiky je potřeba objasnění některých důležitých pojmů a objevení souvislostí vycházející z molekulární biologie. Mezi takové pojmy řadíme pojmy:

- a) GENETIKA
- b) GENETICKÁ INFORMACE
- c) DNA
- d) STRUKTURA DNA
- e) NUKLEOTID
- f) LIDSKÝ GENOM
- g) GENY
- h) LOKUS
- i) GENETICKÝ PROFIL

Ad. a) Genetika

„Genetika sleduje variabilitu, rozdílnost a přenos druhových a dědičných znaků mezi rodiči a potomky i mezi potomky navzájem.“ Zde máme na mysli molekulární genetiku, která čerpá ze znalosti biochemických procesů a zkoumá přenos genetické informace na molekulární úrovni živých organismů. Molekulární genetika je jednou z nejdůležitějších biologických teoretických věd a slouží k popisu jakékoliv živé soustavy.

Genetiku lze členit podle organismu, na který se zaměřuje:

- Genetika bakterií
- Genetika rostlin
- Genetika živočichů
- Genetika člověka¹⁶

Součástí posledně zmiňovaného oboru je genetika klinická, někdy též nazývaná lékařská, ze které se ke konci 20 stol. vyvinula samotná forenzní genetika, někdy označována jako genetika kriminalistická.

¹⁶ KOČÁREK, E., *Genetika: obecná genetika a cytogenetika, molekulární biologie, biotechnologie, genomika*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2008. s. 12-13.

Ad. b) Genetická informace

Je základem každého živého organismu. Určuje, jak bude vypadat každá buňka, respektive anatomii celého organismu. Jsou v ní zakódovány veškeré informace o funkci jednotlivých buněk a jejich způsobu metabolismu. Dále obsahuje informace o hospodaření s látkami při biochemických a fyziologických procesech, které se mají odehrávat v organismu. Důležitou úlohu hraje také při rozmnožování.¹⁷

Ad. c) DNA

Jedná se o zkratku pro kyselinu deoxyribonukleovou, která je nositelkou genetické informace. DNA může nalézt ve všech somatických a pohlavních buňkách. Výjimku tvoří červené krvinky neboli erytrocyty a krevní destičky neboli trombocyty, které DNA vůbec neobsahují. Pohlavní buňky, jako jsou spermie a vajíčka, obsahují pouze polovinu genetické informace. Buňky nově vznikajícího organismu vzniklého splynutím spermie a vajíčka pak obsahují kompletní genetickou informaci. Bylo ověřeno, že v DNA jsou přesné informace potřebné k syntéze bílkovin, které ovlivňují vznik specifických znaků organismu. V DNA lze nalézt i tzv. nekódující oblasti, které v sobě nenesou žádný genetický předpis pro syntézu.¹⁸

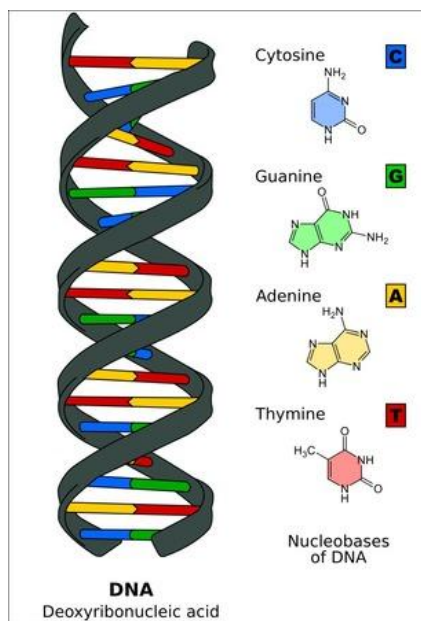
Ad. d) Struktura DNA

Vlákná DNA tvoří pravotočivou dvoušroubovici. Každé vlákno neboli řetězec dvoušroubovice je složeno z řady nukleotidů spojených chemickou vazbou. Vnější kostru řetězce DNA tvoří dimer cukru a zbytku kyseliny fosforečné (PO_4^{3-}) tzv. nukleosid, opakující se za sebou. Vnitřní část obsahuje nukleové báze, které jsou propojeny slabými ne vazebnými interakcemi s bázemi sesterského vlákna. V závislosti na prostředí, ve kterém se DNA vyskytuje, můžeme sledovat tři prostorové formy DNA a to A-DNA, B-DNA a Z-DNA. Na následujícím obrázku můžeme vidět nejčastější formu vyskytující se v lidských buňkách.

¹⁷ ALBERTS, Br. *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. s. 184-185.

¹⁸ ŠIMKOVÁ, Halina. *Breviář forenzní genetiky: forenzní DNA analýza v otázkách a odpovědích*. Brno: Tribun EU, 2012. s. 50-58.

Obr. 1: Struktura A-DNA



Zdroj:¹⁹

Ad. e) NUKLEOTID

Jak již bylo výše zmíněno, nukleotid je základní stavební jednotkou DNA. Každý nukleotid se skládá z cukru (ribózy), zbytku kyseliny fosforečné (PO_4^{3-}) a nejdůležitější součástí jsou purinové nebo pyrimidinové nukleové báze a to adenin (A), guanin (G), thymin (T) a cytosin (C). Tyto báze jsou propojeny slabými ne vazebnými interakcemi s bázemi sesterského vlákna. Jednotlivé báze jsou komplementární. To znamená, že pouze jeden druh báze je schopen se párovat s jedním určitým druhem báze sesterského vlákna. Párují se A s T a G s C.²⁰

Ad. f) Lidský genom

Je tvořen veškerou DNA, která je obsažena v buňce, tzv. „jadernou DNA“. Část DNA se nachází v mitochondriích a nazývá se extrajadernou DNA. Jaderná DNA obsahuje 3 miliardy párů bází, které vytváří cca 25 tisíc genů. Jedná se o soubor všech genů daného jedince. Lidský genom byl dešifrován v roce 2000.²¹ Následující tabulka obsahuje sadu chromozomů, počet genů přítomných v jednotlivých chromozomech a počet bází v lidském genomu.

¹⁹ MAGLADEM96. Picture of DNA Base Flipping. In: *VIKIMEDIA COMMONS* [online]. 2016, 12 March 2014.

²⁰ ALBERTS, Br. *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. s. 185-186.

²¹ Genom je soubor všech genů. *Od počátku s DNA* [online]. 2013.

Tab. 1: Sada chromozomů, počet genů přítomných v jednotlivých chromozomech a počet bází v lidském genomu.

Číslo chromozomu	Počet genů	Počet bází
1	4 220	247 199 719
2	1 491	242 751 149
3	1 550	199 446 827
4	446	191 263 063
5	609	180 837 866
6	2 281	170 896 993
7	2 135	158 821 424
8	1 106	146 274 826
9	1 920	140 442 298
10	1 793	135 374 737
11	379	134 452 384
12	1 430	132 289 534
13	924	114 127 980
14	1 347	106 360 585
15	921	100 338 915
16	909	88 822 254
17	1 672	78 654 742
18	519	76 117 153
19	1 555	63 806 651
20	1 008	62 435 965
21	578	46 944 323
22	1 092	49 528 953
X (pohlavní chromozom)	1 846	154 913 754
Y (pohlavní chromozom)	454	57 741 652

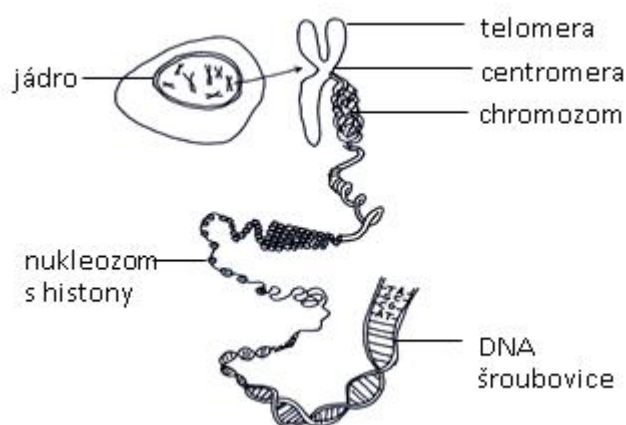
Zdroj:²²

Lidský genom je tvořen chromozomy. Chromozomy jsou lineární vláknité útvary, které jsou umístěny v buněčném jádře. Chromozom může být složen z jedné nebo dvou chromatid, které se stýkají v místě zvaném centromera. Centromerou je chromozom rozdělen na dvě raménka, a to na krátké a dlouhé. Centromera hraje důležitou roli při buněčném dělení. V případě dvouchromatidového chromozomu, obě chromatidy obsahují zcela stejnou genetickou informaci. Chromozomy jsou složeny ze dvou základních složek, a to ze samotné DNA a malých molekul bílkovin tzv. „histonů“. Chromozomy pak nalezneme ve všech organismech s eukaryotickým typem buněk tedy v buňkách rostlin, živočichů, hub nebo prvoků.²³

²² VÁCHA, František. Biochemie II: Lidský genom. České Budějovice, 2011.

