



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Práce s obrazovým archivačním systémem (PACS)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: **SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ**

Autor: Čeněk Jírovec

Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Freitinger-Skalická, Ph.D.

České Budějovice 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „Práce s obrazovým archivačním systémem (PACS)“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 2. 5. 2022

.....

Čeněk Jírovec

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Mgr. Zuzaně Freitinger Skalické, Ph.D. za její čas, ochotu a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat Bc. Radimu Hučkovi ze společnosti ICZ a. s. za poskytnutá data, jejichž výzkumem jsem se zabýval.

Práce s obrazovým archivačním systémem (PACS)

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o důležitosti role archivačních obrazových systémů ve zdravotnictví a jejich využitím v praxi.

Teoretická část popisuje obecné fungování a strukturu těchto systémů. Zabývá se jejich rozdělením, zabezpečením, flexibilitou, uživatelskou obsluhou, výhodami a nevýhodami jednotlivých řešení.

Cílem praktické části bylo zhodnotit statistickou deskriptivní a matematickou analýzou úspěšnost implementace systému pro distribuci zdravotnických obrazových dat v České republice. Dominantním systémem pro distribuci obrazových dat je systém ePACS. Data pro statistické šetření mi byla poskytnuta společností ICZ a.s., která daný systém spravuje. Sledovanými statistickými znaky byly počty obrazových studií a objem dat přenesený daným systémem v závislosti na čase. Stanovené hypotézy byly ověřované neparametrickým testováním, lineární regresní a korelační analýzou. Výsledky šetření byly vyjádřeny formou grafů a tabulek pro větší přehlednost.

Přínosem bakalářské práce je zmapování aktuálního stavu digitalizace zdravotnictví pro Ministerstvo zdravotnictví České republiky a společnost ICZ a.s., kteří se na vzniku a chodu systému ePACS podílely. Digitalizace českého zdravotnictví byla zhodnocena v diskuzi a závěru práce.

Klíčová slova

PACS; DICOM; digitalizace; radiologie; ePACS

Working with picture archiving system (PACS)

Abstract

The bachelor thesis deals with the importance of the role of archival image systems in healthcare and their use in practice.

The theoretical part describes the general operations and structure of these systems. It deals with the distribution, security, flexibility, user service, advantages and disadvantages of individual solutions.

The aim of the practical part was to evaluate the success of the implementation of a particular system for the distribution of medical image data in the Czech Republic by statistical descriptive and mathematical analysis. The dominant system for image data distribution is the ePACS system. I was provided the data for the statistical survey by ICZ a.s. which manages the system. The statistical features monitored were the numbers of image studies and the amount of data transferred by the system over time. The established hypotheses were verified by non-parametric testing, linear regression and correlation analysis. The results of the survey were expressed in graphs and tables for greater clarity.

The benefit of the bachelor's thesis is to map the current state of healthcare digitization for the Ministry of Health of the Czech Republic and ICZ a.s., which participated in the creation and operation of the ePACS system. The digitization of Czech healthcare was evaluated in the discussion and conclusion of the thesis.

Key words

PACS; DICOM; digitization; radiology; ePACS

Obsah

1	Teoretická část	9
1.1	Vývoj archivace a přenosu obrazových dat	9
1.2	PACS.....	9
1.3	DICOM standard.....	10
1.4	Architektura PACS (Pracovní postup PACS workflow)	10
1.5	Komplexní PACS řešení	11
1.5.1	Marie PACS.....	11
1.5.2	ICZ AMIS*PACS FlexServer G2®	14
1.5.3	Dicompass Gateway	16
1.5.4	JiveX	19
1.6	PACS elektronické sdílení dat	20
1.6.1	ePACS.....	21
1.6.2	MeDiMed.....	25
1.6.3	ReDiMed.....	26
2	Cíle práce a hypotézy	29
3	Metodika	30
4	Výsledky	32
4.1	Formulace statistického šetření	32
4.2	Škálování.....	35
4.3	Uspořádání elementárního statistického zpracování	36
4.4	Grafické vyjádření elementárního statistického zpracování	37
4.5	Výpočet empirických parametrů	44
4.6	Deskriptivní statistika pro potřebu matematické statistiky	48
4.7	Neparametrické testování:.....	51
4.8	Lineární regresní analýza	57
4.9	Sdružená regresní analýza.....	58

4.10	Lineární korelační analýza	60
5	Diskuze	63
6	Závěr	66
7	Seznam použité literatury	67
8	Přílohy.....	69
9	Seznam obrázků a tabulek	72
10	Zkratky.....	75

Úvod

Systémy archivace zdravotnických obrazových dat a distribuční systémy se staly nepostradatelnými komponenty struktury zdravotnických zařízení. Mezi důležité vlastnosti systému se řadí dostupnost, zabezpečení, identifikace uživatelů, flexibilita, a pokud systém nedosahuje určitých vlastností negativně to ovlivňuje jak radiologické oddělení, tak i chod celého zdravotnického zařízení.

Z hlediska práce radiologického asistenta systémy zjednodušili jeho administrativní činnost. Umožnili tak úsporu času a zkvalitnění péče o pacienta. Ze strany nemocniční struktury ulehčili procesy distribuce. Zdravotnická obrazová data mohou být dostupná na kterékoliv pracovní či diagnostické stanice v celém zařízení v kterémkoliv čase od uložení do archivu.

Jelikož jsou PACS systémy často implementovány v podobě subsystému nemocničního informačního systému, není pro běžného uživatele vždy zcela zpozorovatelné, že právě s obrazovým archivačním systémem pracuje. Následkem je podceňování a nízké povědomí o těchto systémech ze strany radiologických asistentů i lékařů.

Téma jsem si zvolil, protože mě daná problematika PACS zajímá. Digitalizace je v současné době velmi diskutovaným tématem. Avšak digitalizace veřejné správy v České republice oproti ostatním státům mírně zaostává. Systémy PACS jsou nedílnou součástí nastupujícího trendu telemedicíny. Proto jsem se rozhodl zkoumat nejen jednotlivé PACS řešení, ale i zhodnotit digitalizaci českého zdravotnictví.

Distribuční obrazové systémy slouží pro komunikaci mezi jednotlivými zdravotnickými zařízeními, jejichž archivační systémy jsou nekompatibilní. Posílání zdravotnických obrazových dat na velké vzdálenosti umožnilo rozvoj teleradiologie, jako například konzultace specializovaných externích lékařů, kteří pro výkon svého povolání nemusí zdravotnické zařízení vůbec navštívit.

1 Teoretická část

1.1 Vývoj archivace a přenosu obrazových dat

Informační technologie tvoří nedílnou součást zdravotnictví, jejich historie je však mnohem kratší. Stojí za tím stále zrychlující vývoj elektroniky, mikro a nanotechnologií (Münz, 2011).

V roce 1979 Profesor Heinz U. Lemke uvedl myšlenku zobrazit radiologické snímky na monitoru počítače. Následně byl Dr. Paulem Coppem představen pojem „digitální radiologie“, který se z Ameriky rozšířil do Evropy. V Evropě se od roku 1983 každoročně koná konference EuroPACS, která představuje hnací sílu Evropského PACSu (Huang, 2010).

Významný zlom pro distribuci dat přišel s rozvojem internetu (World Wide Web) v druhé polovině 90. let. Internet přinesl možnost posílat data na velkou vzdálenost. V 90. letech došlo k výraznému zlepšení rychlosti přenosu dat a síťová infrastruktura byla stále dostupnější. Elektronická dokumentace ve zdravotnictví začíná převažovat, což umožňuje efektivnější administrativní činnost (Münz, 2011).

1.2 PACS

System pro archivaci a distribuci obrazových zdravotnických dat (Picture Archiving and Communication System) je zdravotnická zobrazovací technologie představující datové úložiště umožňující snadný přístup k obrazovým snímkům z různých typů modalit (Choplin, 1992).

Data jsou přenášena a archivována digitálně, což eliminuje manuální archivaci nebo distribuci filmových obalů. Univerzálním formátem pro ukládání a přenos snímků PACS je DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) (Huang, 2004).

1.3 DICOM standard

Různorodost modalit a řešení medicínských zařízení různými výrobci, vyžadovala řešení, z důvodu nesoučinnosti systémů mezi sebou. Proto se standardizoval formát digitálních obrazových informací a standard komunikace DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Formát DICOM je celosvětově uznávaný formát zdravotnických obrazových dat, který usnadňuje spolupráci zařízení, tím že definoval síťový protokol, formuloval třídy služeb související s distribucí dat a vytvořil procesy identifikace informačních objektů, distribuovaných a užívaných v komunikační síti. DICOM neslouží jen k definici informačních objektů pro obrazové informace, ale také pro zdravotnická data, popisy studií, zprávy a další datové třídy. DICOM standart je soubor kontinuálně zpracováván a aktualizován pracovními skupinami spadajícími pod DICOM Standart Committee. DICOM Standart Committee je mezinárodní standardizační organizace řídící úpravu DICOM standartu, vytváří a udržuje mezinárodní standardy pro komunikaci biomedicínských diagnostických a terapeutických dat. Cílem DICOM je dosažení kompatibility a zlepšení efektivity workflow mezi zobrazovacími systémy a dalšími informačními systémy ve zdravotnictví v globálním měřítku. Úspěch formátu DICOM stojí na spolupráci výrobců zobrazovacích systémů, kteří standard DICOM aplikovali do svých systémů a podílejí se na jeho dalším rozvoji (Huang, 2010, MITA, nedatováno).

1.4 Architektura PACS (Pracovní postup PACS workflow)

V systému PACS představují významnou roli čtyři složky:

- zobrazovací modalita
- síť pro přenos dat
- archiv pro ukládání dat
- pracovní stanice pro manipulaci s obrazovými daty

Systém PACS se skládá z mnoha zařízení, které umožňují jednotlivé kroky postupu dat. Vznik dat se odehrává v zobrazovací modalitě. Mezi radiologické zobrazovací modalita řadíme například počítačovou tomografii (CT), sonografii, magnetickou rezonanci (MRI)

a modalitý nukleární medicíny. Obrazová data vznikají i v dalších modalitách, jako například endoskopie, i s těmito daty umí systém PACS pracovat.

Modalitou produkovaná data jsou odesílána na pracovní stanici (QA), která slouží jako kontrolní bod kvality obrazu a umožňuje úpravu obrazu a dalších atributů. Pokud je obrazová studie v pořádku radiologický asistent odešle studii do systému PACS, kde dochází k uložení dat. Následně je obrazová studie vyhledána radiologem prostřednictvím čtecí pracovní stanice. Čtecí pracovní stanice slouží k přezkoumávání a stanovení diagnóz podle obrazových informací. Čtecí pracovní stanice je vybavena softwarem pro závěrečné diagnózy a CD/DVD vypalovací mechanikou (Huang, 2010).

1.5 Komplexní PACS řešení

1.5.1 Marie PACS

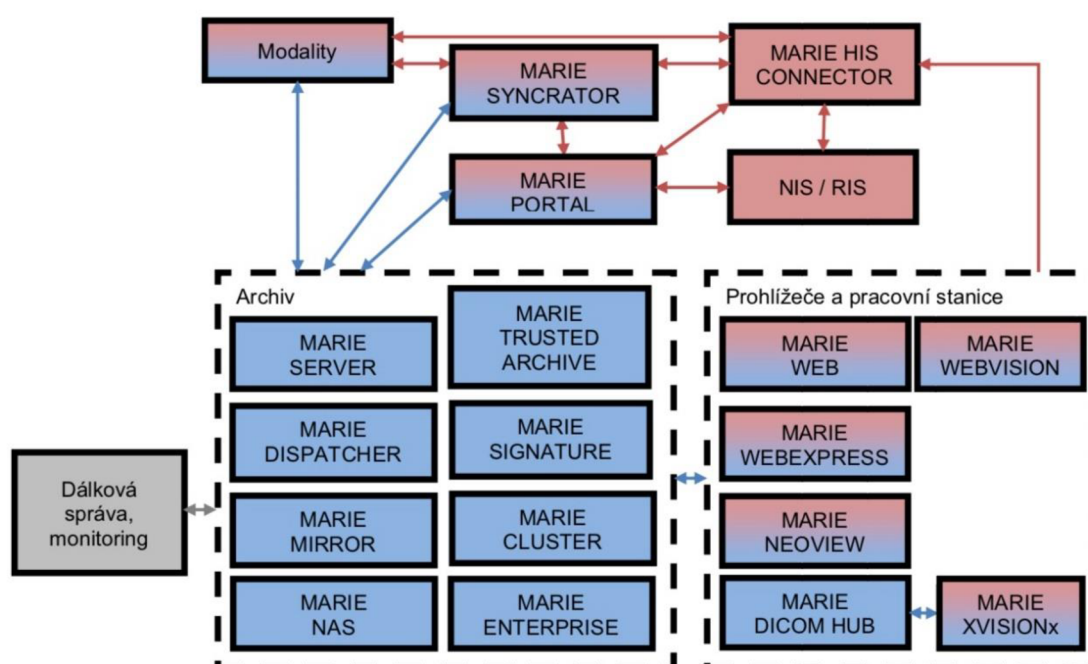
Systém Marie PACS je určen k vytvoření zastřešovacího systému pro oběh DICOM dat v rámci nemocnice. Systém lze používat samostatně i jako subsystém nemocničního informačního systému (NIS), případně radiologického informačního systému (RIS). Subsystém NIS/RIS má možnost sdílet osobní data pacientů a vkládat je do pracovních seznamů modalit (MWL – Modality WorkList) nebo odeslat popis pacientova vyšetření z NIS/RIS do pracovní stanice, bez nutnosti otevření klient NIS/RIS (OR-CZ spol. s.r.o., 2021).

Historie Marie PACS

Marie PACS je produktem společnosti OR-CZ, která vstoupila na Český trh už v roce 1990. Systém Marie PACS byl představen v roce 2003. V roce 2004 je projekt oceněn titulem IT projekt roku a v roce 2006 získává certifikát CE. Do kategorie IIb zdravotnických prostředků byl systém zařazen v roce 2009. Společnost OR-CZ nyní spravuje „Evropské servisní centrum MARIE PACS“, které monitoruje veškeré instalované systémy v Evropě. V České republice je Marie PACS dominantním systémem a je používán u více než 70 zdravotnických zařízení (Kadeřábek a Bruthans, 2015a, OR-CZ spol. s.r.o., nedatováno).

Struktura řešení Marie PACS

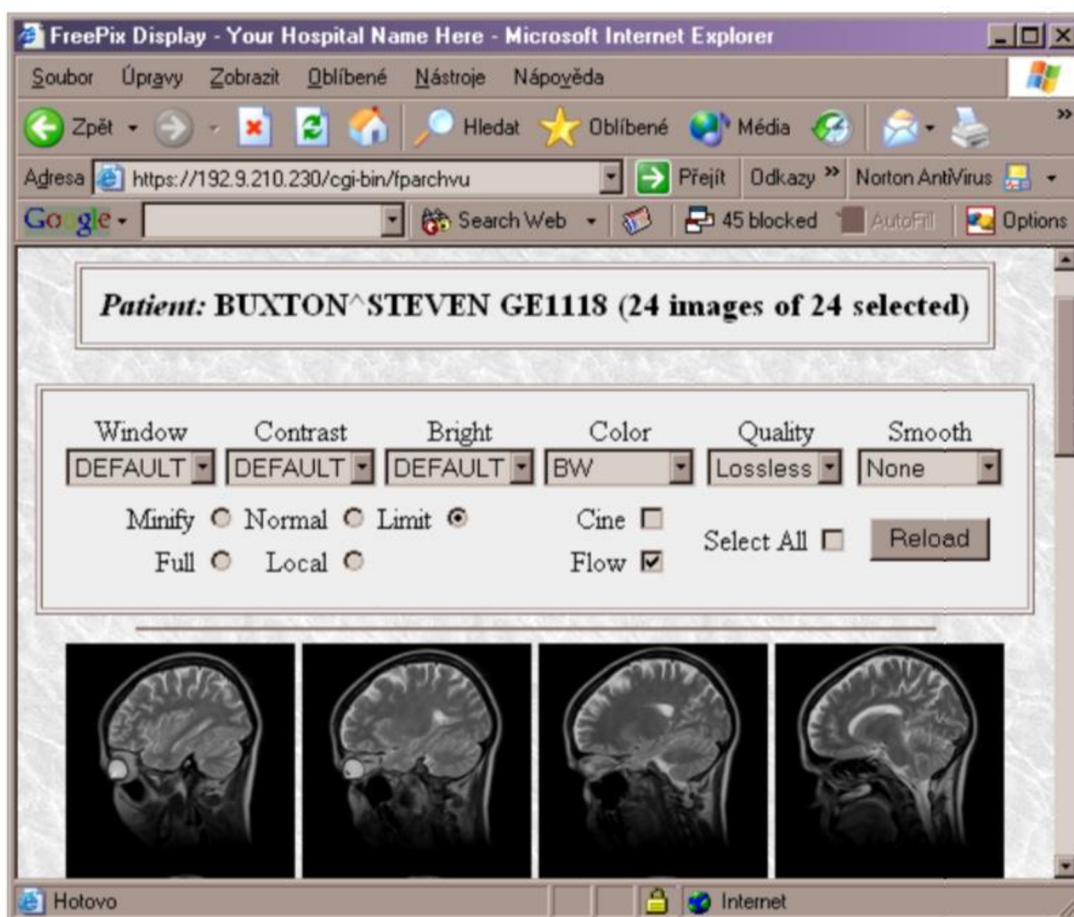
Otevřenost technologie umožňuje integrovat jakékoliv DICOM uzly (lokální archivy, modality, pracovní stanice třetích stran). Struktura systému je modulární, podle potřeb volíme konfiguraci s ohledem na použitéch modulech a jejich nastavení. Systém je schopen pracovat jako distribuovaná aplikace fungující přes několik serverů. Tato konfigurace poskytuje vlastnost vysoké stability a částečný přístup k datům při výpadku určitého segmentu, či síťové propojenosti (OR-CZ spol. s.r.o, 2021).