²³ ALBERTS, Br. *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. s. 184.

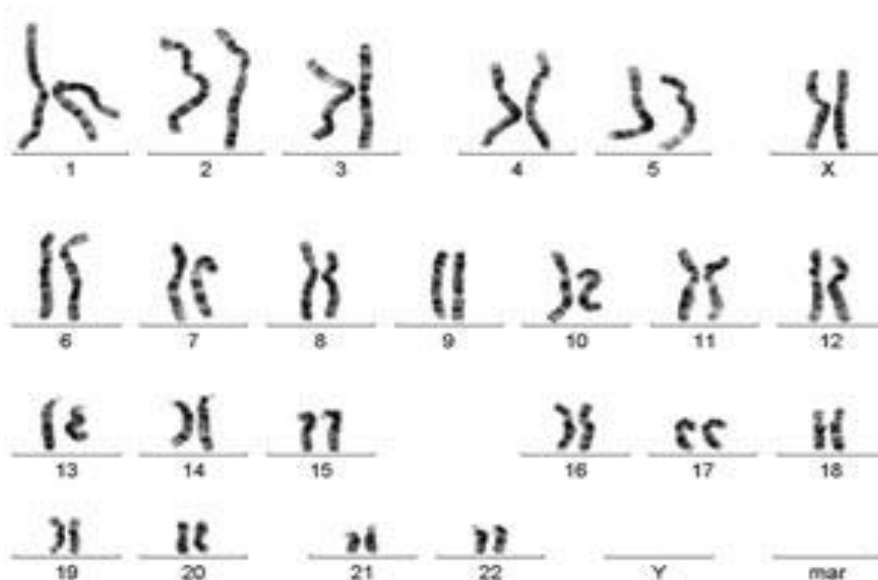
Obr. 2: Složení chromozomu.



Zdroj:²⁴

Počet a složení chromozomů v jádře buněk jsou charakteristické pro každý biologický druh. Toto složení nazýváme **karyotyp**, což je chromozomové složení dané buňky. Na následujícím obrázku je karyotyp lidské somatické buňky.

Obr. 3: Karyotyp lidské buňky.



Zdroj:²⁵

²⁴ Převzato z Uložení DNA v buňce v podobě chromozomů. In: *Biologie a genetika pro bakaláře: Cytogenetika* [online].

²⁵ Karyotyp z periferní krve. In: Laboratoř lékařské genetiky Karlovy Vary: Cytogenetické vyšetření karyotypu [online].

Bylo zjištěno, že lidská somatická buňka obsahuje 23 párů chromozomů. Každý chromozom má své číslo od 1 do 22. Jedná se o autozomy. Poslední pár chromozomů jsou pohlavní chromozomy a nazývají se gonozomy (X a Y). Chromozomy tvořící pár se nazývají homologické a obsahují stejnou informaci pro tvorbu určitého znaku.²⁶

Ad. g) Geny

Geny jsou základní informační jednotkou dědičnosti. Jsou to úseky DNA na chromozomech. Obsahují informace potřebné ke konstrukci všech proteinů. Jeden gen vždy kóduje informace pro tvorbu konkrétní bílkoviny, o jejím množství, a také kdy má být syntetizována. Každá buňka má kompletní soubor genů. Při dělení buněk v novém organismu dochází k jejich diferenciaci, právě díky genové expresy, tzn. zapínání a vypínání genů. Geny řídí celou řadu biochemických procesů odehrávajících se v těle jedince. Reguluje metabolismus, imunitní systém a také dispozice ke vzniku choroby díky mutacím. Dalo by se říci, že obsahují veškeré informace ke kompletnímu řízení organismu.²⁷

Ad. h) Lokusy

Jedná se o libovolný úsek DNA nebo místo na chromozomu. Může se jednat o celý gen případně jednotlivý nukleotid kterékoli části lidského genomu. Lokusy lze dělit podle jejich variability. Lokusy nepolymorfni jsou zcela nevariabilní. Mezi lokusy nízké až středně polymorfni patří převážně geny. Lokusy vysoce polymorfni se vyskytují v mnoha variantách. Poslední typ můžeme najít v určitých oblastech nekódující DNA v tzv. „extragenové“ DNA, která nemá vliv na fungování buněk. Právě tento typ je cílem identifikační analýzy DNA. Všichni lidé mají stejné geny, avšak některé geny mají více svých variací. Jednotlivé variace v lokusech označujeme jako alely (možné varianty pořadí nukleotidů). Tyto variace se mohou několikrát opakovat. V jednom jediném místě na DNA existuje 55 možných kombinací. Testuje se více míst, které dávají dohromady genetický profil. Existuje 253 miliard možných kombinací. Někdy se testuje takových míst 20 i 30, kdy shoda v DNA profilu dvou osob je téměř

²⁶ KOČÁREK, E., *Genetika: obecná genetika a cytogenetika, molekulární biologie, biotechnologie, genomika*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2008. Biologie pro gymnázia. s. 26-27.

²⁷ ALBERTS, Br., *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. s. 185.

nulová. Pouze 5% lidské DNA je variabilní neboli odlišná od jiného jedince z celé populace a právě díky tomu je možná identifikace každého z nás.²⁸ a ²⁹

Ad. i) Genetický profil

Jde o vyhodnotitelnou biometrickou charakteristiku unikátní pro každého člověka. Genetický profil neboli profil DNA je set genotypů několika autozomálních STR lokusů. Identifikuje osobu úplně nebo pouze částečně. Ideální nekódující oblasti jsou tzv. krátké tandemové repetitivní sekvence STR (anglicky Short Tandem Repeats). Jedná se o opakování sekvenčního motivu několikrát za sebou. Signifikantní je právě počet opakování tohoto motivu v dané oblasti DNA, která se liší u každého člověka. Základní kód má délku do 10 nukleotidů. Jeden lokus se vyskytuje v 10 různých modifikacích (alelách) v populaci, které se liší počtem opakování této repetice. Lokus je přítomen v genomu ve dvou kopiích. Jeden je od matky, druhý je od otce. Počet opakování se různí nebo může být stejné v obou kopiích. Výsledek analýzy je pak číselný zápis např. 14/16. Ten znamená, že u uvedené osoby na daném lokusu se vyskytuje 14 repetice na mateřském chromozomu a 16 repetice na otcovském. Zjišťuje se také pohlaví jedince. Proto se testuje gen pro amelogenin (bílkovina zubní skloviny). Z délky genu lze usuzovat, zda daný vzorek obsahuje pouze chromozom X nebo obsahuje také Y chromozom. Pokud je přítomen pouze chromozom X jedná se o ženu, pokud i Y jedná se o muže.³⁰ a ³¹

²⁸ ŠIMKOVÁ, H., *Breviář forenzní genetiky: forenzní DNA analýza v otázkách a odpovědích*. Brno: Tribun EU, 2012. s. 58-60.

²⁹ ŠIMKOVÁ, Halina. Identifikace – Analýza DNA má jednu zásadní skulinu. In: Expertiza [online pořad].

³⁰ RAK, R., MATYÁŠ, V., ŘÍHA, Z., *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. s. 544-545.

³¹ KOTRČOVÁ, Eva. *Polymorfismus STR lokusů na X chromozomu a jejich využití ve forenzní genetice*. Praha, 2011. s. 8-9.

4 Vyhledávání a zajišťování lidského genetického materiálu

Vyhledávání a zajišťování genetického materiálu pro zkoumání v oblasti kriminalistické genetiky a pro provedení identifikačního zkoumání a určení totožnosti konkrétní osoby ze zajištěné kriminalistické stopy spadá do díkce kriminalistiky, přesněji řešeno do kriminalistické technické a praktické činnosti, kterou se zabývají policejní specialisté k tomu vyškoleni tzv. kriminalističtí technici.

Právě oni jsou odpovědní za to, že kriminalistická stopa biologického respektive genetického charakteru bude vyhledána a zajištěna tak, aby byla využitelná v procesu kriminalistické identifikace. To znamená, že bude zajištěna v nezměněné podobě, nebude kontaminována jiným biologickým materiálem a bude zajištěna a přepravena na znalecké pracoviště tak, že nebude zničena ani nijak poškozena. Zároveň ji kriminalistický technik označí zcela nezaměnitelně od jiných biologických respektive genetických stop. Tedy ji řádně číselně označí a vhodně a srozumitelně popíše.

Genetický materiál, pokud pochází z člověka, v našem případě vzorek DNA, můžeme zařadit mezi kriminalistické biologické stopy lidského původu, které jsou odrazem vnitřní struktury objektu, ze kterého pocházejí. Lze je dělit z různých hledisek. Biologický materiál člověka z hlediska jeho trestně-právního postavení lze rozlišit na biologický materiál pocházející z:

- a) pachatele,
- b) spolupachatele a
- c) poškozené osoby.³²

Je vědecky ověřeno a policejní praxí potvrzeno, že biologický materiál těla každého člověka neustále v nějaké formě produkuje a uvolňuje jeho nepotřebné části do prostředí. Všude, kde se pohybujeme, dýcháme a vylučujeme, po nás zbývá odloučený biologický materiál nebo jeho komponenty. Těmito procesy vzniká biologická stopa. Biologická stopa obsahuje celé buňky nebo jejich zbytky obsahující DNA.³³ a³⁴

³² Převzato z PORADA, Viktor a Jiří STRAUS. *Kriminalistické stopy: teorie, metodologie, praxe*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. s. 156-159.

³³ ŠIMKOVÁ, Halina. Místo činu – Právě tady pro forenzní vědu všechno začíná. In: *Expertiza* [online pořad].

Mohou to být také přirozeně odcházející tekutiny, sekrety a exkrementy, jako menstruační krev, moč, pot, stolice, slzy, nosní sekret, sperma, sliny a zvratky. Díky nově vznikajícím buňkám, které si náš organismus neustále vytváří, dochází k obměně za staré, které se uvolňují do našeho okolí. Mezi ně patří přirozeně odcházející buňky kůže a kožní deriváty, jako vlasy, chlupy, nehty, odumřelé kožní povrchové buňky nebo buňky sliznice kupříkladu poševní, pohlavního údu, dutiny ústní a krku, trávicího traktu, dýchacích a močových cest. Biologickou genetickou stopou se mohou stát také nepřirozeně uvolňované materiály, které vznikly jako následek nějakého násilí páchaného na člověku nebo nemoci, zranění či lékařského zákroku. Lze mezi ně zařadit stopy, jako jsou krev, kůže, svalová, tuková či jiná tkáň. Pokud se takovýto materiál najde na místě činu a souvisí s vyšetřovanou událostí, stává se kriminalistickou biologickou stopou.

Vyhledávání kriminalistických biologických stop

Vyhledávání kriminalistických biologických stop je v současné době velmi sofistikovanou kriminalistickou praktickou činností, kterou mohou vykonávat pouze odborníci k tomu vyškolení. Kriminalistické biologické stopy, ze kterých lze později získat vhodný genetický materiál, jsou často stopami latentními (nezjevnými), a také stopami, které vyžadují specifický způsob vyhledávání a následného zacházení, proto je kladen důraz na vysokou úroveň profesionality personálu. Vyhledávání kriminalistických biologických stop může představovat velmi náročnou práci. Teprve vyhledanou stopu lze považovat za důkaz. Šimková³⁵ dělí kriminalistické biologické stopy na:

1. stopy markantní, *viditelné* pouhým okem
2. stopy viditelné okem při podrobném pozorování (ohledání)
3. stopy okem neviditelné, ale detekovatelné speciálními testy
4. stopy zcela *latentní* (nezjevné).

³⁴ ŠIMKOVÁ, Halina. Náš otisk – Lze spáchat zločin tak, abychom nezanechali žádné stopy?. In: Expertiza [online pořad].

³⁵ ŠIMKOVÁ, H., *Breviář forenzní genetiky: forenzní DNA analýza v otázkách a odpovědích*. Brno: Tribun EU, 2012. s. 30-31.

Mezi první typ markantně viditelných stop patří tratoliště krve, další velké krevní stopy, plošné stopy od spermatu, exkrementy nebo stopy plastické. Jejich nalezení a následný odběr nečiní žádné větší obtíže.

Druhý typ stop je hůře viditelný, ale přesto je lze nalézt pouhým okem. Patří mezi ně drobné biologické stopy, jako jsou krevní kapky, otěry, zaschlý nosní sekret nebo sperma, vlasy, stopy slin na skleničkách apod.

Třetí typ stop lze vyhledat pouze pomocí speciálních zařízení a technik. Jsou to například tzv. „forenzní baterky“ pracující na principu monochromatického záření, které reaguje s daným druhem biologického materiálu a zviditelní ho. Dále pak aplikace chemických činidel typu Luminol a FastBlue reagujících s krví aj.

Čtvrtý typ stop nelze detekovat pouhým okem ani pomocí screeningových metod. Jedná se o povrchové kožní buňky, které se uvolňují při otěru a ulpívají na různých předmětech. Jejich odběr probíhá na základě schopností a zkušeností technika, který zajišťuje stopy. Ten předpokládá výskyt biologického materiálu na určitých místech. Například lze předpokládat zajištění stopy na pokrývce hlavy, kterou pachatel ztratil na útěku. Zkušený znalec bude odebírat z míst na čepici, kde se těsně dotýkala hlavy, a je zde tedy zvýšená pravděpodobnost výskytu kožních buněk.

Všechny osoby, které se podílejí na ohledání místa činu, kde se provádí ohledání a kde mají být vyhledány nebo je zjevné, že se zde nacházejí kriminalistické biologické stopy, by měli být oblečeni do ochranných obleků. Kriminalističtí technici pak musí tyto stopy vyhledávat za použití osobních ochranných pomůcek, jako jsou roušky, pokrývky hlavy, jednorázové rukavice a za pomoci sterilních nástrojů.

Při vyhledávání zejména latentních biologických stop pak kriminalističtí technici musejí vycházet z informací o místě, kde budou ohledání provádět, o činu, který se zde stal, a z modu operandí obdobně spáchaných trestných činů. Jednají také na základě svých vědomostí a zkušeností. Pokud je to vhodné, mohou vyhledávání konzultovat s experty nebo znalci z daného oboru zkoumání. Velmi důležitou roli při vyhledávání biologických stop hrají samotní aktéři trestného činu, jejich činnost na něm a způsob útoku případně obrany. Pro vyhledávání tohoto druhu kriminalistických stop jsou také

důležité informace plynoucí z jejich výpovědí, které mohou dopomoci k nalezení a zajištění jinak neodhalitelných stop.³⁶ a³⁷

Zajišťování stop

Zajišťování kriminalistických biologických stop je další sofistikovanou činností, při které kriminalističtí technici musejí postupovat vědecky podloženým a praxí ověřeným způsobem. Další orgány manipulující se zajištěnou stopou musí postupovat tak, aby takovou stopou nekontaminovaly, nezneškodnotily, neztratily, nezaměnily nebo dokonce nezničily.

Aby zajišťování kriminalistických stop, zejména biologických, bylo úspěšné, kriminalistická nauka vyvinula hned několik způsobů, jak kriminalistické biologické stopy zajistit. Úspěšnost zajišťování je zde míněna jako následná možnost dalšího zkoumání biologických stop a také zachování jejich informačního pole pokud možno v nezměněné podobě. V kriminalistické nauce jsou uvedeny postupy, jak biologické stopy lze zajišťovat například následujícími způsoby:

- a) IN NATURA, tedy v originále, tak jak byla vyhledána (olep na speciální pásku, vystřížení),
- b) FOTOGRAFICKY, tedy na digitální nebo analogový materiál, popřípadě ve formě video nebo DVD záznamu,
- c) STĚREM – v případě tekutého materiálu,
- d) SEŠKRABÁNÍM – v případě suchého materiálu³⁸

U tohoto druhu stop je třeba také zmínit, že je nutno zajistit i podkladový materiál, na kterém biologická stopa ulpěla a také srovnávací materiál od osob, u kterých se domníváme, že zajištěný biologický materiál na místě ohledání zanechaly. V každém případě je potřeba při zajišťování každého výše uvedeného materiálu postupovat velmi obezřetně. Aby nedošlo ke znehodnocení získaných stop obsahující genetický materiál, je potřeba dodržovat několik následujících zásad:

³⁶ ŠIMKOVÁ, H., *Breviář forenzní genetiky: forenzní DNA analýza v otázkách a odpovědích*. Brno: Tribun EU, 2012. s. 31-36.