Obrázek č. 1: Přehled hlavních modulů Marie PACS (OR-CZ spol. s.r.o, 2021)

Přístup k datům

Klinický a diagnostický náhled na uložené obrazové data je přístupný standartním DICOM prohlížečem, DICOM pracovní stanicí, ale i webovým prohlížečem (Internet Explorer, Mozilla). Zadáním specifických kombinací klíčových slov generujeme seznamy, které nám obrazy vyšetření zpřístupňují. Dané obrazy vyšetření se zobrazují v podobě miniatur, po zvolení určitého obrazu vyšetření se zobrazí v plné velikosti a v plném rozlišení (OR-CZ spol. s.r.o, 2021).



Obrázek č. 2: Zobrazení výběru Marie PACS (OR-CZ spol. s.r.o, 2021)

Archivace

Obrazová data jsou uložena v lokálních pracovních stanicích a především v archivačním serveru MARIE PACS. Tam jsou informace uloženy ve vícevrstvé struktuře ovládanou logickou databází. Obrazy jsou ukládány v podobě souborů a při dlouhodobé archivaci komprimujeme bezeztrátově se schopností budoucího přesunutí do místa dlouhodobé archivace (páska, NAS – Network Area Storage). Systém je možný nastavit do režimu omezené doby archivace, kdy podle předem určeného časového limitu automaticky odmazává obrazové studie starších období. Uvolňuje tak úložiště pro data nová. Automatické odmazávání dat lze nastavit i na závislosti dosažení meze zahnění diskové kapacity, zpravidla jde o 90% maximální kapacity (OR-CZ spol. s.r.o, 2021).

1.5.2 ICZ AMIS*PACS FlexServer G2®

ICZ AMIS*PACS FlexServer G2® archivuje krátkodobě i dlouhodobě obrazovou, textovou i multimediální zdravotnickou dokumentaci pacienta. Snadno se implementuje se stávajícími nemocničními systémy. PACS řešení poskytované jako jeden funkční celek (HW + SW) nebo nainstalované do stávajícího IT prostředí zdravotnického zařízení. Mimo všechny klasické funkce moderního PACS systému umožňuje zpracovat i jiné typy zdravotnické dokumentace a opatřovat ji digitálními podpisy a časovými razítky. Systém je sestaven modulárně, to umožňuje nakonfigurovat různé řešení tak, aby se přizpůsobil požadavkům a možnostem daného zdravotnického zařízení a plně se integroval do stávající datové infrastruktury (ICZ a.s., 2017a).

Webové rozhraní

Webové rozhraní APFS je ústředním prostředkem pro administraci, sledování chodu systému a konfigurační činnost administrátora. Zprostředkovává rychlý přístup a umožňuje základní činnost s obrazovými daty a patientskými iniciály.

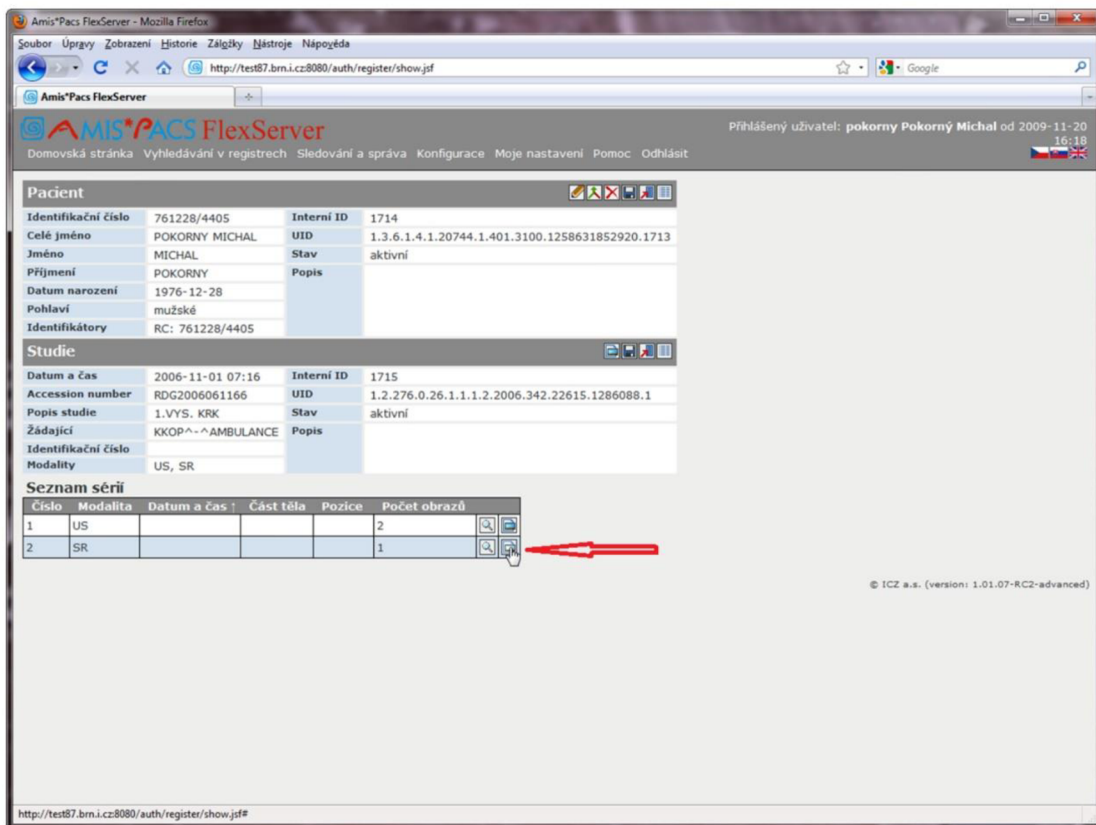
ICZ AMIS*PACS FlexServer G2® lze plně integrovat do toku dat mezi jednotlivými informačními a obrazovými systémy (NIS/RIS/PACS) prostřednictvím mezinárodního standardu HL7. To umožňuje přijímat z NIS žádanky, vygenerovat DICOM modality worklist a ukládat diagnostické nálezy formou strukturovaných reportů ke konkrétní studii pacienta. Formát HL7 také plní funkci zaznamenávání změn v registru pacientů a promítává tyto změny ve vlastních datových strukturách (ICZ a.s., 2017a).

DICOM prohlížeč

Do systému je možné začlenit licenční server pro prohlížeče Dicompass, díky spolupráci obou firem. Na jednom místě tak můžeme ovlivňovat licence prohlížeče a uživatele dostávající se jejich prostřednictvím k PACS archivu. Daní uživatelé mají autentizovaný přístup a skrze hardwarový klíč je možné utvořit bezpečné vzdálené připojení k PACS archivu (ICZ a.s., 2017a).

LDAP

Uživatel samotný může sám provádět autentizaci jiných uživatelů vzdáleným LDAP/AD serverem. To usnadňuje práci systémovým administrátorům a přístupové údaje uživatelů spravujeme z jednoho místa pro více informačních systémů, což snižuje požadavky na správu infrastruktury (ICZ a.s., 2017a).



Obrázek č. 3: Uživatelské prostředí AMIS*PACS FlexServer G2® (Raška, 2011)

Zabezpečení

Bezpečnost dat zaručuje definování uživatelských rolí (práv). Systém obsahuje konfigurační nástroj pro jejich správu a chrání tak archivovaná data před zneužitím. Další bezpečností složkou je modul auditování, který zaznamenává veškeré čtecí i zápisové manipulace s daty, které uživatelé v archivu provádí. Modul „řízení přístupu“ pak umožňuje nastavit přístupová práva uživatelů k určitému datu (ICZ a.s., 2017a).

Elektronický podpis a časové razítko

System ukládá obrazová data opatřená elektronickým podpisem a tím zabraňuje neoprávněným nakládáním s těmito daty. Pokud ukládáme jinou zdravotnickou dokumentaci lze ji opatřit časovým razítkem (ICZ a.s., 2017a).

Dostupnost

Otázku dostupnosti lze řešit instalací ICZ AMIS*PACS FlexServer G2® ve formě zdvojeného řešení (primární a sekundární server). Oba servery jsou synchronizovány a při omezení funkce primárního serveru přebírá jeho funkci sekundární server. Nejvýhodnějším řešením dostupnosti je ovšem „virtualizace“. Instalováním ICZ AMIS*PACS FlexServer G2® do virtuálního prostředí dosáhneme vysoké úrovně dostupnosti a provozu bez odstávek. ICZ instaluje systém do nejrozšířenějších virtuálních prostředí (VMware, Hyper-V) (ICZ a.s., 2017a).

1.5.3 Dicompas Gateway

Jde o moderní systém pro archivaci, sdílení, distribuci a zobrazení obrazové dokumentace ve formátu DICOM. Unikátní je integrace PACS archivu, DICOM webového prohlížeče a jiných produktů do jednoho prostředí. To zaručuje jednoduchou integraci všech produktů a předávání informací mezi nimi. Uživatel tak obsluhuje v jednom prostředí více produktů na jednou. Podle přidělených práv, je například schopen editace patientských údajů či převedení špatně nasnímaného vyšetření k jinému pacientovi přímo z prostředí počítače. Celý systém je certifikován jako zdravotnický prostředek třídy IIb.

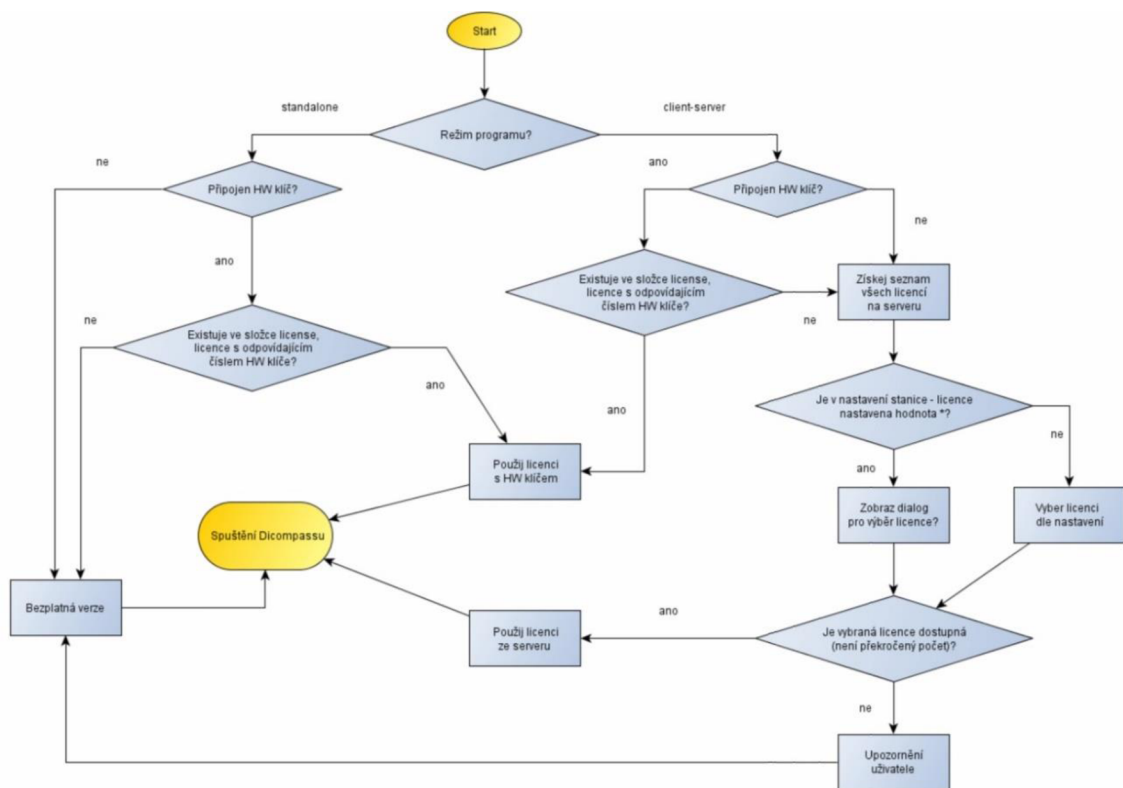
Hlavní části systému tvoří Dicompas Gateway WebViewer, Dicompas Gateway Archiv a Dicompas Gateway Proxy (Medoro s.r.o., © 2022).

Dicompas Gateway WebViewer

Multiplatformní webový prohlížeč komunikující prostřednictvím protokolu DICOM i s archivy od dalších poskytovatelů. Dochází ale ke ztrátě výhod, které se integrací s Dicompas Gateway Archivem nabízí. Mezi výhody patří možnosti editace údajů pacienta přímo v prohlížeči, jednotná databáze údajů pacientů, kategorizace

archivovaných obrazových studií. Systém funguje na bezinstalační a bezstopé technologii. Mezi přednosti patří:

- Individuální nastavitelnost prostředí aplikace na úrovni uživatele.
- On-line nebo off-line konzultace.
- Centrální správa konfigurace všech uživatelů a stanic z jednoho místa.
- Podpora různých zobrazovacích zařízení (tablet, telefon), dotykových gest
- Vlastnosti prohlížeče umožňují rychlé načtení souborů do paměti, systém dokáže zobrazit snímky v průběhu načítací doby, není tak omezený rychlostí načtení (Medoro s.r.o., © 2022).



Obrázek č. 4: Systém přidělování licencí Dicompas (Medoro s.r.o., 2018)

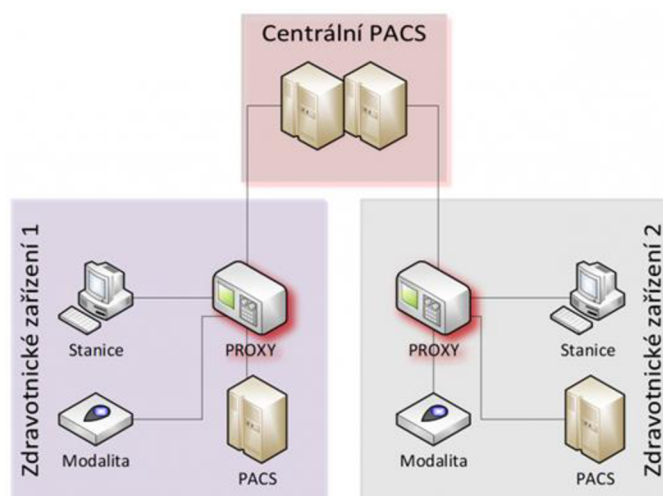
Dicompas Gateway Archiv

Plnohodnotný PACS archiv ukládající a distribuující obrazová data z většiny modalit DICOM zařízení. Podporuje většinu SOP class. Jedná se o modulární systém. Ubíráním nebo přidáváním modulů můžeme zásadně ovlivnit vlastnosti archivu. Základními moduly jsou:

- Integrace – modul sloužící pro navázání spojení Gateway s dalšími IS.
- Prefetch – automatické načítání studií pacienta staršího časového data.
- Autorouting – automatické odesílání studií do předem definovaných míst.
- Správa přístupu k archivovaným datům.
- Kompatibilita s AD/LDAP – připojení managerů identity a přebrání hesel.
- Kompresce – schopnost komprimovat uložená data.
- Audit – auditování veškerých provedených manipulací v rámci Gateway
- Aplikační prefetching – automatické přeposílání studie na určené stanice.
- Replikace – modul slouží pro duplikaci dvou serverů, které jsou provozovány v módu double. (primární a sekundární). Během nutných oprav či v případě výpadku primárního serveru dochází k přechodu provozu na server sekundární.
- Kategorizace – schopnost obrazové studie označovat štítky, tagy, které napomáhají zrychlení vyhledávání studií podobného charakteru (Medoro s.r.o., © 2022).