³⁷ ŠIMKOVÁ, Halina. Místo činu – Právě tady pro forenzní vědu všechno začíná. In: Expertiza [online pořad].

³⁸ PORADA, Viktor a Jiří STRAUS. *Kriminalistické stopy: teorie, metodologie, praxe*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. s. 205-210.

1) ZABRÁNIT DEGRADACI STOPY

2) ELIMINOVAT KONTAMINACI STOPY

3) PŘEDEJÍT ZÁMĚNĚ STOPY

Základním pravidlem je **zabránit degradaci** biologického materiálu. Degradaci lze chápat jako úplně poškození či zničení biologické stopy jako celku nebo zničení v ní obsažené DNA. Hlavními činiteli jsou nevhodné fyzikální, chemické či biologické vlivy. Jedná se o působení vysoké teploty, UV záření, radioaktivní záření, vlhkost, chemických činidel, silných kyselin, zásad, mikroorganismů a také autolýzy. Vysoké množství genetické informace v kriminalistické stopě, po obsahové stránce, zvyšuje pravděpodobnost pozitivního výsledku kriminalistické analýzy. Zajišťuje také dostatek materiálu pro případné přezkoumání výsledků analýzy. Aplikuje se zde pravidlo o ponechání více jak poloviny množství stopy. Ideální je přesun stopy do laboratoře i s matricí nebo předmětem, na které se nachází tedy ve formě IN NATURA.

Pokud transport stopy i s předmětem není možný, například z důvodu jeho velkých rozměrů, je nutné odběr stopy přímo na místě činu kriminalistickým technikem nebo znalcem. V případě latentní stopy se samotný odběr provádí stěrem z místa domnělého výskytu biologického materiálu. Stěr se provádí pomocí speciálních nylonových kartáčkových tampónů, které jsou certifikovány a určeny pro forenzní odběry. V praxi se lze setkat s použitím certifikovaných vatových tampónů. Kartáčkovité tampóny jsou schopny setřít větší množství DNA v porovnání s vatovými. Nevýhodou je vysoká cena nylonových tampónů, která se odráží v jejich snížené frekvenci užívání v laboratořích.

Dále je nutné **předejít kontaminaci stopy** cizorodým biologickým materiálem. Jedná se o nejzávažnější chybu při zajišťování stop. Zdrojem kontaminace může být jiná biologická kriminalistická stopy, odběrová pomůcka, osoba, která manipulovala se stopou nebo komparační vzorek zaslaný společně se stopou. Pokud se zajišťuje více stop najednou, je potřeba zacházet s nimi odděleně do okamžiku zabalení stopy, někdy i poté, protože biologický materiál může prosakovat obalem.

Dále je potřeba předejít záměně stopy. Každá kriminalistická stopa, tedy i stopa biologická, musí být na místě ohledání zcela nezaměnitelně označena, k tomu lze využít čísel, písmen popisu stopy.

Podmínkou pro kvalitní a nezkreslené výsledky genetického zkoumání a zejména pro individualizaci mezi stopou a podezřelou osobou je, aby při zajišťování biologických stop byly využívány certifikované sterilní pomůcky používané k odběru, které v žádném případě nesmí obsahovat lidskou DNA. Jedná se o tzv. „DNA free“ pomůcky. Osoby, které zajišťují stopy, by měly používat osobní ochranné pomůcky, jako jsou jednorázové rukavice, roušky, overaly a návleky na boty. Na místě činu se nesmí jít, pít, kouřit a kýchat. Srovnávací stopy je vhodné zasílat k rozboru odděleně od zajištěných stop a nejlépe s časovým rozestupem. Za stabilní stopy lze považovat zaschlé materiály, jako jsou krev, sliny a sperma. Zajištěná kriminalistická biologická stopa by měla být dopravena do laboratoře, co nejdříve od zajištění, aby se zabránilo možné degradaci genetického materiálu.³⁹ a⁴⁰

³⁹ ŠIMKOVÁ, H., *Breviář forenzní genetiky: forenzní DNA analýza v otázkách a odpovědích*. Brno: Tribun EU, 2012. s. 31-41.

⁴⁰ ŠIMKOVÁ, Halina. Místo činu – Právě tady pro forenzní vědu všechno začíná. In: Expertiza [online pořad].

5 Metody možného zkoumání genetického materiálu

Mezi nejužívanější metodu při objasňování trestných činů v kriminalistických laboratořích v ČR, kdy byl zajištěn biologický materiál, patří genetická analýza STR lokusů. Jejím účelem je pomoci identifikovat původce genetického materiálu. Identifikaci, v tomto případě kriminalistickou identifikaci, lze chápat, jako určení shodného původu biologického materiálu nalezeného na místě činu a tzv. „srovnávacího vzorku“, který je získán od osoby podezřelé. Jedná se o molekulárně-biologickou metodu, která se skládá z několika kroků, jako jsou extrakce DNA, její kvantifikace (namnožení), amplifikace, analýza fragmentů DNA pomocí Sangerova sekvenování v kapilárním provedení a následné DNA profilování. Jedná se o standardní kriminalistickou znaleckou metodu Policie ČR. Metoda a její postupy jsou akreditovány dle ISO 17025. Existuje systém vnitřní a vnější kontroly kvality provádění metody. Je nutné poznamenat, že pracovníci genetické laboratoře musí používat stejné ochranné pomůcky jako technici při zajišťování stop. Úspěšnost stanovení je přímo úměrné délce a kvalitě skladování vzorku od jeho příjmu do laboratoře až po začátek analýzy.

Typy vzorků genetického materiálu

Pro vlastní genetickou analýzu se ze zajištěné biologické stopy z místa ohledání odděluje VZOREK genetického materiálu, který je určen pro další zkoumání. Vzorek je tvořen lidskými buňkami nebo jejich rezidui obsahujícími DNA. Důležité je, aby vzorek obsahoval alespoň nepoškozené úseky DNA, pomocí kterých chceme provést identifikaci. Ke stanovení stačí 0,5 ng DNA. Každá lidská somatická buňka obsahuje přibližně 6,6 pg DNA. Vhodným materiálem pro genetickou analýzu jsou krev, sperma, svalová tkáň, kost, zuby. DNA lze nalézt v menším množství také v nehtech, vlasech, chlupcích, ve slinách, moči, potu a stolici. Pro úspěšné stanovení genetického profilu postačí zbytky odloučených buněk, které se zajistí celé nebo pomocí stěru například z cigaretového nedopalku, hodinek, brýlí, šperků, čepic, rukavic, kliky u dveří, zubního kartáčku nebo holicího strojku.

Ke zpracování v kriminalistické laboratoři přicházejí tři typy vzorků. Stav vzorku se zdokumentuje pomocí fotoaparátu a sepíše se protokol popisující odběr vzorku.

První typ je stěr pomocí navlhčeného (v ultra-čisté destilované vodě) vatového tampónu odebraný přímo z místa činu technikem. U tohoto vzorku se vyhodnotí jeho použitelnost pro další genetické zkoumání. Následuje jeho vysušení a zabalení.

Druhý typ vzorku se odebírá přímo v laboratoři stejnou technikou z různých předmětů, které byly na místě činu a jsou s ním spojené např. baterka.

Třetím typem je tzv. „srovnávací vzorek“ neboli bukální stěr, který obsahuje velké množství DNA, se odebírá z vnitřní strany tvářové sliznice na vatový tampón od „podezřelé“ osoby nebo od osoby, u které je potřeba zjistit její totožnost. Vatový tampón se zaslaným vzorkem genetického materiálu se z odběrné sady následně přemístí do zkumavky.

Všechny uvedené typy vzorků se dále zpracovávají stejným způsobem. Od odběrového tampónu se odstříhne štětíčka a následně se převede do mikrozkuavky s fyziologickým roztokem (0,9% roztok NaCl ve vodě), který zajišťuje přirozené osmotické buněčné prostředí. Obsah mikrozkuavky se zvortexuje (účinnější forma míchání mikroobjemů), čímž zajistíme uvolnění odebraného materiálu do roztoku.

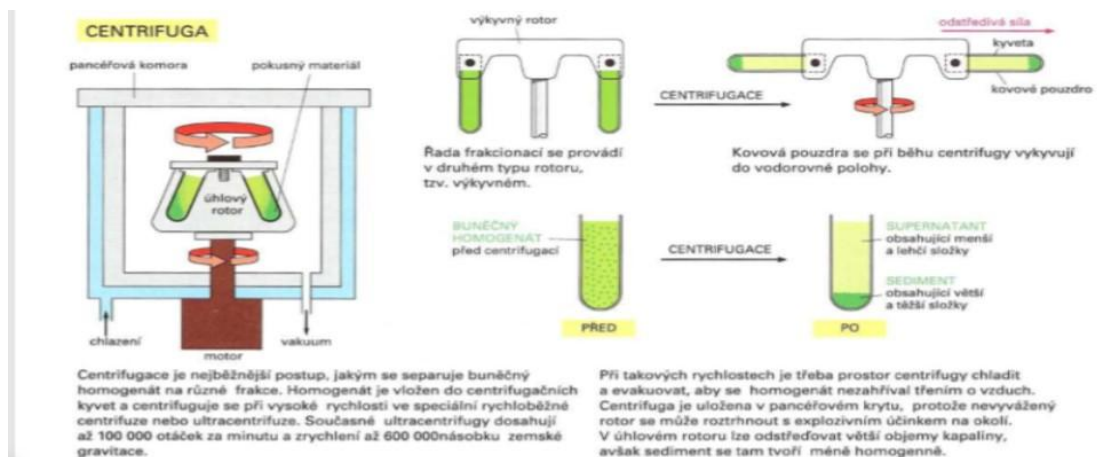
V praxi se do jedné série analýz shromažďuje set 32 vzorků (teoreticky z 32 zajištěných kriminalistických stop) z různých případů a analýza trvá týden. Aby se mohlo se vzorky dále pracovat, je potřeba zbavit je všech nežádoucích elementů, které by bránili správnému průběhu reakcí.

Izolace DNA

Izolace DNA probíhá pomocí předpřipravených komerčních kitů neboli setů obsahující roztoky a silika kolonky. Cílem izolace nebo také extrakce DNA je získání čisté DNA tj. očištěné od ostatního buněčného obsahu, jako jsou organely, buněčná membrána, enzymy a inhibitory. Abychom se dostali k čisté DNA, je potřeba rozrušit buňky biologického materiálu. To se provádí buď mechanicky pomocí mikrokuliček, nebo chemicky pomocí detergentu. Mikrokuličky naruší buněčnou membránu. Vzniklý buněčný lyzát se separuje na jednotlivé součásti buňky pomocí centrifugace na základě molekulové hmotnosti. Část lyzátu nad usazeninou obsahující DNA se odebere do mikrozkuavky se silika kolonkou, kde se naváže zbytek nežádoucích enzymů. Jímaný roztok pod kolonkou obsahující DNA je nanesen na další kolonku, kde je postupně proplachován (očišťován) od nežádoucích příměsí. Nakonec je požadovaná

DNA vyeluována z kolonky opět do roztoku v čisté mikrozkumavce. Získáme čistou DNA tzv. izolát.

Obr. 4: Centrifugace.



Zdroj:⁴¹

Kvantifikace DNA

Ke zjištění, zda izolát obsahuje dostatečné množství DNA k dalším krokům analýzy, které by ve finále vedlo až k samotné identifikaci jedince, je potřeba vzorek kvantifikovat. Kvantifikace se provádí pomocí specifické metody Real time PCR, díky které se zjistí množství lidské DNA. Vzorek totiž může obsahovat i bakteriální DNA pocházející z bakterií, které pomáhají rozkladu biologických stop. Společně s izolátem se analyzují dvě řady standardů pomocí, kterých lze určit množství DNA. Dochází také k syntéze řetězců obsažené DNA a navázání fluorescenčních sond na nově nasyntetizované kopie řetězce DNA. Intenzitu světla emitovanou z fluorescenčních sond, pak lze srovnat s intenzitou záření ze standardů a zjistit tak původní množství DNA v izolátu.⁴²

Amplifikace DNA

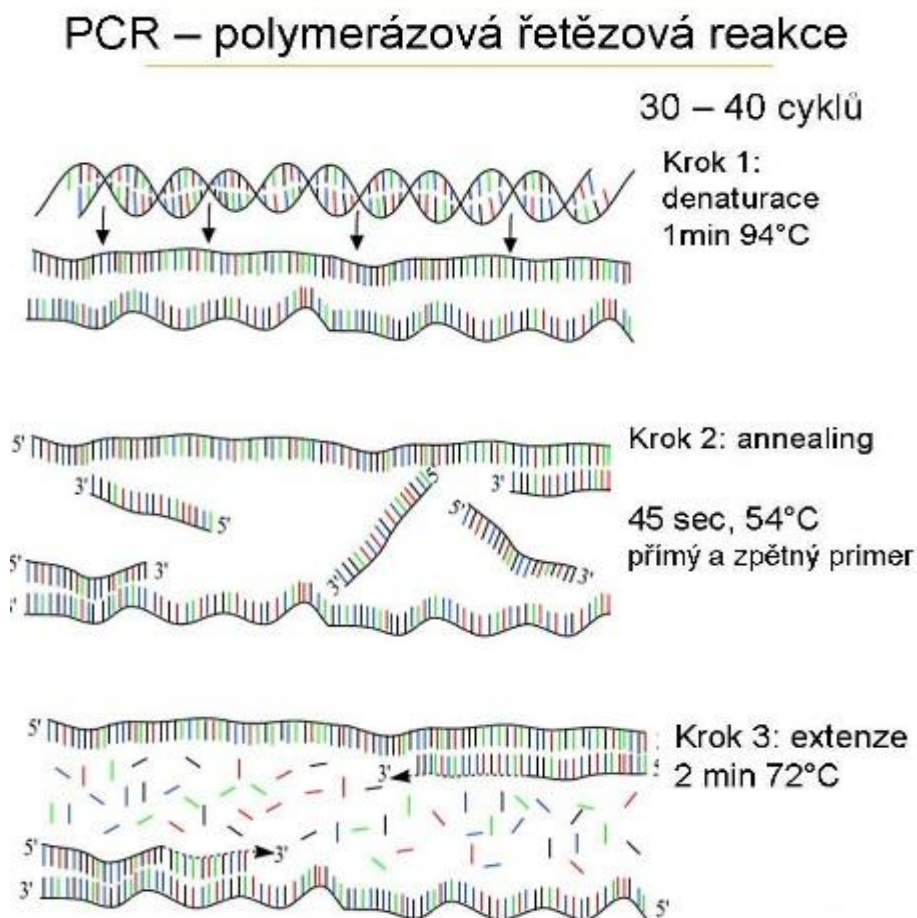
Izolát je dále amplifikován pomocí PCR reakce. Jedná se o řízené kopírování určitých úseků DNA. Ve skutečnosti jde o sled několika reakcí probíhajících za určitých teplot. Nejprve se k DNA přimíchá potřebné množství tzv. primerů. Primery jsou

⁴¹ Převzato z ALBERTS, Br., *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. s. 160.

⁴² RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. Profesionál. ISBN 978-80-247-2365-5. s. 553.

specifické úseky DNA dlouhé několik bází, které slouží jako počáteční místo při replikaci DNA. Vše probíhá v zařízení zvaném termocykler, které reguluje teploty a časy jednotlivých reakcí. Nejdříve dojde k oddálení vláken dvojitřroubovice DNA neboli denaturaci za vysoké teploty. Následuje snížení teploty. Primery jsou schopné na základě komplementarity bází nasednout na specifická místa na jednom z rozvolněných řetězců DNA z izolátu. Tato místa jsou výše zmiňované STR lokusy, které nám později pomohou k sestavení genetického profilu. Reakce se nazývá anelace. Celkem se přidává do reakce 17 primerů. Dále dochází díky enzymu DNA polymerázy ke zkopírování primerem označeného úseku DNA. Reakce je označována jako elongace. Celý sled neboli cyklus se mnohonásobně opakuje, až do získání potřebného množství DNA k další analýze. Výstupem je roztok zvaný amplifikát obsahující vysoké množství zcela identických kopií 17 variabilních oblastí DNA.

Obr. 5: Ukázka schématu PCR reakce.