Dicompass Gateway Proxy.

Integrační nástroj plnící požadavky, které nelze splnit prostřednictvím prohlížeče či archivu. Platforma umožňující například transparentní přístup k více archivům, bez nutnosti volby takové možnosti uživatelem. Dále umožňuje ukládat obrazové studie do více archivů najednou, aniž by ručně rozdělával ukládání. Vytváří tím bránu přístupnosti krajského PACS řešení (Medoro s.r.o., © 2022).



Obrázek č. 5: Dicompass Gateway Proxy (Medoro s.r.o., © 2022)

1.5.4 JiveX

Systém PACS s názvem JiveX spravuje německá společnost VISUS Health IT GmbH Transfer. Vzhledem k flexibilní licenční politice výrobce, je tento systém vhodný k aplikaci na malých (poliklinika) i velkých zdravotnických zařízeních. Společnost dosáhla více než 100 instalací systému JiveX na území České republiky. Za nejnovější verzi JiveX 5.0. byla udělena cena Red Dot Award 2016 za design v oblasti uživatelský interface. V roce 2019 a 2020 získal tento systém ocenění společnosti KLAS research jako nejlepší evropský PACS systém (Formei s.r.o., © 2022).

Struktura řešení JiveX

Jádrem systému je komunikační server a další funkcionalita je dotvářena prostřednictvím modulů. JiveX Server řídí databázi systému, datový archiv a zabezpečení uživatelů, spravuje komunikaci s modalitami a jinými prvky v DICOM síti. JiveX Server je kompatibilní se všemi typy prohlížečů softwarů JiveX, které můžeme v rámci PACS systému využívat. Jedná se o standartní klinický nebo diagnostický prohlížeč, včetně 3D softwaru, web klient, speciální mamografický prohlížeč s funkcí tomosyntézy, prohlížeč mobilních zařízení a další, které lze navolit selektivně dle potřeb konkrétních pracovišť.

Load-balancing je funkce vhodného zatížení jednotlivých komponent po umožnění několikanásobné instalace. Dochází i k automatickému zálohování funkcionalit serveru.

Software prohlížeče JiveX je zcela konfigurovatelný podle jednotlivých potřeb uživatele nebo skupiny uživatelů. Lze volit aktivní funkce pro každý typ snímků, přizpůsobovat si kontextové menu, měnit seznam pacientů a přednastavit prohlížečí protokoly určující způsob zobrazení snímku. Pracovní prostředí systému JiveX je možné přizpůsobit i velikost fontu či plynule změnit odstín pozadí (Formei s.r.o., © 2022).

Koncept HCM

Systém Jivex následuje směr ve slučování medicínských oborů a interdisciplinární přístup v léčbě pacientů. Novým přístupem dochází v medicíně k vzniku velkého množství heterogenních dat, která není lehké interpretovat prostřednictvím standartních PACS systémů.

System využívá rozdílného přístupu, který nazýváme Healthcare Content Management (HCM). Koncept HCM je velice efektivní nástroj správy velkých objemů dat a jejich snadnější interpretaci. Základem přístupu je pacient, proto software automaticky zobrazí data konkrétního pacienta. Data rozděluje do kategorií podle odlišných kritérií zvolených uživatelem systému v závislosti na jeho potřebách a organizace práce.

V rámci konceptu HCM provozuje JiveX více typů komunikačních profilů pro radiologické i neradiologické modality. Umožňuje tak převedení různých dat do formátu DICOM. Jedná se o např. video signály, dokumenty, EKG. Pro dosavadní uživatele systému je snadný přechod na koncept HCM, jelikož je HCM dodáván jako nadstavba radiologického PACS systému JiveX (Visus Health IT GmbH, nedatováno).

Řešení pro polikliniky

JiveX zahrnuje speciální funkce pro zabezpečení přístupu k datům na zdravotnických zařízeních, kde v rámci jedné PACS sítě pracují odlišné samostatné subjekty používající různé klinické informační systémy. System automaticky tvoří worklist dle žádanky vytvořené z konkrétního pracoviště a v seznamu obrazových studií omezuje přístup uživatelů k datům jen na pacienty, které byli indikováni na vyšetření samotným pracovištěm. V případě spolupráce odlišných pracovišť může oprávněný uživatel v rámci RTG oddělení udělit přístup ke konkrétní studii i jinému lékaři (Formei s.r.o., © 2022).

1.6 PACS elektronické sdílení dat

Současná řešení sdílení obrazových dat rozdělujeme podle způsobu nakládání se sdílenými daty

- Přímé odeslání dat adresátovi bez nutnosti přítomnosti trvalého či dočasného úložiště mimo zasílající a přijímající zdravotnická zařízení – například v České republice jde o systém ePACS nebo systém DICOM-e-mail
- Data jsou ukládána na úložiště třetích stran
 - Trvale uložená data, ke kterým mohou autorizovaná zdravotnická zařízení bez omezení přistupovat. Realizace přístupu je přenesením:
 - Celé sady dat

- Bezeztrátových modifikovaných dat
- Data uložená dočasně, uložená do doby než se cílové pracoviště k serveru připojí a studii si stáhne na vlastní úložiště dat. Po dokončeném stažení dat je obrazová studie z dočasného úložného serveru vymazána (ReDiMed) (Kadeřábek a Bruthans, 2015).

1.6.1 ePACS

Historie

Projekt ePACS® od roku 2007 koordinovala Všeobecná fakultní nemocnice v Praze se záštitou Ministerstva zdravotnictví České republiky. V začátcích na projektu pracovali pražské nemocnice pro konzultace neurochirurgických pracovišť. Postupně se pak připojovaly další nemocnice z celé České republiky, z důvodu využívání projektu v mnoha dalších oblastech. Následně se systém ePACS® stal nedílnou součástí práce radiologů, radiologických asistentů a dalších lékařských specialistů, pracujících s obrazovými studiemi. Důkazem užitečnosti projektu ePACS® bylo překonání objemu dat 100 TB transportovaných za rok (E.ICZ a.s., nedatováno).

Současnost

Projekt ePACS® slouží pro rychlou a snadnou výměnu obrazových zdravotnických dat mezi poskytovateli zdravotnické péče, včetně privátních lékařů. Jedná se o stabilní, bezpečnou, rychle dostupnou a spolehlivou platformu. S projektem aktuálně spolupracuje 565 poskytovatelů zdravotnických služeb a vědeckých nebo školských zařízení v České republice i v zahraničí a jejich počet kontinuálně roste.

Fungování projektu ePACS® zajišťuje přední český poskytovatel řešení a služeb pro zdravotnictví, společnost ICZ a.s. Spravuje technický provoz a rozvoj řešení zvyšujících se nárokům na kybernetické zabezpečení pro nového poskytovatele, kterým je od roku 2020 společnost E.ICZ a.s. (E.ICZ a.s., nedatováno).

Legislativa

Služba ePACS® je poskytována v souladu s platnými legislativními předpisy a normami, které se vážou s uchováváním, distribucí a manipulací se zdravotnickou dokumentací (zejména zákony č. 372/2011 Sb., č. 373/2011 Sb., č. 374/2011 Sb., vyhláškou č. 98/2012 Sb.) a naplňuje všechny požadavky Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů („GDPR“) (E.ICZ a.s., nedatováno).

Výhody elektronického přenosu obrazové zdravotnické dokumentace

- Přínosné řešení při akutních stavech pacientů pro specializovaná odborná pracoviště (například konzultace před převozem pacienta na neurochirurgické oddělení).
- Odborná konzultace mezi vysoce specializovanými lékaři na velké vzdálenosti.
- Výměna obrazové dokumentace pacienta během jeho převozu z jednoho zdravotnického zařízení do druhého, platí i pro neakutní stavy.
- Snadné dohledání a doplnění obrazových studií vykonaných před aktuální hospitalizací pacienta.
- Odborné konzultace ve smyslu „druhé čtení“, případně i „první čtení“.
- Diagnostika pacienta s využitím speciálních zobrazovacích metod, které se provádějí jen na některých pracovištích (E.ICZ a.s., nedatováno).

AMIS*PACS CommunicationNode

Základním vybavením pro připojení zdravotnického zařízení do systému ePACS je dedikovaný hardwarový komunikační uzel (CommunicationNode, CN). CN naváže přes virtuální privátní síť (VPN) spojení s centrálním směrovačem (Bruthans, 2019).



Obrázek č. 6: AMIS*PACS CN (ICZ a.s., nedatováno)

Funkce AMIS*PACS CommunicationNode

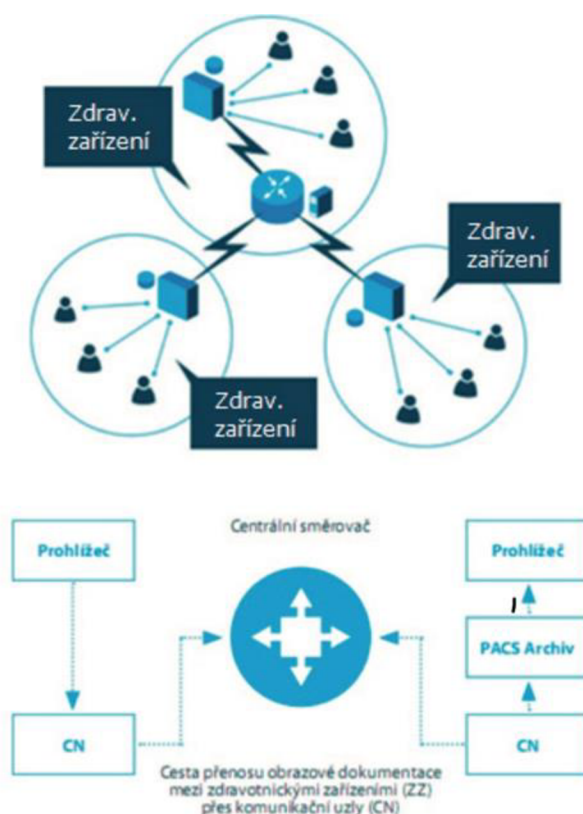
- Bezpečné spojení s centrálním směrovacím uzlem PACS.
- Příjem obrazových dat z libovolného zařízení v rámci jednoho ZZ.
- Odeslání obrazových dat do cílového zdravotnického zařízení.
- Příjem dat dedikovaných zdravotnickému zařízení od centrálního směrovače a následné ukládání v lokálním PACS systému.
- Opatření dat digitálním podpisem.
- Kontrola veškerých DICOM dat kvalifikovaným certifikátem.
- Definice a aplikace oprávnění k využívání popisovaných služeb.
- Poskytnutí informace správci daného zdravotnického zařízení o odeslání/příjmu dat zprostředkovaných komunikačním uzlem, a to ve formě zapisování do logovacího souboru nebo prostřednictvím mailu (ICZ a.s., nedatováno).

Výhody AMIS*PACS CommunicationNode

- Zabezpečení komunikace.
- Začlenění s lokálním PACS systémem a prohlížeckými stanicemi
- Stálý dohled a údržba koncových uzlů a systému dodavatelem služby.
- V případě, že zdravotnické zařízení systém PACS nevlastní, je možné data po určitou dobu ukládat přímo v komunikačním uzlu (ICZ a.s., nedatováno).

Dostupnost AMIS*PACS CommunicationNode

AMIS*PACS CommunicationNode byl od počátku navržen s ohledem na snadnou implementaci ve kterémkoliv zdravotnické zařízení. Zařízení je dodáváno v podobě předinstalovaného hardwaru a softwaru jako jeden celek, který se pouze nakonfiguruje dle konkrétních síťových podmínek daného zdravotnického zařízení. Ke komunikaci mezi uzly je využito běžného internetového připojení (ICZ a.s., nedatováno).



Obrázek č. 7: Schéma komunikace služby ePACS (ICZ a.s., 2017b)

Princip fungování

Obrazový záznam se nachází v odesílajícím zařízení. Přes PACS prohlížeč je vybrán konkrétní příjemce a záznam se odešle přes centrální směrovač k příjemci. U příjemce je záznam ukládán v jeho PACS archivačním systému.

Data tak poskytuje pouze odesílající zařízení a učinit tak může ten kdo má přístup do PACS prohlížeče odesílatele. Současně k datům má přístup pouze osoba, která má

oprávnění obsluhy PACS prohlížeče příjemce. Odesílaná data nejsou po cestě nikde trvale ukládána. Na centrálním směrovači je zaznamenána pouze skutečnost o proběhlém přenosu dat.

Společnost ICZ nabízí řešení i pro drobné uživatele bez vlastního PACS systému. Jedná se o elektronickou schránku s velikostí 2 GB, do které je studie zaslána a osoba s přístupem do schránky ji stáhne do místního počítače. Tato forma slouží hlavně pro privátní lékaře a je zdarma (Bruthans, 2019).

1.6.2 MeDiMed

Historie MeDiMed

Projekt vznikl roku 1995 na Ústavu výpočetní techniky Masarickovy univerzity v Brně (Metropolitan Digital Imaging System in Medicine). Cílem projektu je získávání medicínských obrazových informací pro účely výuky a výzkumu. Vznikají tak podmínky k dostupné výměně obrazových dat s využitím dosavadních prostředků a technického vybavení zdravotnického zařízení. Na konci roku 1999 byl zprovozněn základ řešení systém PACS pro distribuci, zpracování a ukládání obrazových dat (statických i dynamických) v reálném čase, v tomto roce proběhlo připojení prvních typů modalit (ultrazvuk) v rámci Fakultní nemocnice Brno (lokalit Obilní trh - porodnice a Černopolní - dětská nemocnice). Distribuce dat mezi těmito pracovišti probíhala na vyhrazené síti technologie ATM. Až později byl přemístěn na vyhrazená vlákna Brněnské akademické počítačové sítě. Prvním výsledkem projektu byla shoda na nutnosti používání standartu DICOM mezi spolupracujícími subjekty, což podpořilo snahu o nově nakupované diagnostické přístroje fungující na DICOM formátu. Významným počinem roku 2001 bylo vytvoření centrálního serverového pracoviště archivu na Ústavu výpočetní techniky Masarykovy University. Pracoviště je fyzicky oddělené a uzamčené k zajištění maximálního zabezpečení citlivých dat. Pro zahájení rutinního provozu řešení MeDiMed roku 2002 byla nutná existence spolehlivé vyhrazené vysokorychlostní počítačové sítě, která propojuje lokality všech zapojených zdravotnických zařízení (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

MeDiMed struktura sítě

Řešení MeDiMed se odlišuje způsobem archivace dat. Medicínské informace se ukládají mimo areál nemocnice a dostupnost dat zaručuje spolehlivá počítačová síť. Od roku 2003 je do projektu zapojena většina brněnských nemocnic. Zapojili se i vzdálené fakultní a okresní nemocnice v rámci ČR. Významným základem projektu MeDiMed je tzv. metropolitní řešení. Kromě zálohování obrazových dat, zahrnuje i podporu přenosu obrazových dat mezi jednotlivými zdravotnickými zařízeními, která pacient navštíví během zdravotní péče, s možností konzultace vzdálených specializovaných lékařů. Dochází tak k usnadnění a zrychlení stanovení správné diagnózy, eliminace opakovaných vyšetření, šetření finančních prostředků a úspora času pacienta i personálu. K zajištění dostupnosti a spolehlivosti systému bylo na lékařské fakultě Masarykovi University vytvořeno plnohodnotné záložní pracoviště. V roce 2005 obsahoval dlouhodobý archiv projektu 150 000 obrazových studií (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

1.6.3 ReDiMed

Jedná se o komerční řešení distribuce zdravotnických obrazových dat pro vzdálené zdravotnická zařízení, včetně domácích pracovišť radiologů, privátních klinik, akademických pracovišť lékařských fakult. Uzel sítě ReDiMed se nachází na Ústavu výpočetní techniky Masarykovy univerzity a tvoří součást integrovaného řešení podpory zpracování zdravotnických obrazových informací. Systém zprostředkovává distribuci obrazových studií a popisů snímků ve formátu DICOM. K posílaným obrazovým studiím lze připojit další soubory i v dalších formátech (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

Princip fungování

Významným prvkem služby ReDiMed je že nevyžaduje speciální hardware, jde čistě o softwarové řešení. K přenosu je využito standartních datových rozvodů pro obvyklou webovou komunikaci. Rychlost přenosu dat tak závisí na rychlosti a datové propustnosti připojení k internetu u koncových uživatelů. Systém se vyznačuje vysokou flexibilitou. V závislosti na typu a velikosti zdravotnického zařízení používá různé stupně automatizace. Snímky lze odeslat i přes DICOM prohlížeče, prvkem instalace systému je i diagnostický software Tomocon (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

Komponenty ReDiMed řešení

Softwarové řešení je založeno na třech komponentech:

- a) Server ReDiMed – Koordinace komunikace mezi všemi uživateli sítě, vede a aktualizuje seznam autorizovaných uživatelů systému, uchovává data jednotlivých institucí s veřejným klíčem potřebným ke kontrole digitálního podpisu a odstraňuje ze serveru studie po překročení expirační doby
- b) Servis ReDiMed – Děj probíhající na pozadí provádějící přenos informací mezi institucí a serverem, komprimuje a kóduje datový objem, kontroluje digitální podpis a integritu dat přenesených na server, u koncového uživatele obstarává stahování dat ze serveru s navazujícím dešifrováním a dekomprimací. Instalace je umožněna na uživatelskou prohlížečící stanici nebo aplikační server nemocnice.
- c) Konzola ReDiMed – Softwarové uživatelské rozhraní sloužící k ovládání servisu. Umožňuje přípravu archivace a transport obrazových studií z PACSu nebo jiné DICOM modality (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

Zabezpečení

Transport dat je zabezpečen asymetrickým zašifrováním (veřejný a soukromý klíč), data je tak schopen dešifrovat jen adresát. Digitální podpis, kterým jsou označena distribuovaná data, určuje přijímání a odesílání pouze důvěryhodných a známých dat. Vydávat se za jiného uživatele je proto nemožné.