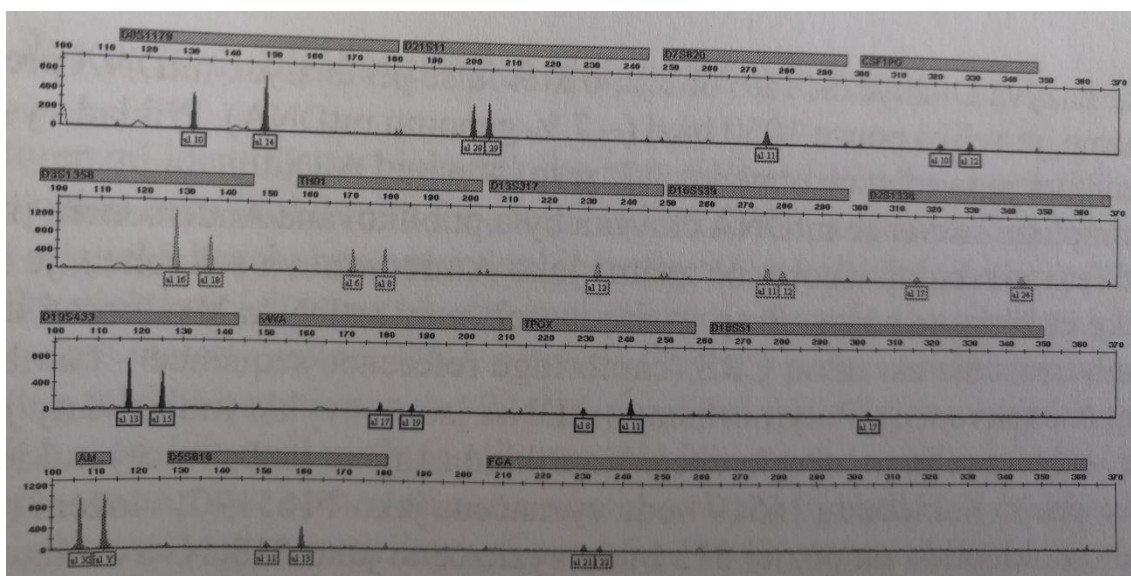
Zdroj:⁴³

⁴³ K čemu slouží polymerázová řetězová reakce?. In: Odpovědi: Otázky [online].

Sekvence vzorku DNA

Dalším krokem je sekvenace amplifikátu pomocí kapilární elektroforézy. Zařízení se nazývá sekvenátor. Přístroj obsahuje celkem 8 kapilár. Na polymerním gelu uvnitř kapiláry jsou jednotlivé fragmenty amplifikátu separovány podle jejich délky respektive molekulové hmotnosti fragmentů. Fragmenty, nesoucí záporný náboj, se pohybují v elektrickém poli ke kladné elektrodě různou rychlostí. Krátké fragmenty doputují k elektrodě jako první a dlouhé jako poslední. Primery použité při PCR reakci jsou značeny fluorescenčními barvami, které po ozáření emitují záření určité vlnové délky. Díky tomu je možné určit velikost jednotlivých fragmenty po vstupu do detektoru, kde jsou ozářeny laserem a následně je také identifikovat. Výstupem je záznam zvaný elektroforetogram. Jednotlivá lokální maxima píků na elektroforetogramu znázorňují dané alely. Z pozic daných maxim píků lze vyhodnotit velikost fragmentu v párech bází a také určit konkrétní alelu daného lokusu.⁴⁴

Obr. 6: Elektroforetogram lidské DNA.



Zdroj:⁴⁵

Vyhodnocování výsledků – porovnávání profilů

Získaná data ze sekvenátoru se přetáhnou. Vlastní vyhodnocení výsledků pak probíhá v programu GENE MAPPER. Každý vstupní vzorek musí být řádně označen číslem vzorku a program mu přidělí tzv. identifikátor, pod kterým je získaný profil

⁴⁴ RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. s. 554.

⁴⁵ Převzato z RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. s. 555.

uložen do Národní databáze. Genetický profil má tedy 17 úseků (lokusů = znaky) DNA. Bez srovnání stopy s již existujícím genetickým profilem člověka není identifikace možná. V každém lokusu genetického profilu jsou dva znaky (jeden od otce a druhý od matky), může být i jeden. Tento případ nastává, pokud člověk dostal stejný znak od matky i od otce. Jsou-li v lokusu více než dva znaky, pak jde o smíšený vzorek DNA. Z intenzity signálu pak lze zjistit majoritní podíl DNA. V případě potřeby se celá genetická analýza zopakuje. Součástí vyhodnocení je i určení pohlaví člověka, z kterého genetický materiál pochází. Do databáze se přepisují jednotlivé lokusy. V databázi se posoudí míra shody variabilních znaků na lokusech v získaném genetickém profilu s již uloženými genetickými profily.

Tab. 2: Příklad přepisu grafické podoby DNA profilu do alfanumerického řetězce (sledováno pouze 15 znaků).

STR lokus	příklad zjištěných hodnot
DS1189	10/14
D21S11	28/29
D7S820	11/11
CSF1PO	10/12
D3S1338	16/18
TH01	6/8
D13S317	12/12
D16S539	11/12
D2S1338	17/24
D19S433	13/15
vWA	17/19
TPOX	8/11
D18S51	17/17
D5S818	11/13
FGA	21/21

Zdroj:⁴⁶

Databázový systém může vyhodnotit shodu mezi dvěma vloženými profily DNA a to „místo činu – místo činu“, „místo činu – osoba“, „osoba – osoba“ a podobně. Váha shody profilů musí být ještě vyhodnocena statisticky. Výsledek analýzy je vyhotoven ve formě odborného vyjádření nebo znaleckého posudku. V *Národní databázi genetických profilů* je možné porovnávat jednotlivé genetické profily lidských biologických materiálů při objasňování trestné činnosti. Je důležitým nástrojem v identifikaci osob. Kriminalistický ústav Praha je pouze jejím uživatelem. Jeho

⁴⁶ Převzato z ŠTEFAN, Jiří a Jiří HLADÍK. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Praha: Grada, 2012. s. 333.

zaměstnanci mohou do databáze profily vkládat, vymazávat a porovnávat je pouze na základě požadavků orgánů činných v trestním řízení.⁴⁷

⁴⁷ STRAUS, Jiří a František VAVERA. *Dějiny kriminalistiky*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. s. 306-307.

6 Případové studie

Kriminalistická genetická expertiza pomohla odhalit pravé pachatele řady trestných činů, jako jsou vraždy, znásilnění, krádeže a další, které se podařilo objasnit až po desítkách let.

Zajímavý je případ muže z amerického státu Kalifornie, který byl ve službách zákona. Případ se podařilo objasnit po více jak 40 letech. Vloni v dubnu se podařilo usvědčit pachatele, který má na svědomí dvanáct vražd, přes padesát znásilnění a 120 vloupání. Muž vraždil v 70. a 80. letech a za jeho dopadení byla vypsána vysoká odměna FBI. Scénář pachatele byl většinou stejný. Maskovaný a ozbrojený se vloupal v noci do domu, který vykradl, když oběti spali. Pokud byla v domě sama spící žena, která se mu líbila, tak ji znásilnil. Nic netušící spící páry dokonce vraždil. Pachatelem byl dnes 72-letý důchodce žijící v Sacramentu, bývalý policista JJDA. Trestnou činnost podle místního šerifa páchal už v době, kdy byl zaměstnán u policie. Zneužíval svého postavení u policie a byl tak vždy o krok napřed před vyšetřovateli. Policie vloni narazila na důležitou biologickou stopu DNA související s případy. Důchodce policie sledovala u jeho domu. Paradoxně ho usvědčily biologické stopy pocházející z jeho odpadu. Na základě výsledků genetické expertizy byla prokázána jeho vina ve všech zmiňovaných případech páchaní trestné činnosti.⁴⁸ a⁴⁹

Existují však případy, kdy nelze jednoznačně prokázat účast podezřelého na spáchání trestného činu, přestože jeho DNA se na místě podařilo zajistit.

V roce 2003 byl před soudem projednáván případ surové vraždy 16-leté dívky MU. Tehdy 19-letý AP se s dívkou seznámil v parku. Po jednodenní známosti společně strávili večer popíjením vína v tržnici, kde se měli osahávat v intimních partiích. Dívka odmítla sex. Což obžaloba označila za motiv pachatele. Při přesunu do místního rockového klubu ji pachatel měl začít rdousit, mlátit pěstí a kopat do obličeje. Zemřela na následky udušení. Pachatel vypověděl, že do zmiňovaného rockového klubu došli a tam se prý vzájemně ztratili z očí. Jako stěžejní důkazy byly tehdy předloženy výsledky genetické expertizy biologického materiálu nalezeného pod nehty oběti a také pachatele. DNA nalezená pod nehty pachatele, AP, patřila oběti. Za nehty oběti byla DNA odpovídající genetickému profilu AP. Na základě této skutečnosti AP poslal na 12,5 let

⁴⁸ JEM. Ve dne strážce zákona, v noci vrah. Kalifornský zabiják byl celé roky policistou. In: *Novinky.cz*[online].

⁴⁹ ČTK. Vraha dopadli po 40 letech díky testům DNA: Zabil 12 lidí a znásilnil 50 žen. In: *Blesk.cz*[online].

do vězení a nařídil mu sexuologickou léčbu. V červnu roku 2016 byl ke krajskému soudu podán návrh na obnovu řízení jeho případu. Na základě nového znaleckého posudku forenzního genetika byly zpochybněny původní závěry z výsledků DNA expertiz. Znalec z oboru forenzní genetiky, který případ přezkoumával, tvrdí, že s největší pravděpodobností došlo k záměně vzorků DNA oběti a pachatele samotnými forenzními experty. Vzorky by totiž obsahovaly v obou případech směs DNA pachatele a oběti, což ze závěru původní genetické analýzy nevyplývá. Žalobce namítl, že orgán policie se tehdy zaměřoval pouze na zajištění cizích stop DNA. Soud návrh na obnovu řízení zamítl s tím, že jsou zde zásadní důkazy, výpovědi svědků, které svědčí o AP vině.⁵⁰ a ⁵¹

⁵⁰ HORÁK, Jan, Vladimír VACULA a Jakub POKORNÝ. DNA z 13 let staré vraždy někdo zaměnil, tvrdí znalec. Soud kauzu neotevře. In: *Idnes.cz: Ústí a Ústecký kraj* [online].

⁵¹ POKORNÝ, Jakub. Soud potrestal surovou vraždu dívky. In: *Idnes.cz: Zprávy - krimi* [online].

Závěr

Cílem bylo získat ucelený přehled o provedení genetické expertizy včetně zajišťování stop. V práci byl podrobně rozebrán celý postup kriminalistického vyšetřování počínaje vyhledáváním stop, zajišťováním stop na místě činu, až po samotnou genetickou expertizu prováděnou v laboratoři včetně vyhodnocení výsledků. Účelem vyhledávání a zajišťování je odebrat vzorek ze stopy o určité kvalitě a také v dostatečné kvantitě. Hlavní riziko představuje chyba lidského faktoru. Je potřeba dodržovat určité zásady a předepsané postupy a vyvarovat se tak znehodnocení, zničení nebo záměně vzorku stopy. K zajištění správného odběru lidské biologické stopy na místě činu, je nutné, aby tento úkon prováděli zkušení policejní specialisté, kteří prošli systémem školení. Rizikovým bodem je dodržení správných podmínek při transportu vzorku genetického materiálu do kriminalistických laboratoří. V laboratoři je hlavním rizikovým faktorem taktéž personál. Forenzní genetici nebo také laboratorní technici musí mít k výkonu odborné znalosti v oboru. Procházejí pravidelně systémem školení. Metodu aplikují na základě zvalidovaných akreditovaných standardních operačních postupů vycházejících z normy. Vzorky zpracovávají pomocí pravidelně udržovaného kalibrovaného přístrojového vybavení na špičkové úrovni.

Genetická expertiza je velice užitečná metoda sloužící k identifikaci pachatele případně oběti, která má své výhody i nevýhody. I přes dodržení všech postupů a pravidel se nelze vyvarovat vzniku chybných výsledků. Průměrná chybovost forenzní analýzy DNA je od 1/100 do 1/10 000. Samotné získání DNA profilu metodou genetické expertizy konkrétně analýzy STR lokusů není časově náročné. Během jedné analýzy v laboratoři lze vyhodnotit až 32 vzorků najednou (vzorky odpovídají počtu jednotlivých lidských biologických stop zajištěných na místě činu). Analýza s vyhodnocením trvá celkově jeden týden. Důvodem oblíbenosti metody je jednoduchost a rychlost procesu identifikace. Přesto jsou laboratoře pod Kriminalistickými ústavy zahlceny vysokým počtem vzorků a celkově jich přibývá. Analyzuje se většina zajištěných biologických genetických stop, které pocházejí i z méně závažné trestné činnosti. Což může zbytečně prodlužovat proces vyšetřování trestných činů.

Z jednotlivých kauz uvedených v případové studii by se dalo říci, že výsledky DNA analýzy mohou potvrdit, zda se člověk na místě činu někdy pohyboval, ale nemohou potvrdit přítomnost osoby ve chvíli provedení trestného činu a zda daná osoba

měla nějaký podíl na spáchání skutku. Až získáním výsledků z dalších kriminalistických technik potvrzujících konání násilí osoby na oběti, lze výsledky DNA analýzy považovat za průkazné a použitelné v soudním procesu.

Metodou genetické expertizy od sebe nelze rozeznat některé jedince. Například jednovaječná dvojčata, která vznikla původně z jedné dělicí se buňky. V současné době jsou v procesu testování metody, které by dokázaly od sebe odlišit jednovaječná dvojčata již při jejich narození. Dalším příkladem jsou lidé, kteří trpí tzv. lidským tetragametickým chimérismem. Chiméra je člověk, jehož tělo vzniklo z dvou nebo více genetických jedinců, který v sobě nese více druhů buněk s odlišnou DNA. Při ovulaci dojde k uvolnění dvou vajíček, která jsou oplozena. Za standardní situace by vznikla dvojvaječná dvojčata, pokud ale dojde ke splynutí obou vajíček, mohou se dále vyvíjet jako jedno. Chimérou se člověk může stát v průběhu života například těhotenstvím, kdy dítě v těle matky vytváří vlastní buněčnou linii. Problematická je také identifikace u akceptorů transplantovaných orgánů. Jejich tělo produkuje, jak buňky s původní DNA, tak s dárcovskou DNA. Z genetického profilu lze zjistit, zda nositel DNA je muž či žena. Problém určení pohlaví jedince z genetické analýzy je v případě, že se u něj vyskytnou určité genetické abnormality vzniklé již při vývoji. Příkladem je žena, v jejímž genetickém profilu se objevuje chromozom Y. Další případ nesprávného určení pohlaví lze očekávat po změně pohlaví z muže na ženu a obráceně. DNA obsahuje původní chromozom X (u původně ženy) nebo Y (u původně muže). Proto je potřeba zaměřit se na výzkum a vývoj nových technik a metod, které by tyto výjimky dokázaly eliminovat.

Z výsledků genetického zkoumání lze také nepřímo odhalit pachatele trestného činu mužského pohlaví. Z podobnosti alel na určitých lokusech chromozomu Y lze odhalit příbuzenské vztahy a dohledat tak dokonce příjmení pachatele. Testování zvířecí DNA může nepřímo napomoci k vyřešení případů páchaní různorodé trestné činnosti.

DNA obsahuje řadu další informací o fyzických parametrech člověka, z kterých v blízké budoucnosti bude možné určit tzv. kompozitní profil osoby. Ten zahrnuje parametry, jako jsou barva kůže, očí, vlasů, množství pih, biogeografický původ a rysy tváře.

Práce by se dala využít jako zjednodušená didaktická pomůcka pro studenty policejních škol nebo ve zkrácené formě jako informační brožura o činnosti laboratoře pro širokou veřejnost.

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

1. ALBERTS, Br., *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. 630 s. ISBN 80-902906-2-0.
2. BERAN, Michal. *Soudnělékařská identifikace*. Praha: Karolinum, 2012. 192 s. ISBN 978-80-246-2106-7.
3. BERÁNEK, M., *Molekulární genetiky pro bioanalytiku*. Praha: Karolinum, 2016. 196 s. ISBN 978-80-246-3224-7.
4. KOČÁREK, E., *Genetika: obecná genetiky a cytogenetika, molekulární biologie, biotechnologie, genomika*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2008. Biologie pro gymnázia. 211 s. ISBN 978-80-86960-36-4.
5. KUCIEL, Jiří a Tomáš URBAN. *J.G. Mendel, his hybridization discoveries and theirs significance: monograph*. Brno: Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, 2009. 77 s. ISBN isbn978-80-7375-273-6.
6. PORADA, V. a STRAUS, J.: *Kriminalistické stopy: teorie, metodologie, praxe*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. 506. ISBN 978-80-7380-396-4.
7. RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. Profesionál. 664. ISBN 978-80-247-2365-5.
8. STRAUS, Jiří a František VAVERA. *Dějiny československé kriminalistiky slovem i obrazem II.: (od roku 1939 po současnost)*. Praha: Police history, 2005. 347 s. ISBN 80-86477-28-2.
9. STRAUS, Jiří a František VAVERA. *Dějiny kriminalistiky*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. 441 s. ISBN 978-80-7380-370-4.
10. ŠIMKOVÁ, H., *Breviář forezní genetiky: forezní DNA analýza v otázkách a odpovědích*. Brno: Tribun EU, 2012. 214 s. ISBN 978-80-263-0247-6.
11. ŠTEFAN, Jiří a Jiří HLADÍK. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Praha: Grada, 2012. 448 s. ISBN 978-80-247-3594-8.