Zašifrované jsou veškeré informace a pro zajištění vyšší úrovně ochrany osobních údajů je zamezeno odesílání nechráněných údajů, či údajů bez elektronické identifikace. Komunikace probíhá pouze mezi dvěma uživateli, není možné sledování komunikace dalšími subjekty.

Odesílatel obrazové snímky nejprve nahraje na server ReDiMed, kde data vyčkají na připojení cílového zdravotnického zařízení, pokud není v on-line režimu. V okamžiku, kdy se cílové zařízení připojí, probíhá stažení studie ze serveru a data uložená na serveru jsou odstraněna. Systém spravuje přenos a zaručuje, že přenášené informace nebudou ze serveru odstraněna, dokud nedojde k úspěšnému stažení a dekódování. Pokud dojde k dočasnému narušení spojení k síti, navazuje přenos tam, kde byl narušen. Při krátkodobém narušení spojení navazuje přenos automaticky, bez správy uživatele.

Odesílaná data se automaticky komprimují beze ztráty informací, ušetří se tak až 50 % objemu dat (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

Dostupnost

Do systému ReDiMed se mohou zapojit všechna domácí i zahraniční zdravotnická zařízení včetně výzkumných pracovišť a samostatně pracujících radiologů. Zapojení obnáší instalaci potřebných programových komponent na straně klienta na počítači s operačním systémem Windows. Konfigurace VPN není nutné. Samotné zašifrování provádí vlastní aplikace. Úspěšná registrace nového uživatele se projeví aktualizací databáze, která je viditelná prostřednictvím uživatelského rozhraní. Koncový uživatel má možnost si během instalace určit, pro které ostatní uživatele bude v systému dohledatelný. Díky tomu je možno vytvořit uzavřené komunikační skupiny. Rychlost internetu uživatele by měla zohledňovat charakter zařízení a předpokládaný objem přenášených dat (Kadeřábek a Bruthans, 2015b).

2 Cíle práce a hypotézy

Cíl práce:

Analýza úspěšnosti implementace systému pro distribuci zdravotnických obrazových dat v České republice.

Hypotézy:

- Hypotéza 1: Měsíční objemy dat budou mít teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu.
- Hypotéza 2: Měsíční počty studií budou mít teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu.
- Hypotéza 3: Měsíční objemy dat a měsíční počty studií pozitivně korelují.

3 Metodika

Metodiku práce popisuje 5 kroků:

a) Analýza dostupné literatury o systémech PACS v České republice a pochopení dané problematiky.

b) Návrh rozčlenění datových souborů

Rozvrženo dle skokového nárůstu hodnot na 2 období:

- Od ledna roku 2015 do srpna roku 2019 – období určeno pro deskriptivní statistiku 1
- Od září roku 2019 do října roku 2021 – období určeno pro deskriptivní statistiku 2

c) Deskriptivní statistická analýza

Aplikované statistické metody:

- Formulace statistického šetření
- Škálování
- Uspořádání elementárního statistického zpracování
- Vyjádření empirického rozdělení četností
- Výpočet empirických parametrů

d) Matematická statistická analýza

Aplikované statistické metody:

- Neparametrické testování
- Lineární regresní analýza
- Sdružená regresní analýza
- Korelační analýza

Pro přehlednost byly vypočtené hodnoty zapisovány do tabulek. Vyjádření empirického rozdělení četností bylo formou grafů.

Aplikovaný kvantitativní výzkum zkoumá porovnání rozložení četností dvou statistických znaků dvou období:

- Počet obrazových studií přenesených systémem ePACS v závislosti na čase v České republice
- Objem dat přenesených systémem ePACS v závislosti na čase v České republice.

Data byla zpracována do tabulky viz. příloha č. 1. Data poskytnul technický konzultant Bc. Radim Huček ze společnosti ICZ a.s.

Hypotézy jsou ověřované neparametrickým testováním, regresní a korelační analýzou. Úlohou analýzy je potvrdit nebo vyvrátit stanovené hypotézy na základě předpokladu nemožnosti nahradit rozložení přenesených dat Gaussovským rozdělením.

4 Výsledky

4.1 Formulace statistického šetření

Deskriptivní statistika 1

Hromadný náhodný jev: zkoumání měsíčních objemů přenesených dat a počtu studií službou ePACS v rámci deskriptivní statistiky 1

Statistická jednotka: měsíc v rámci deskriptivní statistiky 1

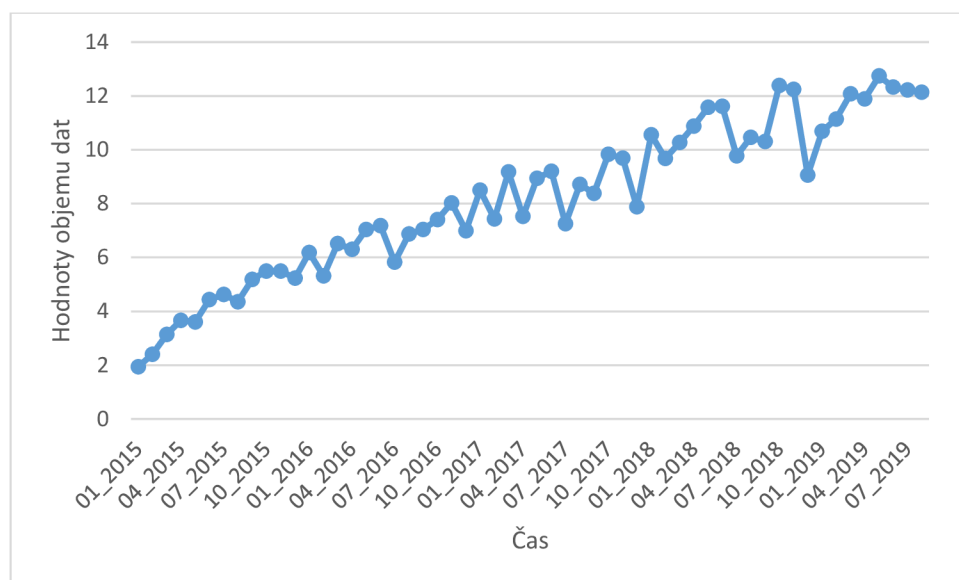
Základní statistický soubor: měsíce

Výběrový statistický soubor: 44 měsíců

Statistický znak 1: měsíční objemy dat v rámci deskriptivní statistiky 1

Hromadný statistický znak:

- Minimum přenesených dat – 1,9401 TB (1. 2015)
- Maximum přenesených dat – 12,7409 TB (5. 2019)



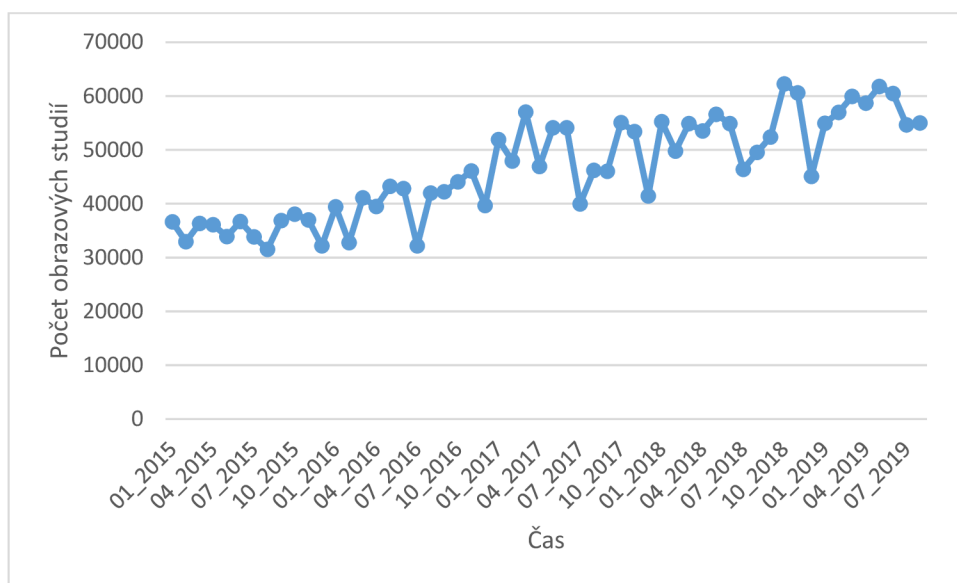
Obrázek č. 8: Četnost SZ – 1 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum

Statistický znak 2: měsíční počty studií v rámci deskriptivní statistiky 1

Hromadný statistický znak 2:

- Minimum studií – 31547 (08. 2015)
- Maximum studií – 62243 (10. 2018)



Obrázek č. 9: Četnost SZ – 2 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum

Deskriptivní statistika 2

Hromadný náhodný jev: zkoumání měsíčních objemů přenesených dat a počtu studií službou ePACS v rámci deskriptivní statistiky 2

Statistická jednotka: měsíc v rámci deskriptivní statistiky 2

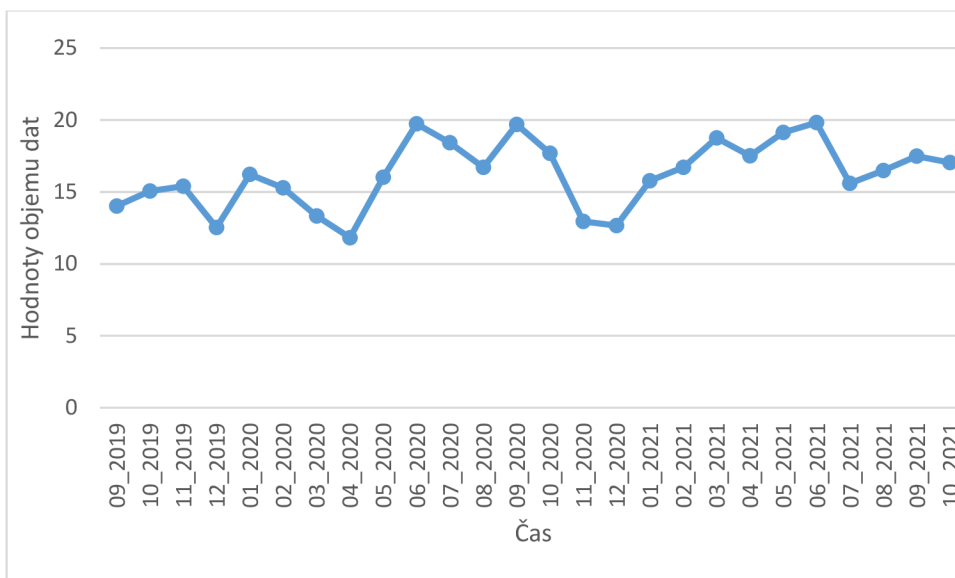
Základní statistický soubor: měsíce

Výběrový statistický soubor: 26 měsíců

Statistický znak 1: měsíční objemy dat v rámci DS-2

Hromadný statistický znak 1:

- Minimum přenesených dat – 11,823 (4. 2020)
- Maximum přenesených dat – 19,8122 (6. 2021)



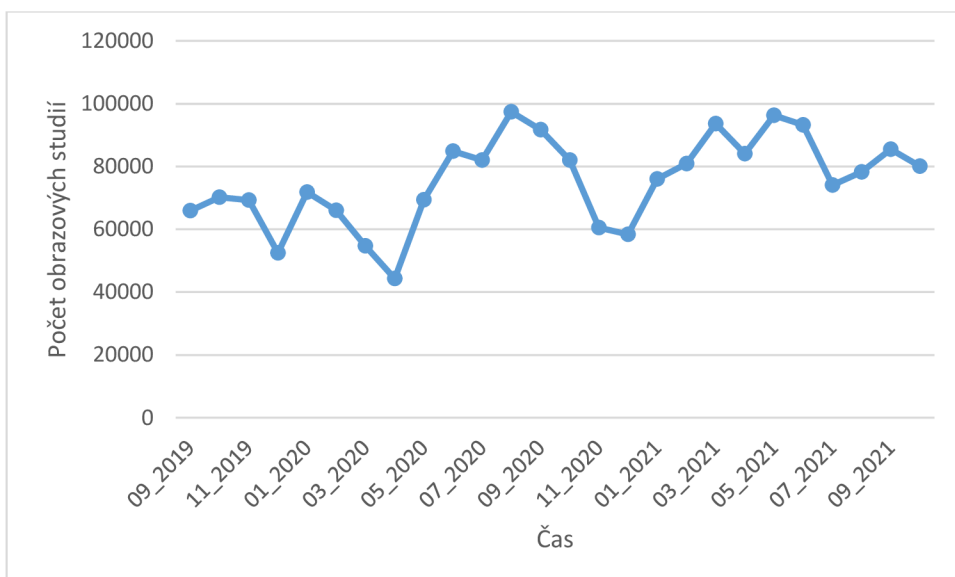
Obrázek č. 10: Četnost SZ – 1 v DS – 2

Zdroj: Vlastní výzkum

Statistický znak 2: měsíční počty studií v rámci DS-2

Hromadný statistický znak 2:

- Minimum studií – 44274 (4. 2020)
- Maximum studií – 97393 (8. 2020)



Obrázek č. 11: Četnost SZ – 2 v DS – 2

Zdroj: Vlastní výzkum

4.2 Škálování

Škálování formuluje hodnoty statistického znaku do skupin prostřednictvím prvků škály. Prvky škály vyjadřují jednotlivé skupiny a jejich souhrn nazýváme škála. Vzhledem k počtu měsíců a intervalu přenesených dat byla zvolena kvantitativně metrická škála. Kvantitativní metrická škála definuje vzdálenost mezi dvěma vedlejšími statistickými jednotkami. Prvky škály představují jednotlivé body škály vyjádřené číselnou velikostí. Kvantitativně metrická škála neumožňuje určit počátek – nulový bod škály. Proto je volba počátku škálování libovolně volitelná (Záškodný et al., 2016).

Tabulka č. 1: rozpětí škál v DS – 1

DS – 1	Statistický znak 1		Statistický znak 2	
	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez
1	1,940	4,100	31547	37686
2	4,101	6,260	37687	43825
3	6,261	8,421	43826	49965
4	8,422	10,581	49966	56104
5	10,582	12,741	56105	62243

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 2: rozpětí škál v DS – 2

DS – 2	Statistický znak 1		Statistický znak 2	
	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez
1	11,823	13,421	44274	54898
2	13,422	15,019	54899	65522
3	15,020	16,617	65523	76145
4	16,618	18,214	76146	86769
5	18,215	19,812	86770	97393

Zdroj: Vlastní výzkum

4.3 Uspořádání elementárního statistického zpracování

Výsledkem elementárního empirického zpracování je empirický obraz analyzovaného výběrového statistického souboru.

Prvky uspořádání elementárního statistického zpracování:

- x_i = označení prvků škály
- n_i = absolutní četnosti prvků škály → graf absolutní četnosti
- n_i/n = relativní četnosti prvků škály → graf empirického rozdělení relativní četností, součet = 1
- $\sum n_i/n$ = kumulační četnosti → kumulativní graf empirického rozdělení

Další čtyři sloupce obsahují součiny potřebné pro výpočet empirických parametrů (Záškodný et al., 2016).