Internetové zdroje

1. BÁRTOVÁ, Eva. *Molekulární fyziologie genomu*. In: *Studijní materiály předmětu PřF:Bi8141: 0-history* [online]. 2. doplněné vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2012, 10. 4. 2012, 8 - 15 [cit. 2019-04-17].
Dostupné z WWW: <https://is.muni.cz/el/sci/jaro2012/Bi8141/0-history__opraveno_.pdf>.
2. ČTK. Vraha dopadli po 40 letech díky testům DNA: Zabil 12 lidí a znásilnil 50 žen. In: *Blesk.cz* [online]. ©2001-2019, 27. 4. 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW: <<https://www.blesk.cz/clanek/zpravy-krimi/539311/vraha-dopadli-po-40-letech-diky-testum-dna-zabil-12-lidi-a-znasilnil-50-zen.html>>.
3. HORÁK, Jan, Vladimír VACULA a Jakub POKORNÝ. DNA z 13 let staré vraždy někdo zaměnil, tvrdí znalec. Soud kauzu neotevře. In: *Idnes.cz: Ústí a Ústecký kraj* [online]. 2019, 9. června 2016 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW: <https://www.idnes.cz/usti/zpravy/soud-zamitl-obnovu-rizeni-pripadu-alese-provaznika-odsouzeneho-za-vrazdu.A160608_154653_usti-zpravy_vac2>.
4. JEM. Ve dne strážce zákona, v noci vrah. Kalifornský zabiják byl celé roky policistou. In: *Novinky.cz* [online]. ©2019, 26. dubna 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW: <<https://www.novinky.cz/zahranicni/amerika/470392-ve-dne-strazce-zakona-v-noci-vrah-kalifornsky-zabijak-byl-cele-roky-policistou.html>>.
5. MAGLADEM96. *Picture of DNA Base Flipping*. In: *VIKIMEDIA COMMONS* [online]. 2016, 12 March 2014 [cit. 2019-04-17].
Dostupné z WWW: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dna-base-flipping.svg>>.
6. MÖLLEROVÁ, Jana. *Brown, Robert*. Botany.cz [online]. ©2007-2019, 26. 4. 2009 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z WWW: <<https://botany.cz/cs/brown/>>.
7. POKORNÝ, Jakub. Soud potrestal surovou vraždu dívky. In: *Idnes.cz: Zprávy - krimi* [online]. 2019, 11. prosinec 2003 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW: <https://www.idnes.cz/zpravy/cerna-kronika/soud-potrestal-surovou-vrazdu-divky.A031208_115512_krimi_jan>.

8. SENGBUSCH, Peter. *Klassische Genetik. Frühe Erfahrungen und Überblick über Arbeiten bis zur Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln*. Botanik online [online]. 2004 [cit. 2019-04-17].
Dostupné z WWW: <<http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d08/08.htm>>.
9. VÁCHA, František. *Biochemie II: Lidský genom* [pdf]. České Budějovice, 2011.
10. *Genom je soubor všech genů. Od počátku s DNA* [online]. 2013 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z WWW: <<https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/DNA-FTBcz/pages/3-39-genom.html>>.
11. *Karyotyp z periferní krve*. In: *Laboratoř lékařské genetiky Karlovy Vary: Cytogenetické vyšetření karyotypu* [online]. ©2011 [cit. 2019-04-17].
Dostupné z WWW: <http://www.genetikav.cz/v_cyto.html>.
12. *K čemu slouží polymerázová řetězová reakce?*. In: *Odpovědi: Otázky* [online]. ©2019, červen 2017 [cit. 2019-04-17].
Dostupné z WWW: <<https://www.odpovedi.cz/otazky/k-cemu-slouzi-polymerazova-retezova-reakce>>.
13. *Uložení DNA v buňce v podobě chromozomů*. In: *Biologie a genetik pro bakaláře: Cytogenetika* [online]. 2014 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z WWW: <<https://cit.vfu.cz/opvk2014/?title=teorie-cytogenetika>>.

Bakalářské práce

1. MARENČÍK, Michal. *Genetické umění*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Doc. Mgr. Jana Horáková, Ph.D.
2. KOTRČOVÁ, Eva. *Polymorfismus STR lokusů na X chromozomu a jejich využití ve forenzní genetice*. Praha, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce RNDr. Pavel Čapek.

Videopořady

1. ŠIMKOVÁ, Halina. Místo činu – Právě tady pro forenzní vědu všechno začíná. In: *Expertiza* [online pořad]. Režie Martin TŘEŠŇÁK. STREAM.CZ, 16. 9. 2018. Dostupné též z WWW: <<https://www.stream.cz/expertiza/10027765-misto-cinu-prave-tady-pro-forenzni-vedu-vsechno-zacina>>.
2. ŠIMKOVÁ, Halina. Náš otisk – Lze spáchat zločin tak, abychom nezanechali žádné stopy?. In: *Expertiza* [online pořad]. Režie Martin TŘEŠŇÁK. STREAM.CZ, 23. 9. 2018. Dostupné též z WWW:

- <<https://www.stream.cz/expertiza/10027934-nas-otisk-lze-neco-spachat-tak-abychom-nezanechali-zadne-stopy>>.
3. ŠIMKOVÁ, Halina. Krev – Lze pachatele usvědčit pomocí krevní skupiny? Brutální vražda studentky byla klíčovým milníkem. *In: Expertiza* [online pořad]. Režie Martin TŘEŠŇÁK. STREAM.CZ, 30. 9. 2018. Dostupné též z WWW: <<https://www.stream.cz/expertiza/10028096-krev-lze-pachatele-usvedcit-pomoci-krevni-skupiny-brutalni-vrazda-studentky-byla-klicovym-milnikem>>.
 4. ŠIMKOVÁ, Halina. Identifikace – Analýza DNA má jednu zásadní skulinu. *In: Expertiza* [online pořad]. Režie Martin TŘEŠŇÁK. STREAM.CZ, 7. 10. 2018. Dostupné též z WWW: <<https://www.stream.cz/expertiza/10028237-identifikace-analyza-dna-ma-jednu-zasadni-skulinu>>.
 5. ŠIMKOVÁ, Halina. Chiméry – Žijí mezi námi, ale nejspíš je ani nepoznáte. *In: Expertiza* [online pořad]. Režie Martin TŘEŠŇÁK. STREAM.CZ, 21. 10. 2018. Dostupné též z WWW: <<https://www.stream.cz/expertiza/10028480-chimery-ziji-mezi-nami-ale-nejspis-je-ani-nepoznate>>.
 6. ŠIMKOVÁ, Halina. Příbuzní vraha – Brutální vraždu dívky vyřešila až pokročilá analýza DNA. *In: Expertiza* [online pořad]. Režie Martin TŘEŠŇÁK. STREAM.CZ, 4. 11. 2018. Dostupné též z WWW: <<https://www.stream.cz/expertiza/10028747-pribuzni-vraha-brutalni-vrazdu-divky-vyresila-az-pokrocila-analyza-dna>>.

Ostatní zdroje

Kromě výše uvedených zdrojů byly při zpracování bakalářské práce využity následující materiály:

- rozhovor s panem kpt. RNDr. Patrikem Kiliánem, molekulárním genetikem a laboratorním technikem na pracovišti Odboru kriminalistické techniky a expertíz – pracoviště genetiky v areálu policie České Budějovice Plavská 2, ze dne 22. 10. 2018.

Seznam zkratk

A – adenin

AMK - aminokyseliny

C - cytosin

DNA - deoxyribonukleová kyselina

FBI - Federální úřad pro vyšetřování (anglicky Federal Bureau of Investigation)

G – guanin

NK – nukleová kyselina

PCR - polymerázová řetězová reakce

PO₄³⁻ - zbytek kyseliny fosforečné

STR - krátké tandemové repetitivní sekvence (anglicky Short Tandem Repeats)

T - thymin

UV záření - ultrafialové záření

Seznam tabulek a grafů

Tab. 1: Sada chromozomů, počet genů přítomných v jednotlivých chromozomech a počet bází v lidském genomu.

Tab. 2: Příklad přepisu grafické podoby DNA profilu do alfanumerického řetězce (sledováno 15 znaků).