Deskriptivní statistika 1:

Tabulka č. 3: elementární statistické zpracování SZ – 1 v DS – 1

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	5	0,089	0,089	5	5	5	5
2	10	0,179	0,268	20	40	80	160
3	14	0,25	0,518	42	126	378	1134
4	14	0,25	0,768	56	224	896	3584
5	13	0,232	1,00	65	325	1625	8125
	$\sum 56$	$\sum 1,00$		$\sum 188$	$\sum 720$	$\sum 2984$	$\sum 13008$

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 4: elementární statistické zpracování SZ – 2 v DS – 1

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	13	0,232	0,232	13	13	13	13
2	11	0,196	0,428	22	44	88	176
3	10	0,179	0,607	30	90	270	810
4	13	0,232	0,839	52	208	832	3328
5	9	0,161	1,00	45	225	1125	5625
	$\sum 56$	$\sum 1,00$		$\sum 162$	$\sum 580$	$\sum 2328$	$\sum 9952$

Zdroj: Vlastní výzkum

Deskriptivní statistika 2:

Tabulka č. 5: elementární statistické zpracování SZ – 1 v DS – 2

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	5	0,192	0,192	5	5	5	5
2	1	0,038	0,23	2	4	8	16
3	8	0,308	0,538	24	72	216	648
4	6	0,231	0,769	24	96	384	1536
5	6	0,231	1,00	30	150	750	3750
	$\sum 26$	$\sum 1,00$		$\sum 85$	$\sum 327$	$\sum 1363$	$\sum 5955$

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 6: elementární statistické zpracování SZ – 2 v DS – 2

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	3	0,115	0,115	3	3	3	3
2	2	0,077	0,232	4	8	16	32
3	8	0,308	0,54	24	72	216	648
4	8	0,308	0,848	32	128	512	2048
5	5	0,192	1,00	25	125	625	3125
	$\sum 26$	$\sum 1,00$		$\sum 88$	$\sum 336$	$\sum 1372$	$\sum 5856$

Zdroj: Vlastní výzkum

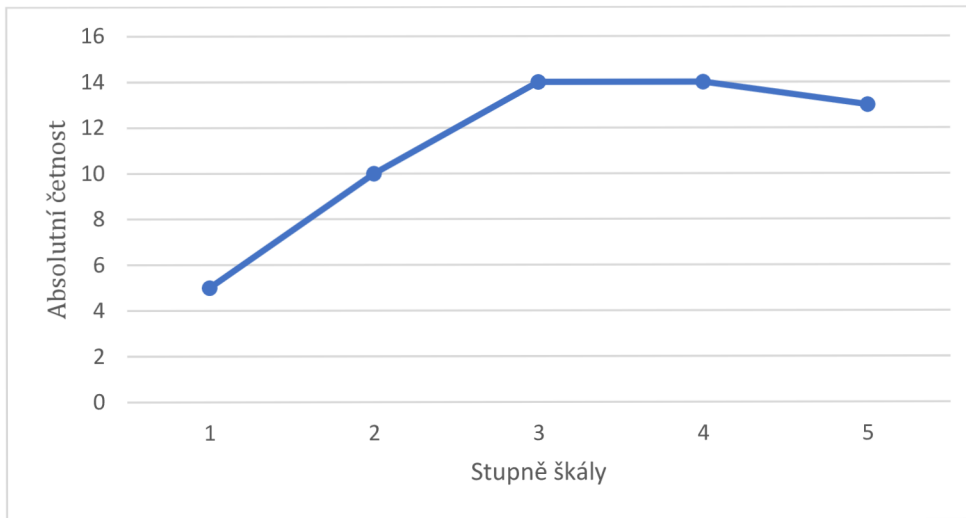
4.4 Grafické vyjádření elementárního statistického zpracování

Pro grafické vyjádření empirického rozdělení jednorozměrného statistického souboru je využit souřadnicový systém v rovině. Na vodorovnou osu souřadnicového systému jsou zakreslovány prvky škály x_i , na svislou osu přenášíme odpovídající četnosti. Grafické zobrazení funkčních závislostí je určeno množinou bodů. Pospojováním vedlejších bodů množiny úsečkami vzniká lomená čára, která se nazývá „polygon“. Rozeznáváme „polygon“ absolutních četností, relativních četností a kumulativních četností.

Význam grafického vyjádření spočívá v možnosti okamžitého zkoumání blízkosti teoretického a empirického rozdělení. Dále orientačně zobrazuje parametry polohy, variabilitu, šikmost a jak špičatost empirického rozdělení, tak i zkoumaného statistického souboru (Záškodný et al., 2016).

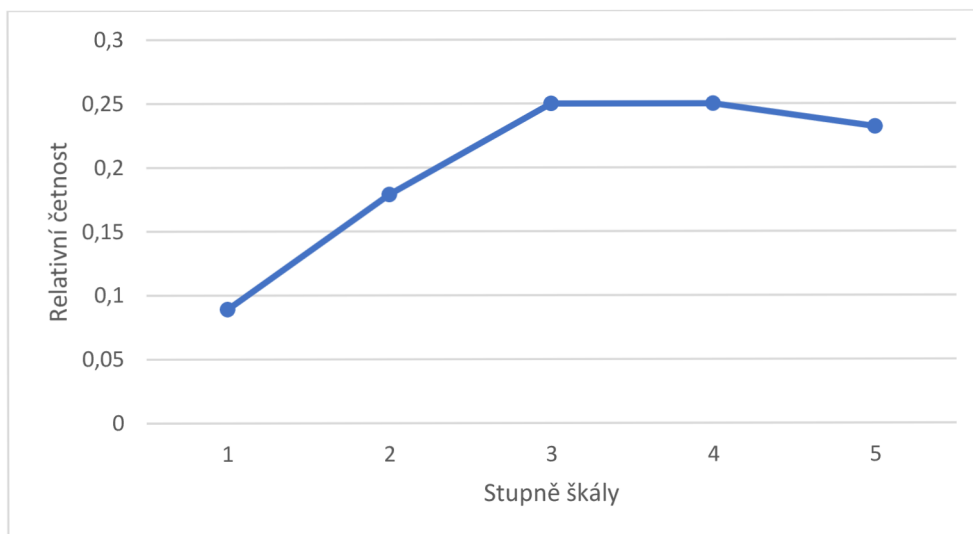
Deskriptivní statistika 1:

Statistický znak 1:



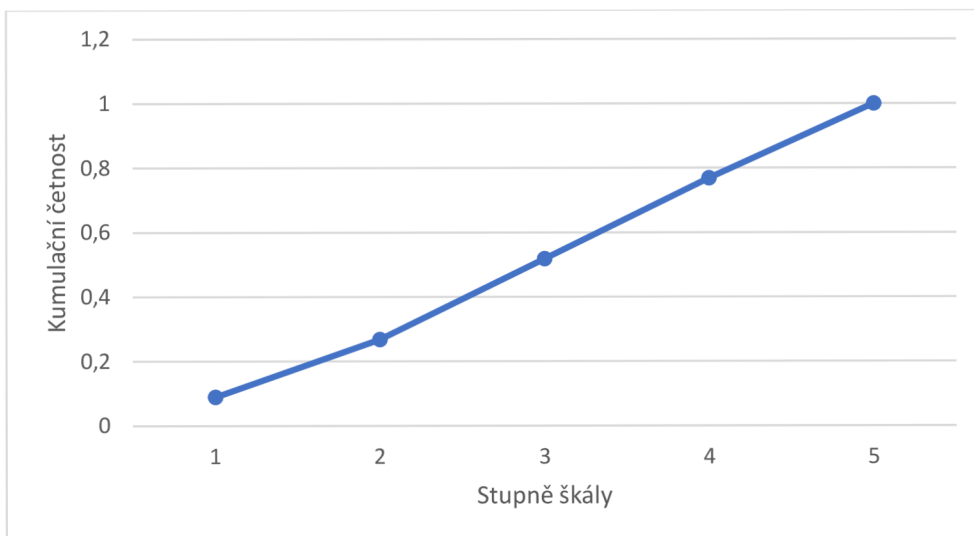
Obrázek č. 12: Polygon absolutních četností SZ – 1 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek č. 13: Polygon relativních četností SZ – 1 v DS – 1

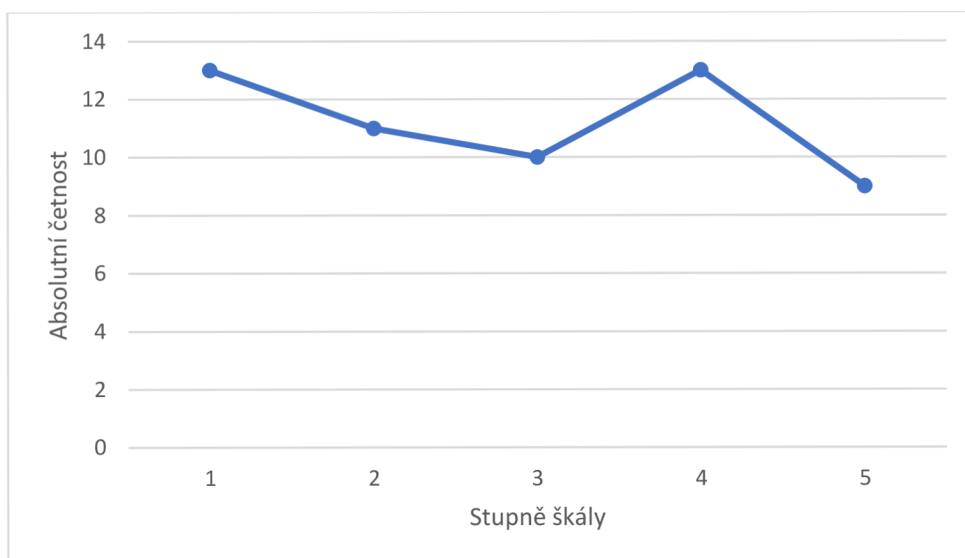
Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek č. 14: Polygon kumulativních četností SZ – 1 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum

Statistický znak 2:



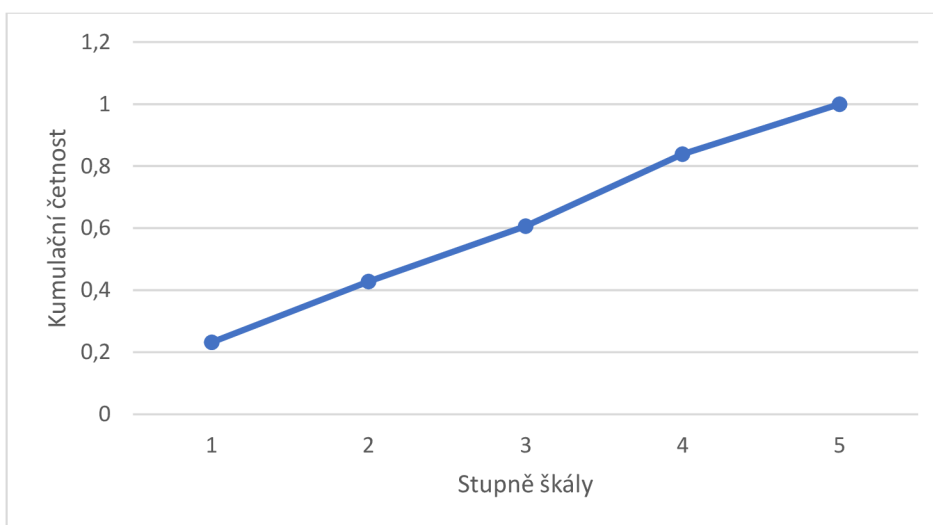
Obrázek č. 15: Polygon absolutních četností SZ – 2 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek č. 16: Polygon relativních četností SZ – 2 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum

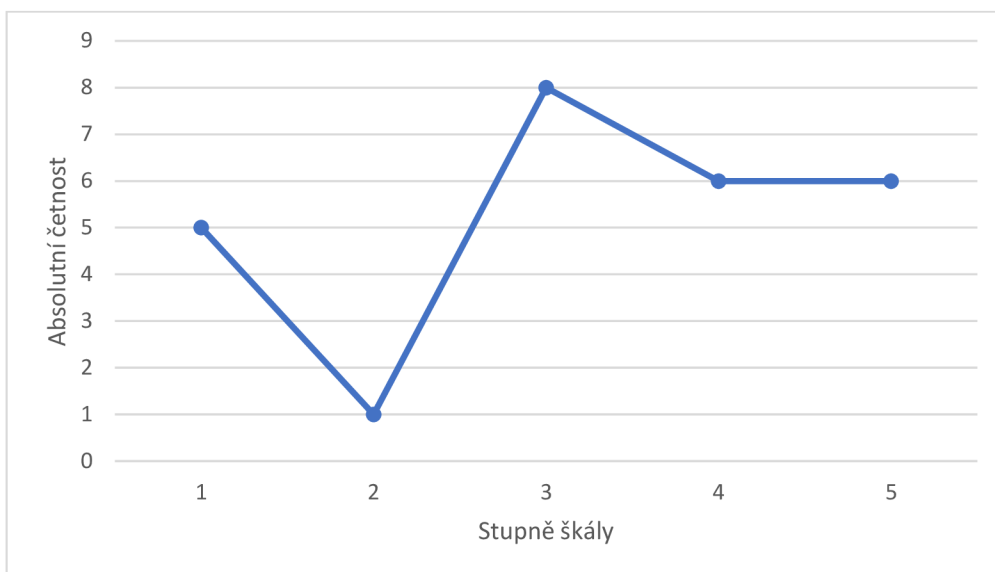


Obrázek č. 17: Polygon kumulativních četností SZ – 2 v DS – 1

Zdroj: Vlastní výzkum

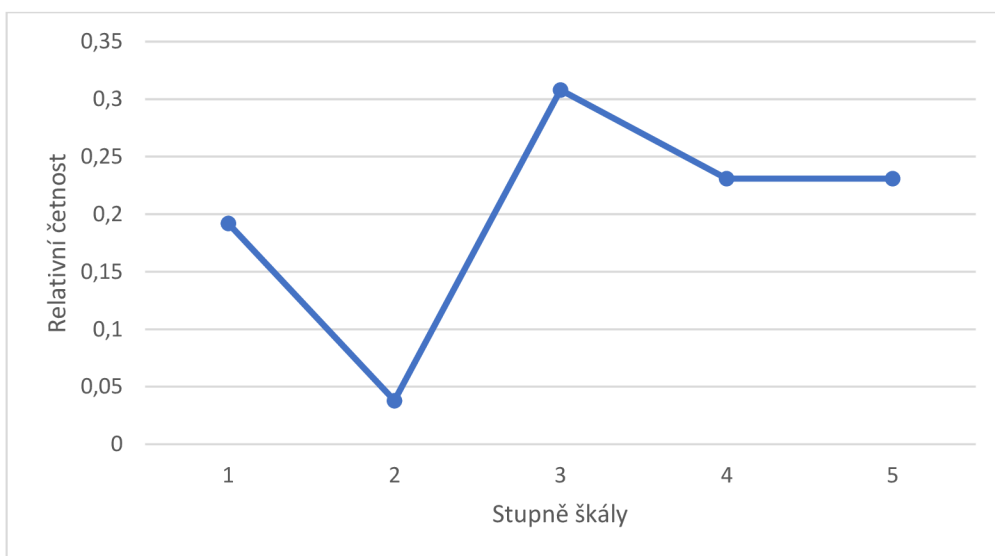
Deskriptivní statistika 2:

Statistický znak 1:



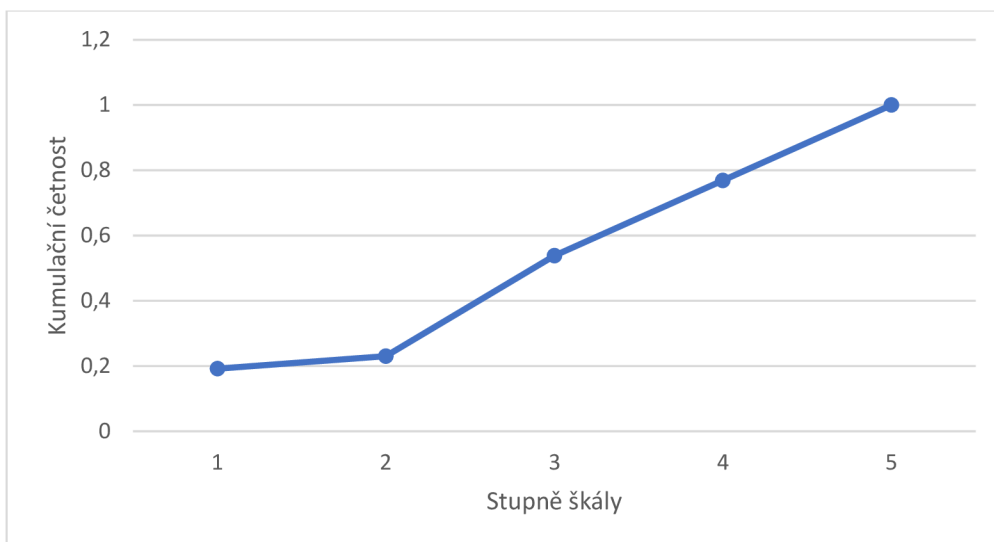
Obrázek č. 18: Polygon absolutních četností SZ – 1 v DS – 2

Zdroj: *Vlastní výzkum*



Obrázek č. 19: Polygon relativních četností SZ – 1 v DS – 2

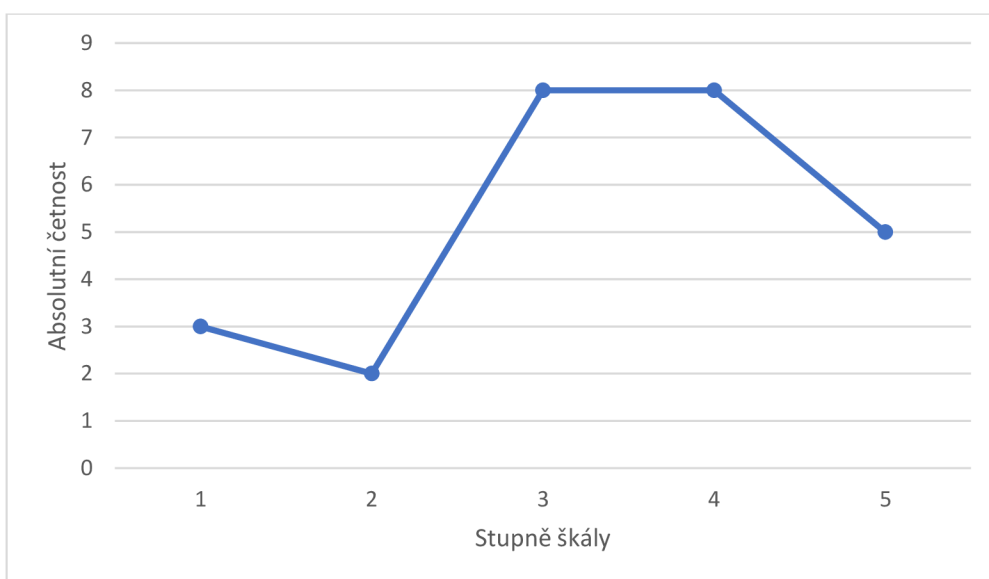
Zdroj: *Vlastní výzkum*



Obrázek č. 20: Polygon kumulativních četností SZ – 1 v DS – 2

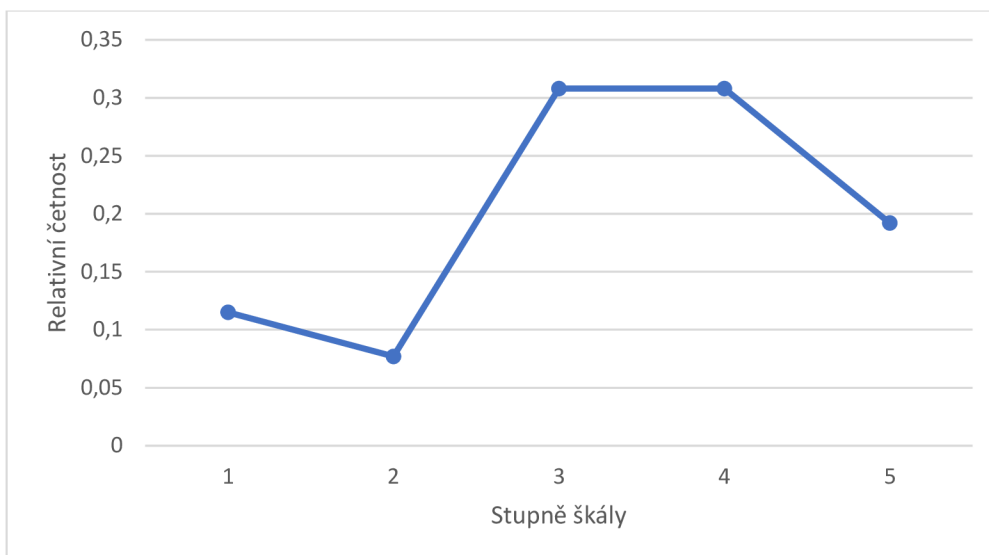
Zdroj: Vlastní výzkum

Statistický znak 2:



Obrázek č. 21: Polygon absolutních četností SZ – 2 v DS – 2

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek č. 22: Polygon relativních četností SZ – 2 v DS – 2

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek č. 23: Polygon kumulativních četností SZ – 2 v DS – 2

Zdroj: Vlastní výzkum

4.5 Výpočet empirických parametrů

Empirické parametry popisují chování zkoumaného statistického souboru. Empirické parametry mají souvislost s výběrovým statistickým souborem, proto jsou nazývána „výběrové parametry“ a tvoří součást výběrového statistického šetření. Výběrové parametry nesou statisticko-pravděpodobnostní charakter.

Empirické parametry rozdělujeme podle popisovaného rysu:

- Parametr polohy
- Parametr proměnlivosti (variability)
- Parametr šikmosti

Empirické parametry polohy (centrální momenty r-tého a 1. řádu)

$$O_r(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^r$$

$$O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i$$

Obecný moment O_1 představuje vážený aritmetický průměr. Poloha empirického rozdělení určuje umístění na vodorovné ose souřadnicového systému.

$$O_1 = \sum \frac{n_i x_i}{n}$$

$$O_2 = \sum \frac{n_i x_i^2}{n}$$

$$O_3 = \sum \frac{n_i x_i^3}{n}$$

$$O_4 = \sum \frac{n_i x_i^4}{n}$$

(Záškodný et al., 2016)

Tabulka č. 7: Hodnoty parametrů polohy

	DS-1		DS-2	
	SZ-1	SZ-2	SZ-1	SZ-2
O ₁	3,36	2,89	3,27	3,38
O ₂	12,86	10,36	12,58	12,92
O ₃	53,29	41,57	52,42	52,77
O ₄	232,29	177,71	229,04	225,23

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 8: Hodnoty aritmetických průměrů

	DS-1		DS-2	
	SZ-1	SZ-2	SZ-1	SZ-2
Aritmetický průměr	8,158 TB	46 522	16,223 TB	75 487

Zdroj: Vlastní výzkum

Parametry proměnlivosti (centrální momenty 2. řádu)

Parametr proměnlivosti definuje centrální moment 2. řádu C₂. Je označován jako „empirický rozptyl“.

$$C_r(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - O_1)^r$$

$$C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - O_1)^2$$

Vyjádření centrálních momentů pomocí momentů obecných

(odvození binomickou větou)

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

$$C_3 = O_3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3$$

$$C_4 = O_4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4$$

(Záškodný et al., 2016)

Tabulka č. 9: Hodnoty momentů centrálních

	DS-1		DS-2	
	SZ-1	SZ-2	SZ-1	SZ-2
C ₂	1,57	2,01	1,89	1,5
C ₃	-0,47	0,02	-1,06	-1,01
C ₄	4,81	7,05	7,47	5,85

Zdroj: Vlastní výzkum

Momenty 3. a 4. řádu

Vyjádření normovaných momentů prostřednictvím centrálních momentů.

Parametr šikmosti:

Z kladné hodnoty koeficientu šikmosti vyplývá, že prvky škály ležící nalevo od aritmetického průměru obsahují vyšší četnosti. U záporné hodnoty jde o inverzní stav.

$$N_3 = \frac{C_3}{C_2\sqrt{C_2}}$$

Parametr špičatosti (odpovídá tvaru Gaussovi křivky):

Vysoké hodnoty koeficientu špičatosti reflektují špičatější rozdělení četností. U ploššího rozdělení jsou hodnoty nižší.

$$N_4 = \frac{C_4}{C_2^2}$$

Exces porovnává špičatost empirického rozdělení se špičatostí známého normovaného normálního rozdělení. Kladná hodnota excesu prokazuje špičatější empirické rozdělení než normované normální rozdělení. Optimální hodnota excesu je číslo 3.

- $N_3 > 0$ = sešikmení doleva = dominance nižších prvků škály
- $N_3 < 0$ = sešikmení doleva = dominance vyšších prvků škály

$$Exces = N_4 - N_3$$

(Záškodný et al., 2016)

Tabulka č. 10: Hodnoty momentů 3. a 4. řádu

	DS-1		DS-2	
	SZ-1	SZ-2	SZ-1	SZ-2
N ₃	-0,38	0,01	-0,77	-0,83
N ₄	1,95	1,75	2,09	-5,73
Exces N ₄ - N ₃	2,33	1,74	2,86	-4,9

Zdroj: Vlastní výzkum

Směrodatná odchylka:

Odmocnina empirického rozptylu nese název směrodatná odchylka. Ta reflektuje výpovědní hodnotu aritmetického průměru.

$$S_x = \sqrt{C_2}$$

Variační koeficient

Variační koeficient nastiňuje míru směrodatné odchylky tvořící aritmetický průměr formou procent.

$$\frac{S_x}{O_1} \text{ (násobek 100 = \%)}$$

(Záškodný et al., 2016)

Tabulka č. 11: Hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu

	DS-1		DS-2	
	SZ-1	SZ-2	SZ-1	SZ-2
S _x	1,25	1,42	1,37	1,22
Variační koeficient	0,372 (37,2 %)	0,491 (49,1 %)	0,419 (41,9 %)	0,36 (36 %)

Zdroj: Vlastní výzkum

4.6 Deskriptivní statistika pro potřebu matematické statistiky

DS-1 a DS-2 zpracováno jako podkladový celek pro matematickou statistiku

Hromadný náhodný jev: zkoumání měsíčních objemů přenesených dat a počtu studií službou ePACS v rámci deskriptivní statistiky

Statistická jednotka: měsíc v rámci deskriptivní statistiky

Základní statistický soubor: měsíce

Výběrový statistický soubor: 82 měsíců (tj. nDS-1 + nDS-2)

Statistický znak 1: měsíční objemy dat v rámci deskriptivní statistiky

Hromadný statistický znak:

- Minimum přenesených dat – 1,9401 TB (1. 2015)
- Maximum přenesených dat – 19,8122 (6. 2021)

Tabulka č. 12: elementární statistické zpracování SZ – 1 (nDS-1 + nDS-2)

x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 \cdot n_i$	$x_i^3 \cdot n_i$	$x_i^4 \cdot n_i$
1	13	0,16	0,16	13	13	13	13
2	20	0,24	0,4	40	80	160	320
3	25	0,3	0,7	75	225	675	2025
4	12	0,15	0,85	48	192	768	3072
5	12	0,15	1,00	60	300	1500	7500
	$\Sigma 82$	$\Sigma 1,00$		$\Sigma 236$	$\Sigma 770$	$\Sigma 3116$	$\Sigma 12930$

Zdroj: Vlastní výzkum

Statistický znak 2: měsíční počty studií v rámci deskriptivní statistiky

- Minimum studií – 31547 (08. 2015)
- Maximum studií – 97393 (08. 2020)

Tabulka č. 13: elementární statistické zpracování SZ – 2 (nDS-1 + nDS-2)

x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	26	0,32	0,32	26	26	26	26
2	27	0,33	0,65	54	108	216	432
3	13	0,16	0,81	39	117	351	1053
4	9	0,11	0,92	36	144	576	2304
5	7	0,09	1,00	35	175	875	4375
	$\Sigma 82$	$\Sigma 1,00$		$\Sigma 190$	$\Sigma 570$	$\Sigma 2044$	$\Sigma 8190$

Zdroj: Vlastní výzkum

Výpočet empirických parametrů pro potřebu matematické statistiky

Tabulka č. 14: Hodnoty parametrů polohy pro matematickou statistiku

	SZ-1	SZ-2
O_1	2,88	2,32
O_2	9,39	6,95
O_3	38	24,93
O_4	157,68	99,88

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 15: Hodnoty aritmetických průměrů pro matematickou statistiku

Aritmetický průměr	SZ-1	SZ-2
	10,715 TB	55706,33

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 16: Hodnoty centrálních momentů pro matematickou statistiku

	SZ-1	SZ-2
C ₂	1,1	1,57
C ₃	4,65	1,53
C ₄	-19,16	6,06

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 17: Hodnoty momentů 3. a 4. řádu pro matematickou statistiku

	SZ-1	SZ-2
N ₃	4,03	0,78
N ₄	-15,83	2,46
Exces N ₄ - N ₃	-19,86	1,68

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 18: Hodnoty S_x a variačního koeficientu pro matematickou statistiku

	SZ-1	SZ-2
S _x	1,05	1,25
Variační koeficient	0,36 (36 %)	0,54 (54 %)

Zdroj: Vlastní výzkum

4.7 *Neparametrické testování:*

Podstatou testování neparametrických hypotéz je využití aparátu nulových hypotéz H_0 a hypotéz alternativních H_a . Nulová hypotéza H_0 vyjadřuje stav, kdy lze empirické rozdělení nahradit rozdělením teoretickým. Alternativní hypotéza H_a vyjadřuje stav, kdy tento předpoklad není pravdivý. Základem testování neparametrických hypotéz je porovnávání teoretických a empirických četností. Hodnoty empirických četností vypočteme prostřednictvím elementárního statistického zpracování v souvislosti s empirickým rozdělením. Hodnoty teoretických četností jsou vypočteny prostřednictvím hustoty pravděpodobnosti či pravděpodobnostní funkcí v souvislosti se zamýšleným teoretickým rozdělením (Záškodný a Záškodná 2011).

K ověření hypotéz H_0 a H_a je nezbytné zvolení správného testovacího kritéria. Pro ověření hypotéz byly zvoleny následující testová kritéria:

- Normované normální rozdělení = u-test
- Fisherovo-Snedecorovo rozdělení = t-test
- Pearsonovo χ^2 rozdělení = test dobré shody (test normality)

Stupně volnosti

Stupně volnosti zprostředkovávají společně s definovanou hladinou významnosti α za pomoci statistických tabulek stanovení kritické teoretické hodnoty (Záškodný et al., 2016).

$$v = k - r - 1 = 5 - 2 - 1 = 2$$

(k = počet intervalů, r = počet teoretických parametrů normálního rozdělení, tj. $r = 2$)

Statistická významnost

Hladina statistické významnosti popisující pravděpodobnost chybného vyvrácení testované hypotézy (chyba 1. druhu). Hladina významnosti hodnoty 0,05 při optimálním výsledku normality sděluje, že bude-li 100 krát zvolen výběrový statistický soubor ze

základního statistického souboru, v 95 subjektech bude možné empirické rozdělení nahradit rozdělením normálním.

$$\alpha = 0,05$$

Podstatou pro nalezení ploch jsou plochy pod Gaussovou křivkou hledaného normálního rozdělení a odpovídající normovanému normálnímu rozdělení. Tyto plochy hledáme za pomoci statistických tabulek. Plochy mají souvislost s distribuční funkcí normálního rozdělení a s distribuční funkcí normovaného normálního rozdělení (Laplaceova funkce). Distribuční funkce normálního rozdělení vyjadřuje následující vztah:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \rho(x) dx.$$

Laplaceova funkce F je závislá na normované náhodné veličině s hodnotou u_i (u_i je normovaná hodnota reflektující horní hranici x_i příslušícího intervalu intervalového rozdělení četností) a vyjadřuje ji vztah:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \rho(u) du, u_i = \frac{x_i - O_1}{S_x}$$

Plochy pod Gaussovou křivkou označujeme pravděpodobnostmi p_i a vyjadřují teoretické relativní četnosti. Plochy p_i pod Gaussovou křivkou omezuje horní mez předešlého intervalu četnosti a horní mezí samotného zkoumaného intervalu četnosti. Po násobku p_i rozsahem n výběrového statistického souboru nacházíme teoretické absolutní četnosti np_i . Pro výpočet normovaných hodnot u_i ($u_1 = -1, u_2 = 0, u_3 = 1, u_4 = 2,5, u_5 = \infty$) bude využito vztahu:

$$u_i = \frac{x_i - O_1}{S_x}$$

(Záškodný et al., 2016)

Plochy p_i lze vyjádřit následujícími integrály:

$$p_1 = \int_{-\infty}^{1,5} \rho(x) dx, p_1 = \int_{-\infty}^{-1} \rho(u) du = F(-1)$$

$$p_2 = \int_{1,5}^{2,5} \rho(x) dx, p_2 = \int_{-1}^0 \rho(u) du = F(0) - F(-1)$$

$$p_3 = \int_{2,5}^{3,5} \rho(x) dx, p_3 = \int_0^1 \rho(u) du = F(1) - F(-1)$$

$$p_4 = \int_{3,5}^{4,5} \rho(x) dx, p_4 = \int_1^2 \rho(u) du = F(2) - F(1)$$

$$p_5 = \int_{4,5}^{\infty} \rho(x) dx, p_5 = \int_2^{\infty} \rho(u) du = F(\infty) - F(2)$$

(Záškodný et al., 2016)

Statistický znak 1:

$$O_1 = 2,88$$

$$S_x = 1,05$$

Tabulka č. 19: Výpočty u_i , $F(u_i)$, p_i a np_i pro SZ – 1

x_i	Interval	n_i (n=82)	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty, 1,5)$	13	-1,31	0,1	0,1	8,2
2	$(1,5; 2,5)$	20	-0,36	0,36	0,26	21,32
3	$(2,5; 3,5)$	25	0,59	0,72	0,36	29,52
4	$(3,5; 4,5)$	12	1,54	0,94	0,22	18,04
5	$(4,5; \infty)$	12	∞	1,00	0,06	4,92

Zdroj: Vlastní výzkum

Hodnoty $F(u_i)$ Laplaceovy funkce byly vyhledány ve statistických tabulkách.

Test dobré shody χ^2

Popisuje zavedené plochy p_i v podobě teoretických relativních četností a součinu np_i v podobě teoretické absolutní četnosti (Záškodný et al., 2016).

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, p_i = F(u_i) - F(u_{i-1})$$

Tabulka č. 20: χ^2 pro SZ – 1

x_i	n_i	np_i	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	13	8,2	2,81
2	20	21,32	0,082
3	25	29,52	0,692
4	12	18,04	2,022
5	12	4,92	10,188

Zdroj: Vlastní výzkum

Stupně volnosti: $v = k - r - 1 = 5 - 2 - 1 = 2$

Statistická významnost: $\alpha = 0,05$

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 15,794$$

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_{k-r-1}^2 = \chi_v^2 = \chi_2^2(0,05) = 5,99$$

$$\chi_{\text{exp}}^2 > \chi_{\text{teor}}^2$$

Pravostranný kritický obor W :

$$(\chi_1^2(0,05); \infty) = (5,99; \infty)$$

$$\chi_{\text{exp}}^2 \in W$$

Výsledek testu dobré shody pro SZ-1

Experimentální hodnota χ_{exp}^2 do kritického oboru patří a nelze přijmout nulovou hypotézu H_0 . Empirické rozdělení (empirický polygon) není možné nahradit za Gaussovu křivku na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$. Je nutno hledat jiné teoretické rozdělení. Tento závěr má význam pro hypotézu č. 1.

Hypotéza 1 je tímto výpočtem potvrzena. Měsíční objemy dat mají teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu.

Statistický znak 2:

$$O_1 = 2,32$$

$$S_x = 1,25$$

Tabulka č. 21: Výpočty u_i , $F(u_i)$, p_i a np_i pro SZ – 2

x_i	Interval	n_i (n=82)	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty, 1,5)$	26	-0,66	0,25	0,25	20,5
2	$(1,5; 2,5)$	27	0,14	0,56	0,31	25,42
3	$(2,5; 3,5)$	13	0,94	0,83	0,27	22,14
4	$(3,5; 4,5)$	9	1,74	0,96	0,13	10,66
5	$(4,5; \infty)$	7	∞	1,0	0,04	3,28

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka č. 22: χ^2 pro SZ – 2

x_i	n_i	np_i	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	26	20,5	1,476
2	27	25,42	0,098
3	13	22,14	3,773
4	9	10,66	0,258
5	7	3,28	4,219

Zdroj: Vlastní výzkum

Stupně volnosti: $v = k - r - 1 = 5 - 2 - 1 = 2$

Statistická významnost: $\alpha = 0,05$

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 9,824$$

$$\chi_{teor}^2 = \chi_{k-r-1}^2 = \chi_v^2 = \chi_2^2(0,05) = 5,99$$

$$\chi_{exp}^2 > \chi_{teor}^2$$

Pravostranný kritický obor W

$$(\chi_1^2(0,05); \infty) = (5,99; \infty)$$

$$\chi_{exp}^2 \in W$$

Výsledek testu dobré shody pro SZ-1

Experimentální hodnota χ_{exp}^2 do kritického oboru patří a nelze přijmout nulovou hypotézu H_0 . Empirické rozdělení (empirický ploygon) není možné nahradit za Gaussovu křivku na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$. Je nutno hledat jiné teoretické rozdělení. Tento závěr má význam pro hypotézu č. 2.

Hypotéza 2 je tímto výpočtem potvrzena. Měsíční počty studií mají teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu.

4.8 Lineární regresní analýza

Úlohou regresní analýzy je hledání vhodné teoretické regresní funkce pro účely vyjádření chování sledované závislosti. Dvojměrný výběrový statistický soubor obsahuje dva statistické znaky SZ-x a SZ-s, mezi kterými hledáme statistickou závislost:

- Statistický znak SZ-x se pojí s metrickou škálou s prvky x_1, x_2, x, \dots, x_n .
- Statistický znak SZ-s se pojí s výsledky měření s_1, s_2, \dots, s_n .

(Záškodný et al., 2016)

Tabulka č. 23: Přeformulování statistického šetření pro lineární regresní analýzu

n_i/n	x_i	s_i	
1/5	13	26	1. měření
1/5	20	27	2. měření
1/5	25	13	3. měření
1/5	12	9	4. měření
1/5	12	7	5. měření

Zdroj: Vlastní výzkum

Odvozené normálové rovnice pro lineární regresní analýzu

$$y = b_0 + b_1x$$

$$\sum s_i = kb_0 + b_1 \sum x_i$$

$$\sum s_i x_i = b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2$$

$$\sum_{i=1}^{k=5} s_i = 82 \quad \sum_{i=1}^{k=5} x_i = 82$$

$$\sum_{i=1}^{k=5} s_i x_i = (13 * 26) + (20 * 27) + (25 * 13) + (12 * 9) + (12 * 7) = 1395$$

$$\sum_{i=1}^{k=5} x_i^2 = (13)^2 + (20)^2 + (25)^2 + (12)^2 + (12)^2 = 1482$$

$$82 = 5b_0 + 82b_1 \quad /*(-82)$$

$$1395 = 82b_0 + 1482b_1 \quad /*5$$

$$-6724 = -410b_0 + (-6724b_1)$$

$$6975 = 410b_0 + 7410b_1$$

$$251 = 686b_1 \quad /:686$$

$$b_1 = 0,37 \quad \rightarrow \operatorname{tg} \alpha = 0,37 \rightarrow \alpha = 20,1^\circ$$

$$82 = 5b_0 + 30,34 \quad /-30,34$$

$$5b_0 = 51,66 \quad /:5$$

$$b_0 = 10,33$$

$$y = 10,33 + 0,37x$$

4.9 Sdružená regresní analýza

Prohození rolí x_i a s_i umožňuje vypočítat z daných regresí korelaci (Záškodný et al., 2016).

Tabulka č. 24: Přeformulování statistického šetření pro sdruženou regresní analýzu

n_i/n	s_i	x_i	
1/5	13	26	1. měření
1/5	20	27	2. měření
1/5	25	13	3. měření
1/5	12	9	4. měření
1/5	12	7	5. měření

Zdroj: Vlastní výzkum

Odvozené normálové rovnice pro sdruženou regresní analýzu

$$y = b_0 + b_1x$$

$$\sum s_i = kb_0 + b_1 \sum x_i$$

$$\sum s_i x_i = b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2$$

$$\sum_{i=1}^{k=5} s_i = 82 \quad \sum_{i=1}^{k=5} x_i = 82$$

$$\sum_{i=1}^{k=5} s_i x_i = (13 * 26) + (20 * 27) + (25 * 13) + (12 * 9) + (12 * 7) = 1395$$

$$\sum_{i=1}^{k=5} x_i^2 = (26)^2 + (27)^2 + (13)^2 + (9)^2 + (7)^2 = 1704$$

$$82 = 5b_0 + 82b_1 \quad /*(-82)$$

$$1395 = 82b_0 + 1704b_1 \quad /*5$$

$$-6724 = -410b_0 + (-6724b_1)$$

$$6975 = 410b_0 + 8520b_1$$

$$251 = 1796b_1 \quad /:1796$$

$$b_1 = 0,14 \quad \rightarrow \text{tg } \alpha = 0,14 \rightarrow \alpha = 8^\circ$$

$$82 = 5b_0 + 11,48 \quad /-11,48$$

$$5b_0 = 70,52 \quad /:5$$

$$b_0 = 14,1$$

$y = 14,1 + 0,14x$

Nález přibližného koeficientu korelace – regrese a sdružená regrese

$$K_{xs}^2 = b_1 B_1$$

$$K_{xs}^2 = 0,37 * 0,14$$

$$K_{xs}^2 = 0,052$$

$$K_{xs} = \sqrt{0,052}$$

$$K_{xs} = 0,23$$

Mezi počtem přenesených studií a počtem přenesených dat je pouze náznak slabé pozitivní korelace (Záškodný et al., 2016).

4.10 Lineární korelační analýza

Úlohou korelační analýzy je měření těsnosti (síly, intenzity) a sledované závislosti. Přeformulování vychází ze vztahu pro lineární koeficient korelace (Pearsonův vzorec):

$$K_{xs} = \frac{S_{xs}}{S_x * S_s}$$

Popis vzorců:

- O_x = aritmetický průměr pro 1. SZ
- O_s = aritmetický průměr pro 2. SZ
- S_x = směrodatná odchylka
- S_{xs} = kombinovaný smíšený centrální moment druhého řádu
- S_s = směrodatná odchylka 2. SZ

(Záškodný et al., 2016).

Výpočet

$$S_{xs} = \sum \frac{n_i}{n} (x_i - O_{1x})(s_i - O_{1s})$$

$$S_x = \sqrt{C_{2x}} = \sqrt{\sum \frac{n_i}{n} (x_i - O_{1x})^2}$$

$$S_s = \sqrt{C_{2s}} = \sqrt{\sum \frac{n_i}{n} (s_i - O_{1s})^2}$$

$$O_1 = \sum \frac{n_i}{n} x_i$$

$$O_{1x} = 1/5 * (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) = 16,4$$

$$S_{1s} = 1/5 * (s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5) = 16,4$$

$$\begin{aligned} S_x &= \sqrt{C_{2x}} = \sqrt{\sum \frac{n_i}{n} (x_i - O_{1x})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{5} (13 - 16,4)^2 + (20 - 16,4)^2 + (25 - 16,4)^2 + (12 - 16,4)^2 + (12 - 16,4)^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{5} (137,2)} = \sqrt{27,44} = 5,23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_s &= \sqrt{C_{2s}} = \sqrt{\sum \frac{n_i}{n} (s_i - O_{1s})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{5} (26 - 16,4)^2 + (27 - 16,4)^2 + (13 - 16,4)^2 + (9 - 16,4)^2 + (7 - 16,4)^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{5} (359,2)} = \sqrt{71,84} = 8,48 \end{aligned}$$

$$V = \frac{S_x}{O_1}$$

$$5,23 / 16,4 = 0,32 = 32 \%$$

$$8,48 / 16,4 = 0,52 = 52 \%$$

$$\begin{aligned} S_{xs} &= \sum \frac{n_i}{n} (x_i - O_{1x})(S_1 - O_{1s}) \\ &= \frac{1}{5} ((13 - 16,4)(26 - 16,4) + (20 - 16,4)(27 - 16,4) \\ &\quad + (25 - 16,4)(13 - 16,4) + (12 - 16,4)(9 - 16,4) \\ &\quad + (12 - 16,4)(7 - 16,4)) \\ &= \frac{1}{5} (-32,64) + (38,16) + (-29,24) + (32,56) + (41,36) = \frac{1}{5} (50,2) \\ &= 10,04 \end{aligned}$$

$$K_{xs} = \frac{S_{xs}}{S_x S_s} = \frac{10,04}{5,23 * 8,48} = 0,23$$

Mezi počtem přenesených studií a počtem přenesených dat je pouze náznak slabé pozitivní korelace. Hypotézu 3 lze přijmout jen s přibližnou platností.

5 Diskuze

Řešení otázek archivace obrazových zdravotnických dat nepřinesla pouze digitální zrychlená doba, ale pojí se i s analogovou radiologií už od samého počátku. V počátcích radiologie byl obraz získáván na filmový materiál. Filmová podložka byla původně vyráběna z hořlavých a výbušných materiálů, což jejich uchovávání značně komplikovalo při teplotách už nad 38°C. Během archivace navíc docházelo k chemickým změnám, které znehodnocovaly snímky a vytvářely nepříjemný zápach. Takové snímky byly přenášeny mezi pracovišti ve formě obálek. Během distribuce tak mohlo docházet ke ztrátám a záměnám.

Digitální radiologie přinesla nové možnosti. Obraz je zaznamenáván na flat panel detektor a přenesen do počítače, kde je zpracován. Počáteční problémy byly vyřešeny formátem DICOM. Před rozvojem internetu byla data archivována a distribuována formou CD nosičů. Nyní už mechanická archivace a distribuce opadá, využívají se moderní počítačové archivační a distribuční systémy. Byť jsou PACS technologie ekonomicky velmi nákladné, snižují náklady na provoz a zjednodušují chod zdravotnických zařízení. Jejich správné fungování je pro české zdravotnictví a další rozvoj telemedicíny velice podstatné.

Hypotéza číslo 1 byla statistickou analýzou potvrzena. Měsíční objemy dat přenesené systémem ePACS mají teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu. Teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu dokládá existenci dvou vymezených období rozvoje systému.

Hypotéza číslo 2 byla statistickou analýzou potvrzena. Měsíční počty studií přenesené systémem ePACS mají teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu. Teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu znovu dokládá existenci dvou vymezených období a eliminuje tak možnost chybného výpočtu.

Hypotéza číslo 3 byla statistickou analýzou přijata jen s přibližnou platností. Měsíční objemy dat a měsíční počty studií spolu spíše nekorelují. Důvodem jen velmi slabé pozitivní korelace může být vysoká rozdílnost objemu dat jednotlivých zdravotnických obrazových studií.

Obrazová studie rentgenového vyšetření obsahující dva snímky nese objem okolo 16 MB. Avšak obrazová studie vyšetření počítačovou tomografií nese objem až 3 GB dat. Jiným vysvětlením důvodu velmi slabé pozitivní korelace může být ovlivnění samotným rozdělením statistického šetření do dvou samostatně analyzovaných období nebo ovlivnění zdokonalováním formátu DICOM, kdy se stále obsáhlejší soubory komprimují do menších datových objemů.

Prostřednictvím použitých statistických metod byla prokázána existence dvou časových období rozvoje systému ePACS:

1. Období zavádění systému ePACS do struktury českého zdravotnictví vzhledem k postupnému „zvykání si“ nemocnic do srpna roku 2019.
2. Období průběžného aplikování systému ePACS v českém zdravotnictví – nemocnice systém již běžně používaly od září roku 2019.

Největší rozdíly hodnot byly zaznamenány v nárůstu statistického znaku 1 – objemu dat. Zatímco v 1. období byl měsíčním aritmetickým průměrem 8,158 TB, ve druhém období to bylo už 16,223 TB.

Statistický znak – 2, počty studií také výrazně vzrostly. V 1. období byl měsíční aritmetický průměr okolo 47 tisíc obrazových studií, ve 2. období už okolo 75 tisíc obrazových studií.

Předpokládaným důvodem vyššího nárůstu objemu dat oproti počtu obrazových studií je zdokonalování kvality modalit a následné tvoření detailnějšího obrazu studie, která nese vyšší datový objem. Stále narůstající hodnoty vypovídají o důležitosti služby ePACS, kterou ve zdravotnictví 21. století představuje.

Měsíční aritmetický průměr statistického znaku 1 – objemu dat, za celkové období, činil 10,715 TB, což je přesně deset bilionů bajtů. Měsíční aritmetický průměr statistického znaku 2 – počtu obrazových studií, za celkové období, činil 56 tisíc. To poukazuje na rozsáhlost velikosti komunikace mezi zdravotnickými zařízeními a náročnost na výpočetní techniku spravující dané objekty.

Nárůst dat celkově je nepochybně ovlivněn nárůstem počtu uživatelů v systému. Zatímco v lednu roku 2015 byl počet zapojených zdravotnických zařízení 265 v říjnu roku 2021 už systém čítal 582 poskytovatelů zdravotních služeb a vědeckých nebo školských zařízení v České republice.

Za zvýšením počtu uživatelů stojí vhodné nastavení podmínek, finanční dostupnost a modularita pro rozdílné požadavky uživatelů, kterou firma ICZ a.s. umožňuje. Díky službě ePACS schránky se do systému připojují stále menší uživatelé, kteří nedisponují modalitami tvořícími obraz a obrazové studie tak pouze přijímají. Proto nebyl počet uživatelů ve statistickém šetření využívání systému zahrnut, a proto tato data nebyla ani společností v měsíčních intervalech poskytnuta.

Existence dvou rozdílných období vývoje služby ePACS dokazují „bod zlomu“ v počtu dat. Tento bod lze interpretovat jako vymezení data úplné implementace systému ePACS do zdravotnické struktury. Implementaci systému pro dálkovou distribuci zdravotnických dat v České republice proto považují od září roku 2019 za úspěšnou.

Cíl práce: „Analýza úspěšnosti implementace systému pro distribuci zdravotnických obrazových dat ve zdravotnictví v České republice“ je tímto zodpovězena. Digitalizace zdravotnictví v oblasti archivace zdravotnických obrazových dat se zdařila.

Lze konstatovat, že implementace distribučního systému proběhla včas, vzhledem k následnému nástupu pandemie covid-19 v březnu roku 2020, kdy byl v počátcích jakýkoliv kontakt považován za potenciálně infekční a distribuce dat na CD nosičích by značně ztěžovala zdravotnickou krizi.

6 Závěr

Teoretická část bakalářské práce popisuje funkce a strukturu PACS systémů, PACS archivační a distribuční systémy dostupné v České republice. Zabývá se funkčností dostupností, flexibilitou, uživatelskou obsluhou a zabezpečením.

Praktická část bakalářské práce analyzuje počet přenesených obrazových studií a objem dat systémem ePACS v závislosti na čase. Cíl bakalářské práce: „Analýza úspěšnosti implementace systému pro distribuci zdravotnických obrazových dat v České republice“ byl ověřován pomocí neparametrického testování, lineární sruženou a regresní korelační analýzou.

První hypotéza zněla: „Měsíční objemy dat budou mít teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu.“ Statistická analýza první hypotézu potvrdila. Druhá hypotéza zněla: „Měsíční počty studií budou mít teoretické rozdělení vzdálené rozdělení normálnímu.“ Statistická analýza potvrdila i druhou hypotézu. Obě hypotézy dokládají nezávisle na sobě existenci dvou stanovených období a vymezují bod významného nárůstu přenesených dat. Tento bod představuje nástup úplné implementace systému ePACS do zdravotnické struktury. Digitalizace českého zdravotnictví tak předpokládáme za úspěšnou.

Třetí hypotéza zněla: „Měsíční objemy dat a měsíční počty studií pozitivně korelují.“ Tato hypotéza byla přijata jen s částečnou platností, dané statistické znaky mají velmi slabou pozitivní korelaci.

7 Seznam použité literatury

MÜNZ, J., 2011. Informační technologie ve zdravotnictví: informační systémy. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 304 s. ISBN 978-80-01-04720-0

HUANG, H.K. 2010. PACS and Imaging Informatics Basic Principles and Applications. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley-Blackwell. ISBN 04-705-6051-7.

HUANG, H.K., 2004. PACS and Imaging Informatics Basic Principles and Applications. 2nd ed. Wiley-Liss. ISBN 04-712-5123-2

CHOPLIN, R., 1992. Picture archiving and communication systems: an overview. Radiographics. [online], Dostupné z:

<https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiographics.12.1.1734458>

OR-CZ spol. s.r.o., 2021. Uživatelská příručka Marie PACS [databáze]. Dostupné z: registru zdravotnických prostředků

KADERÁBEK, R., BRUTHANS, J., 2015a. Současné možnosti výměny obrazových dat mezi zdravotnickými zařízeními II. Praktická radiologie.

OR-CZ spol. s.r.o., nedatováno. [online], Dostupné z: <https://www.orcz.cz/ru/o-nas>

ICZ a.s., 2017a. Produktový list ICZ AMIS*PACS FlexServer G2 [online]. Dostupné z: <https://www.iczgroup.com/produkty-a-sluzby/zdravotnictvi/zpracovani-zdravotnicke-obrazove-dokumentace/>

Medoro s.r.o., © 2022. Dicompass Gateway [online]. Dostupné z: <https://dicompass.cz/dicompass-gateway>

Formei s.r.o., © 2022. PACS systém JiveX [online]. Dostupné z: <https://www.fomei.cz/produkty/pacs-systemy/pacs-system-jivex>

Visus Health IT GmbH, nedatováno. Uživatelská příručka JiveX [online]. Dostupné z: <https://www.fomei.cz/produkty/pacs-systemy/pacs-system-jivex>

KADERÁBEK, Richard a Jan BRUTHANS, 2015b. Současné možnosti výměny obrazových dat mezi zdravotnickými zařízeními I. Praktická radiologie. str. 4 - 8. ISSN 1211 – 5053

E.ICZ a.s., nedatováno. [online]. Dostupné z: <http://www.epacs.cz/epacs/faces/pages/index.xhtml>

BRUTHANS, Jan, 2019. ePACS – (neprávem) „ten druhý vzadu“. Medical Tribune. [online]. Dostupné z: <https://www.tribune.cz/komentare/epacs-nepravem-ten-druhy-vzadu/>

ICZ a.s., nedatováno. Produktový list CN [online]. Dostupné z: <http://www.epacs.cz/epacs/files/amis-pacs-cn.pdf>

ICZ a.s., 2017b. Produktový list ePACS [online]. Dostupné z: <https://www.iczgroup.com/produkty-a-sluzby/zdravotnictvi/zpracovani-zdravotnicke-obrazove-dokumentace/>

Raška, J, 2011. Uživatelské prostředí AMIS*PACS FlexServer G2® [online]. Dostupné z: <http://epacsproject.blogspot.com/2011/>

Medoro s.r.o., 2018. Uživatelská příručka Dicompass [databáze]. Dostupné z: registru zdravotnických prostředků.

ZÁŠKODNÝ, Přemysl, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří HAVRÁNEK a Vladimír VURM. Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví). třetí. praha, czech republic: curriculum, 2016. 256 s. statistics and probability. isbn 978-80-87894-12-5.

ZÁŠKODNÝ, Přemysl, R. HAVRÁNKOVÁ, J. HAVRÁNEK a V. VURM. Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví). Praha: Curriculum, 2011. 256 s. ISBN 978-80-904948-2-4.

ZÁŠKODNÝ, Přemysl a Helena ZÁŠKODNÁ. Vybrané aplikace statistiky a pravděpodobnosti. Praha: Curriculum, 2018. ISBN 978-80-87894-18-7.

Medical Imaging & Technology Alliance (MITA), nedatováno. About DICOM standard [online]. Dostupné z: <https://www.dicomstandard.org/about-home>

8 Přílohy

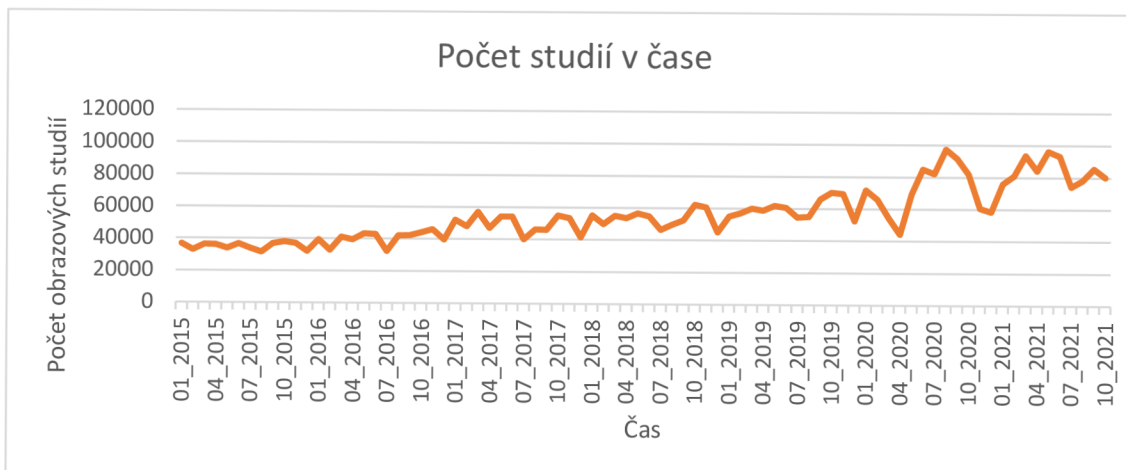
Příloha č. 1 – Poskytnutá data

Datum	Velikost TB	Počet studií
01_2015	1,9401	36634
02_2015	2,3962	32933
03_2015	3,1435	36356
04_2015	3,6604	36094
05_2015	3,5994	33927
06_2015	4,4328	36725
07_2015	4,6291	33840
08_2015	4,3558	31547
09_2015	5,1837	36847
10_2015	5,4981	38053
11_2015	5,4965	37003
12_2015	5,2262	32155
01_2016	6,1848	39457
02_2016	5,3139	32772
03_2016	6,5139	41114
04_2016	6,307	39513
05_2016	7,0404	43222
06_2016	7,183	42822
07_2016	5,8219	32183
08_2016	6,8732	41990
09_2016	7,043	42235
10_2016	7,4108	44080
11_2016	8,0202	46110
12_2016	6,988	39674
01_2017	8,4952	51910
02_2017	7,4281	47946
03_2017	9,1839	57020
04_2017	7,5294	46944
05_2017	8,9357	54100
06_2017	9,1978	54103
07_2017	7,2519	39987
08_2017	8,7141	46228
09_2017	8,3877	46052
10_2017	9,8347	55093
11_2017	9,6865	53383
12_2017	7,8877	41461
01_2018	10,5624	55267
02_2018	9,6725	49766
03_2018	10,2706	54904

04_2018	10,876	53545
05_2018	11,5845	56591
06_2018	11,6162	54865
07_2018	9,769	46394
08_2018	10,458	49557
09_2018	10,3127	52389
10_2018	12,3853	62243
11_2018	12,2497	60623
12_2018	9,0541	45095
01_2019	10,6846	54935
02_2019	11,1421	56973
03_2019	12,083	59961
04_2019	11,8941	58687
05_2019	12,7409	61813
06_2019	12,334	60505
07_2019	12,2199	54644
08_2019	12,1355	54981
09_2019	14,0223	65945
10_2019	15,0513	70205
11_2019	15,3993	69295
12_2019	12,5282	52413
01_2020	16,2118	71791
02_2020	15,2939	65963
03_2020	13,3157	54653
04_2020	11,823	44274
05_2020	16,023	69384
06_2020	19,7419	84909
07_2020	18,4252	82034
08_2020	16,7156	97393
09_2020	19,6852	91702
10_2020	17,6768	81970
11_2020	12,9468	60548
12_2020	12,6543	58323
01_2021	15,7652	76003
02_2021	16,7083	80857
03_2021	18,7522	93667
04_2021	17,5087	84044
05_2021	19,1311	96253
06_2021	19,8122	93211
07_2021	15,5884	74090
08_2021	16,4831	78195
09_2021	17,4755	85453
10_2021	17,0517	80093

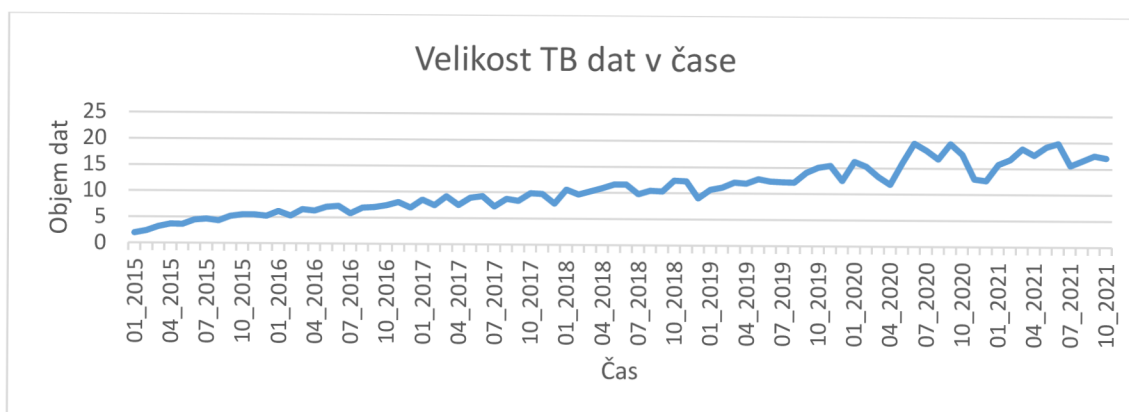
Zdroj: ICZ a.s.

Příloha č. 2 – Počet přenesených studií



Zdroj: ICZ a.s.

Příloha č. 3 – Objem přenesených dat



Zdroj: ICZ a.s.

9 Seznam obrázků a tabulek

Obrázky:

Obrázek č. 1: Přehled hlavních modulů Marie PACS (OR-CZ spol. s.r.o, 2021)

Obrázek č. 2: Zobrazení výběru Marie PACS (OR-CZ spol. s.r.o, 2021)

Obrázek č. 3: Uživatelské prostředí AMIS*PACS FlexServer G2® (Raška, 2011)

Obrázek č. 4: Systém přidělování licencí Dicompass (Medoro s.r.o., 2018)

Obrázek č. 5: Dicompass Gateway Proxy (Medoro s.r.o., © 2022)

Obrázek č. 6: AMIS*PACS CN (ICZ a.s., nedatováno)

Obrázek č. 7: Schéma komunikace služby ePACS (ICZ a.s., 2017b)

Obrázek č. 8: Četnost SZ – 1 v DS – 1

Obrázek č. 9: Četnost SZ – 2 v DS – 1

Obrázek č. 10: Četnost SZ – 1 v DS – 2

Obrázek č. 11: Četnost SZ – 2 v DS – 2

Obrázek č. 12: Polygon absolutních četností SZ – 1 v DS – 1

Obrázek č. 13: Polygon relativních četností SZ – 1 v DS – 1

Obrázek č. 14: Polygon kumulativních četností SZ – 1 v DS – 1

Obrázek č. 15: Polygon absolutních četností SZ – 2 v DS – 1

Obrázek č. 16: Polygon relativních četností SZ – 2 v DS – 1

Obrázek č. 17: Polygon kumulativních četností SZ – 2 v DS – 1

Obrázek č. 18: Polygon absolutních četností SZ – 1 v DS – 2

Obrázek č. 19: Polygon relativních četností SZ – 1 v DS – 2

Obrázek č. 20: Polygon kumulativních četností SZ – 1 v DS – 2

Obrázek č. 21: Polygon absolutních četností SZ – 2 v DS – 2

Obrázek č. 22: Polygon relativních četností SZ – 2 v DS – 2

Obrázek č. 23: Polygon kumulativních četností SZ – 2 v DS – 2

Tabulky:

Tabulka č. 1: rozpětí škál v DS – 1

Tabulka č. 2: rozpětí škál v DS – 2

Tabulka č. 3: elementární statistické zpracování SZ – 1 v DS – 1

Tabulka č. 4: elementární statistické zpracování SZ – 2 v DS – 1

Tabulka č. 5: elementární statistické zpracování SZ – 1 v DS – 2

Tabulka č. 6: elementární statistické zpracování SZ – 2 v DS – 2

Tabulka č. 7: Hodnoty parametrů polohy

Tabulka č. 8: Hodnoty aritmetických průměrů

Tabulka č. 9: Hodnoty momentů centrálních

Tabulka č. 10: Hodnoty momentů 3. a 4. řádu

Tabulka č. 11: Hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu

Tabulka č. 12: elementární statistické zpracování SZ – 1 (nDS-1 + nDS-2)

Tabulka č. 13: elementární statistické zpracování SZ – 2 (nDS-1 + nDS-2)

Tabulka č. 14: Hodnoty parametrů polohy pro matematickou statistiku

Tabulka č. 15: Hodnoty aritmetických průměrů pro matematickou statistiku

Tabulka č. 16: Hodnoty centrálních momentů pro matematickou statistiku

Tabulka č. 17: Hodnoty momentů 3. a 4. řádu pro matematickou statistiku

Tabulka č. 18: Hodnoty S_x a variačního koeficientu pro matematickou statistiku

Tabulka č. 19: Výpočty u_i , $F(u_i)$, p_i a np_i pro SZ – 1

Tabulka č. 20: χ^2 pro SZ – 1

Tabulka č. 21: Výpočty u_i , $F(u_i)$, p_i a np_i pro SZ – 2

Tabulka č. 22: χ^2 pro SZ – 2

Tabulka č. 23: Přeformulování statistického šetření pro lineární regresní analýzu

Tabulka č. 24: Přeformulování statistického šetření pro sdruženou regresní analýzu
Seznam použitých zkratk

10 Zkratky

PACS = systém pro archivaci a distribuci obrazových zdravotnických dat

DICOM = formát digitálních obrazových informací a standard komunikace

NIS = nemocniční informační systém

RIS = radiologický informační systém

HW = hardware

SW = software

CD = kompaktní disk

DVD = digitální video disk

CN = komunikační uzel

VPN = virtuální privátní síť

QA = pracovní stanice

ZZ = zdravotnické zařízení

CT = počítačová tomografie

MRI = magnetická rezonance

DS = deskriptivní statistika

SZ = statistický znak